

**AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA: UMA ANÁLISE SOBRE O USO  
DA ÁGUA NA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA**

**Bruno Alves Pereira**  
Dissertação de Mestrado

**Brasília – D.F., abril/2009**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA: UMA ANÁLISE SOBRE O USO DA ÁGUA NA  
PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA**

Bruno Alves Pereira

Orientadora: Isabel Teresa Gama Alves

Dissertação de Mestrado

Brasília-DF, abril/2009

Pereira, Bruno Alves.

Agroindústria Canavieira: Uma análise sobre o uso da água na produção sucroalcooleira. / Bruno Alves Pereira.

Brasília, 2009.

Número de páginas p. 182: il.

Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

1. Agroindústria Canavieira. 2. Recursos Hídricos. 3. Efluentes 4. Poluição. 5. Desenvolvimento Sustentável. I. Universidade de Brasília. CDS.

II. Título.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Bruno Alves Pereira

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA: UMA ANÁLISE SOBRE O USO DA ÁGUA NA  
PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA**

Bruno Alves Pereira

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão Ambiental, opção profissionalizante.

Aprovado por:

---

Isabel Teresa Gama Alves, Pós-Doutora (CDS-UnB)  
(Orientadora)

---

Magda Eva Soares de Faria Wehrmann, Pós-Doutora (CDS-UnB)  
(Examinador Interno)

---

Flávio Borges Botelho Filho, Doutor (PROPAGA-UnB)  
(Examinador Externo)

Brasília-DF, 14 abril de 2009

Este trabalho é dedicado aos meus familiares e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Há muitas pessoas a quem eu gostaria de agradecer por este trabalho. A primeira delas, sem dúvida, é a minha mãe, Márcia Martins, que com ternura e coragem me inspirou a enfrentar esse desafio. Meu irmão e melhor amigo, Phillipe Alves, que com seus conselhos sempre me ajudou bastante. Minha heróica avó, Eunice Martins, que sempre me serviu de alento, como, talvez, Quixote para Sancho. Meu nobre avô, Antônio Alves, o primeiro a me incentivar nos estudos. No entanto, até aqui, apenas tratei daqueles que sempre estiveram comigo. Agora, falarei daqueles com quem espero para sempre conviver. Assim, por sua sensibilidade e integridade, agradeço a Jorge Júnior. Por sua incondicional amizade e extrema paciência a Cláudia Mattos. Aliás, paciência é também uma característica que se aplica bem a outra pessoa a quem devo agradecer, minha orientadora, Isabel Teresa. Por fim, gostaria de mencionar o nome daquela que mais me apoiou e estimulou durante o período de desenvolvimento deste trabalho e no tempo de muitas outras atividades, minha namorada e eterna amada, Gabriela Oliveira. Para além dessas pessoas muito queridas, gostaria ainda de agradecer ao Centro de Desenvolvimento Sustentável e aos professores com os quais cursei disciplinas durante o tempo em que estudei nesta instituição. Lembro, ainda, dos amigos que me indicaram para o Mestrado, Tadeu Assad e Rincon Ferreira.

Hipo  
Popo  
Pota  
x  
T@mo ★



Ramón (El País).

## RESUMO

A relação entre água e cana-de-açúcar é um assunto bastante comentado, mas sobre o qual existem poucos ensaios teóricos. Para tentar contribuir com a reduzida literatura existente, este trabalho apresenta uma série de quatro estudos em forma de artigos. O primeiro é uma pesquisa sobre o início da atividade canavieira no Brasil e sua dependência em relação aos recursos hídricos, pois, sem água, a planta não poderia viver, nem as engrenagens dos engenhos reais, primeiras unidades de fabricação de açúcar no País, movidas à força hidráulica, poderiam funcionar. O segundo relata os efeitos das mudanças no sistema de produção industrial de derivados da cana-de-açúcar às margens dos rios onde foram instaladas as primeiras usinas, que acompanharam as tendências da Revolução Industrial. O terceiro analisa as transformações técnicas ocorridas na parte agrícola da agroindústria canavieira, em decorrência do processo de industrialização da agricultura, e seus impactos sobre os corpos de água. O quarto discute os problemas relacionados à disponibilidade hídrica e ao uso da água pela agroindústria canavieira em São Paulo, atualmente o maior Estado produtor de cana-de-açúcar e derivados do País. O objetivo do trabalho é estudar a maneira como os recursos hídricos vêm sendo usados pela agroindústria canavieira ao longo dos anos e avaliar a qualidade da relação entre a água e a cana-de-açúcar. A conclusão do estudo indica que a água vem sendo utilizada de maneira descuidada pelo setor, sendo consumida em excesso nas etapas dos processos industriais e contaminada por fontes pontuais de lançamento de efluentes e não pontuais de insumos agrícolas.

**Palavras-chave:** cana-de-açúcar, recursos hídricos e desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

The relation between water and sugarcane is a topic that has been greatly discussed, but on which there are few theoretical writings. To try to help with the small existing literature, this work presents a series of four studies. The first study researches the beginnings of the activity of sugarcane in Brazil and its dependence on water resources, for, without water, the plant could not live, neither the wheels of the royal mills, the first units of sugar production in the country, moved by hydraulic power, could work. The second study describes the effects of changes in the industrial production system of sugarcane by-products on the banks of the rivers where the first plants were installed, which followed the trends of the Industrial Revolution. The third study examines the technical changes that took place in the agricultural techniques of the sugarcane agribusiness as a result of the industrialization of agriculture, and its impacts on the bodies of water. The fourth study discusses the problems related to water availability and water use by the sugarcane agribusiness in São Paulo, currently the largest State producer of sugarcane and its by-products in Brazil. The objective of the work is to study the way in which water resources are being used by the sugarcane agribusiness over the years and to evaluate the quality of the relationship between water and sugarcane. The conclusion of the study indicates that water is being used carelessly by the sector, being consumed excessively in the stages of industrial processes and contaminated by effluents and agricultural waste.

**Keywords:** sugarcane, water and sustainable development.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Usinas e destilarias em funcionamento no Brasil.....	02
Figura 2 – Área ocupada pela cana-de-açúcar no Brasil.....	03
Figura 3 – Jangada.....	22
Figura 4 – Canoa.....	22
Figura 5 – Barcaça com carga de açúcar.....	24
Figura 6 – Diferenças nos processos de produção de usinas e engenhos.....	49
Figura 7 – Principais domínios geomorfológicos do Nordeste Oriental.....	64
Figura 8 – Evolução do crédito rural no Brasil, 1995 a 2007.....	83
Figura 9 – Evolução em hectares da área de cana-de-açúcar colhida no Brasil, entre 1960 e 2008.....	91
Figura 10 – Distribuição da cana-de-açúcar pelo Cerrado.....	93
Figura 11 – Produtividade dos canaviais e deficiência hídrica no Nordeste, de 1974 a 2004.....	95
Figura 12 – Situação dos canaviais alagoanos em 2008, área com e sem irrigação.....	96
Figura 13 – Balanço hídrico dentro do território do Estado de São Paulo.....	109
Figura 14 – Ciclo hidrológico na Terra.....	101
Figura 15 – Principais modalidades de uso da água.....	113
Figura 16 – Restrição hídrica em áreas de expansão da cana-de-açúcar.....	115
Figura 17 – Áreas ocupadas pela cana-de-açúcar em São Paulo. Safras 2003/2004 e 2007/2008.....	118
Figura 18 – Mudanças físico-químicas em solo cultivado com cana-de-açúcar.....	119
Figura 19 – Seqüência de fotos do processo erosivo em um canavial.....	121
Figura 20 – Consumo atual e futuro de água em usinas com destilarias anexas.....	134

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Engenhos de Açúcar em Jaboatão, Pernambuco, no ano de 1857.....	12
Tabela 2 – Produção de bangüês e usinas na década de 1920 (mil sacos de 60 kg).....	52
Tabela 3 – Comparação do volume de açúcar produzido em usinas nos anos de 1933 e 1950.....	55
Tabela 4 – Importação e produção interna de tratores no Brasil, de 1950 a 1975.....	78
Tabela 5 – Importação e produção nacional de fertilizantes no Brasil, de 1970 a 1975.....	79
Tabela 6 – Consumo intermediário na agricultura como porcentagem do Valor Bruto da Produção (VBP). Brasil, de 1939 a 1980.....	80
Tabela 7 – Taxa anual de crescimento do SNRC, relação do PIA com o volume de recursos concedidos pelo SNRC e a taxa real de juros anual, 1969 a 1981.....	81
Tabela 8 – Evolução do uso de insumos modernos e máquinas no Brasil, de 1975 a 1995.....	82
Tabela 9 – Evolução do consumo aparente de fertilizantes, do faturamento da indústria de defensivos agrícolas e do índice de mecanização agrícola no Brasil, de 1995 a 2007.....	83
Tabela 10 – Ordem dos índices de ligações setoriais no Brasil em 1975, 1980, 1985, 1992 e 1995.....	89
Tabela 11 – Demanda industrial de água por atividade no Estado de São Paulo, 1990.....	131

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Diferença técnica entre a fabricação de açúcar em engenhos e nas usinas.....	48
Quadro 2 – Consumo de água em diversas culturas.....	96
Quadro 3 – Cronograma da eliminação da queima da cana-de-açúcar em São Paulo.....	125
Quadro 4 – Diferentes tipos de poluição e contaminação.....	136
Quadro 5 – Águas residuais de uma usina com destilaria anexa antes da reciclagem.....	138

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ADASA	Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal
AIA	Auto de Infração Ambiental
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotivos
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Área de Preservação Permanente
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
BO	Balanço de Oxigênio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEPRN	Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais
IAA	Instituto do Açúcar e do Alcool

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Especiais
ISPN	Instituto Sociedade, População e Natureza
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OD	Oxigênio Dissolvido
PH	Potencial Hidrogênico
PIA	Produto Interno Agrícola
PIB	Produto Interno Bruto
PLANALSUCAR	Plano Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro S/A
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
SINDAÇÚCAR	Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas
SNCR	Sistema Nacional de Crédito Rural
TSS	Total de Sólidos em Suspensão
ÚNICA	União da Agroindústria Canavieira de São Paulo
VBP	Valor Bruto da Produção

## LISTA DE SIMBOLOS

$>5 \text{ g cm}^{-3}$	para cada três centímetros, mais que cinco gramas
Kg	quilograma
Kg ha <sup>-1</sup>	quilograma por hectare
kPa	quilopascal
m <sup>3</sup>	metro cúbico
m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	metro cúbico por hectare
m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	metro cúbico por segundo
m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>	metro cúbico por tonelada
µeq L <sup>-1</sup>	microequivalência do soluto por litro
µg kg <sup>-1</sup>	micrograma por quilograma
µg L <sup>-1</sup>	micrograma por litro
µg m <sup>-3</sup>	micrograma para cada três metros
mm	milímetros
mm ano <sup>-1</sup>	milímetros por ano
mm h <sup>-1</sup>	milímetros por hora
mm t <sup>-1</sup>	milímetros por tonelada
ng m <sup>-3</sup>	nanograma para cada três metros
t	tonelada
t ha <sup>-1</sup>	tonelada por hectare
t ha <sup>-1</sup> ano	tonelada por hectare a cada ano

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

**INTRODUÇÃO..... 1**

**1 ENGENHOS REAIS: A ORIGEM DA RELAÇÃO HISTÓRICA ENTRE A AGROINDÚSTRIA  
CANAVIEIRA E A ÁGUA NO BRASIL..... 6**

1.1 ENGENHOS REAIS E A ORIGEM DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA ..... 9

1.2 ENGENHOS REAIS E O APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS..... 13

1.2.1 A importância da água para produção agrícola da cana-de-açúcar ..... 16

1.2.2 A importância da água para manufatura do açúcar ..... 18

1.2.3 A importância da água para o transporte do açúcar ..... 21

1.3 ENGENHOS REAIS E O DOMÍNIO DOS RECURSOS HÍDRICOS ..... 24

1.4 ESTRUTURA FUNDIÁRIA E DOMÍNIO DAS ÁGUAS NOS ENGENHOS..... 30

**2 MODERNIZAÇÃO INDUSTRIAL: A TRANSFORMAÇÃO TÉCNICA DA MANUFATURA DA  
CANA-DE-AÇÚCAR E OS RIOS DO NORDESTE ORIENTAL..... 37**

2.1 A TRANSFORMAÇÃO TÉCNICA DA MANUFATURA DO AÇÚCAR..... 42

2.1.1 O surgimento dos engenhos centrais..... 45

2.1.2 O surgimento das usinas ..... 47

2.1.3 O surgimento das destilarias anexas ..... 53

2.2 MUDANÇAS NA SOCIEDADE E NO MODELO DE PRODUÇÃO ..... 56

2.2.1 A urbanização e a mudança no padrão técnico da agroindústria canavieira ..... 57

2.2.2 O campo e a mudança no padrão técnico da agroindústria canavieira .....	58
2.3 O NOVO PADRÃO PRODUTIVO E OS RECURSOS AMBIENTAIS.....	59
2.3.1 O vinhoto e os rios das usinas com destilarias anexas .....	60
2.3.2 A percepção do problema com o vinhoto .....	61
2.4 OS RIOS DE AÇÚCAR DO NORDESTE ORIENTAL .....	62
2.4.1 A bacia do rio Ceará-Mirim .....	65
2.4.2 A bacia do rio Mamanguape .....	66
2.4.3 A bacia do rio Paraíba do Norte .....	67
2.4.4 As bacias dos rios Coruripe, Jiquiá e São Miguel.....	69
<b>3 MODERNIZAÇÃO AGRÍCOLA: MUDANÇAS NA RELAÇÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA COM OS RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>72</b>
3.1 TRANSFORMAÇÃO NO PADRÃO TÉCNICO DA AGRICULTURA.....	74
3.1.1 A industrialização da agricultura no Brasil.....	77
3.2 MUDANÇA NO PADRÃO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	84
3.3 A MODERNIZAÇÃO DOS CANAVIAIS E OS RECURSOS HÍDRICOS .....	91
3.3.1 A irrigação dos canaviais e demanda por água.....	94
3.3.2 A fertirrigação dos campos com vinhaça e os recursos hídricos .....	97
3.3.3 O uso de fertilizantes minerais na cana-de-açúcar e os recursos hídricos .....	99
3.3.4 O uso de pesticidas na cana-de-açúcar e os recursos hídricos.....	101
3.3.5 A mecanização dos canaviais e os recursos hídricos.....	104
<b>4 AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA: UMA ANÁLISE SOBRE O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO.....</b>	<b>107</b>
4.1 DISPONIBILIDADE E USO DA ÁGUA.....	111
4.2 O USO DA ÁGUA NA PARTE AGRÍCOLA DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA.....	114
4.2.1 A ocupação das áreas de mata nativa pela cana-de-açúcar e os recursos hídricos.....	117
4.2.2 O uso de defensivos agrícolas nos canaviais e os recursos hídricos.....	123
4.2.3 A mecanização da colheita da cana-de-açúcar e o uso da água.....	125

4.3 O USO DA ÁGUA NA PARTE INDUSTRIAL DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA.....	130
4.3.1 Águas residuais na agroindústria canavieira.....	135
4.3.2 O reaproveitamento da vinhaça e o uso da água.....	139
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>146</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>150</b>
GLOSSÁRIO	

## INTRODUÇÃO

A água é um elemento fundamental na Terra. É essencial à dinâmica da natureza, impulsionando todos os ciclos, sustentando a vida e servindo como solvente universal. Para os seres humanos, é um recurso com múltiplas serventias: além de ser útil às suas funções vitais, como ocorre com todas as espécies vivas, também é utilizado para um grande número de atividades econômicas, como a produção de alimentos, a geração de energia e a fabricação de produtos industriais.

É possível afirmar que a água é o insumo básico para o desenvolvimento de qualquer sociedade. Sua conservação representa parte do imperativo ético de comprometimento das gerações presentes com as futuras para construção de um mundo sustentável. Nos locais onde sua escassez já está sendo sentida, percebe-se a importância do empenho para que esse compromisso seja integralmente cumprido. Na atualidade, mais de 40% da população mundial sofre com as restrições de abastecimento e mais de 5% das pessoas no mundo lutam para terem acesso mínimo aos recursos hídricos (CMMAD, 1991; OCDE, 2009).

O Brasil destaca-se no cenário internacional pelo grande volume de descarga de água doce dos seus rios. Sua produção hídrica é de  $177.900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , representando 53% do total de água doce no continente sul-americano e 12% no mundo. Essa característica, ao mesmo tempo em que representa uma vantagem estratégica, também significa uma grande responsabilidade para o País. Onde existe tanta abundância, não deveria faltar água para população e para o desempenho das atividades econômicas (SALATI, LEMOS e SALATI, 2006).

No entanto, segundo um levantamento da Comissão Pastoral da Terra (2008), cerca de 30 mil pessoas são afetadas anualmente pelos conflitos por acesso à água no interior do Brasil. Se no campo o problema já está sério, nas cidades pode ganhar uma proporção ainda maior. Com o crescimento das populações urbanas, a pressão pelo acesso à água está se tornando cada vez mais intensa. Caso não sejam envidados esforços para a adequação dos múltiplos usos da água - que serve para as necessidades domésticas, agrícolas e industriais - à disponibilidade hídrica brasileira, haverá sérios problemas de escassez no futuro.

Para adequar as necessidades humanas ao potencial hídrico disponível sem violar o princípio da conservação dos ecossistemas, é necessário analisar e compreender as atividades que demandam grande volume de água para sua realização. Investigar, por exemplo, onde podem ser feitas mudanças no padrão tecnológico, para que essas iniciativas reduzam o

consumo de água, e onde não existe possibilidade de mudança é uma maneira de viabilizar o planejamento para o uso futuro dos recursos hídricos.

Este trabalho toma como hipótese a premissa de que a agroindústria canavieira é uma atividade que demanda grande volume de água e que precisa ser mais bem estudada sob o aspecto do uso de recursos hídricos em seus processos produtivos. O setor sucroalcooleiro está entre os mais importantes para a economia nacional, movimentado, anualmente, mais de US\$ 20,5 bilhões, o que representa 3,65% do Produto Interno Bruto do País. Somente em impostos gera US\$ 6 bilhões, além de 5 milhões de empregos diretos e indiretos, o que representa 15% dos postos de trabalho no Brasil (BRAGATO et al., 2008).

Em operação, existem 418 unidades agroindustriais dedicadas à produção de açúcar e álcool no País. Somente no ano de 2008 processaram 489.178.668 toneladas de cana-de-açúcar e fabricaram 30.788.490 t de açúcar e 22.238.699 m<sup>3</sup> de álcool. Para tanto, uma área de 7,8 milhões de hectares está sendo ocupada pelos atuais 72 mil produtores rurais que se dedicam ao cultivo da planta, como demonstram as Figuras 1 e 2 (UNICA, 2008; MAPA, 2009).

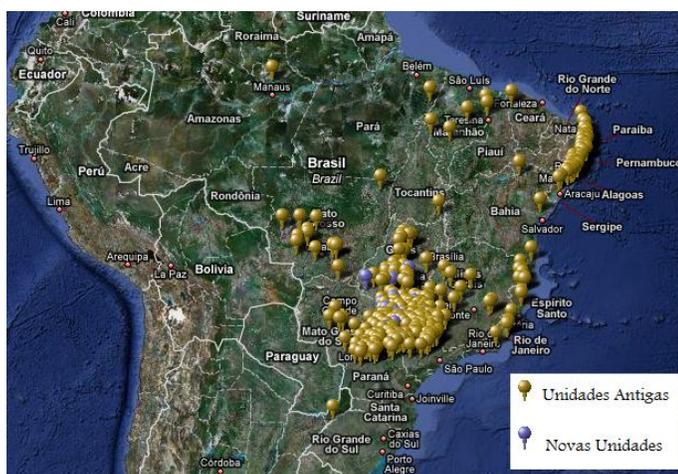


Figura 1: Usinas e destilarias em funcionamento no Brasil.

Fonte: Conab (2008).

Apesar de ocupar uma área relativamente pequena quando comparada àquela ocupada atualmente pela pecuária e por outras atividades agrícolas, a cana-de-açúcar demanda mais de 2% de todas as terras aráveis no Brasil. Um percentual ainda distante da soja (20%) ou do milho (14%), mas que vem crescendo de maneira contínua. Somente entre os anos de 1998 e 2008, a planta avançou sobre 3,8 milhões de hectares (FAO, 2008).

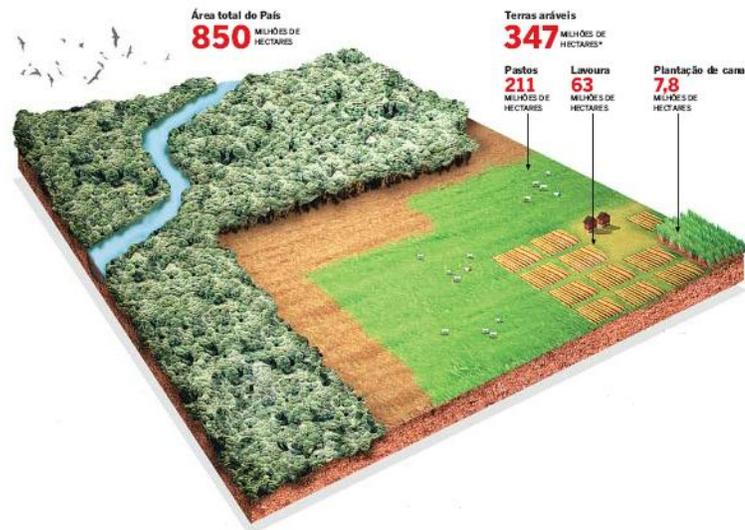


Figura 2: Área ocupada pela cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: Conab (2008).

Essa expansão na área plantada com cana-de-açúcar, associada à instalação de mais usinas e destilarias, pode causar forte impacto no balanço hídrico das áreas de fronteira. Em muitas das zonas de expansão canavieira, existem restrições ambientais que podem obrigar os produtores a captarem mais água do que o volume ambientalmente correto. Além disso, problemas com os efluentes dos processos industriais podem reduzir a disponibilidade dos territórios ocupados. Tudo depende da maneira como a agroindústria canavieira irá utilizar os recursos hídricos em suas etapas de produção. Mas, para isso, é preciso compreender a relação do setor sucroalcooleiro com a água, no presente e no passado.

Estudar o uso da água pela agroindústria canavieira é o objetivo deste trabalho. Para tanto, foram elaborados quatro capítulos que tentam explicar o tema. Os três primeiros usam uma abordagem histórica para demonstrar que problemas relacionados ao uso da água no setor sucroalcooleiro se originam de mudanças técnicas na produção de açúcar e álcool ao longo dos anos, mudanças que foram positivas sob o aspecto da produtividade, mas que tiveram efeitos negativos na conservação dos recursos hídricos. O último capítulo discute questões atuais sobre a utilização dos recursos hídricos pela agroindústria canavieira paulista, a mais importante do País. Tendo como referência o estado da arte na tecnologia canavieira, são apresentadas alternativas para reduzir o impacto da atividade no consumo de água estadual.

O primeiro capítulo é uma análise do início da agroindústria canavieira no Brasil. Os engenhos reais, que foram as primeiras unidades de produção de açúcar no País, eram extremamente dependentes dos recursos hídricos. Não somente em função da demanda

natural de água pela cana-de-açúcar, mas também devido ao uso da força hidráulica para movimentar as engrenagens da fábrica e à utilização do rio como via para o transporte das caixas de açúcar que seguiam para as cidades. Portanto, naturalmente os engenhos foram se estabelecendo às margens de rios, onde havia água em abundância. No entanto, o estabelecimento de muitas unidades ligadas a um mesmo corpo de água e a derrubada de matas ciliares nas nascentes de alguns deles, criaram exemplos de degradação ambiental, devido ao uso indevido dos recursos disponíveis. Para comprovar essas ocorrências, textos e documentos oficiais do Período Colonial foram estudados e utilizados como relatos técnicos.

O segundo capítulo relata alguns dos efeitos das transformações no padrão técnico da agroindústria canavieira geradas pela Revolução Industrial. A adoção de máquinas a vapor, de turbinas e de centrífugas fez surgir as usinas, que ocuparam o lugar dos engenhos. Com o aumento da escala de produção industrial vieram também as conseqüências, entre elas a poluição dos rios do Nordeste, que foram inundados pelas águas residuais das destilarias, chamadas de vinhoto ou vinhaça. Para comprovar os efeitos desse evento, tomaram-se como referências as pesquisas realizadas por Gilberto Osório e Manuel Correia no Nordeste Oriental, editadas em quatro volumes no final da década de 1950.

O terceiro capítulo aponta como as transformações na parte industrial geraram pressões sobre a parte agrícola da agroindústria canavieira. Devido à diferença entre o potencial instalado nas fábricas e a capacidade de rendimento dos canaviais, havia grande ociosidade nas usinas e destilarias no início da década de 1960, o que exigiu mudanças no processo. Como ocorreu com o restante da agricultura, a indústria passou a impor suas demandas ao campo, fazendo com que a produção natural fosse substituída pelo uso intensivo de máquinas, fertilizantes e outros insumos modernos. Contudo, mais uma vez, as mudanças tiveram conseqüências sobre os recursos hídricos: compactação dos solos, erosões, contaminações por metais pesados entre outros. Para descrever essa seqüência de fatores, foram utilizados estudos de casos de autores que tratam do tema no País, com ênfase nos trabalhos que contemplaram os efeitos sobre a saúde humana.

O quarto capítulo analisa os aspectos do uso da água pela agroindústria canavieira paulista na atualidade, por meio de abordagens sobre as partes agrícola e industrial dos processos produtivos e dos seus impactos sobre a disponibilidade hídrica territorial. Na parte agrícola, a contaminação dos corpos de água por sedimentos oriundos dos canaviais tem alterado o balanço hídrico do território, mas a adoção de melhores práticas de manejo da cana-

de-açúcar pode contornar o problema. Na parte industrial, a modificação de algumas etapas do processo produtivo pode contribuir positivamente para a redução do consumo de água. A partir de consultas a especialistas do setor e a documentos dos órgãos de meio ambiente de São Paulo, constatou-se que iniciativas concretas estão sendo implementadas, embora ainda não estejam totalmente de acordo com as possibilidades técnicas de redução do consumo de água. Apesar das mudanças, o setor sucroalcooleiro deve continuar, por algum tempo, a usar mais água do que o necessário, mantendo pouco respeito em relação àquele recurso que sempre lhe foi tão essencial.

# 1 ENGENHOS REAIS: A ORIGEM DA RELAÇÃO HISTÓRICA ENTRE A AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA E A ÁGUA NO BRASIL

## Resumo

A origem da agroindústria canavieira no Brasil está diretamente relacionada com o uso dos recursos hídricos. As primeiras unidades de produção de açúcar instaladas no País, os engenhos reais, utilizavam a água para múltiplas funções: do transporte do açúcar ao movimento das peças de seu aparelho de produção. Assim, o presente capítulo pretende analisar alguns aspectos dessa relação. Entre eles, o modo como os senhores de engenho utilizavam os rios que passavam por suas propriedades, o que ocasionava casos de conflitos pelo direito de acesso à água por parte dos proprietários cujos engenhos estavam localizados em áreas abaixo daquelas ocupadas pelos engenhos estabelecidos às margens dos rios. Além disso, há indicações de que a maneira como a maioria dos engenhos reais costumava fazer uso dos recursos hídricos era extremamente lesiva ao meio ambiente. Devido aos direitos de propriedade assegurados pela Coroa Portuguesa, os senhores de engenho tinham autoridade para decidir livremente sobre o aproveitamento de todos os recursos disponíveis em suas terras, inclusive sobre a água. De modo que cada senhor de engenho podia dispor da maneira que quisesse dos rios de sua propriedade, o que acabou por provocar sérias consequências. Atuando em separado, mas com efeito conjunto, os engenhos reais contribuíram para o assoreamento de rios, para o processo de extinção de algumas espécies e para o desvio, e até mesmo a completa destruição, de alguns corpos de água.

## Abstract

The origin of the sugarcane agribusiness in Brazil is directly related to the use of water resources. The first sugar production units installed in the country, the royal mills, used water for multiple functions: from the transportation of the sugar to the movement of parts of its production equipment. Thus, this chapter aims to analyze some aspects of that relationship. Among them, the way in which the lords of the mills used the rivers that crossed their properties, which caused conflicts for the right of access to water by the owners whose mills were located in areas below those occupied by the mills set on the banks of rivers. Moreover, there are other indications that the way the majority of mills used water resources was extremely detrimental to the environment. Due to property rights assured by the Portuguese Crown, the lords of the mills could decide freely on the use of all available resources in their land, including on the use of water, so that they could use the rivers that crossed their properties in any way they wanted, which had serious consequences. Acting separately, but with joint effect, the actual devices contributed to the siltation of rivers, to the process of extinction of some species and to the diversion, and even the complete destruction, of some bodies of water.

## INTRODUÇÃO

A atividade canavieira está ligada ao princípio da formação histórica do Brasil. Imediatamente após o fim do ciclo extrativista que caracterizou a primeira fase da ocupação portuguesa, o açúcar passou a ser a principal atividade da Colônia. Somente com a descoberta de minérios na parte central do Brasil, sua importância econômica foi atenuada. Mesmo assim, sempre se manteve em posição de destaque na economia nacional.

Além da questão econômica, a agroindústria canavieira teve outro importante significado para o desenvolvimento do território. No início da colonização brasileira, o açúcar foi o instrumento por meio do qual a Coroa Portuguesa buscou atrair povoadores. A ocupação das terras era importante, pois havia forte pressão política das demais nações européias para que o domínio de Portugal fosse restrito às áreas efetivamente ocupadas por esse país.

Nesse sentido, a produção açucareira foi uma solução amplamente justificável. Portugal já possuía grande experiência na fabricação do produto, devido aos muitos anos de cultivo da cana-de-açúcar em suas ilhas do Atlântico. Além disso, era do conhecimento das autoridades competentes que a agroindústria canavieira, além de ser uma atividade extremamente lucrativa, demandava também muita mão-de-obra (SIMONSEN, 1977; NASTARI, 1983; FURTADO, 2007).

Assim, a formação do território brasileiro foi influenciada pelas necessidades da agroindústria canavieira. Sendo essa uma atividade eminentemente dirigida à exportação, era natural que sua ocupação se restringisse à Costa, de onde navios carregados de açúcar podiam zarpar em direção à Europa. Por isso, a população da Colônia manteve-se, basicamente, concentrada na faixa litorânea do Continente, não avançando muito em direção ao interior.

Contudo, o que determinou a localização das primeiras unidades de produção de açúcar não foi apenas a proximidade com o mar, mas, sobretudo, a disponibilidade de água doce. Nesse sentido, as margens dos rios foram áreas muito requisitadas por aqueles que desejavam construir engenhos de açúcar. A água proveniente dos rios, além de essencial para o abastecimento dos colonos e de seus animais de tiro, era também imprescindível para o crescimento da cana-de-açúcar, de modo que muitos engenhos usavam a irrigação artificial

para suprir as necessidades da planta. Outra função dos rios era servir de via de transporte para o açúcar, que, devido às limitações das estradas por terra, eram mais seguros e rápidos.

No entanto, a principal função dos rios para os engenhos não estava na agricultura e nem no transporte, mas sim no próprio processo de manufatura. Para os portugueses, a água não servia apenas para embeber o caldo e lavar a cana-de-açúcar, mas também para mover as engrenagens das moendas das unidades que utilizavam a força hidráulica, e que ficaram conhecidas como engenhos reais.

Com efeito, esses foram os motivos que justificaram a preferência dada aos engenhos, pela Coroa Portuguesa, na concessão de sesmarias localizadas às margens de corpos de água. Os canaviais ocuparam as principais áreas próximas aos rios, em detrimento de outras atividades, e passaram a dispor livremente dos recursos nelas disponíveis. Segurados pelos direitos de propriedade, que lhes davam a garantia de domínio das terras e também das águas, os senhores de engenho tinham poderes irrestritos sobre tudo aquilo que estivesse dentro dos limites de suas possessões.

O objetivo deste capítulo, portanto, é analisar a relação entre os engenhos reais e a água. Ou seja, como essas unidades utilizavam os recursos hídricos e quais os impactos ambientais da agroindústria canvieira em seus primórdios. Os documentos consultados apresentam relatos de desequilíbrios causados pela atividade nas margens dos rios, entre eles casos de escassez de água em comunidades a jusante dos engenhos, epidemias causadas pela multiplicação de vermes em barragens, e levadas utilizadas para suprir as necessidades da produção de açúcar. Ainda que não tenha sido possível aprofundar questões paralelas à pesquisa, como, por exemplo, a composição e destinação dos resíduos gerados pelos engenhos, o presente capítulo se justifica por lançar nova luz ao ainda pouco explorado estudo da gestão dos recursos hídricos pela agroindústria canvieira.

## 1.1 ENGENHOS REAIS E A ORIGEM DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA

A origem da agroindústria canvieira no Brasil está diretamente relacionada com a iniciativa portuguesa de edificação de engenhos movidos à água em suas colônias. Tendo em vista o incremento gerado por essas unidades na escala de produção do açúcar, os engenhos representaram o foco das primeiras ações de incentivo à manufatura da cana-de-açúcar por parte da Coroa.

Segundo Yoshinaga (2006), o primeiro documento a autorizar a produção do açúcar em terras de soberania portuguesa data de 1452 e foi outorgado pelo rei Dom João III em favor do navegador Diogo de Teive para fabricar o produto nas ilhas de Flores e Corvos. Instalado no Funchal<sup>1</sup>, esse engenho representou um importante avanço frente às alçapremas<sup>2</sup> e trapiches<sup>3</sup> que moeram as primeiras levas de cana-de-açúcar na Ilha da Madeira, pois utilizava a força hidráulica para mover suas engrenagens.

O engenho movido à água, chamado de engenho real, impunha maior velocidade e regularidade à moagem, aumentando a escala de produção. Nesse sentido, é esclarecedor o relato na introdução do livro de Antonil (1955):

Dos engenhos uns se chamam reais, outros inferiores vulgarmente enghocas. Os reais ganharam êste apelido, por terem tôdas as partes, de que se compõem, e tôdas as oficinas perfeitas, cheias de grande número de escravos, com muitos canaviais próprios, e outros obrigados à moenda: e principalmente por terem a realeza de moerem com água, à diferença de outros, que moem com cavalos, e bois, e são menos providos, e aparelhados: ou pelo menos com menor perfeição e largueza, das oficinas necessárias, e com pouco número de escravos, para fazerem, como dizem, o engenho moente e corrente (ANTONIL, 1955, p.1).

O acréscimo gerado pela maior capacidade de moagem do engenho real instalado na Ilha da Madeira era importante para os portugueses, que almejavam ampliar a produção europeia de derivados da cana-de-açúcar. Foi na Ilha que eles puderam aprimorar os conhecimentos sobre o uso da força hidráulica que haviam adquirido poucos anos antes com os árabes na Península Ibérica (SCHWARTZ, 1985; NORONHA, 2005).

---

<sup>1</sup> Povoamento do arquipélago da Ilha da Madeira.

<sup>2</sup> Prensas manuais.

<sup>3</sup> Prensas movidas à tração animal.

Da Ilha da Madeira os portugueses levaram a cana-de-açúcar para os arquipélagos de Açores, Cabo Verde e São Tomé. Com o açúcar produzido nas ilhas do Atlântico, passaram a abastecer em grande escala o mercado europeu, o que levou a uma rápida redução no preço do produto. Segundo Simonsen (1977), em 1440, uma libra do produto, que era considerado um especiaria rara, custava 0,553 gramas de ouro. Em 1470, data não muito distante do início da produção nas ilhas, esse valor caiu para um terço de um grama de ouro.

Assim, foi na posição de principais produtores de açúcar no mundo que os portugueses trouxeram a cultura da cana-de-açúcar para o Brasil. Como observa Freyre (2007), sua introdução parece ter ocorrido em Pernambuco, dadas as evidências de que, em 1526, já se produzia ali açúcar que pagava imposto à alfândega de Lisboa. Oficialmente, a cana-de-açúcar foi introduzida na Colônia em São Vicente<sup>4</sup>, em 1532, por Martim Afonso de Souza.

Nas duas primeiras áreas de produção canavieira no Brasil, como nas demais áreas de expansão da cultura no século XVI<sup>5</sup>, a Coroa Portuguesa buscou estimular a construção de engenhos que seguissem os padrões estabelecidos na Ilha da Madeira. Decretou, para tanto, incentivos como ajuda de custos, isenções tributárias e franquias de transporte, além de autorizar a vinda de mestres de açúcar da Madeira, para o aperfeiçoamento do processo de produção na colônia (SCHWARTZ, 1985; FERLINI, 2003; YOSHINAGA, 2006).

Com os benefícios reais outorgados, a agroindústria canavieira se desenvolveu rapidamente no Brasil. Segundo Furtado (2007), no fim do século XVI, a produção de açúcar superava os 2 milhões de arrobas, sendo vinte vezes maior que a cota de produção estabelecida pelo governo português um século antes para suas ilhas no Atlântico. O montante de capital investido era considerável, admitindo-se a existência de 120 engenhos, a um valor médio de 15 mil libras esterlinas por engenho.

Considerando-se a grande capacidade de moagem desses engenhos e o elevado custo médio desses empreendimentos, muito acima daquele estimado para os trapiches, pode-se concluir que a maioria dos engenhos moentes e correntes<sup>6</sup> aproveitavam a força hidráulica. Corroboram tal observação os dados apresentados pelo relatório de Van der Dussen (1947). Segundo o autor, em 1639, o Brasil possuía 122 engenhos, dos quais 69 eram movidos por

---

<sup>4</sup> São Paulo.

<sup>5</sup> Segundo Magalhães (1953), no século XVI, houve outras sete áreas de produção de açúcar no Brasil: Bahia, Espírito Santo, Ilhéus, Itamaracá, Paraíba, Porto Seguro e Rio de Janeiro.

<sup>6</sup> Moente e corrente: expressão utilizada por Antonil (1955) para designar os engenhos em funcionamento.

água. Para o mesmo ano, os estudos de Gonçalves (2007) indicam que treze dos vinte engenhos da Paraíba utilizavam a água para movimentar suas moendas.

Nesse sentido, segundo Mont'Alegre (1974):

Uma conclusão se impõe desde logo, emergido de todo o bolo, é que o engenho, quando chegou ao Brasil, se tornou uma empresa cara. O engenho, não o trapiche. O engenho de água era, a seu tempo, uma promessa de fábrica, de indústria, ao passo que o trapiche, de tração animal, não tinha sequer uma roda, e era sobretudo uma expressão pura de exploração agrícola em estágio menos desenvolvido. Não obstante o sentido profundamente comunitário de que se revestia no Brasil, como no Caribe, tomado no sentido implícito de fábrica, regularidade de operação, o engenho foi uma manifestação típica do capitalismo mercantil que se praticava na época (MONT'ALEGRE, 1974, p.XI).

Devido aos elevados custos para instalação dos engenhos reais, sua hegemonia não durou mais do que duzentos anos no Brasil. Nos dois séculos que se seguiram, enquanto o engenho continuou a representar a principal unidade de processamento de cana-de-açúcar, a força animal parece ter sido a mais difundida. Somente em épocas de conjuntura positiva, como foram o século XVI e a primeira metade do século XVII, o ganho de escala parece ter incentivado os senhores de engenho.

De acordo com Ferlini (2003), o custo de uma roda de água, no século XVIII, girava em torno de 9.000 cruzados, e sua implantação exigia ainda dois ternos de caldeira para processar o caldo obtido. Um trapiche completo, porém, custava por volta de 6.000 cruzados e exigia menor grau de habilidade técnica para sua manutenção. Segundo a mesma autora, houve outro fator importante para o declínio dos engenhos reais: a interiorização da produção pelo desgaste das terras e pela falta de lenha. No século XVIII, a cultura da cana-de-açúcar foi deslocada das regiões ribeirinhas para novas áreas de plantio e os engenhos acompanharam esse movimento.

O relato de Rocha Pita, em História da América Portuguesa, de 1750, citado por Simonsen (1977), parece confirmar a hipótese da autora. Dizia ele:

... porque as canas, que se moem próprias ou obrigadas, e se cultivam em terras de massapé mais legitimo, ou se plantam de novo em outras menos cansadas e mais distantes das praias (causa por que lhes chamam propriedades do mato, por diferença das outras, que se dizem da beira mar) são maiores no cumprimento, grossura, e distancias dos nós, e teem mais succo, que nascem em terrenos de muitos annos cultivados, como são todas as fazendas, que ficam perto dos rios, e pela sua vizinhança... (SIMONSEN, 1977, p.109).

O deslocamento da produção de açúcar para áreas distantes das ribeiras teve, como consequência, uma redução ainda maior no número de engenhos reais no século XIX. Por isso, a partir de levantamentos realizados entre 1854 e 1857, quando os engenhos movidos à força hidráulica representavam apenas de 19 a 31% dos moentes e correntes em Pernambuco, Eisenberg (1977) concluiu ter sido pequena a participação dessa força motriz.

Não obstante, a partir de dados relacionados ao período estudado por Eisenberg, Lima (2007) observou, em sua pesquisa, que o autor havia subestimado a importância dos engenhos reais pernambucanos, desconsiderando a irregularidade na distribuição dos rios na Zona da Mata. Portanto, mesmo representando parcela pequena da agroindústria canavieira, os engenhos reais estavam localizados nos grandes pólos de produção de açúcar.

Nesse sentido, é válida a análise do caso de Jaboatão, localizado na Mata Sul de Pernambuco, que no ano de 1857 possuía uma configuração completamente diversa daquela apresentada por Eisenberg (1977). Dos seus 47 engenhos, mais da metade utilizava a força hidráulica, como demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 – Engenhos de açúcar em Jaboatão, Pernambuco, no ano de 1857.

Força Motriz	Quantidade	Percentual
Água	25	53,2
Animais	18	38,2
Vapor	2	4,3
Não especificado	2	4,3
Total	47	100%

Fonte: Mello (1972, p.607).

Contudo, apesar da sua importância numa das principais áreas de produção de açúcar da época, em meados do século XIX, os engenhos reais já estavam com os seus dias contados no Brasil. Com a difusão da máquina a vapor, as rodas de água perderam definitivamente o seu espaço na agroindústria canavieira.

Embora a primeira máquina a vapor tenha sido instalada em um engenho brasileiro em 1815, em Mata-Paciência, Bahia, a generalização do seu uso foi muito lenta. O principal motivo para a demora parece ter sido a falta de crédito disponível para os senhores de engenho.

Contudo, ainda que de forma controvertida, não faltaram críticas à tecnologia e defensores da manutenção das rodas de água.

Tollenare (1978), em sua visita ao Brasil, em 1816, foi um dos que tentaram convencer os senhores de engenho das desvantagens da máquina a vapor. Sobre o insucesso de sua explanação, escreveu:

Quando lhes disse que estas máquinas não lhes serviriam de nada, a sua linguagem mudou de tom; e minha observação foi provocada por uma declaração sobre a mania dos europeus por todas as suas novas invenções, e não mais me falaram da superioridade do gênio português sobre estes parvos inventores. Quando quis expor o motivo que me fazia preferir as rodas de água; quando entrei nos detalhes sobre o consumo de lenha, a conservação do maquinismo, o juro do capital empregado nestes poderosos instrumentos, complicados e dispendiosos, comparados com a simplicidade e a economia das suas belas cachoeiras e mesmo a dos seus numerosos cavalos, tão baratos e tão fáceis de nutrir, não tive mais ouvintes (TOLLENARE, 1978, p.72).

Corroborando Tollenare, Taunay (1839), no Manual do Agricultor Brasileiro, aconselhava aos agricultores a não adoção das máquinas a vapor, alertando para o consumo excessivo de lenha como combustível, para os altos custos de manutenção do maquinário importado e para os seus riscos de explosão.

Contudo, apesar da validade dos argumentos, a mudança era inevitável. A agroindústria canavieira brasileira estava perdendo competitividade no cenário internacional e precisava aumentar a qualidade e a escala da sua produção. Para tanto, a difusão do motor a vapor era essencial, o que ocorreu a partir da década de 1870, quando o governo imperial passou a assegurar o crédito para a modernização do setor.

## 1.2 ENGENHOS REAIS E O APROVEITAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Segundo Viaro (2007), o termo português engenho deriva do francês *ingéniosité*. O vocábulo, que passou a ser utilizado a partir do século XIV, designava, primariamente, uma qualidade particular a certa pessoa ou grupo: o talento. Quando, em português, passou a ser empregado também para qualificar o maquinário usado na fabricação do açúcar, o termo engenho remetia à capacidade diferenciada das pessoas que o desenvolveram.

Nesse sentido, Quintas (2007, p.58), oferecendo uma explicação para sua origem, assinala que o termo engenho “refere-se à dimensão engenhosa que os mouros atilaram na construção da moenda, pois se tratava de um mecanismo habilidoso e astuto, cujo funcionamento dependia de uma engrenagem à base de encaixes”.

Os árabes foram grandes produtores de açúcar durante séculos, desenvolvendo conhecimentos na área de manejo da cultura que lhes permitiram levar seus canaviais a quase todas as suas colônias africanas e européias. No entanto, pode-se afirmar que a maior contribuição técnica que fizeram para a agroindústria canvieira mundial foi o desenvolvimento da azenha, ou moinho de água (FREYRE, 1963; NASTARI, 1983; CHIEN, 1993; MACINNIS, 2003).

Diferentemente das alçapremas e trapiches, esses moinhos de água dependiam de um mecanismo mais complexo, composto por engrenagens e encaixes que retardavam a velocidade do movimento da roda exposta à força da água, como se depreende do detalhamento feito por Gomes (1997):

A roda d'água, sempre na vertical, tinha o diâmetro de aproximadamente sete metros. Acoplada ao mesmo eixo da roda d'água havia uma outra roda menor, dentada, chamada rodete, que transmitia o movimento a uma roda maior, esta horizontal e com o mesmo diâmetro da roda d'água e que se chamava de bolandeira. O número de dentes do rodete era de um terço dos que tinha a bolandeira. Assim, quando o rodete, girava três vezes a bolandeira girava uma só. O eixo vertical da bolandeira, revestido de um cilindro dentado e reforçado com aros de ferro, transmitia o movimento a outros dois cilindros paralelos, um de cada lado, igualmente dentados e reforçados. Entre esses cilindros é que passava a cana (GOMES, 1997, p.14).

Durante a ocupação árabe da Península Ibérica, os portugueses aprenderam a construir as azenhas para processar a cana-de-açúcar. Esses moinhos de água, segundo o comentário de Quintas (2007), por serem maiores e possuírem exigências técnicas mais sofisticadas, passaram a ser denominados engenhos. Daí a origem do uso do termo para designar, genericamente, as unidades de fabricação de açúcar.

Na mesma época em que o termo engenho passou a ser comumente empregado, os portugueses começaram a replicar, em suas próprias colônias, os conhecimentos adquiridos com os árabes sobre o aproveitamento da força hidráulica para a manufatura da cana-de-açúcar. E, na Ilha da Madeira, realizaram um primeiro ensaio, em uma unidade que ficou conhecida como Engenho do Príncipe.

Diante dos resultados positivos dessa experiência, a Coroa Portuguesa buscou estimular a construção de engenhos similares no Brasil. Assim, Dom Manuel, no Alvará de 1516, ordenou ao feitor e aos oficiais da Casa das Índias que procurassem para o Brasil “um homem prático e capaz de ali dar princípio a um engenho de açúcar e que lhe dessem sua ajuda de custo e também todo ferro, cobre e mais coisas necessárias” (MONT’ALEGRE, 1974, p. 10).

Mesmo assim, somente no ano de 1534 foi construído o primeiro engenho com incentivo oficial no Brasil. Na ocasião, Martim Afonso de Souza edificou em São Vicente uma unidade de produção de açúcar que usava como força motriz uma roda de água e que ficou conhecida como Engenho do Governador (MAGALHÃES, 1953).

A partir dessa iniciativa embrionária ao final do século XVI, foram construídos no Brasil, pelo menos, outros sessenta engenhos que também usavam a força hidráulica. Sendo que um dos últimos, construído por Martim Leitão na Capitania da Paraíba, em 1587, recebeu um nome bastante sugestivo: Engenho D’El Rei (VAN DER DUSSEN, 1947; GONÇALVES, 2007).

O Engenho D’El Rei, na Paraíba, o Engenho do Governador, em São Vicente, e o Engenho do Príncipe, na Ilha da Madeira, possuem nomes que evidenciam o reconhecimento dos senhores de engenho aos estímulos da Coroa Portuguesa para construção de engenhos movidos por rodas de água. A generalização desse juízo é uma hipótese para o surgimento do nome engenho real, no século XVII.

Outra teoria, nas palavras de Antonil (1955, p.1), seria o fato de esses engenhos “terem a realeza de moerem com água”. Não se trata aqui de finalidade nobre ou da disponibilidade do recurso, mas do seu domínio. Como os rios de maior volume eram de propriedade da Coroa, os engenhos reais que aproveitavam suas águas dependiam de concessão régia para funcionarem, o que configurava uma relação de privilégios.

Assim, segundo Gama (1983), quando Dom João III conferiu a Diogo de Teive o direito de construir um engenho na Ilha da Madeira, também expediu um documento de concessão de uso das águas, que eram parte do patrimônio real, conforme constava nas Ordenações Afonsinas, Livro 2, Título XXIV § 5<sup>7</sup>:

E as estradas e ruas públicas, antigamente usadas e os rios navegáveis, se são caudaes que corram em todo o tempo. E posto que o uso das e estradas e ruas públicas, e dos rios seja igualmente comum a toda a gente, e ainda a todos os

---

<sup>7</sup> O mesmo dispositivo também aparece no Livro 2 das Ordenações Manuelinas e Filipinas.

animais, sempre a propriedade d'elles fica no patrimônio real (GAMA, 1983, p. 129).

A concessão de uso das águas outorgada aos engenhos reais era uma iniciativa excludente. Na prática, inviabilizava outras atividades econômicas nas margens dos rios, que eram tomadas pelos canaviais. No entanto, como se observa em documentos régios do século XVI, essa prerrogativa era parte dos objetivos da Coroa.

Nas instruções de Dom João III a Tomé de Souza no Regimento de 17 de dezembro de 1548, que Calmon (1943), no título de sua obra, chama de “Primeira Constituição do Brasil”, o rei ordena que, nas doações de sesmarias próximas às margens dos rios, fosse concedida prioridade àqueles que tivessem condições de construir engenhos de açúcar.

No mesmo sentido, Dona Catarina, em nome de Dom Sebastião, por meio do Alvará de 19 de outubro de 1562, ordenou Simão Gonçalves da Câmara, Capitão da Capitania do Funchal, a fazer um levantamento do uso das águas da Ilha da Madeira, de modo que:

(...) quanto a pessoas que tem cabimento nas levadas, e que por não percizarem de Agoa a costumão vender, ou arrendar, para regar vinhas, tivessem n'este caso de arrendamento preferencial as pessoas que cultivassem canaviais, ou engenhos ... (BRASIL, 1954, p.165).

Os dois documentos comprovam a preferência dada à produção canavieira no aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis nas colônias portuguesas. Para os engenhos reais, a ocupação das margens dos rios era necessária sob todos os aspectos que envolviam a produção agrícola da cana-de-açúcar, a manufatura do açúcar e o transporte do produto processado.

### 1.2.1 A importância da água para produção agrícola da cana-de-açúcar

Sob a perspectiva da produção agrícola em um engenho real, o principal determinante para a escolha das áreas nas margens dos rios era sua qualidade edafoclimática. A cana-de-açúcar não é uma cultura muito exigente, mas demanda algumas condições específicas para o seu desenvolvimento.

Segundo Barela (2005), a brotação da planta ocorre em circunstâncias ótimas de 32°C, sendo paralisada em temperaturas inferiores a 21°C. Quanto ao seu crescimento, o clima deve variar entre 30 e 34°C, fora desse espectro é mais lento ou nulo. Os solos ideais para cultura são aqueles de boa fertilidade, profundos, argilosos, com boa capacidade de retenção de água e pH entre 6,0 e 6,5.

Os engenhos reais buscavam condições de clima e solo com essas características, por isso, no Brasil, a cultura da cana-de-açúcar desenvolveu-se inicialmente nas faixas e ilhas de chuva, e nas zonas mais próximas da Costa ou dos rios navegáveis. Além dessa faixa o clima era semi-árido e os solos mais pobres, impedindo o cultivo da cana em larga escala (AZEVEDO, 1950).

Antonil (1955), tratando da importância dos tipos de solos para a produtividade nos engenhos reais baianos, dizia:

As terras boas e más, são o fundamento principal para ter um engenho real bom, ou mau rendimento. As que chamam massapés, terras negras, e fortes, são as mais excelentes para a planta da cana. Seguem-se atrás destas os salões, terra vermelha, capaz de poucos cortes; porque logo enfraquece. As areiscas, que são uma mistura de areia, e salões, servem para mandioca, e legumes; mas não para canas. (ANTONIL, 1955, p. 67).

Conforme indica o autor, quanto mais distantes as terras em direção ao interior do País, menos favoráveis à cultura da cana-de-açúcar. De fato, em relação aos demais solos, além de outros atributos físico-químicos, o massapé tinha como vantagens a proximidade com a água do rio e a alta capacidade de retenção desse recurso (SCHAEFER, MARQUES e CAMPOS, 1997).

Essas características foram importantes para que o massapé fosse escolhido como o terreno natural dos engenhos reais. Segundo Marchiori (2004), o equilíbrio hídrico no sistema solo-raiz é um elemento fundamental na cultura da cana-de-açúcar. O excesso de água no solo altera processos químicos e biológicos, limitando a quantidade de oxigênio e acelerando a formação de compostos tóxicos à raiz. Por outro lado, a percolação intensa da água provoca remoção de nutrientes e inibição do crescimento normal da planta. Embora importantes, os excedentes hídricos não apresentam a mesma ordem de grandeza de problemas quando comparados à seca, sendo a deficiência hídrica a principal causa de decréscimos de produtividade da cultura.

Argenton (2006) assinala que a disponibilidade de água é o mais importante fator edafoclimático para a cana-de-açúcar. Devido à demanda hídrica da planta durante os períodos de brotação, perfilhamento e crescimento vegetativo, a ausência de água pode acarretar graves perdas na produtividade da colheita<sup>8</sup>.

Desse problema, entretanto, não padeciam as áreas de massapé, pois apesar de limitada a prática da irrigação artificial nos engenhos reais, essas áreas costumavam ser beneficiadas pelas enchentes dos rios. Gonçalves (2007) relata que a ocupação das várzeas do rio Paraíba, onde nasceu a agroindústria canavieira na província de mesmo nome, foi muito favorecida pelas inundações periódicas que regavam seus terrenos argilosos.

Schwartz (2005) também considera importantes as enchentes nas várzeas do Recôncavo Baiano e de Pernambuco. Contudo, o autor assinala que o principal meio de irrigação nas áreas de canaviais em massapés eram as chuvas, que molhavam as terras dos engenhos reais na proporção de 1.000 a 2.000 mm por ano.

### 1.2.2 A importância da água para manufatura do açúcar

Para a manufatura do açúcar era ainda mais significativa a importância da ocupação das margens dos rios. Além do próprio movimento das rodas de água, que giravam as moendas, havia ainda a demanda por recursos hídricos nos setores de cozimento e purgação dos engenhos reais.

Segundo Ferlini (2003), havia três artes e três problemas técnicos na seqüência operacional da produção açucareira: a moagem, o cozimento e a purgação. Cada uma dessas atividades era decomposta em operações particulares, isoladas e individualizadas, que exigiam trabalhadores com dedicação exclusiva.

Gama (1983), analisando as características desse processo, observou que os engenhos de açúcar foram algumas das primeiras manufaturas organizadas como tal, pois utilizavam o

---

<sup>8</sup> Contrariamente ao que ocorre na fase de maturação da planta, quando demanda uma estação de seca para o seu repouso fisiológico e para a acumulação da sacarose nos colmos.

trabalho coletivo e não apenas reunia ofícios diferentes. O escravo já era requisitado como força de trabalho especializado, como trabalhador coletivo.

Com efeito, era na moagem que estava o princípio dessa divisão do trabalho, e era justamente nessa etapa que os engenhos reais se destacavam. Segundo os relatos de Antonil (1955), para a condução de um engenho trapiche eram necessários mais trabalhadores e mais tempo. No mínimo, dez escravos se encarregavam do processo, que era obrigado a parar constantemente para que os animais de tiro revezassem.

Em um engenho real, entre os oito escravos que limpavam a cana e as inseriam nas moendas, a principal força a trabalhar era a hidráulica, que não demandava repouso. Para compreender como a água executava o seu papel no processo, vale o relato de Brandônio, em *Diálogos das Grandezas do Brasil* (1977):

[Os engenhos reais] se alevantam ao longo de rios caudalosos, e ainda fazem grandes tanques para represa dela, para assim poderem moer com mais força d'água, e nestes tais engenhos, depois de a cana-de-açúcar moída entre dois grandes eixos que fazem mover uma roda, em que fere a água com força, se espreme o bagaço que dali sai debaixo de uns grandes paus, a que chamam gangorras, que fazem apertar com força de bois, onde larga e lança de si o tal bagaço todo o sumo que cana tinha, o qual se ajunta em um tanque, e dali o lançam em grandes caldeiras de cobre... (DIÁLOGOS, 1977, p. 127)

Depois de moída a cana, iniciava-se o processo de cozimento. Nele, o caldo extraído da planta era acomodado sobre tachos de cobre, para melar e cozer. Nessa etapa, os escravos caldeiros inseriam pequenas quantidades de água para que não queimasse a massa e retiravam suas impurezas com grandes escumadeiras de ferro (FERLINI, 2003).

As partes indesejadas removidas da massa pelos caldeiros formavam aquilo que se denominava cachaça. Segundo Tollenare (1978), esse efluente costumava ser despejado em cochos para a alimentação animal, conforme relata ter visto o autor em sua visita ao Engenho Salgado na Bahia, em 1816:

Num cercado contínuo estão 100 cavalos de reserva para as mudas; aproximam-se todos da construção em que estão as caldeiras a fim de se abeberarem n'água em que se deita as espumas açucaradas de que gostam extraordinariamente (TOLLENARE, 1978, p.44).

No entanto, como a própria citação indica, o Engenho Salgado era movido à força animal. Nos engenhos reais, parece pouco provável a alimentação extensiva de animais com a cachaça. Nesses, mesmo os animais de tiro eram evitados, sendo os eqüinos considerados

animais pouco úteis e o gado vacum insuficiente para “o serviço dos engenhos, gastos dos açougues e fornecimento dos navios” (CASAL, 1833, p.47, apud FEYRE, 1963, p.100).

Nesse sentido, foi em razão das demandas dos senhores de engenho que a Carta Régia de 1701 limitou legalmente as fronteiras da grande criação de animais, empurrando-as para longe das áreas de canaviais, ao estabelecer uma faixa de mais de dez léguas de distância da costa como sendo a permitida para a atividade (MOREIRA e TARGINO, 1997).

Como não era usual o aproveitamento da cachaça nos campos, o mais provável é que fosse despejada nos corpos de água. Contudo, apesar de considerada “imundícia” por Antonil (1955, p.104), seu volume era muito reduzido, o que não provocava maiores danos aos rios caudalosos que cortavam os engenhos reais, devido ao processo natural de autodepuração dos sistemas aquáticos.

Retirada a cachaça e cozido o caldo, despejava-se o melado resultante em recipientes com formato de cone. Colocados invertidos em andaimes, os cones, chamados de pães de açúcar, começavam a purgar<sup>9</sup> e pingavam pelo furo que tinham em suas bases aquilo que formava o primeiro mel, também chamado de mel-de-furo<sup>10</sup>.

Segundo o relato de Rocha Pinto (1750), citado por Simonsen (1977):

[O mel-de-furo] destila outra especie de mel, que chamam remel, do qual se fazem outras manufaturas; quando os senhores de engenho não querem usar destes inferiores gêneros de assucar, vendem os meles aos fabricantes das aguas ardentes, que em pipas, e toneis os levam para as suas officinas, onde tendo-os algum tempo em certa infusão, os põem a cozer em alambiques, cuja destillação é agua ardente... (ROCHA PINTO, 1750 apud SIMONSEN, 1977, p. 109).

Era a partir do mel-de-furo e de parte do caldo que descuidadamente sobrava na cachaça, que se produzia a aguardente. Mas deve-se considerar que nem todos os engenhos reais contavam com destilarias funcionando em áreas próximas. Além disso, costumava ser arriscada para os grandes fabricantes de açúcar a manutenção de destilarias em suas unidades de produção.

Apesar de funcionar como uma boa moeda de troca na comercialização de escravos com a África, a aguardente deixou de ser produzida em muitos engenhos reais, pois alguns deles

---

<sup>9</sup> O termo “purgar” refere-se ao processo de separação do mel que envolve os cristais de açúcar, pela ação da gravidade.

<sup>10</sup> O termo mel-de-furo, ainda hoje, designa o melaço nas zonas produtoras.

chegavam a contar com duzentos escravos em suas senzalas, tendo para controlá-los pouco mais de dez homens livres. Por isso, segundo Antonil (1955), não era recomendável a fabricação do produto.

Conforme assinala Lins (1986), nos engenhos reais que não produziam a aguardente e não vendiam o mel-de-furo, o rio era o destino natural deste subproduto. Mas, assim como ocorria com a cachaça, seu volume era pequeno e possuía impacto limitado sobre a vida nos corpos de água que recebiam seus despejos.

### 1.2.3 A importância da água para o transporte do açúcar

Pesado e encaixotado, o açúcar produzido nos engenhos reais era transportado para os portos mais próximos. Por terra os caminhos eram difíceis e perigosos. Por isso, os transportes hidroviários foram muito valorizados (MELO, 1975; SCHWARTZ, 2005; SANTOS, PEREIRA e ANDRADE, 2007)

Segundo Goulart (1959), dos meios de transporte por água, o menos útil ao escoamento da produção dos engenhos foi a jangada. Por sua própria estrutura, essa embarcação não oferecia suficiente resguardo para o açúcar. Mesmo assim, a escassez de meios de transporte em relação ao volume da produção dos engenhos fez com que muitas caixas de açúcar fossem transportadas em jangadas.



Figura 3 - Jangada.

Fonte: Goulart (1959).

No entanto, a principal função dessa embarcação era mesmo a pesca. Por isso, esteve quase que limitada ao pedaço de rio de dentro do engenho. Só excepcionalmente, era usada para viagens mais longas, que eram preferencialmente feitas em outras embarcações.

A canoa merecia a preferência dos fabricantes de açúcar para transportar seus produtos. Era mais rápida, oferecia maior proteção às caixas e tinha maior capacidade de carga. Na época dos engenhos reais, centenas de embarcações desse tipo cortavam os rios, quase sempre carregadas de açúcar e cana, mas também de lenha. No mar, pouco se aventuravam por questões de estabilidade.



Figura 4 - Canoa.

Fonte: Goulart (1959).

Antes do surgimento dos veículos modernos, as canoas foram os veículos mais úteis no transporte de açúcar. Construídas muitas vezes no próprio engenho, com madeiras da mata da propriedade, as canoas enchiam o porto e os escravos enchiam-nas de açúcar. Carregavam grandes pesos e faziam a viagem de entrega com relativa facilidade, porque era sempre descendo o rio que navegavam a carga. De volta, traziam carregamento mais leve e variado: sal, ferragens e miudezas para o engenho.

A função da canoa no engenho foi muito grande, pois além de servir na pesca e na travessia do rio, era o meio de transporte preferido dos ocupantes da casa-grande, sendo muito mais confortável que os barulhentos e vagarosos carros-de-bois. Mesmo quando a fidalguia dos engenhos substituiu a casa-grande rural pelo sobrado citadino, era principalmente em canoa que os coronéis andavam em suas visitas ao interior (FREYRE, 1963).

Seja em atividades econômicas ou sociais, portanto, a canoa foi utilizada intensamente, mas com o surgimento da barcaça sua posição sofreu forte abalo. A canoa só não foi esquecida porque a barcaça não tinha a mesma facilidade para navegar nos rios. Na ocasião, o rio do engenho deu sobrevida à canoa (GOULART, 1959).

A barcaça foi o transporte aquático menos presente dentro dos limites dos engenhos reais. Nunca se prestou para certos serviços impostos à jangada e à canoa, como a pesca. Na grande maioria das vezes, era propriedade de comerciantes de transporte que vendiam praça (espaço na embarcação) para os volumes. Com seu grande porte, construção e manutenção dispendiosa, era quase sempre anti-econômico possuí-la, sendo preferível o aluguel. Mesmo assim, segundo Andrade (1959), nas baixas dos vales do Coruripe, Jiquiá e São Miguel, nas Alagoas, era o único meio de transporte disponível.



Figura 5 – Barcaça com carga de açúcar.

Fonte: Goulart (1959).

Apesar de suas limitações, a contribuição da barcaça acabou sendo inestimável para os engenhos reais, não só pela sua capacidade de carga, muito maior do que a de qualquer jangada ou canoa, como pela segurança e proteção oferecidas aos volumes, devido ao seu tamanho, e, ainda, pela velocidade. Constituiu o navio por excelência dos viajantes aquáticos, não só nos trechos dos rios onde navegava, como especialmente no mar, onde sua presença foi mais freqüente (FREYRE, 2003; SCHWARTZ, 2005).

Além disso, a barcaça desbancou quase totalmente as outras embarcações numa função social muito importante: transportar passageiros em viagens mais longas. Não só pelo conforto que ofereciam seus camarotes, mas também pelo status. Somente nos portos maiores havia navios a lhe fazer concorrência, mas nos pequenos portos e nos pedaços de rios que navegavam, as barcaças eram absolutas (GOULART, 1959).

O trem e o caminhão reduziram o prestígio da barcaça, mas não conseguiram eliminá-la de todo, pois ela sobreviveu ao fim do período dos engenhos reais e à instalação das usinas. Ainda hoje, mesmo que motorizada, ainda é possível encontrá-la onde sua navegação é possível.

### 1.3 ENGENHOS REAIS E O DOMÍNIO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Diante das vantagens oferecidas pela capacidade produtiva dos engenhos reais e da necessidade de água para as atividades que envolviam a produção de açúcar, os portugueses buscaram as margens dos rios, como o local natural para darem início à agroindústria canavieira no Brasil. Nesse sentido, tratando da localização do início da cultura da cana-de-açúcar na Colônia, Freyre (2004) assinala:

A lavoura da cana no Nordeste – e pode-se acrescentar, no Brasil – parece ter começado nas terras de Itamaracá, à beira da água doce, como também da salgada; das duas águas ao mesmo tempo. E quando depois se regularizou, com Duarte Coelho, foi para acompanhar as “terras vizinhas das ribeiras” (Freyre, 2004, p.58).

No mesmo texto, o autor afirma que estava próximo às águas de um rio o engenho patriarcal de Jerônimo de Albuquerque<sup>11</sup>, o primeiro construído em Pernambuco. Nesse sentido, valem as palavras de Mário Sette, citadas por Magalhães (1953, p.30), sobre a localização do São Salvador: “Nas colinas olindenses, à sombra dos laranjais de teínicas perfumadas, captadas as águas correntes do Beberibe para o entremover da roda da moenda”.

No levantamento realizado pelo Instituto do Açúcar e do Alcool (1954) sobre a documentação que compõe a história do açúcar no Brasil, fica ainda mais clara a importância dos rios na escolha de terras para ocupação dos primeiros engenhos. Há trechos de documentos régios que confirmam essa relação, sendo o primeiro deles encontrado no Regimento de 17 de dezembro de 1548 do Governador-Geral do Brasil. Ao falar sobre a ocupação das terras de sesmarias<sup>12</sup> na Bahia de Todos os Santos, o rei Dom João III fez saber a Tomé de Souza que:

As agoas das ribeiras que estiverem dentro do dito termo em que ouuer desposição para se poderem fazer engenhos daçuquares ou doutras quaesquer cousas dareis de sesmarias livrimente sem foro allgum e as que deres pera enjenhos daçuquares sera pesoa tenha possibilidade pera os poderem fazer dentro no tempo que lhe limitardes [...] (BRASIL, 1954, p.50).

---

<sup>11</sup> O engenho São Salvador, em lugar hoje chamado de Forno da Cal.

<sup>12</sup> Sobre as sesmarias no Brasil, recomenda-se a leitura do trabalho de Neves (2001).

O tempo a que se refere o documento são os três anos necessários de benfeitorias nas terras e águas concedidas pela Coroa aos sesmeiros<sup>13</sup>. Durante o período, a donataria recebida não podia ser vendida ou doada e seu donatário era obrigado a construir uma torre ou casa forte. Cumpridas as exigências reais no tempo determinado, era expedida a Carta Régia de Confirmação de Sesmaria, documento que servia como título de propriedade imobiliária.

O processo de doação das sesmarias era parte de uma política de fixação colonial no Brasil. Após a comprovação de interesse do futuro sesmeiro, lhe era outorgada a Carta de Sesmaria que, por seu caráter precário, exigia do donatário providências no sentido de ocupação da terra. Os atos burocráticos desse processo foram assim descritos Junqueira (1976):

O pedido recebia as informações do provedor da Fazenda Real no município de situação das terras, e do procurador da coroa, subindo assim instruído a despacho final. Deferido, lavrava-se na Secretaria de Estado a carta de sesmaria, como um título provisório, cabendo ao interessado suplicar ao rei, dentro em três anos, a carta de confirmação, que era o título definitivo [...] A concessão da carta da sesmaria se fazia para que o concessionário usufrísse as terras como suas próprias [...] (JUNQUEIRA, 1976, p.69).

Não havia segurança jurídica na concessão do título definitivo, que dependia da anuência real. No entanto, a necessidade de colonização da terra limitava os atos de extravagância da Coroa. Essa premência na ocupação do território é perceptível na parte final do texto da carta de 10 de janeiro de 1586, em que o Ouvidor-geral Martim Leitão e o Capitão e Governador, interino, da Paraíba, João Tavares, concedem sesmaria a João Affonso Pamplona, primeiro sesmeiro da capitania. Após arbitrar a localização do empreendimento, o documento aponta: “Hoje a dez de Janeiro de oitenta e seis annos, com tanto que a povoe logo e aproveite e não tendo ali agoa para Engenho poderá tomar aonde achar mais perto ainda que seja salgada” (LINS, 1996, p.14).

No que diz respeito à aplicação do sistema sesmarial no Brasil, esse trecho da carta é muito sugestivo, demonstrando que não bastava a concessão de terras em grande quantidade para erguer os engenhos, mas que era também necessária a existência de água. Seja para a irrigação do canavial, o transporte do açúcar, o acionamento das engrenagens dos engenhos ou ainda como orientação cartográfica para demarcação das terras, a água foi essencial ao sistema de colonização do Brasil, que teve na atividade açucareira seu principal elemento de atração durante alguns séculos.

---

<sup>13</sup> O substantivo sesmeiro, diferentemente de Portugal, onde denominava o agente do poder público, significava no Brasil o donatário da sesmaria.

Consciente desse fato, João Affonso Pamplona ressaltou, em seu pedido, a preocupação que tinha com as reservas de água para o engenho que pretendia construir às margens do rio Paraíba, na confluência com o Rio Una. Essa mesma preocupação reaparece, em 1613, na petição de Ambrósio Fernandes Brandão, indicando que possuía dois outros engenhos e que pretendia construir um terceiro na ribeira do Gargaú, mas que, “lhe era necessário mais terras do que as que tinha, assim para lenhas como para logradouro dos ditos engenhos, requeria a concessão de duas ilhotas, que estão entre o rio que chamam do Francez e o Rio Gargaú” (TAVARES, 1982 apud GONÇALVES, 2007, p. 178).

A distribuição de terras próximas aos rios era a garantia, tanto da Coroa quanto dos sesmeiros, de que os engenhos seriam instalados. Isso se comprova nas primeiras concessões de propriedade das sesmarias. Na Carta Régia de 10 de novembro de 1565 de Confirmação de Sesmaria, por exemplo, Dom Sebastião, ao tratar da terra concedida a Egas Moniz Bandeira para a instalação de um engenho de açúcar, descreve da seguinte maneira a propriedade imobiliária: “Uma legua de terra em quadra com uma água para um Engenho, e uma Ilha, que se chama dos Francezes” (BRASIL, 1954).

Nesse sentido, Freyre (2004) assinala que:

As sesmarias e as datas concedidas por Duarte Coelho e pelos seus sucessores seguiram em Pernambuco as várzeas e as margens dos rios, tendo Iguaçú, Olinda, Beberibe, Casa-Forte, Várzea, como os seus primeiros pontos de fixação e a cultura da cana como a sua base. Seguiram os vales do Capibaribe, na direção de Pau-d’Alho. Seguiram os vales do Ipojuca. Aprofundaram-se nas terras argilosas para se estenderem ralas e superficiais, pelas terras mais secas do centro, donde os rios só faziam procurar descer para a “mata” e para o mar (FREYRE, 2004, p. 61).

Segundo Gonçalves (2007), a situação da ocupação das áreas próximas aos rios não era muito diferente na bacia hidrográfica do Paraíba. Após a edificação do primeiro engenho na capitania, em 1587, a proliferação de canaviais e fábricas ocorreu rapidamente, tendo, em torno de 1617, atingido uma área que se estendia por 60 km sertão à dentro. Por volta de 1624, a várzea do Paraíba já estava toda povoada de cana-de-açúcar e engenhos. Paralelamente, as várzeas dos outros rios também estavam sendo ocupadas.

Diante da grande demanda pelas margens dos rios, em pouco tempo surgiram litígios sobre o domínio dos recursos hídricos. Como relata Sousa (1971), isso ocorreu já no final do século XVI, em Salvador, na enseada de Jacarema, apesar da fartura de sua rede hidrográfica:

Esta enseada está em feição de meia lua e terá, segundo afeição de terra, duas léguas na qual está uma ribeira d'água em que se pode fazer um engenho, o qual se deixa de fundar por se não averiguar o litígio que sobre ele há; e toda esta enseada à roda, sobre a vista da água está povoada de fazendas e formosos canaviais (SOUSA, 1971, p. 150).

O autor descreve ainda outros casos distantes da enseada de Jacarema, citando a região de Matoim e a margem do Carnaibuçu. Nessas duas localidades, que também faziam parte da capital administrativa da Colônia, havia mais dúvidas sobre a propriedade das águas e das terras em suas beiradas, apesar de não faltarem instrumentos jurídico-administrativos para dirimirem essas querelas.

No próprio Regimento de Tomé de Souza, de 17 de dezembro de 1548, Dom João III ordenou que as concessões de terras no Brasil fossem acompanhadas de seus competentes registros de propriedade. Na mesma data, por meio do Regimento de Provedores da Fazenda Real, também preceituou que:

Os ditos provedores cada hum em sua provedoria fará fazer hum livro que tera as folhas numeradas e asynadas por ele e que se registrarão todas as cartas de sesmarias de terras e agoaos que os capitães tiverem atee ora dados e ao diante derem e as pessoas a que já são dadas ditas sesmarias e ao diante se derem serão obrigadas as cartas das dytas sesmarias (GAMA, 1983, p. 357).

Portanto, aos senhores de engenho que se sentissem lesados em seus direitos de propriedade era possível peticionar aos provedores das capitanias. E, face à importância das questões pendentes sobre os domínios das terras e águas, as querelas podiam ainda ser avocadas pelo Provedor-Mor, segundo o mesmo Regimento:

Ey por bem que outro sy conheçais per auçao nova asy na capitania da Bahia como em qualquer outra onde fordes e estiverdes de toda las duvidas e feitos que se moverem sobre sesmarias e dadas de terras e agoaos e outras pessoas amte quaesquer outros partes e a sy podereis avocar a vos quaesquer feitos e causas que sobre as ditas dadas de terra e agoa se tratarem amte provedores e asy das apelações e agravos... (GAMA, 1983, p. 351).

Contudo, havia um problema de ordem prática na resolução dessas controvérsias. Apesar da Carta Régia de 27 de dezembro de 1695 ter definido as dimensões máximas das propriedades no Brasil<sup>14</sup>, até a expedição do Decreto de 20 de outubro de 1753, os títulos de Confirmação de Sesmarias não dependiam de medições e demarcações judiciais. Dessa forma,

---

<sup>14</sup> A Carta Régia limitava as dimensões das sesmarias a quatro léguas de comprimento por uma de largura. Essas dimensões foram alteradas pela Carta Régia de 7 de dezembro de 1697, que definiu o padrão de três léguas por uma, confirmado pelas Provisões Reais de 20 de janeiro de 1699 e de 19 de maio de 1729.

era muito complicado se definir a extensão de cada propriedade (SILVA, 2002; NORDER, 2004; NOZOE, 2006).

Como resultado da impossibilidade de delimitação das terras, havia grande insegurança jurídica e social. Para tentar contornar a situação, a Coroa Portuguesa editou o Alvará de 5 de outubro de 1695, que ordenava a suspensão das doações de sesmarias, bem como a demarcação das propriedades dos sesmeiros existentes à época. No entanto, diante das pressões dos senhores engenho e demais grandes proprietários, sua validade foi suspensa no ano seguinte (CARVALHO, 2004; RAMOS, 2006).

Além dos interesses políticos que sempre envolvem a questão agrária, o que motivou os senhores de engenho a se posicionarem contrariamente ao Alvará, que tentava ordenar o espaço rural, eram as limitações descritas no documento ao acesso dos recursos naturais. O Alvará não somente proibia o corte de madeiras em áreas de interesse da Coroa, como reduzia as dimensões das sesmarias localizadas nas margens dos rios navegáveis, que eram medidas inaceitáveis para os senhores de engenho (RESENDE, 2006; PINTO JÚNIOR e FARIAS, 2007).

Como comprova Prado Júnior (2004), as concessões de sesmarias nas regiões açucareiras do Brasil excederam, em muito, as necessidades de edificação dos engenhos reais, justamente para garantir águas para levadas e matos para as fornalhas. Aliás, em menor proporção espacial, também eram importantes as terras para os canaviais.

Nesse sentido, Ferlini (2002) assinala:

Uma sesmaria de duas léguas em quadra (menor que o usual, acima de três léguas) significava 8.712 hectares de terra. Ora, um engenho de grande porte moía, anualmente, cerca de 200 tarefas. Correspondendo cada tarefa a uma área plantada de 4.356 m<sup>2</sup>, a extensão das lavouras não excedia 90 hectares. Se considerarmos cada sesmaria apenas um engenho, a proporção de aproveitamento das terras era de 1%. Há que se considerar a necessidade de matas para abastecer de lenha as fornalhas, pesando na dimensão da data original (FERLINI, 2002, p. 26).

Segundo a autora, o abastecimento de lenha era tão importante para os engenhos reais que, na segunda metade do século XVII, quando proliferaram os trapiches, os senhores de engenho envidaram esforços para que a Coroa Portuguesa estabelecesse uma distância mínima de meia légua entre as unidades manufactureiras.

Com efeito, as dimensões das terras doadas em sesmaria serviam como garantia de acesso aos recursos naturais por parte dos engenhos reais. Além da madeira, a propriedade

territorial determinava o domínio dos senhores de engenho sobre os rios de menor volume (POMPEU, 2006b; FIGUEIREDO, 2008).

Ao contrário dos rios caudalosos, as ribeiras não eram de propriedade real, segundo as Ordenações do Reino. Por isso, Goulart (1959) assevera que a expressão “rio do engenho” é a interpretação de uma certeza do dono da manufatura, que tinha como seu o rio que lhe passasse à porta, quase batendo na escada principal da casa-grande. Era propriedade particular embora viesse de longe, banhando dezenas de outras unidades congêneres.

No entanto, apesar da legislação portuguesa vincular as derivações dos rios caudalosos à concessão real, era comum a construção de canais ou levadas em engenhos reais sem qualquer consulta à Coroa. No Brasil, as águas de domínio comum eram aproveitadas como se fossem particulares pelos proprietários das terras justafluviais.

Dessa forma, o Alvará de 27 de novembro de 1804, aplicado ao Brasil pelo Alvará de 4 de março de 1819, apenas consagrou juridicamente uma situação que já existia de fato, quando tornou desnecessária a concessão real para a construção de canais ou levadas por particulares em benefício da agricultura e da indústria. Por isso, não é de se admirar que constem como parte das justificativas de Dom João IV para a expedição do diploma as súplicas dos senhores de engenho (POMPEU, 2006a).

#### 1.4 ESTRUTURA FUNDIÁRIA E DOMÍNIO DAS ÁGUAS NOS ENGENHOS

A estrutura fundiária colonial era concentradora por excelência, pois refletia o interesse português na transferência para o Brasil de uma ordem estamental baseada na restrição do acesso à propriedade. No topo dessa sociedade, dispoendo inclusive de poderes militares e administrativos, estavam os senhores de engenho. Nesse sentido, Guimarães (1981) assinala:

Fixar-se-iam nos engenhos todos os desígnios da nobreza territorial, nele se concentraria toda a força do monopólio da terra, toda a resistência contra a infiltração das forças “plebéias” de propriedade. Ali a Metrópole haveria de encontrar, por muito tempo, principalmente entre os grandes senhores, os seus pontos de apoio e mais completa colaboração para a empresa colonial (GUIMARÃES, 1981, p. 62).

A base do poder dos senhores de engenho estava, portanto, na propriedade. Por isso, nos territórios de crescimento mais dinâmico durante o processo de colonização, devido à apropriação por títulos de sesmaria, não havia terras disponíveis, mesmo nas áreas incultas (FERLINI, 2002; DIAS, 2007; GONÇALVES, 2007).

Segundo Norder (2004), os senhores de engenho recorriam a vários expedientes para aumentarem suas propriedades, desde a aquisição de novas sesmarias em nome de membros de suas famílias ou de seus amigos até o uso da violência física, que chegou a adquirir um caráter permanente e sistemático em alguns lugares.

Como, durante todo o período colonial, a Coroa Portuguesa não reconheceu outro tipo de acesso a terra além da sesmaria no Brasil, essas eram áreas de grande instabilidade social. E, com a Independência, devido ao longo período de vacância legal que durou até a promulgação da Lei de Terras, a situação tornou-se ainda mais grave.

Entre 1822 e 1850 vigorou o princípio da ocupação efetiva do solo. Segundo Almeida (1993), nesse ínterim houve um agravamento da violência rural. Para comprovar seu argumento, o autor cita a Carta-Ofício de João Pedro da Silva Ferreira ao Ministério da Justiça, em 10 de março de 1841. Tratando da situação em Sergipe, o presidente da província dizia:

Os senhores de engenho são um arremedo dos antigos Barões acastelados, e têm por vassallos dez, doze e mais dos maiores malvados, que lhes servem de guarda e de executores de suas vinganças (ALMEIDA, 1993, p. 140).

As disputas tinham uma grave motivação política. Como relatou Tollenare (1978), dentro de suas propriedades, os senhores de engenho eram as autoridades supremas. Eles tinham a faculdade de decidir sobre todos os fatos que ocorriam em suas terras, mesmo que relacionados à morte de pessoas. Seus poderes eram tão influentes que comunidades inteiras pagavam tributos aos engenhos.

Segundo Pereira da Costa (1952), o juiz Joaquim Nunes Machado, de Goiana, Pernambuco, em ofício dirigido ao presidente da província, em 2 de agosto de 1834, referia-se da seguinte maneira a um engenho real sob a sua jurisdição:

É de um terreno de muito mais de dez léguas de longitude e quatro a cinco de latitude, abrangendo em si mesmo muitos outros engenhos, engenhocas, propriedades, sítios, fazendas de gado, lavras de algodão, quatro não pequenas povoações, uma freguesia Itambé, parte da freguesia de Laranjeiras e da de Goiana, a que tudo paga rendas anuais ao mesmo Engenho Novo (PEREIRA DA COSTA, 1952, p. 68).

Durante o período em que os engenhos reais foram as principais unidades de produção de açúcar no Brasil, o acesso à propriedade significava também amplos direitos sobre aquilo que estava dentro de seus limites. Assim, o destino dos rios que cortavam os engenhos dependia exclusivamente das necessidades produtivas do açúcar e dos interesses dos senhores de engenho.

Os rios pequenos, justamente aqueles que mais serviram à cultura canavieira, foram os mais afetados por essa autonomia de desígnio conferida aos senhores de engenho. Neles os efeitos da destruição das matas ciliares, bem como dos represamentos e canais artificiais, foram mais extensos (FREYRE, 1963, 2004).

Segundo Eisenberg (1969), o jornalista Antônio Pedro de Figueiredo, em meados do século XIX, relatava que os viajantes que seguiam em direção ao interior pelas margens do rio Capibaribe podiam perceber a devastação das matas nas colinas que o cercavam. Por isso, segundo sua narrativa, no município canavieiro de Pau d'Alho, onde antes passavam quatro ou cinco metros cúbicos de água, havia apenas um filete.

Dentro dos engenhos reais a demanda por madeira era intensa, pois era usada para o abastecimento das fornalhas, a construção das edificações que formavam a unidade produtiva e até mesmo para a fabricação de caixas de açúcar e das embarcações que transportavam o produto (ANTONIL, 1955; SCHWARTZ, 1985; TOLLENARE, 1978).

Essa situação somente foi amenizada no século XIX, quando devido à escassez dos recursos florestais os engenhos passaram a usar o bagaço como combustível. A mudança foi importante porque, segundo Prado Júnior (1994), o consumo médio de lenha nas fornalhas de um engenho era de 12 a 16 carros de boi por dia.

A substituição das caixas de madeira por sacos de tecido também foi significativa para redução na demanda por madeira. Redigido em 1618, Diálogos das Grandezas do Brasil (1977) relata:

... há homem que faz serrar em cada ano mil e dois mil caixões de açúcar, que vendem aos senhores de engenho, lavradores e mercadores, a quatrocentos e quinhentos réis cada um, segundo a falta ou abundância que há deles; e nisto se vê a grande quantidade de madeira que há neste Estado... (DIÁLOGOS, 1977, p.148).

No comentário é perceptível a idéia de que os recursos naturais, inclusive a madeira e a água, são inesgotáveis. Essa mesma lógica levou Antonil (1955, p. 95) a afirmar:

O alimento do fogo é a lenha, e só o Brasil com a imensidade dos matos, que tem, podia fartar, como fartou por tantos anos, e fartará nos tempos vindouros a tantas fornalhas, quantas são as que contam nos engenhos da Bahia, Pernambuco e Rio de Janeiro, que comumente moem de dia, e de noite; seis, sete, oito e nove meses no ano (ANTONIL, 1955, p.95).

No entanto, o tempo provou o contrário. De 1550 a 1700 calcula-se que os canaviais derrubaram pelo menos mil quilômetros quadrados de Mata Atlântica, o que fez com que o recurso passasse a ser escasso em algumas áreas a partir do século XVIII. Nas áreas de canaviais, sobretudo, eram raros os resquícios da floresta (FIGUEIREDO, 2008).

Com a água, segundo indicam os relatos de Sousa (1971) sobre as várzeas dos rios de Salvador, os efeitos da sobreexploração foram sentidos ainda antes, no século XVI. Mesmo assim, nas áreas mais dinâmicas da produção açucareira, era comum que os rios tivessem sua vazão reduzida pela grande quantidade de levadas e canais construídos pelos senhores de engenho.

O número excessivo de represas construídas acarretou outro grave problema, a proliferação do *Schistosoma*, verme transmissor da esquistossomose, doença muito comum nas antigas áreas de funcionamento dos engenhos reais.

A associação entre o açúcar e a doença já havia sido apontada por Freyre (2004, p.70), quando observou que “a predominância do mal é nas áreas de açúcar que atraíam maior colonização negra”. Mas, ao basear sua argumentação na influência africana, o autor restringiu sua análise à origem da doença e não ao motivo que a levou a se tornar uma epidemia no Brasil.

Foi somente a partir das pesquisas de Barbosa e Silva (1992) sobre a doença no Engenho Bela Rosa, em Pernambuco, que ficaram mais claros os vínculos entre os engenhos reais e a propagação da esquistossomose. Embora o verme seja de origem africana e tenha provavelmente vindo com os escravos, somente logrou sucesso em sua adaptação devido aos represamentos artificiais dos rios, que forneciam condições ideais para que o caramujo vetor pudesse se reproduzir abundantemente.

Das mesmas águas onde o caramujo hospedeiro da esquistossomose se reproduzia era gerada a força que movia as moendas dos engenhos reais. Nesse sentido, segundo Pereira da Costa (1952), havia dois meios para se aproveitar o rio, por canais construídos em áreas mais elevadas ou a partir da represa formada ao nível da fábrica.

Por qualquer das maneiras, os rios eram desviados e suas águas eram perdidas no choque que sofriam com as pás da roda que moviam as moendas, conforme relato de Tollenare (1978):

O riacho que, no seu aqueduto apresentava uma secção de 30 polegada quadradas, era conduzido até a distância de seis pés da roda, e ali, por meio de um cotovelo de 45, era dirigido sobre as celhas, onde caía com grande ruído espanando para todos os lados e perdendo mais de metade da sua água. Esta queda, capaz de fazer mover todos os maquinismos de uma fábrica considerável, dava, entretanto, apenas três revoluções dos cilindros da moeda por cada revolução da grande roda de água (TOLLENARE, 1978, p.71).

Havia não somente um enorme desperdício de água pelo choque com as pás das moendas, como também uma situação de desequilíbrio ambiental, gerada pelo desvio e pelo represamento dos rios, o que comprometia o abastecimento das comunidades a jusante dos engenhos. Mas, dentro de suas propriedades, os senhores de engenho eram incontestáveis em suas vontades e podiam dispor dos corpos de água da maneira como lhes aprouvesse.

## CONCLUSÃO

A relação entre a agroindústria canavieira e os recursos hídricos pode parecer um tanto óbvia, por tratar-se de uma produção agrícola. No entanto, trata-se de um caso peculiar, pois, como apontou Goulart (1959, p.29), “sem água, inclusive a das chuvas, a lavoura não teria sobrevivido. Sim! Sabemos que nenhuma lavoura sobreviveria sem esse elemento vital, mas acontece que estamos nos ocupando da canavieira”.

Para a agroindústria canavieira, a água não era apenas um elemento essencial para o ciclo de desenvolvimento agrícola da cana-de-açúcar, mas também para outras etapas do processo de produção, como a manufatura e o transporte do açúcar. Por isso, junto às margens dos rios surgiram os primeiros engenhos. Incentivados pela Coroa Portuguesa, que via na iniciativa uma atividade lucrativa e capaz de povoar as terras da Colônia, os senhores de engenho estabeleceram seus canaviais o mais próximo possível das águas, nas várzeas.

Como assinalou Freyre (2004), a várzea, na paisagem social brasileira, foi a primeira a povoar-se não de casas-grandes esporádicas e sós, mas de um verdadeiro conjunto delas, ligadas pela água do rio e dos colonos, por meio dos casamentos que se extremaram na mais

completa endogamia; primos se casando com primas, sobrinhas com tios. Verdadeiros clãs se desenvolveram à margem dos rios pequenos e grandes.

Da relação incestuosa entre primos e primas, da água e da cana-de-açúcar, nasceram engenhos com nomes que explicam as origens da agroindústria canavieira no Brasil, como Água Azul, Água Clara, Águas Belas, Alagoa do Meio, Cacimbas, Cachoeirinha, Dois Rios, Pedra de Água, Poço Sagrado, Ribeiro Grande, Serra de Água, Três Lagoas, sem falar daqueles que carregavam simbolicamente o orgulho e a realeza de moer com água, entre eles o Engenho D'El Rei.

Como os próprios nomes indicam, a água era a mãe dos engenhos. Longe dela, nos primeiros anos, não havia como a agroindústria canavieira prosperar. Assim, da endogamia à violência, os senhores de engenho de valeram de todos os artifícios e expedientes disponíveis para assegurar a maior porção possível de água dentro de seus domínios. No entanto, apesar de todos esses esforços e mecanismos, os senhores de engenho não faziam bom uso da água. Embora os rios dos engenhos fossem locais de lazer dos moradores da casa-grande e uma de suas fontes de alimento, a falta de limites do poderio dos senhores de engenho colocava em risco constante os recursos hídricos disponíveis.

Limitados apenas por seus próprios interesses, os senhores de engenho criavam canais e barreias artificiais em suas propriedades que modificavam o curso e a velocidade dos rios. Essa autonomia da vontade, conforme indicam os relatos de Sousa (1971), provocava escassez nas propriedades localizadas a jusante dos engenhos, cessando, inclusive, o fluxo dos rios, o que causava graves conflitos.

Contudo, a sede dos senhores de engenho não era apenas pela água, mas também pelos recursos florestais. A madeira era essencial para lenha e para a fabricação de caixotes para transporte do açúcar, bem como para a construção de embarcações, de aparelhos e mesmo de edifícios, recorrendo-se sempre, portanto, às matas das propriedades dos engenhos.

O uso contínuo e desregrado desses recursos florestais teve conseqüências. Muitas árvores comumente utilizadas pelos artesãos dos engenhos, como o pau-de-jangada (*Apeiba tibourbou* AUBL), por exemplo, estão hoje praticamente extintas em algumas áreas de produção de cana-de-açúcar. A derrubada das árvores não poupou nem mesmo as matas ciliares, o que levou ao assoreamento de muitos trechos dos rios do Brasil.

Nesse sentido, Freyre (2004) observou que o empobrecimento do solo em tantas áreas das zonas de produção de açúcar não foi efeito apenas da ânsia dos rios de correr para o mar levando a gordura das terras, mas da monocultura da cana-de-açúcar. De sorte que os corpos de água que passavam pelos engenhos já agonizavam, com o excesso de nutrientes e detritos, devido ao mau uso dos recursos hídricos pelos senhores de engenho.

Os efeitos do uso inadequado desses recursos eram acentuados pelo grande número de unidades agroindustriais construídas em seqüência ao longo de alguns poucos cursos de água. A ação isolada de um único engenho costumava ter pouca representatividade; contudo, a soma das atividades de muitos engenhos possuía um forte potencial destrutivo, devido ao limite da capacidade de suporte dos rios.

Tendo constatado esse fato, os holandeses, durante o período em que ocuparam parte do Brasil (1630-1654), proibiram por completo o lançamento de resíduos da fabricação de açúcar nos rios pernambucanos. De acordo com a Nótula Diária (*Dagelijkse Notule*) de 5 de março de 1642, do Conselho Supremo do Governo, deviam ser penalizados os senhores de engenho que lançassem bagaço ou outro subproduto nos rios de suas propriedades (WAINER, 1999).

Caso os portugueses tivessem exercido ações semelhantes, a relação entre a agroindústria canavieira e os recursos hídricos teria sido estabelecida sobre bases mais sustentáveis. Durante o período em que estiveram em operação, os engenhos reais utilizaram de maneira pouco prudente os recursos disponíveis, causando perdas ambientais irreparáveis. Resta, assim, o aprendizado com o passado como alerta para o presente; deve ser evitada a idéia errônea de que os recursos naturais são inesgotáveis.

## **2 AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA: TRANSFORMAÇÃO TÉCNICA NA MANUFATURA DA CANA-DE-AÇÚCAR E OS RIOS DO NORDESTE ORIENTAL**

### **Resumo**

No final do século XIX, teve início a primeira grande transformação na manufatura da cana-de-açúcar. Os engenhos, que serviram como padrão de organização agroindustrial para fabricação de açúcar e álcool por mais de três séculos, estavam sendo finalmente substituídos por unidades mais sofisticadas, que haviam incorporado aos seus processos as tecnologias desenvolvidas pela Revolução Industrial. Influenciadas pela demanda dos grandes centros urbanos, as usinas despontaram como o novo modelo de unidade de produção, pois detinham maior capacidade de processamento e melhor qualidade em seus produtos finais. No entanto, essa mudança no padrão da agroindústria canavieira teve sérias conseqüências para os recursos hídricos. Devido aos ganhos de escala promovidos nos processos das usinas, mais matéria-prima era necessária e mais resíduos eram gerados. Com isso, houve uma depreciação na qualidade dos rios próximos às usinas devido à destruição das matas ciliares e ao lançamento de vinhoto nas águas. Para comprovar esses efeitos, o presente capítulo tomou como referência os estudos realizados por Gilberto Osório e Manuel Correia no Nordeste Oriental no final da década de 1950. A intenção é analisar os riscos aos recursos hídricos causados pela modernização da manufatura da agroindústria canavieira e a importância da fiscalização de suas atividades.

### **Abstract**

The first major transformation in the manufacture of sugarcane began in the late nineteenth century. The mills, which had served as the standard of agribusiness organization for the production of sugar and alcohol for more than three centuries, had finally been replaced by more sophisticated units, which had incorporated to their processes the technologies developed by the Industrial Revolution. Influenced by the demand from large urban centers, the sugar plants became the new model of production unit, due to their greater processing capacity and better quality of end products. However, this change in the pattern of the sugarcane agribusiness had serious consequences for water resources. Due to gains in scale in the processes of the plants, more raw material was needed, while more waste was generated. This caused a reduction in the quality of rivers near power plants, due to the destruction of riparian forests and to the disposal of vinasse in the water. To demonstrate these effects, we used as a reference, in this chapter, the studies conducted by Gilberto Osório and by Manuel Correia in the Northeastern region of the country, at end of the 1950s. Our intention was to analyze the risks to water resources caused by the modernization of sugarcane agribusiness manufacture and the importance of controlling its activity.

## INTRODUÇÃO

A agroindústria canavieira possui uma longa história no Brasil. Contudo, foram poucas as revoluções ocorridas em seu sistema de produção. Tendo início no século XVI, quando os primeiros engenhos de açúcar foram construídos, o padrão técnico de manufatura da cana-de-açúcar manteve-se inalterado por muitos anos. No entanto, quando de fato ocorreu, a mudança teve graves efeitos na relação entre a cana-de-açúcar e os recursos hídricos.

Segundo Godoy (2007), por mais de três séculos não houve solução de continuidade nas técnicas e na seqüência de operações do processo de manufatura da planta. Nesse ínterim, as inovações, ainda que tenham resultado em ganhos de produtividade e otimização no gasto de combustíveis, não alteraram as etapas básicas do processamento da cana-de-açúcar.

Somente no início do século XIX, quando foram introduzidos novos equipamentos, advindos da Revolução Industrial, teve início a primeira grande transformação na base técnica da agroindústria canavieira do Brasil. Junto com a máquina a vapor, surgiram aparelhos que modificaram o modo como era realizado o processamento da cana-de-açúcar, o que imprimiu maior escala e qualidade à produção.

No entanto, o processo de apropriação dessas tecnologias pelas unidades produtivas ocorreu de maneira extremamente lenta no País. Na década de 1870, enquanto outros grandes produtores mundiais de açúcar como Cuba e Guadalupe já utilizavam há quase trinta anos o conjunto completo de máquinas modernas, com o vapor, a turbina e a caldeira a vácuo, as primeiras unidades com aparelhamento similar ainda começavam a surgir no Brasil.

Desse modo, o açúcar brasileiro estava em posição desfavorável no comércio internacional; não somente em razão do elevado custo de produção de seus engenhos, como também graças à má qualidade de seu produto. Com o objetivo de tentar melhorar a situação da agroindústria canavieira no País, o Governo Imperial lançou uma série de medidas que tinham por objetivo financiar a implantação de modernas fábricas por meio de concessões públicas.

Com base na Lei n°. 2.689, de 6 de novembro de 1875, essas concessões garantiam crédito aos investidores que montassem o que o Governo Imperial chamou de engenhos centrais. Inspiradas nas fábricas antilhanas, essas unidades de produção de açúcar tinham

como característica, além do uso de inovações capital-intensivas, a especialização produtiva, pois eram legalmente obrigadas a moerem somente a cana-de-açúcar entregue por terceiros.

O primeiro engenho central construído com o financiamento estatal foi o de Quissamã, no Rio de Janeiro, no ano de 1877. Após a sua implantação, várias outras concessões foram outorgadas, num total de oitenta e sete, em doze anos. Contudo, ao final desse período, apenas doze unidades estavam em funcionamento. Contribuíram para o insucesso dos engenhos centrais problemas com a regularidade no fornecimento de matérias-primas e questões como a falta de idoneidade de alguns dos concessionários (SOARES, 2000).

Mas ao mesmo tempo em que a experiência com os engenhos centrais malograva, um outro tipo de organização agroindustrial dava sinais de vitalidade. Criadas a partir dos antigos bangüês<sup>15</sup>, as usinas eram similares aos engenhos centrais, pois tinham incorporado os mais modernos equipamentos às suas plantas industriais, porém não eram obrigados a processar a cana-de-açúcar de terceiros.

Durante o período imperial, as usinas tinham sido pouco estimuladas pelo governo. Porém, com o advento da República, foram rapidamente adotadas como modelo de organização agroindustrial para o processamento da cana-de-açúcar. Assim, em poucos anos, foram recuperadas as décadas de atraso em relação aos demais produtores de açúcar. Era tarde demais, no entanto, pois acordos comerciais envolvendo outros produtores haviam limitado as possibilidades de inserção do produto brasileiro no mercado internacional.

Não tendo como direcionar seus produtos para o comércio exterior, a solução para a agroindústria canavieira foi dirigir seus esforços para o mercado interno. No entanto, apesar do aumento da capacidade de consumo dos brasileiros nas primeiras décadas do século XX, a economia nacional não tinha como absorver todo o volume de açúcar que podia ser produzido pelas usinas, devido aos elevados ganhos de escala em relação aos bangüês.

Desse modo, para evitar o problema da superprodução, a estratégia encontrada pelos usineiros e pelo governo foi diversificar os produtos derivados da cana-de-açúcar. Assim, a partir da década de 1930, uma série de medidas estatais foi lançada para estimular a fabricação de álcool em destilaria anexas. Com isso, um novo padrão de produção foi estabelecido. E, nele, o açúcar deixou, em definitivo, de ser fabricado por bangüês, para ser produzido em usinas, que, de forma alternativa, podiam destilar o álcool.

---

<sup>15</sup> Bangüês: engenhos de açúcar.

Essa transformação no padrão técnico da agroindústria canavieira somente foi possível em razão das mudanças ocorridas na base da sociedade brasileira. O Brasil, de um país rural, passou a ser, basicamente, urbano. Havia, portanto, mais espaço para que a população pudesse adquirir bens de consumo sofisticados, como o açúcar e o álcool. Por isso, foi possível se continuar investindo em novas usinas. De sorte que os empresários que estavam localizados em áreas mais próximas aos grandes centros tinham condições de fazer maiores investimentos do que aqueles que estavam mais distantes.

Dessa forma, pode-se compreender a razão para o declínio da importância do Nordeste como área de produção canavieira no final da década de 1950. Por estarem mais próximos aos centros urbanos, os empresários do Centro-Sul puderam investir na construção de mais usinas. Assim, após quatro séculos como retardatários, finalmente puderam ultrapassar os nordestinos na produção canavieira.

O final da década de 1950 representa o início de uma era. Devido ao tipo de demanda criada pelas cidades, os produtos tinham que ser mais baratos e de melhor qualidade. Com isso, a produção do Nordeste passou a perder espaço no cenário nacional. Não porque as unidades produtivas nordestinas fossem defasadas tecnologicamente, mas devido às distâncias em relação aos grandes centros consumidores, que elevavam os custos de produção, desestimulando investimentos em novas usinas.

Desse modo, enquanto se ampliava o número de usinas no Centro-Sul, um limite para a expansão da agroindústria canavieira nordestina foi sendo definido na década de 1950. Nos anos seguintes, o número de usinas na região pode avançar muito pouco. Além das restrições de mercado, imperativos ecológicos impediam que os canaviais continuassem se expandindo. O Planalto da Borborema e as Depressões Sertaneja e Sub-litorânea serviram de anteparo para que a cana-de-açúcar não fosse muito além dos Tabuleiros Costeiros.

No entanto, enquanto teve efeito, a expansão da fronteira agrícola da cana-de-açúcar causou sérios problemas aos recursos hídricos regionais. Devido à demanda das usinas por matéria-prima, muito superior à dos bangüês, a planta invadiu espaços antes preservados do ataque da monocultura e, derrubando outras culturas e as matas, acelerou o processo de erosão dos vales e encostas das áreas de produção.

Os rios, cheios de sedimentos transportados pelas enxurradas, ficaram cada vez mais largos e tiveram seus regimes de cheias alterados, dando origem a grandes cheias nos

períodos chuvosos e queda drástica no nível das águas durante a seca. Daí a necessidade da construção de barragens ou de se fazer o retorno das águas utilizadas pela agroindústria canavieira.

Contudo, o maior impacto sobre os recursos hídricos causado pela mudança no padrão técnico de manufatura da cana-de-açúcar foi mesmo o lançamento do vinhoto nos rios que passavam pelas usinas com destilarias anexas. Sendo esse um produto com alto potencial poluidor, quando lançado às águas, tinha o efeito de torná-las putrescíveis.

Tal efeito foi rapidamente notado por aqueles que vinham acompanhando as mudanças ocorridas na manufatura da cana-de-açúcar. Assim, em 1911, o governador de Pernambuco editou a primeira norma proibindo o lançamento de efluentes da agroindústria canavieira em corpos de água. No entanto, em razão da inexistência de um órgão responsável pela aplicação da legislação, resultados concretos contra o vinhoto somente começaram a aparecer na década de 1960, quando surgiram os primeiros órgãos estaduais de controle à poluição no Brasil.

Desse modo, o vinhoto e os demais efeitos colaterais da modernização da agroindústria canavieira estavam em plena evidência no final da década de 1950. Para compreender melhor a extensão dos problemas gerados pela mudança técnica, este capítulo tomou como referência o trabalho realizado pelos pesquisadores Gilberto Osório de Andrade e Manuel Correia de Andrade, entre os anos 1957 e 1959, nas principais áreas canavieiras nordestinas.

Com o apoio de uma equipe multidisciplinar do Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais, os dois pesquisadores desenvolveram uma série de estudos sobre as principais bacias hidrográficas afetadas pela modernização da agroindústria canavieira. Publicadas em quatro volumes, sob o título geral de “Os rios-de-açúcar do Nordeste Oriental”, essas pesquisas tentaram descrever a extensão e a natureza dos danos causados pelas usinas com destilarias anexas.

Sobre os efeitos gerados pela atividade das usinas com destilarias, a análise feita neste capítulo não foi muito além do observado pelos autores. No entanto, o trabalho se justifica por relacionar a mudança do padrão técnico de manufatura da cana-de-açúcar aos impactos causados aos rios das principais regiões produtoras do Nordeste antes do lançamento de medidas efetivas para o seu controle. O objetivo é demonstrar os riscos da relação entre a agroindústria canavieira e os recursos hídricos causados pelos ganhos de escala nas unidades de produção.

## 2.1 A TRANSFORMAÇÃO TÉCNICA DA MANUFATURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Com a introdução da máquina a vapor, teve início o processo de modernização da agroindústria canavieira no Brasil. O maquinário foi instalado primeiramente em um engenho na Ilha de Itaparica, Bahia, na propriedade de Antônio Cardoso, em 1815. Após a experiência baiana, foi paulatinamente sendo incorporado a outras unidades de produção, em Pernambuco em 1817; no Rio de Janeiro em 1827; em Alagoas em 1846; em Sergipe em 1857; em São Paulo em 1861; no Rio Grande do Norte em 1865 (JÚNIOR, 1972; SOARES, 2000).

Com base na cronologia desses eventos, Ellis et al (2004) assinalam que o processo de difusão da máquina a vapor na agroindústria canavieira, em um primeiro momento, ocorreu graças às ações isoladas de alguns senhores de engenho com maiores recursos financeiros, por isso seu caráter descontínuo e fragmentário.

Segundo Iglésias et al. (2004), poucos engenhos possuíam capacidade de investir em novas tecnologias. Durante o século XIX, cerca de noventa por cento dos estabelecimentos eram constituídos por unidades de pequeno volume de produção de açúcar. Havia ainda uma deficiência crônica de crédito e sobre os empréstimos para o setor, insidiam juros de até 74% ao ano.

Diante desse cenário, ficou patente a inércia estatal. Além de não oferecer incentivos financeiros e alfandegários às importações, o governo ainda criava entraves ao desenvolvimento de uma indústria nacional, o que inflacionava os preços do maquinário e desestimulava ainda mais os senhores de engenho com menores cabedais (EISENBERG, 1977; NASTARI, 1983).

Desse modo, os elevados custos dos equipamentos e a limitada disponibilidade de recursos concorreram conjuntamente contra a inovação, apesar da potencial taxa de retorno do investimento. De acordo com Iglésias et al. (2004), engenhos que utilizavam o vapor e incorporavam outras tecnologias complementares à produção obtinham lucros de 30 a 40% superiores àqueles que não faziam o mesmo.

Não obstante, apesar da diferença de rendimentos, fatores conjunturais permitiram que engenhos que não podiam investir em inovações capital-intensivas continuassem atuando com

sucesso no mercado até meados do século XIX. Contribuíram, para tanto, a existência da prática escravocrata e o aumento da demanda internacional por açúcar.

Devido ao uso de escravos no Brasil, não havia remuneração do trabalho. Portanto, eram justificáveis soluções intensivas em mão-de-obra, visto que a renda da agroindústria canavieira era determinada apenas pela receita da comercialização do açúcar subtraída da despesa dos engenhos com bens de produção e de consumo (SUZIGAN, 2000; FURTADO, 2007).

Segundo Singer (1974), foi somente a partir de 1850, com a efetiva supressão do tráfico negreiro e a elevação no valor do escravo, que o uso da máquina a vapor passou a ser percebido como essencial. Conforme o autor, assim se explica a súbita multiplicação dos engenhos com essa tecnologia em Pernambuco, que passaram de 5 em 1854 para 18 em 1857.

Da mesma maneira, mas com dados de um período mais longo, Ellis et al. (2004) apuraram uma tendência similar no Rio de Janeiro. Em Campos<sup>16</sup>, de 56 em 1852 o número de engenhos a vapor saltou para 252 em 1881. Pode-se argumentar, contudo, que estes números refletiam o maior controle das autoridades ao tráfico de escravos na capital do Império e que não se aplicariam à grande lavoura nortista.

Mas, segundo Mello (1999, p.31), não é bem assim:

Em meados do século XIX, a relação entre escravos e livres nos engenhos da mata pernambucana era superior a 3:1. Nos anos setenta, a situação modificara-se radicalmente. Em 1871, Perdigão Malheiro calculava que a lavoura nortista empregasse braços livres numa proporção de quase 50%. Em Pernambuco, em 1884, ela era estimada em 75%; e no açúcar, em mais de 50%. Na Paraíba, em 1879, dava-se o fato de, no próprio vale do Paraíba, centro agrícola mais importante da província, já não haver engenho que dispusesse de mais de 50 escravos; muitos, apenas 16 ou 12; e alguns, apenas os indispensáveis ao serviço doméstico. (MELLO, 1999, p.31).

Com efeito, pode-se dizer que o trabalho livre foi adotado com relativa rapidez pela agroindústria canavieira, mesmo nas regiões menos assistidas pelo Estado, o que onerou as unidades intensivas em mão-de-obra, exigindo mudanças. No entanto, para impulsionar a transformação da base técnica do setor, houve ainda outro elemento muito importante: a perda da competitividade internacional do açúcar produzido no Brasil, em meados do século XIX.

---

<sup>16</sup> Área de produção de açúcar no Norte Fluminense.

No início do século XIX, alguns eventos favoreceram o produto brasileiro no mercado internacional. Houve um aumento na demanda europeia por açúcar, provocado pelo crescimento demográfico e pelo processo de urbanização resultantes da Revolução Industrial. Ao mesmo tempo, vicissitudes afetaram negativamente os produtores antilhanos, tais como o levante dos negros no Haiti, em 1792, e a abolição do tráfico de escravos nas Índias Ocidentais Britânicas, a partir de 1807.

Contudo, segundo Singer (1974), mesmo diante dessa conjuntura, não houve elevação nos preços internacionais do açúcar. Assim, apesar do avanço da posição brasileira no mercado, causado pela ausência de competição e pelo aumento da demanda, não houve estímulo ao investimento em tecnologia.

Por esse motivo, poucos engenhos adotaram inovações e a maior parte do açúcar brasileiro continuou a ser produzida por unidades defasadas tecnologicamente. Assim, quando em meados do século XIX passou a concorrer com o açúcar de beterraba europeu e o produto fabricado pela moderna maquinaria antilhana, a agroindústria canavieira simplesmente deixou de ser competitiva no Brasil (GALLOWAY, 1968; EISENBERG, 1977; PUCCI, 2001).

Conforme Singer (1974), o açúcar de beterraba, cuja fabricação iniciada na Alemanha, em 1802, tinha fracassado, tomou novo impulso em meados do século XIX, graças a melhorias tecnológicas e ao protecionismo europeu. Em 1850, havia na Alemanha 184 fábricas, produzindo 53.394 t de açúcar; em 1860, 274 fábricas, com produção de 126.526 t; em mais dez anos, 333 fábricas, produzindo 573.030 t de açúcar. Ou seja, em trinta anos, sua produção cresceu quase 1.000%.

Simultaneamente, alguns dos grandes produtores de cana-de-açúcar começaram a investir na modernização de seus engenhos. Cuba, Porto Rico, Filipinas e Java equiparam suas unidades de produção e passaram a ganhar espaço no mercado internacional. Nesse sentido, o caso de Cuba é ilustrativo. Sua produção, em apenas dez anos, entre 1860 e 1870, passou de 447.000 t para 726.000 t.

Diante dos avanços dos demais produtores no mercado de açúcar, passou a ser imperativa a necessidade de mudanças no padrão tecnológico da agroindústria canavieira no Brasil. Pelo menos, assim pensavam os participantes do amplo debate promovido pela Sociedade Auxiliadora da Agricultura de Pernambuco no 1º Congresso Agrícola de Recife, realizado em 1878 (GUERRA, 1982; CAMPOS, 2001; ELLIAS et al., 2004).

Durante o evento, foram reconhecidas as deficiências das tradicionais unidades de produção de açúcar e as limitações do setor em promover a modernização dessas fábricas de maneira autônoma. Assim, face às dificuldades de acesso ao capital técnico e financeiro, a ajuda governamental foi entendida como essencial.

Indiferente às necessidades da agroindústria canavieira ao longo de grande parte do século XIX, o Governo Imperial somente passou a contribuir com a transformação do setor a partir da década de 1870. Portanto, o congresso em Recife nada mais foi do que uma resposta positiva às garantias de juros e aos demais incentivos governamentais que começavam a ser concedidos para a construção de engenhos centrais.

### 2.1.1 O surgimento dos engenhos centrais

Para tornar mais competitiva a produção brasileira de açúcar, o Governo Imperial, por meio da Lei nº. 2.687, de 6 de novembro de 1875, deu início a uma política de auxílio financeiro à modernização da agroindústria canavieira. Segundo a norma, seriam garantidos juros de 7% ao ano, até o montante de 30.000 contos, aos empresários que se propusessem a montar engenhos centrais (CAMPOS, 2001, ARAÚJO, 2002).

De forma conceitual, engenhos centrais eram modernas unidades de fabricação de açúcar que deveriam contar com todas as tecnologias que pudessem contribuir para o aumento da produtividade da agroindústria canavieira. Com efeito, além da máquina a vapor, outros equipamentos como turbina<sup>17</sup> e a caldeira a vácuo lhes eram essenciais.

Segundo Soares (2000), antes da existência dos engenhos centrais, alguns bangüês chegaram a usar essas tecnologias, mas raramente as três estavam juntas nas unidades de produção. O elevado custo de instalação dessas máquinas fazia com que, geralmente, apenas uma delas fosse escolhida para a modernização da fábrica.

---

<sup>17</sup> Turbina: também chamada de centrífuga.

Nesse mesmo sentido, assinalam Ellis et al. (2004, p.129):

Muitas vezes renovava-se apenas um setor do velho engenho. Não se conseguiam os rendimentos esperados com os centrifugadores, sem o concurso de moendas modernas e caldeiras a vácuo; mas estas exigiam a reforma do sistema de aquecimento, aquelas significavam a adoção dos conjuntos horizontais. Pouco adiantava mudar a posição dos cilindros, tratava-se de uma nova concepção mecânica. Havia a vencer hábitos arraigados, o patriarcalismo da organização social, a rotina multissecular do sistema de produção, o custo elevado do aparelhamento moderno e de seu custeio, importado do exterior (ELLIS et al., 2004, p.129).

Assim sendo, os engenhos centrais, com suas máquinas e processos diferenciados, representaram uma completa mudança na lógica do sistema de produção. Era preciso mais dinheiro, conhecimento e tecnologia para se produzir açúcar nessas unidades, o que alterava os padrões do setor.

Não obstante, a principal mudança trazida pelos engenhos centrais em relação aos bangüês era a especialização produtiva. Por determinação legal, eles eram obrigados a processar apenas a matéria-prima produzida por terceiros. Portanto, deviam abandonar por completo a parte agrícola do sistema.

A proposta, na teoria, era simples. Partia do pressuposto de que a divisão do trabalho devia promover o uso mais eficiente dos fatores de produção. Desse modo, os fornecedores de cana-de-açúcar dedicariam seus recursos exclusivamente à atividade agrícola e os proprietários dos engenhos centrais ao processo fabril, o que aumentaria a produtividade do setor (EISENBERG, 1977; GUERRA, 1982; ARAÚJO, 2002).

Porém, na prática, poucos fornecedores de cana-de-açúcar se dedicaram apenas à parte agrícola do processo. A maioria manteve seus bangüês em funcionamento e produziu açúcar durante os períodos de alta de preços no mercado internacional. Assim, não lhes eram interessantes contratos que assegurassem um suprimento contínuo de matérias-primas para os engenhos centrais.

Devido à falta de interesse da maior parte dos fornecedores, os engenhos centrais não conseguiram regularizar os seus fornecimentos de cana-de-açúcar. Com matéria-prima deficitária, as unidades de produção permaneciam ociosas por grande parte do período da safra, o que gerava prejuízos às fábricas.

De fato, a resistência dos bangüês foi um dos fatores que contribuíram para a ruína dos engenhos centrais. Além dela, a falta de idoneidade de alguns dos concessionários, que instalavam máquinas defeituosas e não cumpriam as demais exigências dos contratos com o governo, também colaborou para que essa forma de organização agroindustrial fosse rapidamente abandonada.

Durou apenas dezesseis anos a experiência com os engenhos centrais no Brasil. Nesse ínterim, foram outorgadas concessões para 87 fábricas, sendo que, ao final do período, apenas 12 estavam em atividade. A última concessão para a instalação de um engenho central foi outorgada em 25 de abril de 1891, por meio do Decreto nº. 175, a Antônio Ferreira da Silva Carneiro (GALLOWAY, 1968; SUZIGAN, 2000).

No entanto, segundo Soares (2000), analisando-se as cláusulas dessa concessão, percebe-se que não se tratava mais de um engenho central propriamente dito, mas de um outro tipo de organização agroindustrial, a usina. Isto porque a fábrica não era obrigada a processar a cana-de-açúcar fornecida por terceiros.

### 2.1.2 O surgimento das usinas

Na década de 1870, ao mesmo tempo em que o Governo Imperial começava a estimular a criação de engenhos centrais, alguns poucos donos de bangüês, que dispunham de capital e crédito suficientes, concluíam o ciclo de modernizações de suas unidades industriais, criando as primeiras usinas do Brasil.

Iniciado com a instalação da primeira máquina a vapor na Bahia, em 1815, o processo de renovação da indústria açucareira avançou durante a década de 1850, com a adoção de turbinas em Alagoas, Rio de Janeiro e São Paulo. No entanto, somente em meados da década de 1870, quando caldeiras a vácuo foram importadas por engenhos da Bahia e de Pernambuco, o ciclo estava completo (ELLIS et al. 2004).

Alcançada a fase de transformação tecnológica, finalmente estavam lançadas as bases para o surgimento das usinas. A primeira unidade a merecer tal designação foi instalada em 1875, em Recife, Pernambuco. Com o nome de São Francisco da Várzea, dispunha das três

tecnologias (vapor, turbina e vácuo) que marcaram a mudança do padrão técnico da produção industrial de açúcar no século XIX (EISENBERG, 1969; ANDRADE, 1994; CAMPOS, 2001).

Na prática, a diferença entre o engenho (bangüê) e a usina estava baseada apenas na mudança técnica provocada pela incorporação de modernas tecnologias ao processo de produção de açúcar nas unidades fabris. Uma síntese dessa transformação está detalhada no Quadro 1, abaixo, complementado pela ilustração da Figura 6, a seguir.

Etapa do processo	Engenhos	Usinas
Moagem (A -1)	Em seu estágio máximo de aperfeiçoamento, era realizada na moenda de três rolos verticais (A)	Feita em moenda com facas, desfibradores e esmagadores, ajudada por esteiras e guindastes (1)
Clarificação do caldo (B – 2,3,4,5 e 6)	Era realizado no primeiro tacho de assentamento (B) e consistia na fervura do caldo e na escumação, ajudada pela decoada	Conta com diferentes fases: (2) sulfitação; (3) calefação; (4) pré-aquecimento; (5) decantação; (6) filtragem
Concentração (C – 7 e 8)	Realizadas nos tachos de assentamento (B e C), abertos e com aquecimento por fogo direto	Realizada em vasos fechados (7 e 8), com aquecimento a vapor e funcionado a vácuo, proporcionado pela coluna barométrica (9)
Cristalização (D -10)	Tinha lugar no último tacho (D), com a bateadeira da massa de cristais e mel	A massa cozida provinda dos vácuos é descarregada nos cristalizadores (10), quando a formação de cristais é completada
Purga e turbinagem (E – 11)	Realizada em formas, a purga era o equivalente à turbinagem da usina, mas dependia da gravidade	Separação, por centrifugação, dos cristais de açúcar do mel em que se encontram

Quadro 1 – Diferença técnica entre a fabricação de açúcar em engenhos e nas usinas.

Fonte: Fernandes (1971, p.147).

A ilustração manual de Fernandes (1971) demonstra algumas das diferenças geradas pelo uso do maquinário moderno no processo de fabricação de açúcar. A mais marcante é o incremento da especialização do trabalho na indústria. Enquanto nos bangüês, do recebimento

da matéria-prima ao produto final, existiam apenas cinco etapas intermediárias, nas usinas existem onze.

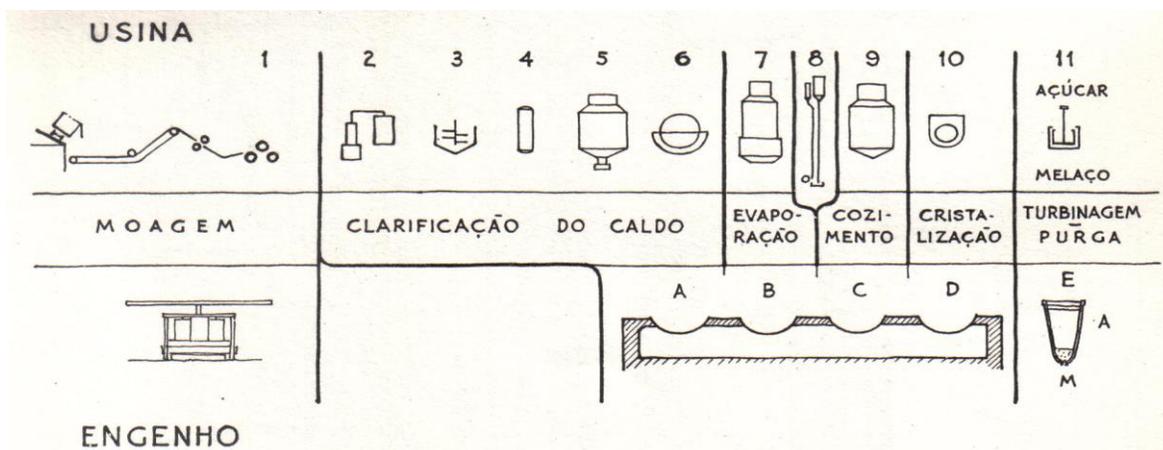


Figura 6 – Diferenças nos processos de produção de usinas e engenhos.

Fonte: Fernandes (1971, p. 147).

Outra mudança destacada pela ilustração é a diminuição do tempo de produção. Por exemplo, nos engenhos eram necessários, no mínimo, quinze dias para que a gravidade pudesse purgar o açúcar. Nas usinas, em algumas horas, a turbina separa o mel dos cristais de açúcar, gerando um produto final mais limpo e seco.

A diferença na qualidade do produto final fabricado pelas usinas é um dos aspectos mais claramente relacionados ao uso de máquinas modernas. Com a introdução da turbina e da caldeira a vácuo foi possível a produção de um açúcar com melhores características em termos de sabor e aspecto.

Devido a essas peculiaridades, o produto das usinas era mais competitivo do que o dos bangüês. Contudo, a falta de apoio fez com que poucas unidades se modernizassem ao longo do período imperial. Concentrado na política de incentivos aos engenhos centrais, durante o Império, o governo central deu pouca importância às usinas.

Até o nascimento da República, apenas as províncias concederam incentivos aos senhores de engenho que pretendiam transformar seus bangüês. Pernambuco, onde foi montada a primeira usina do Brasil, foi a mais ativa delas. Devido à pressão política de sua aristocracia açucareira, o governo provincial passou a fornecer empréstimos com juros de 7% ao ano, no limite de 200 contos, para a instalação de usinas a partir de 1887 (EISENBERG, 1977; ANDRADE 1994; SILVA, 2002).

Com o advento do período republicano, quando o território passou a ter ainda mais autonomia para definir políticas, o valor desses créditos foi rapidamente elevado. Por meio do Decreto nº. 299, de 15 de outubro de 1890, o Barão de Lucena, primeiro presidente do Estado de Pernambuco, aumentou para 300 contos o limite dos financiamentos (PERUCCI, 1978; CAMPOS, 2001).

Enquanto as autoridades pernambucanas ampliavam seus incentivos às usinas, o Governo Federal começava a questionar os benefícios da manutenção da política de estímulos à construção de engenhos centrais criada pelo Governo Imperial. Após quinze anos, poucos frutos haviam sido colhidos e era momento para reflexão.

Nesse sentido, foi apresentado um relatório por Francisco Glicério, Ministro da Agricultura, Comércio e Obras Públicas do Governo Provisório, ao Marechal Deodoro da Fonseca, em 26 de junho de 1890, contendo um detalhado estudo sobre a situação pouco proveitosa dos engenhos centrais no Brasil.

No documento, ao tratar da Lei nº. 2.687, de 6 de novembro de 1875, que deu início à política de apoio à instalação de engenhos centrais no Brasil, Francisco Glicério assinalou:

(...) quinze anos decorreram após a referida autorização legislativa sem que os resultados tenham correspondido à expectativa que os precedeu. Neste longo intervalo a indústria açucareira de beterraba realizou progressos até surpreendentes; todas as regiões açucareiras cobriram-se, para assim dizer, de fábricas aperfeiçoadas, contando-se não menos de 800 na França e na Alemanha; e pela sua parte a indústria de cana viu passar o método da difusão, agora geralmente preconizado, de fase de experimentação e de ensaio para a da atividade industrial (MEIRA, 2007, p.115).

Comparando o nível de desenvolvimento da agroindústria canavieira nacional ao de outros países produtores de açúcar, o relatório evidenciou o malogro da política de estímulo aos engenhos centrais. Desse modo, forneceu elementos para que ocorresse uma mudança na estratégia de incentivos à modernização do setor.

A partir do ano de apresentação do documento, o governo passou a ser menos rígido com os contratos de concessão e permitiu que alguns dos novos engenhos centrais adquirissem terras em suas circunvizinhanças. Portanto, as unidades desses concessionários passaram a operar, na verdade, como usinas (ANDRADE, 1989; CAMPOS, 2001).

Segundo Soares (2000), o Decreto nº. 2.425, de 2 de janeiro de 1897, que suspendeu a fiscalização oficial da divisão de atividades agrícolas e industriais dos contratos de concessão,

apenas tornou de direito algo que há anos ocorria de fato. Nesse ínterim, muitas usinas foram criadas a partir de engenhos centrais.

Após a edição desse documento, os concessionários que ainda dependiam da cana-de-açúcar de terceiros passaram também a atuar na parte agrícola, fazendo surgir outras usinas. O processo de transformação dessas unidades foi muito rápido, de tal sorte que, ao fim da primeira década do século XX, não havia mais nenhum engenho central no Brasil (JÚNIOR, 1954; EISENBERG, 1977; SILVA, 2002).

Enquanto estavam sendo extintos os engenhos centrais, o número de usinas somente aumentava. Em 1910, já somavam 185 no Brasil. Dez anos mais tarde, 233. Assim, o crescimento foi significativo, sendo impulsionado, sobretudo, pela necessidade de modernização da agroindústria canavieira que pretendia competir pelo mercado externo (SUZIGAN, 1985; VIAN, 2003).

O Brasil corria atrás dos prejuízos deixados pelos anos de atraso na transformação técnica de suas unidades de produção de açúcar. No entanto, quando finalmente começa a promover significativas mudanças estruturais, o mercado internacional já não estava mais aberto ao seu produto. Acordos preferenciais de comércio e barreiras alfandegárias haviam transformado o País em um exportador de importância marginal.

A perda dos mercados estrangeiros fez com que o produto brasileiro fosse dirigido para o mercado interno, que havia se expandido nos anos anteriores, devido a fatores como urbanização e industrialização do Rio de Janeiro; dinamismo do complexo cafeeiro paulista; crescimento de outros complexos regionais, como o da Amazônia e do Sul do Brasil (PASSOS SOBRINHO, 2000, CANO, 2007).

Apesar do limitado tamanho do mercado interno, que era menos dinâmico que o internacional, o número de usinas e o volume de açúcar produzido evoluíram. Entre 1920 e 1930 foram instaladas 69 usinas, que responderam por mais de 85% do crescimento total da produção no período (SZMERCSENYI, 1988).

Como demonstra a Tabela 2, em 1930, as 302 usinas existentes produziram 1,2 vezes mais açúcar do que os 58.536 bangüês ainda em funcionamento no Brasil. O diferencial na produtividade das unidades de fabricação de açúcar somado ao constante avanço na instalação

das usinas foram alguns dos motivos que levaram a economia açucareira a uma grande crise no período.

Tabela 2 – Produção de bangüês e usinas na década de 1920 (mil sacos de 60 Kg).

Região	1920		1930	
	Bangüês	Usinas	Bangüês	Usinas
Norte/Nordeste	3.631,9	2.438,0	4.716,6	7.430,5
Centro-Sul	3.960,3	1.557,5	4.080,9	3.373,4
Total	7.592,2	3.995,5	8.797,5	10.803,9

Fonte: Baseado em Szmrecsányi (1988).

A transição de uma produção dispersa e em pequena escala para uma concentrada e em grande escala, em um momento em que a comercialização do açúcar estava direcionada apenas ao mercado interno, fez surgir o problema da superprodução. Para solucioná-lo, foi necessária a intervenção do Estado.

Segundo Vian (2003), duas medidas foram tomadas pelo governo para contornar a crise: o controle da produção de açúcar, por meio de quotas para as usinas, e o estímulo à produção de álcool em destilarias anexas. O objetivo era fomentar a diversificação produtiva, como maneira de assegurar maior estabilidade ao setor, que era vulnerável às variações na demanda por açúcar.

### 2.1.3 O surgimento das destilarias anexas

Para estimular a produção de álcool combustível no Brasil, o governo editou o Decreto nº. 19.717, de 20 de fevereiro de 1931, que tornava obrigatória a adição de 5% de etanol à gasolina importada, além de exigir a utilização do produto na frota oficial de veículos, numa proporção de 10% por litro (VELLOSO, 1955; FIGUEIREDO, 2006).

Ainda no mesmo ano, por meio do Decreto nº. 20.356, de 1 de setembro de 1931, foi criada a Comissão de Estudos sobre o Álcool Motor (CEAM), que definiu as especificações técnicas para a produção de álcool anidro<sup>18</sup>. Poucos meses depois, pelo Decreto nº. 21.201, de 14 de março de 1932, o Ministério da Agricultura foi autorizado a assinar contratos com entidades particulares para a implementação de destilarias anexas, concedendo-lhes incentivos fiscais e tarifários.

Essas primeiras normas sobre o álcool no Brasil não resultaram em medidas práticas, até a criação do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) pelo Decreto 22.789, de 1 de junho de 1933. Esse órgão, que tinha como funções assegurar o equilíbrio do mercado de açúcar e impulsionar o uso alternativo da cana-de-açúcar e seus derivados, tornou concretos os objetivos governamentais.

Com o IAA, o governo obteve seus primeiros resultados positivos. No mesmo ano da criação do órgão, foi instalada a primeira destilaria de álcool anidro no Brasil, localizada em Campos, Rio de Janeiro. Seis anos mais tarde, já havia outras trinta unidades similares, espalhadas por todo o País. Nesse ínterim, a produção cresceu de aproximadamente 100 mil litros, no primeiro ano, para 38 milhões, em 1939 (SZMERCSENYI, 1979).

Esse aumento no volume de produção foi estimulado por meio de medidas governamentais, dentre elas a isenção de impostos de importação para máquinas usadas por destilarias, definida pela Lei nº. 432, de 08 de agosto de 1937. No entanto, foi somente a partir da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) que as políticas de incentivo à produção de álcool combustível foram realmente ampliadas.

A eclosão do conflito provocou a retração do comércio internacional e criou entraves ao transporte marítimo. Assim, houve forte redução no volume de importação de derivados do petróleo e de exportação de açúcar, tornando o álcool combustível um produto estratégico para a agroindústria canavieira nacional. Em 20 de fevereiro de 1941 foi editada uma Resolução da Comissão Executiva do IAA, elevando para 20% o teor mínimo de mistura do álcool à gasolina.

Essa medida teve forte influência no crescimento do número de destilarias e no volume de álcool produzido em 1941, quando 44 unidades destilaram 76,6 milhões de litros do produto. Não obstante, apesar dos esforços governamentais, a tendência não se manteve nos anos

---

<sup>18</sup> Álcool anidro: álcool usado com aditivo à gasolina.

seguintes. A partir de 1943, passou a haver decréscimo na produção de álcool, que somente voltou aos níveis anteriores após o armistício.

Segundo Szmercsányi e Moreira (1991), essa retração no volume de produção de álcool estava associada à escassez de algumas matérias-primas para as destilarias, como o benzol, em razão da guerra. No entanto, distorções no mercado nacional pela interrupção do transporte de cabotagem do Nordeste para o Sul do País também influenciaram no processo.

Diante da defasagem entre a demanda e a oferta nos mercados sulistas, o IAA estimulou o aumento da fabricação de açúcar na região. Com isso, a produção de álcool passou a ser menos atraente para os empresários do Centro-Sul, que investiram mais na construção de novas usinas e menos em destilarias.

Ao final da Segunda Guerra Mundial, a produção de açúcar estava em franca expansão, devido ao aumento do número de usinas no Centro-Sul, e a destilação de álcool, que havia sofrido um forte revés durante o período de beligerância, voltava a se recuperar, graças ao aumento da demanda pelas indústrias nascentes nas áreas da química, da farmácia e das bebidas (SUZIGAN, 2000).

Durante o restante da década de 1940, houve a consolidação desse cenário. No período, a demanda internacional por açúcar fez com que o excedente produzido pelas usinas no Centro-Sul não criasse uma crise de superprodução no País. Assim, em 1948, as exportações do produto alcançaram a marca histórica de 5,6 milhões de sacos de 60 quilos, somente superada sete anos depois.

No início da década de 1950, portanto, mesmo com a volta da participação dos produtos nordestinos nos mercados regionais sulistas, não havia motivos para restrições à fabricação de açúcar por parte do IAA. Como as exportações e o consumo interno absorviam os aumentos, os usineiros estavam livres para ampliarem suas produções.

Para se dimensionar a importância do aumento ocorrido na época, vale a comparação entre os anos de 1933 e 1950. Como demonstra a Tabela 3, no ano em que o IAA começou a planejar a expansão da agroindústria canavieira, havia 310 usinas no Brasil, que produziram 8 milhões de sacos de 60 quilos. Em 1950, eram 379 usinas, que fabricaram 24 milhões de sacos de 60 quilos.

Tabela 3 – Comparação do volume de açúcar produzido em usinas nos anos de 1933 e 1950.

Principais Estados Produtores	Número de Usinas		Produção Açúcar (mil sacos de 60 kg)		Cana Moída (mil toneladas)		Rendimento (kg/tonelada)	
	1933	1950	1933	1950	1933	1950	1933	1950
	Pernambuco	71	61	3.460	7.462	2.332	4.456	89
São Paulo	27	80	1.689	6.927	1.067	4.333	95	96
Rio de Janeiro	32	34	1.653	4.085	1.653	2.587	90	96
Brasil	310	379	8.984	24.184	6.020	15.293	89	95

Fonte: IBGE (2008).

Durante o período em análise na Tabela 3, duas importantes modificações na estrutura da agroindústria canavieira nacional ficam em evidência: 1) acréscimo da produtividade industrial, induzido pelo surgimento de novas usinas; 2) aumento da importância do Rio de Janeiro e São Paulo, os dois principais Estados produtores da região Centro-Sul, no volume total de açúcar produzido no Brasil.

Assim, havia um duplo processo em curso na agroindústria canavieira em meados do século XX. Ao mesmo tempo em que a usina se consolidava como principal unidade de produção de açúcar, tendo a destilaria anexa para o aproveitamento de seus subprodutos, o centro de dinamismo do setor se deslocava do Nordeste para o Centro-Sul.

No final da década de 1950, o Nordeste respondia por apenas 31% da produção da agroindústria canavieira nacional, enquanto dez anos antes representava 59%. Impulsionados pela proximidade dos mercados consumidores, os empresários do Centro-Sul investiram pesado na construção de novas usinas, passando a responder por 69% dos derivados de cana-de-açúcar produzidos no País e deixando os nordestinos muito para trás.

## 2.2 MUDANÇAS NA SOCIEDADE E NO MODELO DE PRODUÇÃO

A modernização da agroindústria canavieira acompanhou as mudanças ocorridas na estrutura da sociedade brasileira. Durante o período dos bangüês, a paisagem natural e social era marcada pelo domínio da vida campestre sobre a cidade, que constituía um mero apêndice daquela. Se, por um lado, a propriedade rural se vinculava a uma idéia de nobreza e constituía o lugar das atividades permanentes, as cidades vivam vazias. Somente afluíam a elas as pessoas quando havia festejos e solenidades (HOLANDA, 1969).

No entanto, segundo Freyre (1981):

Terminado o período do patriarcalismo rural, de que os engenhos bangüês, com suas casas-grandes isoladas, procurando bastar-se a si mesmas, foram os últimos representantes no Norte e seus substitutos no Sul, as fazendas mais senhoriais de café e as instâncias mais afidalgadas no gênero de vida de seus senhores; e iniciando o período industrial das grandes usinas e das fazendas e até instâncias exploradas por firmas comerciais das cidades mais do que pelas famílias (FREYRE, 1981, p.153).

O complexo rural, onde estava sitiado o senhor de engenho e sua família, simplesmente não condizia mais com o dinamismo das atividades impostas pela Revolução Industrial. O tempo em que funcionavam as máquinas, os processos e os meios de transportes modernos exigia uma organização diferente: maior, mais especializada e capitalizada. Basicamente, mais urbana.

Desse modo, o início do processo de transformação técnica da agroindústria canavieira foi marcado pela irrupção da influência da cultura urbana sobre o mundo rural. O usineiro, ao contrário do senhor de engenho, era um cidadão. E era, pois, da cidade, que ele e seus sócios contratavam os serviços financeiros e técnicos essenciais à manutenção do maquinário moderno e delegavam suas ordens ao campo (MOREIRA e TARGINO, 1997).

### 2.2.1 A urbanização e a mudança no padrão técnico da agroindústria canavieira

A urbanização e a modernização da agroindústria canavieira foram processos que marcharam associados um ao outro. Na medida em que as cidades passaram a fornecer serviços especializados e a consumir um tipo mais sofisticado de produto final, as usinas foram se expandindo. Ao mesmo tempo, enquanto cresciam as unidades de produção, também aumentava a população citadina, devido à imigração gerada pela decomposição das estruturas agrárias (RIBEIRO, 1995; CASTELLS, 2006).

Nesse sentido, segundo Furtado (2008):

No quadro da industrialização dependente, o fator determinante de tecnologia utilizada é o grau de diversificação da demanda (a natureza dos produtos finais) gerada pelos grupos sociais que tiveram acesso indireto à civilização industrial. As implicações deste fato são consideráveis, pois o que chamamos de tecnologia não é outra coisa senão o conjunto de transformações no sistema produtivo e nas relações sociais que têm na acumulação o seu vetor. Como o acesso indireto à civilização industrial significou a introdução dessas transformações no nível da demanda final (sob a forma de modernização), o processo de industrialização assumirá a forma de um esforço de adaptação do aparelho produtivo a essa demanda sofisticada, o que o desvincula do sistema de forças preexistente (FURTADO, 2008, p.75).

Quando surgiram as primeiras usinas, no final do século XIX, a demanda por seus produtos era limitada no mercado nacional. De modo que a produção dessas unidades costumava ser exportada para os países mais industrializados, onde o consumo era mais sofisticado. No entanto, na década 1920, quando o Brasil foi praticamente excluído do mercado internacional, a agroindústria canavieira passou a depender basicamente do comércio interno (SINGER, 1974; ANDRADE, 1994).

Ocorre que, justamente nessa mesma época, em função da urbanização promovida pelo complexo cafeeiro paulista e pelas fábricas têxteis cariocas e nordestinas, os brasileiros começavam a ter condições financeiras de consumir produtos não duráveis melhores. Entre 1920 e 1960, essa tendência evoluiu. Assim, enquanto no início da década de 1920 o consumo anual *per capita* de açúcar de usina era de apenas 8,8 quilos; em 1930 era de 15 quilos; em 1940 de 22; em 1950 de 30; e, em 1960, passou para 32 quilos (SZMRECSÁNYI, 1988; BRASIL, 2007).

Nesse período, segundo Ribeiro (1995), o contingente urbanizado duplicou, quando a população cresceu duas vezes e meia, passando de 30,6 milhões, em 1920, para 70,9 milhões, em 1960. Ao mesmo tempo, a rede metropolitana cresceu de seis cidades maiores de 100 mil habitantes para trinta e uma. Maior, ainda, foi o incremento das cidades pequenas e médias, que constituíam, em 1960, uma rede de centenas de núcleos urbanos distribuídos por todo o país.

### 2.2.2 O campo e a mudança no padrão técnico da agroindústria canavieira

As primeiras usinas surgiram nas mesmas margens de rio onde os grandes engenhos moíam suas canas e onde começou a agroindústria canavieira no Brasil. Como não houve mudança na estrutura fundiária nesse entrementes, havia ali terra suficiente para que as usinas funcionassem. Portanto, em um primeiro momento, não houve motivos para que fossem adicionados novos territórios.

No entanto, a partir do instante em que as terras dos maiores bangüês deixaram de satisfazer as demandas do novo processo fabril, as usinas foram obrigadas a avançar sobre os pequenos engenhos que ainda funcionavam. Tal movimento acelerou o processo de concentração fundiária, impulsionando a migração do homem do campo para as grandes cidades próximas às zonas de produção de açúcar.

Desse modo, assinala Goulart (1959):

A usina, estabelecimento característico da moderna industrialização, é que acabou com a aristocracia, com a fidalgagem canavieira. A pouco e pouco as usinas foram engolindo os humildes bangüês; como enormes serpentes, sempre prontas a dar o bote mortal, de olhos vítreos fitos na presa, em disputas umas com as outras por mais água, mais terra e mais cana, desenvolviam sua guerra indiferentes aos destinos dos antigos fornecedores de cana (GOULART, 1959, p.23).

Segundo Araújo (1997), a migração das áreas de produção de açúcar para as cidades foi bastante sentida em Pernambuco, onde começou a transformação técnica da agroindústria canavieira no Brasil. Devido ao processo de expansão das áreas de canaviais das usinas, Recife mais que duplicou sua população entre 1872 e 1920; passando de 126.671 para 238.843 habitantes.

Até meados do século XX, mesmo havendo limitações ao tamanho das unidades de produção, impostas pelo IAA, o processo de concentração de terras por usinas somente ganhou força. Segundo Júnior (1954), serve como um bom indicativo desse evento, a redução do número de propriedade nas cinco principais zonas de produção de açúcar de Pernambuco entre os anos de 1934 e 1950: em Cabo, de 102 para 75; em Escada, de 119 para 83; Goiana, 220 para 210; Água Preta, 168 para 142; Ipojuca, 114 para 86.

Não obstante, a partir da década de 1950, a expansão das usinas alcançou também as áreas de produção de outras culturas. No Nordeste, a cana, que sempre esteve restrita às várzeas úmidas, invadiu os Tabuleiros Costeiros, antes deixados às capoeiras ou às atividades de subsistência (LIMA, 2003; ANDRADE, 1994).

As áreas de ocupação das usinas resultam de um longo processo de seleção cumulativa, ainda hoje em curso. Em uma primeira fase, a opção era pelas terras dos bangüês de fogo morto<sup>19</sup> ou dos tributários das usinas. Em uma segunda fase, abrangeu predominantemente engenhos já fornecedores de cana, mas ainda em mãos de seus antigos proprietários. Por fim, incorporou espaços antes ocupados por outras culturas ou pela vegetação nativa (MELO, 1975; PASSOS SOBRINHO, 2000).

### 2.3 O NOVO PADRÃO PRODUTIVO E OS RECURSOS AMBIENTAIS

Devido às mudanças no padrão técnico da agroindústria canavieira, as unidades de produção passaram a ter uma capacidade de processamento muito superior àquela que existia durante o tempo dos bangüês. Segundo Passos Sobrinho (2000), as primeiras usinas eram capazes de produzir cerca de quarenta vezes mais açúcar do que os antigos engenhos. Contudo, para tanto, necessitavam de uma área de cana-de-açúcar cultivada cerca de dezoito vezes maior.

Conforme Singer (1974), as usinas demandavam mais terras por possuírem maior quantidade de seus ativos imobilizados pelo capital industrial, cuja valorização exige o melhor aproveitamento da capacidade de produção instalada na fábrica. Por isso, era necessária uma

---

<sup>19</sup> Fogo morto era a expressão que designava o fim das atividades de um engenho no Brasil.

crescente quantidade de matéria-prima. Além do mais, a exploração dos ganhos de escala provocava o aparecimento de usinas cada vez maiores.

A expansão da fronteira agrícola da cana-de-açúcar teve grandes efeitos sobre o meio ambiente, afetando diretamente as matas e os solos. No lugar da exuberante Mata Atlântica, o bioma mais degradado pelas usinas, na década de 1950, em muitos lugares, restavam apenas os canaviais. Enfraquecidas pela monocultura, essas terras eram marcadas por ravinas e voçorocas, que contribuíam, amiúde, para o assoreamento dos rios, que também sofriam com a derrubada de suas matas ciliares.

Nesse sentido, segundo Andrade (1989):

Com a expansão da área plantada, a cana iria promover a derrubada das florestas ainda preservadas, em uma área de relevo acidentado, acelerando a erosão das encostas e o entulhamento dos vales. Os rios, com seus leitos em grande parte cheios de sedimentos transportados pelas enxurradas, ficaram cada vez mais largos. Além disso, a derrubada das florestas provocava alterações nos regimes dos rios, dando origem a grandes cheias nos períodos chuvosos e queda no nível das águas ao mínimo ou até à periodicidade, na ocasião em que as indústrias mais necessitavam de açúcar. Daí a necessidade de construção de barragens ou de fazer o retorno das águas servidas pela indústria. Mais o maior impacto sobre o meio fluvial foi provocado pelo lançamento nos rios das águas servidas pelas indústrias e das caldas – o vinhoto – das destilarias (ANDRADE, 1988, p.34).

De fato, o maior impacto causado pela agroindústria canavieira, não somente sobre o meio aquático, mas em todo o ecossistema, era o vinhoto. Produzido pelas destilarias, esse resíduo da fabricação do álcool era extremamente poluente, mas costumava ser lançado sem qualquer tratamento nos rios que abasteciam as usinas com destilarias anexas.

### 2.3.1 O vinhoto e os rios das usinas com destilarias anexas

O vinhoto, também chamado de vinhaça ou calda, representa o principal efluente gerado pelo processo de fabricação de álcool a partir da cana-de-açúcar. Produzido em uma proporção 13 a 15 vezes maior que o volume de álcool destilado, gerava um impacto extremamente negativo sobre os rios das usinas com destilarias anexas, causando, entre outros efeitos, a morte de peixes, anfíbios e crustáceos.

Devido a sua elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), entre 80.000 e 100.000 mg L<sup>-1</sup>, o vinhoto, quando lançado em um corpo de água, torna seu balanço de oxigênio (BO) negativo. O BO é dado pela diferença entre a DBO, quantidade de oxigênio de que o rio necessita para manter a matéria orgânica, e o oxigênio dissolvido (OD), que é a quantidade de oxigênio proveniente do ar e da vegetação aquática disponível na água. Com um BO negativo, o corpo de água afetado está em um estado considerado putrescível (MELO e SILVA, 2001; SATYAWALI e BALAKRISHNAN, 2008).

Além disso, o vinhoto possui elevados teores de nutrientes, na forma de nitrogênio (1.660 – 4.200 mg L<sup>-1</sup>), fósforo (225 – 3.038 mg L<sup>-1</sup>) e potássio (9.600 – 17.475 mg L<sup>-1</sup>). A contaminação dos rios com grande quantidade desses elementos leva a uma progressiva degradação da qualidade do meio aquático, devido ao crescimento descontrolado de plantas aquáticas, em um processo conhecido como eutrofização das águas (MAHIMAIRAJA e BOLAN, 2004; XAVIER, DIOS e BRUNKOW 2005).

O vinhoto contém ainda cerca de 2% de um pigmento marrom chamado melanoidina, que determina a coloração do efluente. Melanoidinas são moléculas insaturadas que se polimerizam, em consequência da reação de Maillard, que é uma reação não-enzimática amarronzada que resulta da redução de açúcares e aminoácidos. Essa reação, considerada um dos motivos para o forte odor do vinhoto, ocorre efetivamente em meios com temperaturas superiores a 50 °C e pH entre 4 e 7 (NUNES e BAPTISTA, 2001).

A alta temperatura de saída, o baixo pH e a coloração escura, que impede a fotossíntese bloqueando a luz solar, são algumas das muitas características que tornam o vinho extremamente agressivo ao meio aquático e que fazem com que seus despejos influenciem negativamente na qualidade dos rios próximos a usinas com destilarias anexas (BARUAH, SHARMA e BORAH, 1993).

### 2.3.2 A percepção do problema com o vinhoto

Segundo Freire e Cortez (2000), os relatos do governador Herculano Bandeira de Melo à Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco sobre os problemas sociais gerados pelo lançamento do vinhoto nos rios próximos às usinas, evidenciam o longo tempo que o tema faz

parte da preocupação das autoridades públicas. O discurso do governador, que data de 1908, é ilustrativo por dois motivos: 1) por ter sido proferido na época do início da construção das destilarias anexas no Brasil; 2) pela história pessoal do próprio Governador.

Filho de senhor de engenho, Herculano Bandeira de Melo nasceu nas terras do bangüê Tamataupe, onde ele mesmo fundaria, mais tarde, a Usina Mussurepe. Portanto, o Governador compreendia muito bem a realidade da agroindústria canavieira. Por ter acompanhado as mudanças provocadas pela escala de produção das usinas e destilarias, sabia do perigo que o vinhoto representava. Por isso, teve como fato marcante de sua administração a preocupação com a questão sanitária (ANDRADE, 1989; MOURA, 1998).

A primeira medida para coibir a poluição dos rios pelo lançamento do vinhoto surgiu em 1910, por ocasião de seu governo. Por meio da edição de uma lei estadual, Herculano Bandeira proibiu o lançamento do resíduo nos rios das usinas mas o instrumento não obteve sucesso devido à inexistência de um órgão fiscalizador.

Segundo Velloso (1955), após essa iniciativa, outra medida para prevenção dos efeitos do vinhoto somente foi tomada em 1934. Por meio da edição do Decreto nº. 23.777 de janeiro de 1934, o Governo Federal pretendia regular o lançamento desses efluentes nos rios que cortavam as destilarias anexas às usinas. Não obstante, como ocorreu em Pernambuco, não houve êxito da medida em razão da falta de um órgão responsável pela aplicação da norma.

Assim, somente na década de 1960, quando foram criados os primeiros órgãos estaduais de controle da poluição, medidas efetivas começaram ser tomadas contra o lançamento do vinhoto nos rios. Nesse sentido, foi importante a ação da Comissão Estadual de Controle da Poluição de Pernambuco e da Comissão de Controle da Poluição das Águas e do Ar de São Paulo, que deram início uma nova etapa no controle da relação entre os recursos hídricos e a agroindústria canavieira.

## 2.4 OS RIOS DE AÇÚCAR DO NORDESTE ORIENTAL

Para se tentar avaliar os impactos causados pelo vinhoto e por outros efeitos colaterais da transformação técnica da agroindústria canavieira antes da tomada de medidas efetivas para o

seu controle, aceitou-se como referencial o estudo realizado por Gilberto Osório de Andrade e Manuel Correia de Andrade, no final da década de 1950, no Nordeste Oriental.

Criado em 1942 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na primeira divisão oficial feita do território brasileiro, o termo Nordeste Oriental define uma das três sub-regiões da geomorfologia nordestina que explicam o processo de ocupação regional. Seus aspectos físicos – relevo, clima e vegetação – foram capazes de moldar de maneira particular a forma como as atividades humanas nele se estabeleceram, assim como também ocorreu no meio-norte, que inclui o Maranhão e o Piauí, e na parte meridional, que compreende o Sergipe e a Bahia (NEVES, 1983).

Localizado em uma porção de terra que se estende do Ceará, passando pelo Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, até chegar ao Estado das Alagoas, o Nordeste Oriental tem como característica suas várzeas, ricas em massapé, muito apropriadas ao cultivo da cana-de-açúcar. Distantes dos rios existem apenas tabuleiros de solos mais fracos, pouco utilizados por culturas comerciais até a década de 1960.

Segundo Andrade (1970), no nível desses tabuleiros corre um planalto que, em certos momentos, segue em direção ao interior sem restrições, mas, por vezes, se separa das encostas mais baixas da Borborema por uma depressão periférica, como na Paraíba. Nesses níveis mais baixos do Planalto da Borborema está definida a grande unidade morfológica do Nordeste Oriental, que se alonga do Rio Grande do Norte até Alagoas, do Norte ao Sul, possuindo, de Leste a Oeste, uma largura que oscila entre 100 e 150 quilômetros.

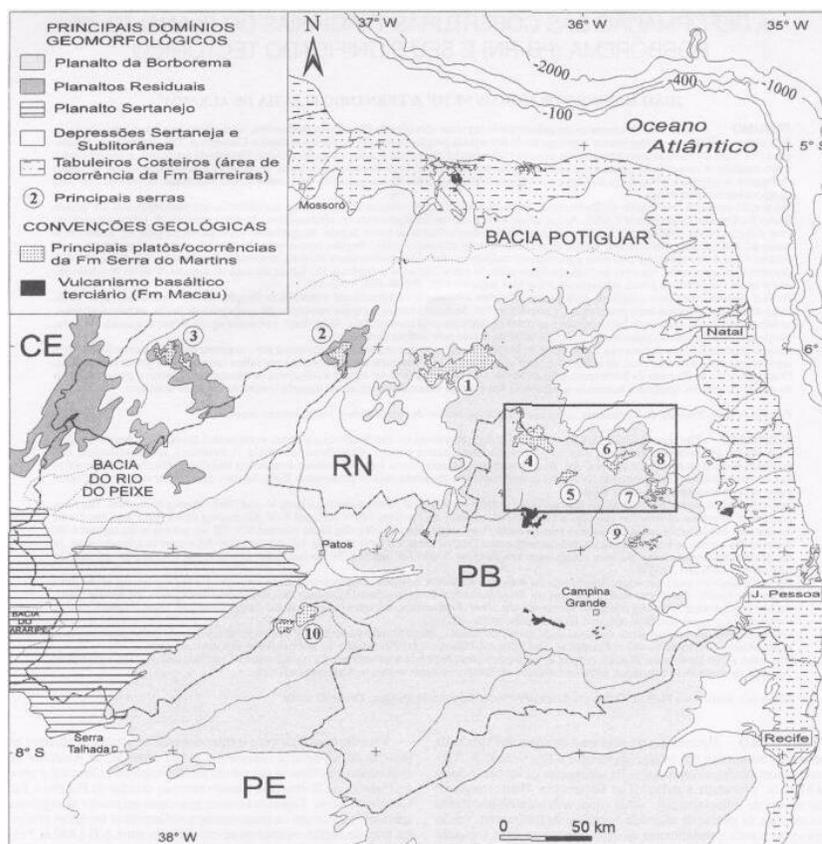


Figura 7: Principais domínios geomorfológicos do Nordeste Oriental.

Fonte: Morais Neto e Alkmim (2001).

Desse modo, numa estreita faixa entre a Costa e a Borborema, o relevo do Nordeste Oriental limitou a área de cultivo da cana-de-açúcar. Sempre próximas aos rios, pois nos locais distantes o clima semi-árido e os solos fracos eram poderosos inimigos, as usinas se fixaram nas mesmas várzeas onde antes os engenhos funcionavam, pois a água continuou sendo essencial para manufatura da planta.

Foi seguindo a trajetória desses rios ocupados pela cana-de-açúcar que os pesquisadores Gilberto Osório de Andrade e Manuel Correia de Andrade puderam avaliar os impactos causados pelas usinas com destilarias anexas no Nordeste Oriental. Entre os anos de 1957 e 1959, publicaram quatro volumes de uma obra conhecida pelo título geral de “Os rio-de-açúcar do Nordeste” que, neste capítulo, serão tratados de acordo com os nomes das bacias hidrográficas exploradas em cada um dos livros da série.

#### 2.4.1 A bacia do rio Ceará-Mirim

No primeiro volume da série, que estudou o caso do rio Ceará-Mirim, os autores relatam<sup>20</sup> que foi por meio da força do desmatamento e da drenagem que a principal área de expansão canavieira na bacia foi estabelecida. O nome do povoado onde originalmente se deu esse processo, Boca da Mata, exprimia bem o contraste de paisagens.

Segundo os pesquisadores, da devastação feita à cobertura vegetal escaparam apenas:

... algumas moitas ilhadas no canavial do “alagadiço” e preservadas como proteção dos “olheiros”: associações residuais de galandim, avoeira, araticum, cajazeira, gameleira, genipapo, ingazeira, maria-preta, mabraisco, baronesas e aningas, além doutras espécies higrófilas e hidrófilas da mata úmida tropical nordestina (ANDRADE, 1957a, p. 39).

A partir dos relatos é possível perceber, primeiramente, os danos causados às matas de galeria, onde as espécies hidrófilas costumam se desenvolver mais abundantemente. Outro aspecto importante é a consciência dos usineiros sobre a importância das nascentes em suas propriedades, que isentavam a maior parte deles do problema da sucessiva repartição dos recursos hídricos comuns.

Nesse sentido, observou-se que, mesmo com abundância de água em suas terras, as usinas Ilha Bela e Santa Terezinha represavam os córregos Água Azul e Monteiro. Com isso, criavam um sério problema para os proprietários que estavam localizados a jusante, que muitas vezes tinham problemas devido à escassez de água. Por isso, de quando em quando, as usinas eram obrigadas a arrebentar suas barragens, para que fosse aumentada a vazão.

Além disso, a falta de comportas nas barragens construídas e o contínuo avanço da cultura da cana-de-açúcar sobre as áreas de drenagem implicaram na salinização dos terrenos agrícolas costeiros da Bacia. Assim, em março de 1953, um jornal potiguar anunciou que se estavam pescando tainhas vale a dentro no Ceará-Mirim, onde a água fora sempre doce.

No entanto, o maior problema na bacia do Ceará-Mirim, segundo a pesquisa, era o despejo do vinhoto. No rio Água Azul, por exemplo, três usinas derramavam diretamente seus resíduos, sem qualquer tratamento. Segundo relatos colhidos pelos pesquisadores, o volume

---

<sup>20</sup> A bem da verdade, Manuel Correia de Andrade participou somente das pesquisas. Foi Gilberto Osório de Andrade quem escreveu a obra. Portanto, somente este último é citado como autor.

dos lançamentos era tão intenso que chegava a tornar impróprias as águas do rio para uso na irrigação.

#### 2.4.2 A bacia do rio Mamanguape

No mesmo ano em que foram publicados os resultados das pesquisas no Ceará-Mirim foi lançado o segundo volume da série, cujo foco de análise era o rio Mamanguape. Como no primeiro estudo, o represamento do rio para consumo dos processos da usina e o lançamento da vinhaça foram detectados como problemas. Contudo, surgiram também dois elementos importantes, o uso de adubos e fertilizantes e a irrigação dos canaviais.

A adoção de práticas culturais nas lavouras de cana-de-açúcar mostrava-se em uma fase incipiente, como é possível perceber a partir do seguinte relato:

O uso do adubo vem sendo iniciado nos últimos tempos e é feito ainda com parcimônia. Assim, a Usina Monte Alegre aduba apenas 20% dos 1.500 ha que cultiva, empregando geralmente a torta, o adubo animal e, ultimamente, algum adubo químico. A Usina Santa Maria usa adubos com maior intensidade. Entre os adubos químicos, utiliza o salitre e a fosforita. Quanto ao adubo orgânico, utiliza o resíduo do agave e tenta aproveitar as caldas (ANDRADE, 1957b, p. 36-37).

Com relação à irrigação dos canaviais, a prática era bem difundida na área de abrangência da pesquisa, sobretudo nas áreas de encostas, onde as usinas aproveitavam a gravidade para irrigar suas lavouras. Com isso, havia muitos barramentos no rio, apesar da maior parte da água utilizada ser proveniente de açudes.

Contudo, a disponibilidade dos recursos hídricos na bacia do Mamanguape era muito mais afetada pelo lançamento do vinhoto. Por se tratar de um rio temporário, o problema era mais sério do que no Ceará-Mirim. No entanto, das usinas da região apenas a Santa Maria havia iniciado trabalhos de aproveitamento da vinhaça como adubo, mas somente em fase experimental.

Sob orientação de um professor de agronomia da Escola Superior de Agricultura do Nordeste, a Usina Santa Maria, em Serraria, na Paraíba, aproveitava a vinhaça da seguinte forma: o produto era lançado sobre a área de plantio, no qual se abria previamente um grande

número de valetas, deixando que ele ali permanecesse por quarenta dias. A vegetação natural, então, morria em contato com a vinhaça, e após outros quarenta dias, com adição de água, o terreno era considerado apto para receber o plantio da cana.

A parte do vinhoto que não era utilizada como adubo era lançada no riacho Mercês. Como a quantidade lançada era pequena, o rio era perene e não existiam povoações a jusante da Usina, as reclamações eram limitadas. Os mais prejudicados, contudo, eram os ribeirinhos, que, basicamente, eram os trabalhadores da própria usina.

Essa situação era muito diferente daquela que ocorria no riacho Santa Rita, onde a Usina Monte Alegre lançava seu vinhoto. O volume e a relativa proximidade (3km) faziam com que a população do burgo industrial do Rio Tinto sofressem com o odor característico da vinhaça em decomposição.

Pior era a situação dos habitantes da cidade de Pirpirituba, onde, a menos de 150 metros da Igreja Matriz, passava o rio Bananeiras. Recebendo vinhoto da usina São Francisco, o rio de pouca água, que chegava a secar no verão, transformou-se em uma série de poços de vinhaça bruta. Os moradores reclamavam dos maus odores e da morte de peixes e de outros animais, o que atraía urubus e moscas. Outra questão de recorrentes críticas era a impossibilidade de uso do rio para atividades domésticas, como banho, lavagem de roupas e utensílios.

Problema idêntico também era causado pela Usina Tanque à cidade de Alagoa Grande. As caldas, lançadas através de uma valeta no riacho Serrotinho, desembocavam no rio Mundauá, que fazia um meio círculo abraçando o centro urbano. Além dos odores, a população reclamava dos prejuízos com a pesca.

#### 2.4.3. A bacia do rio Paraíba do Norte

Dois anos após a publicação dos dois primeiros volumes da série, foi lançada a segunda parte das publicações. O terceiro estudo dirigiu-se ao rio Paraíba do Norte, que apresenta os mesmos problemas já levantados pelas pesquisas anteriores, mas com informações adicionais sobre os problemas socioeconômicos e ambientais gerados pela atividade das usinas.

O estudo relata o trabalho dirigido pelo pesquisador José Levareda para determinar as condições de vida dos trabalhadores no Baixo-Paraíba, concluindo que a alta incidência regional de casos de disenteria amebiana e bacilar era devido ao consumo de água sem qualquer tratamento captada nos rios poluídos pela vinhaça.

Além disso, no Baixo-Paraíba, a fedentina invadia a cidade de Santa Rita, que em réplica ao que ocorria em Alagoa Grande, era cercada pelas caldas que infectavam o rio Una. O volume dos despejos pela Usina Santa Helena era tão grande que havia registros de reclamações de populações ribeirinhas distantes mais de 18 km. Além disso, a Usina Santa Rita, localizada a jusante, não podia sequer coletar as águas para seu processo industrial sem um dispendioso processo de tratamento.

Prejuízos do mesmo gênero ocorriam também no rio Inhobim, onde a Usina Santana despejava seu vinhoto. No entanto, ali as conseqüências eram ainda mais drásticas, pois na zona da várzea onde vivia a população ribeirinha não havia outras fontes de suprimento de água para uso doméstico.

Além da necessidade da população de se dessedentar, havia ainda outras implicações no regime alimentar regional. Com a morte de peixes e crustáceos, e a ruptura do equilíbrio ecológico, eram reduzidas as opções de aproveitamento dos recursos pesqueiros dos rios.

Para resumir o problema da demanda por recursos hídricos e das externalidades produzidas pelas usinas na bacia do Paraíba do Sul, vale a descrição feita por Andrade (1959a) acerca dos problemas enfrentados por elas na captação de água:

No que diz respeito à água de uso industrial, as usinas dos rios Una e Inhobim são as favorecidas: a Santa Helena, que se vale dos vários açudes vizinhos, dentre os quais o maior é o do Padre Azevedo, e que não faz retorno, e a Santana, que represa o Inhabim e tem tanta fartura d'água que pode reparti-la com a Usina Santa Rita.

Com essa ajuda, e mais com a de um poço artesiano de 144m a serviço da destilaria, tem ainda a Usina Santa Rita de se valer da água salobra do Paraíba: salobra e suja das caldas que vêm, pelo Una, da Usina Santa Helena. Quanto à usina São João, ao pé do tabuleiro, prescinde do coletor poluído, socorre-se de um dos canais que drenam o Encantado, na margem direita do baixo-Paraíba, e não precisa fazer retorno. Para a destilaria, porém, utiliza um furo artesiano de 70m de profundidade, com água cujo teor calcário precisa ser previamente corrigido (ANDRADE, 1959a, p. 117-118).

#### 2.4.4 As bacias dos rios Coruripe, Jiquiá e São Miguel

Para encerrar a série de trabalhos sobre os rios-do-açúcar do Nordeste Oriental, foi realizada uma pesquisa sobre os rios Coruripe, Jiquiá e São Miguel. O trabalho foi ainda mais detalhado do que os anteriores e conta com um mapa das usinas e dos rios estudados, o volume dos despejos de vinhoto e o nome de algumas espécies de peixes em risco de extinção.

Uma das usinas pesquisadas, a Coruripe, durante a safra costumava lançar seu vinhoto uma vez por semana no rio de mesmo nome. O volume de cada despejo era calculado em 300.000 litros, o que tornava suas águas completamente inutilizáveis para as atividades domésticas das comunidades ribeirinhas.

Além disso, devido às proporções, alguns dos peixes que serviam de base para a alimentação das populações, como a piaba, o acará e a traíra estavam desaparecendo. Na cidade de Coruripe, localizada a jusante da usina, os pescadores alegavam que eram obrigados a navegar por 17 km para poderem pescar na lagoa de Poxim, tamanha a escassez.

Já na bacia do rio Jiquiá a situação era um pouco diferente. O menor volume de caldas lançadas pela Usina Sinimbu encontrava um corpo de água com maior vazão, o que permitia a depuração dos efluentes. Os pescadores de Jequiá da Praia, quando entrevistados, afirmaram que os odores somente se concentravam no primeiro trecho do rio, onde a corrente era mais estreita. Na lagoa a jusante, não havia cheiro ou problemas com a morte de animais lacustres.

No entanto, o mesmo não ocorria antes de 1951, quando a destilaria da usina estava localizada longe da fábrica de açúcar e perto da lagoa. Nessa época, as caldas chegavam menos diluídas e causava a mortandade dos peixes, o que impedia a pesca. A mudança, no entanto, somente ocorreu em face de uma ação judicial movida pelo proprietário do Engenho Prata contra a empresa responsável pela usina.

## 5. CONCLUSÃO

Em razão das mudanças ocorridas no padrão técnico de manufatura da cana-de-açúcar, a relação entre a agroindústria canavieira e os recursos hídricos foi substancialmente alterada. A usina, ao substituir o bangüê, modificou não apenas o sistema, mas também a lógica de produção. O usineiro, um cidadão, enxergava a vida e a natureza que cercavam as suas propriedades no campo de maneira diferente da do senhor de engenho, que vivia em um complexo rural.

Nesse sentido, Azevedo (1950) assinala que o usineiro:

... representa o ideal burguês, uma vitória da técnica contra a vida, da indústria contra a lavoura, e uma ruptura das relações do homem contra a natureza, diante da qual poderá extasiar-se, como um homem culto, pela sua sensibilidade, mas de que não participará como homem do campo, integrado na paisagem rural, pelo seu íntimo contato e pela sua quase convivência com o meio, as plantas e os animais (AZEVEDO, 1950, p.182).

A indústria e a vida urbana, como partes do novo centro dinâmico da economia, passaram a ditar suas demandas para o setor agrícola e a condicionar sua relação com o meio ambiente. Por isso, o usineiro foi tão insensível ao problema causado pelo vinhoto e pelos demais resíduos gerados pelo aumento na escala de produção da agroindústria canavieira.

É certo que os rios dos bangüês sofreram com o assoreamento, causado pela destruição de suas matas ciliares, mas isto foi pouco quando comparado aos muitos problemas causados pela usina. Assim, ressalta Freyre (2004):

O rio não é mais respeitado pelos fabricantes de açúcar, que outrora se serviam dele até para lavar a louça da casa, mas não o humilhavam nunca, antes o honravam sempre. Admitiam-no à sua maior intimidade. Contavam-lhe suas mágoas de namorados e as suas saudades de velhos. Faziam das pontes e dos cais seus recantos preferidos de conversa.

Esses rios secaram na paisagem social do Nordeste da cana-de-açúcar. Em lugares deles correm uns rios sujos, sem dignidade nenhuma, dos quais os donos das usinas fazem o que querem. E esses rios assim substituídos quando um dia se revoltam é a esmo e á toa, engolindo os mucambos dos pobres que ainda moram pelas suas margens e ainda tomam banho nas suas águas amarelentas ou pardas como se o mundo inteiro mijasse ou defecasse nelas (FREYRE, 2004, p.71).

Para compreender melhor a maneira como os rios foram prejudicados pela ascensão dos usineiros, os relatos da pesquisa feita por Gilberto Osório de Andrade e Manuel Correia de

Andrade constituem importantes referências. Produzido no final da década de 1950, o estudo desses autores é particularmente rico em detalhes e capaz de fornecer uma imagem muito clara dos danos causados pelas usinas com destilarias anexas aos rios de açúcar do Nordeste Oriental.

Naquela que foi a principal zona de produção de açúcar no Brasil até a década de 1960, os autores encontraram vários problemas causados pela ação das usinas. Além de indícios de destruição das matas de galeria e do represamento dos corpos de água, que causavam problemas de vazão à jusante, seus estudos indicam que o vinhoto era despejado sem qualquer tipo de tratamento nos rios.

Esse quadro somente começou a ser revertido quando foram criados órgãos estaduais de controle da poluição. No entanto, isso somente ocorreu na década de 1960. De sorte que a pesquisa de Gilberto Osório de Andrade e Manuel Correia de Andrade é um precioso relato dos riscos da relação entre a agroindústria canavieira e os recursos hídricos quando não há o controle efetivo de suas atividades.

### **3 MODERNIZAÇÃO AGRÍCOLA: MUDANÇAS NA RELAÇÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA COM OS RECURSOS HÍDRICOS**

#### **Resumo**

Seguindo as tendências de mudança no modelo de produção dos países mais industrializados, a agricultura brasileira passou por uma intensa transformação técnica a partir da década de 1960. No período, a mecanização e o uso de insumos modernos passaram a ser amplamente estimulados pelo Estado, que, de maneira ideológica, financiou a modernização da agricultura sob condições favoráveis aos grandes produtores. A agroindústria canavieira, com efeito, foi uma das atividades que puderam se beneficiar do auxílio estatal e que modificaram seus processos agrícolas. Devido à demanda cada vez maior por derivados de cana-de-açúcar após a Segunda Guerra Mundial, essa mudança somente teve efeito porque prometia melhorias no rendimento da área plantada. Nesse sentido, as tecnologias incorporadas pela agricultura serviram bem aos propósitos da agroindústria canavieira, pois puderam promover o aumento na produtividade dos canaviais. No entanto, a que custo isto aconteceu? Para os recursos hídricos, a mudança no padrão técnico de produção foi extremamente gravosa. O uso de fertilizantes, pesticidas e outras tecnologias promove a degradação dos corpos de água localizados nas áreas de produção canavieira, como se pretende demonstrar neste capítulo.

#### **Abstract**

Following the change trends in the pattern of production of most industrialized countries, Brazilian agriculture has undergone an intense technical transformation since the 1960s. In that period, mechanization and the use of modern inputs have been widely encouraged by the State, which, moved by ideological interests, financed the modernization of agriculture under favorable conditions to large producers. The sugarcane agribusiness, in fact, was one of the activities that could take advantage of state aid and which changed its agricultural processes. Due to the increasing demand for sugar cane by-products after the Second World War, this change took effect only because it promised improvements in the yielding of the planted area. In this sense, the technologies incorporated by agriculture served well the purposes of the sugarcane agribusiness, since they promoted the increase in the productivity of sugarcane plantation. However, at what cost did this happen? In what concerns water, the change in the technical standard of production was extremely serious. The use of fertilizers, pesticides and other technologies promotes the degradation of the water bodies located in the areas of sugarcane production, as we intend to demonstrate in this chapter.

## INTRODUÇÃO

Seguindo os processos de transformação na sociedade moderna, que estabeleceram as indústrias como o centro dinâmico da economia, algumas das funções gerais de produção no campo foram assumidas por firmas especializadas nas cidades. Desse modo, subordinado à dinâmica de reprodução do capital industrial, o padrão de produção agrícola começou a ser alterado no início do século XX, entre os países mais industrializados.

No Brasil, esse processo teve início após o final da Segunda Guerra Mundial, quando a agricultura passou a importar fertilizantes, defensivos e máquinas agrícolas. No entanto, somente na década de 1960, quando houve a internalização da indústria de bens de capital, é que a transformação das unidades agrícolas pode ser aprofundada.

O complexo rural, baseado em equipamentos rudimentares e na economia natural, foi substituído por estruturas organizadas a partir do circuito de produção industrial. Ou seja, as unidades passaram a depender de outros setores da economia que pudessem assegurar o fornecimento dos fatores de produção necessários à atividade produtiva. A agricultura, com efeito, foi perdendo gradualmente a sua autonomia.

No entanto, esse foi um processo que não começou de maneira espontânea no Brasil. Antes, ele foi induzido pela intervenção do Estado, que por meio de subsídios diretos e do crédito rural impulsionou o consumo de máquinas e insumos agrícolas, segundo um padrão determinado pela indústria. Seus objetivos eram fomentar a produção intensiva em recursos modernos e, em consequência, ampliar a capacidade produtiva do País.

Para a cana-de-açúcar, os objetivos estatais estavam de acordo com as necessidades de oferta estabelecidas pela demanda interna. Devido à urbanização do País, no período do pós-guerra, houve um aumento no consumo de açúcar, que corria o risco de não ser suprido pelas usinas devido à baixa produtividade dos canaviais. Com isso, havia a necessidade de mudanças no sistema de produção para que fossem incorporadas tecnologias capazes de superar as restrições ambientais que impunham limites à agroindústria canavieira.

Nesse sentido, foram lançados em seqüência vários programas governamentais que visavam financiar a modernização dos canaviais. Uma profunda transformação no sistema agrícola da cana-de-açúcar teve efeito em razão da adoção, pelas usinas, das inovações

técnicas desenvolvidas pela Revolução Verde. Assim, ao chegar ao século XXI, a mecanização e o uso de insumos modernos passaram a ser características da agroindústria canavieira no Brasil.

Desse modo, os objetivos estatais foram cumpridos pela agroindústria canavieira. A atividade passou a ser intensiva em tecnologias agrícolas e sua produtividade, entre os anos de 1960 e 2008, evoluiu de 34 para 80 toneladas por hectare. No entanto, quais foram os custos dessa mudança? Essa é a pergunta que o presente capítulo pretende responder, tendo como ênfase a preservação da qualidade da água nas áreas canavieiras. O objetivo é demonstrar que as mudanças ocorridas no padrão agrícola da agroindústria canavieira são perigosas para os recursos hídricos quando utilizadas de maneira pouco prudente.

Assim, por exemplo, o uso desregrado de fertilizantes minerais pode ser uma fonte não pontual para a contaminação dos corpos de água por metais pesados ou pelo excesso de nutrientes. Para esse caso, como para os demais tópicos analisados, entre eles a irrigação e fertilização com vinhaça, o uso de pesticidas e a mecanização na cana-de-açúcar, foram levantados estudos sobre várias regiões onde a produção canavieira é importante e que foram afetadas pela falta de precaução das unidades produtoras.

A justificativa para esta pesquisa encontra-se no limitado número de trabalhos que têm procurado avaliar os efeitos da industrialização da agricultura na qualidade da relação entre a agroindústria canavieira e os recursos hídricos. A cana-de-açúcar, ainda mais do que a maioria das demais culturas, é extremamente dependente da água. Portanto, a indicação dos riscos causados pelas tecnologias que vêm sendo incorporadas aos seus processos de produção é importante para a manutenção da atividade no futuro.

### 3.1 TRANSFORMAÇÕES NO PADRÃO TÉCNICO DA AGRICULTURA

O declínio da população empregada na agricultura é um dos marcos para o estudo das mudanças ocorridas no padrão de produção agrícola no mundo. Nos países da Europa Ocidental e nos Estados Unidos, antes da Primeira Guerra Mundial, aproximadamente, um terço dos trabalhadores estavam concentrados em atividades rurais; no final da Segunda

Guerra Mundial, essa proporção caiu para menos de um sexto e continuou declinando rapidamente (FRIEDEN, 2006).

O êxodo rural ocorrido nesses países foi o resultado de um movimento de especialização da economia, que modificou as características gerais da produção e do consumo. No período, houve maior diferenciação no nível setorial e emergiram novas atividades manufatureiras e de serviços instalados nas cidades, que asseguravam maior rentabilidade ao capital. Desse modo, um dos fatores a influenciar a migração do homem do campo foi o declínio dos rendimentos diretos no setor agrícola e o aumento das rendas nas atividades eminentemente citadinas.

No entanto, embora parte do arrefecimento da importância da agricultura possa ser atribuída à demanda relativamente maior de bens não-agrícolas, com a elevação das rendas urbanas, a causa mais importante para a migração dos trabalhadores rurais é a transferência de suas funções de produtores gerais no campo para firmas especializadas nas cidades. Assim, segundo Johnston e Kilby (1975), a agricultura foi sendo gradualmente reduzida à atividade única de cultivar matérias-primas.

Como resultado da transferência de parte de suas atividades para as cidades, as propriedades agrícolas, que antes eram auto-suficientes, passaram a estar integradas aos interesses da grande produção industrial e precisaram se especializar em suas funções. Em outras palavras, a agricultura passou a estar subordinada à dinâmica de reprodução do capital industrial e a depender de compras de outros setores econômicos para poder produzir suas mercadorias (GRAZIANO DA SILVA, 1996; KAGEYAMA, 1996).

Davis e Goldberg (1957), em um trabalho complexo, estudaram esse relacionamento da agricultura com os demais setores da economia norte-americana em 1947 e 1954, estabelecendo relações entre os gastos com fatores de produção e o produto resultante por meio de técnicas matriciais de insumo-produto. O resultado da pesquisa realizada pelos autores indica que as funções relacionadas ao setor agrícola assumiram características mais complexas do que a noção de produção agropecuária, pois passaram a depender menos do campo e mais de atividades como a produção de bens de capital e de insumos industriais; o armazenamento e o transporte de produtos; a ciência e a tecnologia.

Esse novo padrão da agricultura foi ressaltado por Goldberg (1968), ao comparar a produção agrícola norte-americana nos anos de 1910, 1947 e 1965. O autor constatou que a soma das funções realizadas fora da fazenda cresceram desproporcionalmente no período e se

tornaram maiores que o total das realizadas no âmbito da propriedade rural. Estimou, assim, com base no ano de 1965, que após a consolidação das grandes transformações no sistema produtivo, o campo contribui com 11% enquanto a cidade com 89% do valor agregado aos produtos de base agrícola consumidos.

Ainda segundo o autor, em 1965, a agricultura norte-americana gerou uma renda de US\$ 16 bilhões, com o emprego de US\$ 237,6 bilhões de investimentos ou ativo total, representando uma renda de 0,067 por cada unidade de investimento. Esse comportamento contrastou com os setores de insumos agrícolas e de processamento industrial. O setor a montante empregou US\$ 27 bilhões para produzir uma renda de US\$ 32 bilhões, enquanto o setor a jusante empregava US\$ 87 bilhões para uma renda de US\$ 102 bilhões. Isso significa que cada investimento gerava, respectivamente, 1,185 e 1,172 de renda, mostrando que a produtividade do capital era maior nos segmentos a montante e a jusante do que na atividade agrícola.

De fato, entre 1910 e 1965, o valor da produção agrícola no complexo rural norte-americano foi reduzido de 54% para 14%, ao passo que o dos insumos industriais se elevou de 11% para 21% e o processamento e a distribuição, de 35% para 68%. Enquanto isso, a mão-de-obra agrícola caiu de 45% para cerca de 8% da população economicamente ativa na economia dos Estados Unidos.

Ao mesmo tempo em que o padrão de produção agrícola se transformava nos Estados Unidos, estudos de pesquisadores do Instituto Mediterrâneo de Agronomia, na França, demonstravam que o mesmo ocorria na Europa Ocidental. O trabalho de Malassis (1968), ao analisar a dinâmica francesa de trocas setoriais, constatou que a agricultura estava perdendo gradativamente sua independência em relação ao sistema de produção e sua importância no valor agregado da economia, passando a se integrar cada vez mais à dinâmica industrial.

Esse fenômeno, que modificou a estrutura da produção agrícola, chamado de industrialização da agricultura, foi explicado por Graziano da Silva (1981) da seguinte maneira:

A separação da cidade/campo só se dá por inteiro quando a indústria se muda para a cidade; a reunificação, quando o próprio campo se converte em um fábrica. Quando isso ocorre, a agricultura entendida como um “setor autônomo” desaparece; ou melhor, converte-se num ramo da própria indústria... (GRAZIANO DA SILVA, 1981, p.43).

Iniciada nos países mais industrializados, nos primeiros anos do século XX, a industrialização da agricultura começou a ocorrer na América Latina a partir do fim da Segunda

Guerra, por meio da transferência de pacotes tecnológicos europeus e americanos. Mas foi somente na década de 1960, com a internalização da indústria de bens de capital em alguns países, que houve maior difusão desse fenômeno entre os latino-americanos (MALASSIS, 1973; GUIMARÃES, 1979; ROMEIRO, 1998).

### 3.2. A industrialização da agricultura no Brasil

O processo de industrialização da agricultura brasileira teve início no pós-guerra, quando, por meio da importação de máquinas agrícolas e agroquímicos, houve uma transformação na base técnica da produção agropecuária. Do complexo rural, baseado em equipamentos rudimentares e na economia natural, as atividades agrícolas se integraram à moderna indústria e passaram a se programar a partir do circuito de produção industrial, consumindo insumos e máquinas e fornecendo matérias-primas.

Não obstante, enquanto a agricultura nacional foi dependente da importação desses elementos, a capacidade de transformação de sua estrutura esteve restrita às possibilidades de endividamento externo da economia e das políticas de câmbio e comércio exterior. Somente a partir da década de 1950, quando o governo passou a promover medidas para a substituição de importações, houve espaço para o aprofundamento das mudanças, por meio da internalização do departamento de bens de capital e insumos básicos (SORJ, 1980; DAVID, 1997, ALENCAR, 2001).

Observa-se que, durante a década de 1940, houve um importante crescimento no número de tratores no País, de 3.390 para 8.372 unidades. Tal aumento foi pequeno quando comparado ao do decênio seguinte, em que foram adquiridas 61.345 unidades por produtores rurais brasileiros. Até então, a oferta interna era nula, sendo a demanda inteiramente suprida pelas importações. Mas, já a partir de meados da década de 1960, como demonstra a Tabela 4, uma proporção de mais de 90% dos tratores vendidos passou a ser produzida no Brasil.

Tabela 4 – Importação e produção interna de tratores no Brasil, de 1950 a 1975.

Ano	Produção Interna	Importações	Total de Compras
1950	0	8.373	8.373
1960	37	12.702	12.739
1967	6.223	342	6.565
1970	14.048	60	14.108
1975	56.926	801	57.727

Fonte: Baseado em Delgado (1985).

O crescimento observado na aquisição de tratores na década 1950, ainda que baseado na importação de equipamentos, era um primeiro reflexo das mudanças na atuação do Estado. Nesse período, o propósito era fomentar um mercado ainda incipiente, por meio de incentivos aos importadores. Por isso, percebe-se uma grande variação da área média produzida com tratores em relação à década anterior<sup>21</sup>: com queda de 27.717 para 4.073 hectares por trator, um decréscimo relativo de 85%, não igualado em nenhuma outra das décadas seguintes (NOGUEIRA, 2001).

Apesar de sua importância para a arrancada do processo de modernização do campo, a variação absoluta no número de tratores adquiridos na década de 1950, em comparação com os decênios posteriores, não foi tão expressiva. Nas décadas de 1960 e 1970, por exemplo, que tiveram como base para a oferta a produção interna, foram incorporadas, respectivamente, 104.525 e 157.243 novas unidades de tratores; muito mais que as 52.973 unidades de meados do século (GRAZIANO DA SILVA, 1996).

A mecanização da agricultura brasileira apenas alcançou maior escala com o avanço da produção nacional na década de 1960. Contudo, enquanto a expansão da indústria de tratores e máquinas agrícolas foi relativamente rápida, suprimindo quase a totalidade da demanda interna em menos de dez anos, o desenvolvimento da indústria de fertilizantes foi mais complexo, levando um tempo mais longo.

Devido ao *dumping* das grandes empresas internacionais, a produção brasileira não conseguia obter o domínio do mercado interno. Tal situação somente começou a ser revertida quando a alta mundial dos preços, gerada pela Crise do Petróleo de 1973, passou a exercer forte impacto sobre a balança comercial. A partir de então, como se observa na comparação

<sup>21</sup> A redução na área produzida dividida pelo número tratores é um forte indicativo de que muitas unidades agrícolas passaram a dispor desses equipamentos na década de 1950. Contudo, a grande variação no biênio foi provocada pela baixa densidade que antes marcava a atividade agropecuária no Brasil.

dos dados de produção interna e de importação da Tabela 5, a situação mudou<sup>22</sup>. O Estado passou a apoiar sistematicamente a indústria nacional, concedendo subsídios diretos e chegando a adquirir uma empresa de fertilizantes por meio de uma subsidiária da Petrobrás.

Tabela 5 – Importação e produção nacional de fertilizantes no Brasil, de 1970 a 1975 (toneladas de nutrientes).

Ano	Nitrogenados		Fosfatados		Potássicos	
	Nacional	Importado	Nacional	Importado	Nacional	Importado
1970	20.361	255.575	169.398	226.540	0	306.693
1971	69.168	222.807	243.714	242.413	0	347.902
1972	88.493	274.589	289.277	432.547	0	361.636
1973	114.338	239.366	332.761	615.250	0	623.431
1974	150.171	185.603	387.350	515.154	0	538.304
1975	160.292	249.842	545.097	502.697	0	587.670

Fonte: Baseado em Sorj (1980).

A ação do Estado, com efeito, foi determinante para que fosse acelerado o processo de industrialização da agricultura nacional. Para induzir tal fenômeno, ele se valeu, sobretudo, dos seguintes mecanismos: a) incentivos fiscais e alfandegários à indústria, para fomentar a substituição de importações; b) estabelecimento de projetos especiais e programas regionais; c) reestruturação da pesquisa agropecuária e da extensão rural; d) incremento do crédito rural, geralmente a taxas de juros negativas; e) subsídios para a aquisição de insumos modernos.

Dos mecanismos estatais acima relacionados, o crédito rural e os subsídios foram aqueles que mais destacadamente contribuíram para a transformação das unidades de produção agropecuária. Por meio deles, o Estado passou a ser o agente que sustentou a expansão das indústrias de insumos e de máquinas agrícolas no Brasil, lançando a agricultura a um padrão técnico-econômico acima das condições de mercado, em prol de sua industrialização (FÜRSTENAU, 1987; DELGADO, 2002).

Assim, foi estabelecido um sistema de financiamento da agricultura baseado no fornecimento de crédito subvencionado às unidades produtoras intensivas em tecnologia e no subsídio direto ao consumo de alguns insumos pré-determinados pelo Estado. Iniciado em 1965, com a criação do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), este modelo perdurou por

<sup>22</sup> Com exceção da produção nacional de potássio, que somente teve início em 1985.

quase duas décadas, durante um período que Kageyama (1996) classificou como sendo o da modernização compulsória do padrão agrícola brasileiro.

Com efeito, os reflexos da capitalização dos produtores rurais e dos incentivos à comercialização de insumos modernos foram rapidamente sentidos no campo. Quase ao mesmo tempo em que o SNCR foi lançado, o consumo intermediário das unidades de produção agrícola sofreu um vertiginoso aumento, como consta na Tabela 6.

O consumo intermediário é o valor de todos os insumos que entram no processo de produção, menos a força de trabalho. Inclui as despesas com sementes, defensivos, fertilizantes, aluguel de máquinas entre outros que possam ser considerados matérias-primas ou insumos produtivos. A elevação do consumo intermediário no valor bruto da produção é um indicativo da maior dependência da agricultura em relação às compras industriais para a produção de suas mercadorias.

Tabela 6 - Consumo intermediário na agricultura como porcentagem do Valor Bruto da Produção (VBP). Brasil, de 1939 a 1980.

Ano	Consumo interno/VBP (em %)	Total anual da variação (% ao ano)
1939	10,0	-
1949	11,1	1,0
1954	13,2	3,5
1959	14,3	1,6
1965	21,5	7,0
1968	25,1	5,3
1970	27,6	4,9
1975	34,4	4,5
1980	38,7	2,4

Fonte: Kageyama (1996, p.121).

Conforme demonstrado na Tabela 6, o crescimento do consumo intermediário como porcentagem do valor bruto da produção agrícola brasileira, de pouco mais de 10%, em 1949, passou a representar 25% no final da década de 1960, saltando para quase 40% em 1980. É importante notar que a intensificação do crescimento relativo do consumo intermediário na agricultura ocorreu justamente a partir de meados da década de 1960, quando o Estado passou a financiar o setor.

Com a desoneração dos riscos estruturais do processo produtivo privado gerado pelos incentivos financeiros, houve um forte estímulo à adoção de insumos modernos e à mecanização das unidades produtivas, o que propiciou condições para uma articulação das relações técnicas agricultura-indústria num patamar de maior densidade. Esta lógica foi particularmente válida para a década de 1970, quando houve um grande aumento na taxa de concessão do crédito rural no Brasil. Como demonstra a Tabela 7, em meados do decênio, chegou a alcançar 92,5% do Produto Interno Agrícola (PIA).

Tabela 7 – Taxa anual de crescimento do crédito rural do SNCR, relação do PIA com o volume de recursos concedidos pelo SNCR e a taxa real de juros anual, 1969 a 1981.

Ano	Taxa anual de crescimento do crédito rural do SNCR (%)	Relação do PIA com o volume de recursos concedidos pelo SNCR (%)	Taxa real de juros (%)
1969	--	45,26	- 5,9
1970	18,83	53,99	- 4,3
1971	15,59	54,33	- 4,5
1972	23,67	59,80	- 2,7
1973	41,42	64,64	- 0,9
1974	23,67	68,72	- 11,4
1975	45,79	92,72	- 10,5
1976	2,45	72,64	- 19,0
1977	- 10,72	52,71	- 19,0
1978	1,55	55,44	- 16,0
1979	25,91	63,30	- 24,1
1980	- 5,23	59,42	- 34,6
1981	- 13,27	57,26	--

Fonte: Molinar (1984) apud Alencar (2001, p.19).

Durante a década de 1970 houve uma intensificação do consumo industrial pela agricultura. No período, a frota de tratores cresceu de 97.160 para 480.340 unidades. Ao mesmo tempo, a utilização de produtos químicos também cresceu em ritmo acelerado. O consumo de fertilizantes quadruplicou, passando de aproximadamente um para quatro milhões de toneladas, e o consumo aparente de agrotóxicos cresceu a 7,2% na média anual. E tudo isso ocorreu com o auxílio financeiro do Estado. Desse modo, foi o crédito que viabilizou e consolidou a agricultura enquanto mercado em geral para a indústria no Brasil (ALENCAR, 2001; MANTOVANI, HERRMAN e COELHO, 2008).

Entretanto, na década de 1980, o esgotamento do padrão de financiamento estatal da agricultura, causado pela elevação nos juros internacionais após a segunda Crise do Petróleo (1979), provocou um descolamento entre o consumo de insumos modernos e o crédito oficial. Então, mecanismos próprios da agricultura industrializada, em que a agroindústria financia seus clientes e fornecedores, passaram a impulsionar o consumo desses fatores (GONÇALVES, SOUZA e FERREIRA, 2008).

Malgrado tenha sido reduzido o fluxo de crédito oficial a partir da década de 1980, a agricultura brasileira continuou consumindo, em grande proporção, máquinas e insumos modernos. Na Tabela 8 é apresentada uma comparação da evolução desse consumo durante os vinte e cinco anos seguintes. Tomando como ano base o ano de 1970, tem-se uma idéia da contínua marcha seguida pela industrialização da agricultura nacional.

Tabela 8 – Evolução do uso de insumos modernos e máquinas no Brasil, 1975 a 1995.

Insumos	Evolução (Base: 1970 = 100)			
	1975	1980	1985	1995
Fertilizantes	226,71	397,06	442,62	284,08
Defensivos agrícolas	239,75	424,19	543,63	460,92
Máquinas	157,62	246,30	284,45	338,72

Fonte: Baseado em Vicente, Anefalos e Caser (2001).

No entanto, de maneira geral, apenas os grandes e médios produtores, que tinham sido beneficiados pelo crédito oficial e tiveram condições de obter o financiamento de suas atividades por meio das agroindústrias processadoras, puderam fazer uso de insumos e máquinas até meados da década de 1990. Somente com o desenvolvimento do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf)<sup>23</sup>, em 1995, os pequenos produtores também passaram a dispor de condições financeiras e de estímulos estatais para transformarem suas unidades de produção.

Nesse sentido, com base em uma pesquisa de campo realizada em oito estados brasileiros, Kageyama (2003) assinala:

O crédito do PRONAF mostrou-se fortemente associado com o nível tecnológico e a produtividade agrícola, sugerindo que seu papel tem sido o de substituir o antigo sistema de crédito subsidiado. Constatou-se também, na

<sup>23</sup> Segundo Campos e Cardoso (2004), a cana-de-açúcar representa apenas 0,15% dos contratos financiados pelo Pronaf. No entanto, apesar de sua pouca importância para agroindústria canavieira, o objetivo aqui é comprovar a ampla difusão do modelo criado a partir da industrialização da agricultura.

amostra estudada, uma associação positiva entre a presença do PRONAF e o aumento da erosão e o aumento da freqüência do uso de agrotóxicos... (KAGEYAMA, 2003, p.12).

Com o Pronaf e as demais linhas de financiamento desenvolvidas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Estado voltou a financiar a industrialização da agricultura. Como consta na Figura 8, há mais de uma década o crédito rural tem seguido uma trajetória ascendente no Brasil, o que tem impulsionando com maior vigor a ampliação da mudança do padrão técnico das unidades de produtivas (GUANZIROLI, 2007; GONALVES, SOUZA e FERREIRA, 2008).

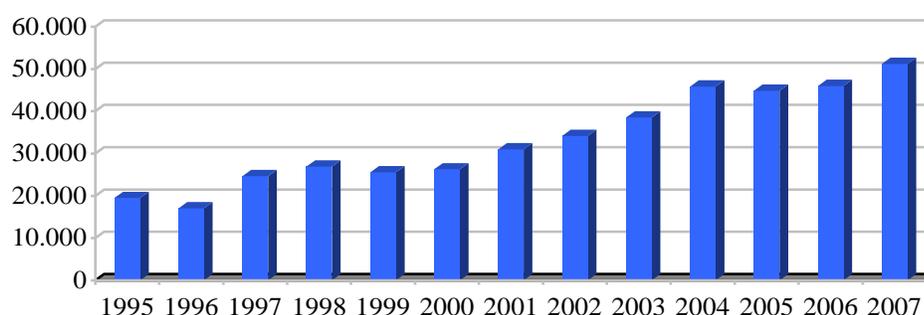


Figura 8 – Evolução do crédito rural no Brasil, 1995 a 2007 (milhões de R\$).

Fonte: Baseado em Brasil (2008).

A Tabela 9 demonstra que, acompanhando a tendência de elevação do crédito, houve o crescimento no consumo de fertilizantes, nos gastos com defensivos agrícolas e na mecanização das unidades agrícolas no Brasil. Tal evolução foi resultado do aumento do número de produtores que passaram a ter acesso ao financiamento agrícola, acompanhado de outros fatores que contribuíram para capitalização da agricultura, como o cenário internacional favorável à comercialização de *commodities*.

Tabela 9 – Evolução do consumo aparente de fertilizantes, do faturamento da indústria de defensivos agrícolas e do índice de mecanização agrícola no Brasil, de 1995 a 2007.

Ano	Consumo aparente de fertilizantes (milhões de toneladas)	Faturamento da indústria de defensivos agrícolas (US\$ bilhões)	Índice de mecanização agrícola (ha/tratores de rodas)
1995	4,5	1,4	104
2000	7,4	2,5	118
2005	9,2	4,2	167
2007	11,8	5,4	160

Fonte: Baseado em Abquim (2008), Anda (2008) e Anfavea (2008).

Nesse ínterim, o mercado internacional não somente influenciou o padrão de renda da agricultura, com o avanço no volume de exportações dos produtos brasileiros, como também foi determinante para a imposição de um modelo técnico de produção vinculado à indústria. A atratividade dos preços pagos pelo mercado externo exigiu das unidades produtivas a adoção de inovações que seguiram uma tendência de competitividade baseada no uso de insumos e máquinas modernas (CORRÊA e FIGUEIREDO, 2006; VALENTE, 2007).

### 3.2 MUDANÇA DO PADRÃO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR

O processo de substituição de importações, iniciado no pós-guerra, lançou bases para transformação do padrão agrícola da agroindústria canavieira. Além de ampliar a oferta de bens de capital e insumos básicos, foi um dos fatores responsáveis pelo crescimento do consumo de derivados da cana-de-açúcar, que levariam o setor a precisar de mudanças na produtividade de seus canaviais. Para seguir os padrões estabelecidos pela demanda da indústria processadora, o campo teve que incorporar tecnologias para tentar superar suas restrições ambientais.

A industrialização do país durante a década de 1950 teve como resultado o aumento no nível de urbanização e da renda *per capita*, o que provocou o incremento do consumo de açúcar. De menos de 30 milhões de sacos, em 1953, o dispêndio nacional com o produto passou a ser de mais de 46 milhões, dez anos mais tarde. Por outro lado, condições muito favoráveis no mercado internacional permitiram a retomada das exportações, o que fez com que a demanda por matérias-primas fosse ainda mais intensa nas principais zonas produtoras (FURTADO, 1964).

No entanto, a evolução do consumo interno de açúcar, cuja variação foi de 72% nesse entremes, apresentou maior intensidade do que a sua produção, que cresceu cerca de 60%. Durante o período analisado, o consumo *per capita* aumentou de 28,7 para 38 quilos. Por outro lado, o rendimento médio das unidades produtoras de cana-de-açúcar manteve-se na faixa de 40 toneladas por hectare. Como se não bastasse a defasagem entre a demanda interna e as possibilidades físicas de aumento da oferta de matérias-primas, o volume de exportações ainda quase que duplicou, passando de 4.109 para 8.193 mil sacos de 60 quilos (SZMRECSÁNYI, 1979; SHIKIDA e ALVES, 2001).

Face à baixa produtividade agrícola apresentada pela agroindústria canavieira na época, o suprimento da demanda de açúcar, tanto interna quanto internacional, passou a ser garantida basicamente por dois fatores: 1º) a incorporação de novas áreas para produção, que avançou sobre as terras do interior do País; 2º) os subsídios garantidos pelo Estado para as unidades que se dedicavam às exportações, sobretudo no Nordeste, onde os níveis de produtividade eram ainda menores que a média nacional.

O cenário, portanto, era contraditório. Ao mesmo tempo em que as usinas antigas continuavam com problemas de ociosidade, devido à baixa produtividade dos canaviais, novas fábricas eram construídas. E, para piorar, essas novas unidades eram estabelecidas em áreas menos férteis, apesar de contarem com maior capacidade instalada. Assim, havia um quadro de insegurança para as projeções de expansão do setor, devido à falta de matéria-prima, o que obrigou as autoridades governamentais a tomarem medidas que impulsionassem mudanças.

Nesse sentido, foi criado o Plano de Expansão da Indústria Açucareira Nacional, visando induzir transformações nas unidades de produção por meio da capitalização do setor. Passando a operar a partir de 1965, esse plano representou o primeiro conjunto de medidas para racionalizar e elevar a produtividade da agroindústria canavieira no País, com base em recursos setoriais (THOMAZ JÚNIOR, 2002; CARNEIRO, 2003).

Embora de maneira limitada, essa iniciativa estatal contribuiu para o avanço da mecanização dos canaviais. De modo que, segundo Veiga Filho (1998), a partir de meados da década de 1960, a maioria dos grandes produtores de cana-de-açúcar passou a mecanizar o preparo e a adubação do solo, bem como o transporte e o carregamento da matéria-prima. Concomitantemente, empresas como a Santal e a Artioli começaram a vender suas primeiras colhedoras e cortadoras.

Ainda no mesmo período, devido ao impulso gerado pela necessidade de correção das terras apropriadas pelo processo de expansão da fronteira agrícola da cana-de-açúcar, também o uso de fertilizantes e outros insumos avançou. No entanto, a baixa produtividade dos canaviais continuou sendo um problema para a agroindústria canavieira. Segundo Neves (1987), no final da década, a ociosidade média das usinas ainda era avaliada em torno de 50% do total do potencial instalado no País.

Embora o subsídio governamental fomentasse o uso das modernas tecnologias, estas implicavam em investimentos extras na produção, enquanto as unidades produtivas queriam

reduzir seus custos. Além disso, havia uma série de riscos e incertezas sobre o rendimento dos novos fatores, que faziam com que as tentativas estatais de induzir a substituição da tecnologia tradicional por tecnologias alternativas fossem pouco expressivas, diante das necessidades do setor.

Não obstante, conforme constataram os técnicos do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), havia um modo de se reduzir o custo unitário da produção sem que fosse alterado qualquer dos insumos apropriados. Tratava-se do uso de variedades com poder genético de produção mais elevado e com maior resistência às enfermidades. Assim surgiu o Plano Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar (Planalsucar).

Criado oficialmente em 1971, quando foi homologado pelo Conselho Deliberativo do IAA, o Planalsucar foi uma importante iniciativa governamental para tentar resolver o problema do baixo rendimento da produção canavieira. Por meio de novas variedades de mudas, desenvolvidas pela manipulação genética, o objetivo de seus idealizadores era obter plantas que fossem ecologicamente especializadas e que tivessem altos índices de produtividade agrícola e industrial.

No mesmo ano em que surgiu o Planalsucar, também foi estabelecido o Programa de Racionalização da Agroindústria Açucareira, cujo propósito era promover economias de escala no setor por meio de fusões e incorporações de unidades produtivas, bem como, pelo reposicionamento de usinas situadas em zonas desfavoráveis. Desse modo, buscava-se melhorar estatisticamente o índice agrícola do setor a partir do pressuposto ideológico de que grandes unidades mecanizadas seriam mais eficientes do que aquelas pequenas e intensivas em mão-de-obra (SZMRECSÁNYI, 1979).

O conjunto de medidas estabelecido pelo Programa de Racionalização não se focava apenas na concentração fundiária e na exclusão das zonas produtoras menos eficientes, mas também incluía incentivos à modernização agrícola. Assim, foram concedidos empréstimos aos grandes produtores para a aquisição de máquinas e outros implementos por meio de fundos especiais, que ganharam maior importância quando os recursos provenientes do Fundo Especial de Exportação foram incorporados aos valores disponíveis (HEREDIA, 1989).

Até a edição do Decreto-lei nº. 1.266, de 26 de março de 1973, os recursos do Fundo Especial de Exportação eram exclusivamente destinados à complementação da cobertura de eventuais prejuízos por usinas que exportavam açúcar. Contudo, houve forte pressão dos

usineiros para que seus saldos, advindos do comportamento favorável dos preços internacionais do produto, fossem investidos no setor. Assim surgiu o Programa de Apoio à Agroindústria Canavieira, que deu continuidade às medidas estabelecidas pelo Programa de Racionalização, iniciado dois anos antes.

Beneficiado pela cotação internacional do açúcar, que se manteve alta até meados da década de 1970, o Programa de Apoio concedeu cerca de Cr\$ 7,9 bilhões, com taxas reais de juros negativas, até dezembro de 1975, aos usineiros e fornecedores que pretendiam ampliar ou modernizar suas unidades de produção. Contudo, o cenário não permaneceu favorável por muito tempo. Em decorrência da Crise do Petróleo, os preços do açúcar começaram a cair drasticamente (GOMES, 1977).

O declínio da cotação do açúcar ocorreu rapidamente e causou grande impacto. Em novembro de 1974, os preços do produto alcançaram a marca histórica de US\$ 1.388,56 por tonelada métrica. Seis meses mais tarde, eles estavam reduzidos a US\$ 336,12. A partir de então, passaram a oscilar em torno de US\$ 300,00 por tonelada. Com isso, os investimentos feitos pelos usineiros e pelo Estado nos anos anteriores estavam ameaçados. Para contornar a crise, foi lançado um novo programa (VIAN, 2003; IVO et al. 2008).

Criado pelo Decreto Lei nº. 76.593, de em 14 de novembro 1975, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) teve dois propósitos, conforme a perspectiva dos usineiros e das autoridades governamentais competentes: 1º) garantir o aproveitamento dos investimentos anteriormente realizados na produção agrícola da cana-de-açúcar; 2º) enfrentar os problemas da Balança de Pagamentos ocasionados pela Crise do Petróleo, reduzindo a dependência do País em relação ao produto.

Em 1973, no início da crise, o Brasil importava quase 80% do petróleo que consumia, o que ocasionou sérios problemas devido à elevação de seu custo internacional, que passou de US\$ 3 para US\$ 12 em apenas seis meses<sup>24</sup>. Portanto, a definição de uma fonte alternativa de energia era uma questão de soberania nacional. No entanto, a escolha do álcool proveniente da cana-de-açúcar como foco dos investimentos governamentais foi uma vitória política dos usineiros, que queriam continuar expandindo os seus meios de financiamento (FIGUEIREDO, 2006).

---

<sup>24</sup> Entre setembro de 1973 e março de 1974.

Durante o período do Próalcool, entre 1975 e 1991, cerca de US\$ 11 bilhões, na forma de empréstimos com juros reais negativos, foram destinados à agroindústria canavieira. Estes recursos contribuíram para que a parte agrícola do setor estabelecesse relações ainda mais estreitas com o departamento de bens de capital e insumos, por meio do consumo de máquinas, fertilizantes e outros fatores de produção, que passaram a ser usados em grande escala (PESSOA JÚNIOR et al., 2005).

Nesse sentido, o trabalho de Welder e Shikida (2002) é ilustrativo. Fazendo uso de uma matriz insumo-produto<sup>25</sup>, eles ordenaram os índices de ligação setorial da economia brasileira dos anos 1975, 1980, 1985, 1992 e 1995. Conforme demonstra a Tabela 10, para o período analisado, as relações do álcool e do açúcar com os demais setores foram muito estreitas a montante, mas fracas a jusante. Isso indica que a agroindústria canavieira passou a ser muito dependente de insumos produzidos fora das unidades de produção agrícola de cana-de-açúcar.

---

<sup>25</sup> Matriz insumo-produto é um instrumental que serve para medir as trocas setoriais da economia de um território.

Tabela 10 – Ordem dos índices de ligações setoriais no Brasil em 1975, 1980, 1985, 1992 e 1995.

Setores	Ligações para trás					Ligações para frente				
	1975	1980	1985	1992	1995	1975	1980	1985	1992	1995
1. Agricultura	16	15	16	16	16	3	3	3	3	3
2. Mineração	14	19	18	13	8	17	17	7	17	14
3. Minerais não metálicos	15	14	7	14	12	10	9	11	14	7
4. Siderurgia e metalurgia	7	1	2	2	3	1	2	2	2	2
5. Mecânica	9	7	10	12	14	8	8	8	7	10
6. Material elétrico	12	12	11	9	11	11	13	14	13	15
7. Material de transporte	2	3	3	4	5	7	12	12	12	12
8. Madeira, mobiliário, papel, editorial e gráfica	11	10	9	6	6	6	7	10	9	9
<b>9. Álcool</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>
10. Química	13	13	13	10	13	2	1	1	1	1
11. Plástico	10	9	7	8	9	16	16	16	16	16
12. Têxtil	3	5	5	5	4	5	6	9	8	8
<b>13. Açúcar</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>13</b>
14. Alimentos, fumo e bebidas	5	2	4	3	2	12	11	13	11	11
15. Diversos	6	11	14	11	10	14	15	17	10	17
16. Energia, água, saneamento e comunicação	17	16	15	18	18	13	10	6	6	6
17. Construção civil	8	8	12	15	15	19	18	18	18	18
18. Transporte e margem de comércio	18	17	17	17	17	4	5	4	4	5
19. Serviços	18	18	19	19	19	15	4	5	5	4

Fonte: Welter e Shikida (2002, p. 803).

Em quatro dos cinco anos analisados, o açúcar foi enquadrado na primeira posição da tabela, por ter o maior número de ligações para trás com os demais setores. O álcool esteve na 4ª, 6ª, 8ª e 7ª posições. O que significa que uma forte integração intersetorial uniu os processos produtivos da agroindústria canavieira ao restante da economia. Houve, assim, uma mudança no padrão técnico da parte agrícola do setor, que deixou de ser baseado no uso de insumo simples e passou a depender de complexas relações com as indústrias de insumos e equipamentos.

Nesse sentido, observou Chabaribery (1999) que a agroindústria canavieira foi submetida a um intenso processo de transformação, chegando ao final do século XX com as seguintes características em seu processo agrícola de produção: o preparo do solo e a fase dos tratamentos culturais foram totalmente mecanizados; o plantio e a colheita ainda usavam sistemas parcialmente mecanizados; no manejo da cultura, todas as principais inovações técnicas da Revolução Verde foram adotadas, inclusive o melhoramento de variedades, a fertirrigação, a adubação química e o uso de calcário.

A virada do século não foi acompanhada de mudanças nesse modelo de produção, baseado no uso de máquinas agrícolas, no melhoramento genético e na química. Aliás, o consumo dessas tecnologias avançou, ganhando forte impulso a partir de 2003. Nesse ano, a elevação dos preços internacionais do açúcar e o lançamento dos veículos *flex-fuel*<sup>26</sup> fizeram com que demanda pelos derivados da cana-de-açúcar retomasse sua tendência histórica de crescimento, o que incentivou maiores investimentos na produção.

O dispêndio com defensivos agrícolas, por exemplo, quase duplicou entre 2003 e 2006, passando de US\$ 250,9 para US\$ 493,7, quando a cana-de-açúcar passou a ser o segundo principal mercado para o setor no País, ficando atrás apenas da soja. Ao mesmo tempo, a mecanização da colheita dos canaviais também avançou, chegando a quase 40% do volume colhido em 2007. Com efeito, o aquecimento dos mercados nos últimos anos tem estimulado a agroindústria canavieira a investir cada vez mais em máquinas e insumos modernos, impulsionando mudanças na estrutura de produção (RAMOS, 2007; NEVES e SIGNORINI, 2007; SANTOS e PESSOA, 2008).

---

<sup>26</sup> Carros que podem usar mais de um tipo de combustível, inclusive o álcool combustível.

### 3.3 A MODERNIZAÇÃO DOS CANAVIAIS E OS RECURSOS HÍDRICOS

Muito embora a agroindústria canavieira tenha obtido resultados no uso de tecnologias modernas para o incremento de sua produtividade agrícola, o setor dependeu fortemente da incorporação de novas áreas para elevar o volume de sua produção nos últimos quarenta e oito anos. Como demonstra a Figura 9, entre 1960 e 2008, a área de cana-de-açúcar colhida no Brasil cresceu de 1,16 para 7,29 milhões de hectares. Enquanto isso, a produtividade dos canaviais passou de 34 para quase 80 toneladas por hectare. O que demonstra que o novo padrão tecnológico determinado pela industrialização da agricultura também está associado à expansão da fronteira agrícola canavieira.

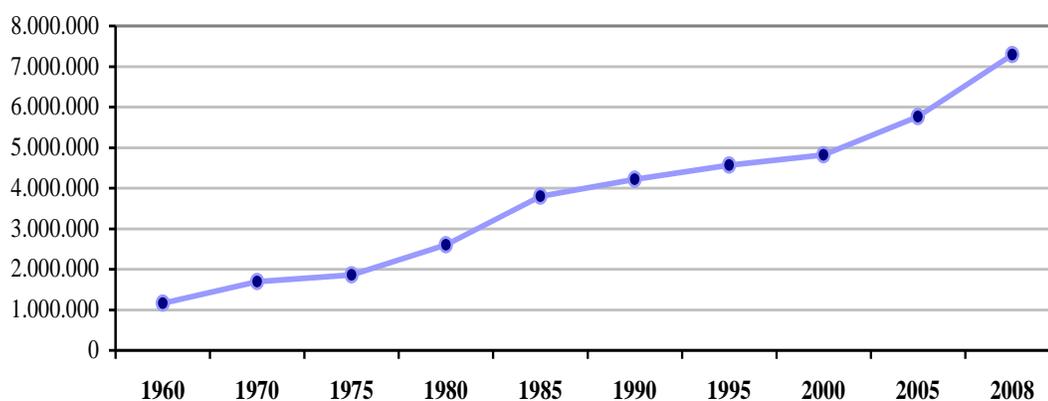


Figura 9 – Evolução em hectares da área de cana-de-açúcar colhida no Brasil, entre 1960 e 2008.

Fonte: Baseado em dados do IBGE (2008).

As modernas tecnologias serviram para que a produção dos canaviais crescesse tanto de forma intensiva quanto extensiva. Máquinas e insumos, usados com maior intensidade a partir da década de 1960, ao mesmo tempo em que possibilitaram a melhor exploração do potencial genético da cana-de-açúcar em terras mais aptas ao seu cultivo, também contribuíram para que novas áreas, com solos de baixa fertilidade natural, pudessem ser ocupadas (IVO et al. 2008).

De modo similar aconteceu na área dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste, onde áreas com solos ácidos e com baixo conteúdo de fósforo representavam um limite ao crescimento da cultura da cana-de-açúcar. Por meio do uso de corretivos e fertilizantes, no entanto, os

produtores conseguiram superar estas barreiras ecológicas e expandiram a fronteira da agroindústria canavieira em direção ao interior do País.

O cultivo da cana-de-açúcar, que antes se restringia às várzeas de terras aluviais e a algumas encostas, avançou rapidamente sobre os solos pobres dos Tabuleiros Costeiros, que antes eram utilizados apenas pela lavoura de subsistência e pelos plantadores de coco. No final da década de 1960, com o estímulo dos projetos especiais do governo para a modernização da agricultura, os canaviais ocuparam definitivamente o espaço das demais atividades agrícolas (ANDRADE, 1997).

Essa expansão da fronteira da cultura da cana-de-açúcar teve, com efeito, sérias implicações ambientais. Além de ocuparem os espaços de outras culturas alimentares menos importantes comercialmente, os canaviais também invadiram áreas de matas e savanas ainda preservadas nos Tabuleiros Costeiros. Como consequência, houve o empobrecimento da biodiversidade devido ao desmatamento e à monocultura.

Segundo Moreira e Targino (1997), que estudaram esse processo na Paraíba, as matas de Cravaçu e Aldeia, que eram resquícios importantes da Mata Atlântica, foram substituídas rapidamente pela cana-de-açúcar. No município de Santa Rita, conforme comprovado por fotografias aéreas e trabalhos de campo, a degradação dessas matas não resguardou nem mesmo as áreas de cabeceiras de rios. Em Pitimbu, os canaviais alcançaram o Cerrado e foram ao fundo dos vales e dos grotões úmidos, criando sérios problemas para a população local, visto que neles ocorriam afloramentos que asseguravam o abastecimento de água potável em períodos de estiagem.

No entanto, a expansão da fronteira agrícola da agroindústria canavieira não gerou problemas ambientais somente no Nordeste. Em outras regiões produtoras, a cana-de-açúcar também avançou sobre as paisagens naturais. Conforme Borrero, Pereira e Miranda (2003), as usinas paulistas São José, Ester e Santa Elisa servem como um bom exemplo. Segundo os autores, entre as décadas de 1980 e 1990, apesar dos ganhos de produtividade nas três usinas, os acréscimos na produção foram obtidos, basicamente, devido à incorporação de novas áreas tomadas da paisagem nativa do Cerrado.

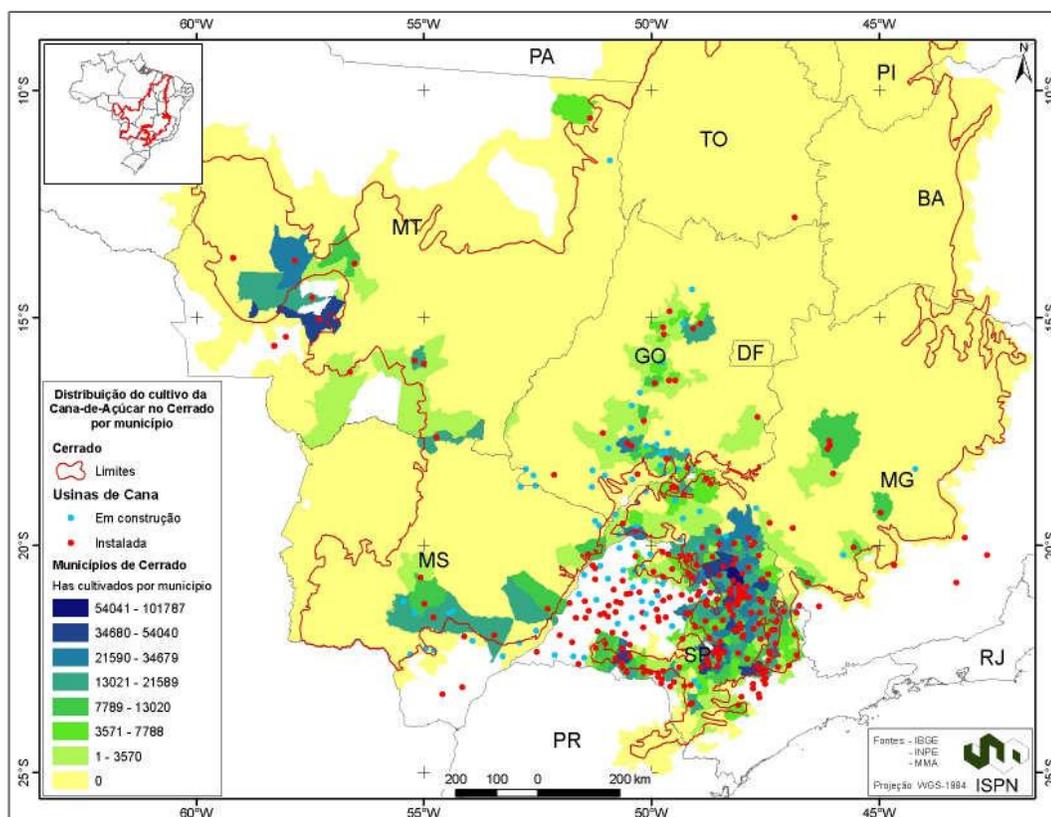


Figura 10 – Distribuição do cultivo da cana-de-açúcar pelo Cerrado.

Fonte: ISPN (2008).

Aliás, segundo uma pesquisa elaborada pelo Instituto Sociedade, População e Natureza (2008), atualmente o Cerrado é o bioma mais ameaçado pela expansão da agroindústria canieira no Brasil. A cada ano, desde 1997, a cultura da cana-de-açúcar destrói mais de 20 mil quilômetros quadrados de sua vegetação original. Esse processo de desmatamento tem causado grande impacto sobre os recursos hídricos, devido à derrubada das matas ciliares dos rios, algo historicamente comum nas áreas canieiras.

Segundo o Instituto do Meio Ambiente de Alagoas (2008), mais de 7 mil hectares de florestas de galeria estão sendo ocupados atualmente pela cultura da cana-de-açúcar no Estado. Em Pernambuco, 85 mil hectares, com base em dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (2008). Em São Paulo, são quase 300 mil hectares, conforme indica a Secretaria de Meio Ambiente do Estado (2008).

A destruição das matas ciliares pela expansão da fronteira agrícola da cana-de-açúcar é apenas uma parte dos problemas ambientais que estão relacionados aos impactos gerados pela cultura da cana-de-açúcar sobre os recursos hídricos na atualidade. Com a adoção das

modernas tecnologias impostas pela industrialização da agricultura, como a irrigação, a agroquímica e o maquinário agrícola, outros problemas agravaram a relação entre canaviais e corpos de água.

### 3.3.1 A irrigação dos canaviais e a demanda por água

Segundo Ivo et al. (2008), os investimentos em tecnologia de irrigação para cana-de-açúcar começaram a ser efetuados em função da deficiência hídrica existente em algumas regiões produtoras do País. No entanto, entre as décadas de 1960 e 1980, seu uso esteve restrito aos casos de canaviais que necessitavam de água para atender aos requisitos mínimos da cultura, ou seja, para irrigação de salvação.

Na década de 1990, os investimentos em irrigação mudaram de foco. Os canaviais passaram a usar sistemas de irrigação suplementar e plena, sobretudo no Nordeste do Brasil. Isso se deve ao fato da variabilidade da produção regional, em comparação com a do Centro-Sul, estar mais intimamente relacionada com a disponibilidade de água, em função da precipitação pluvial e da distribuição das chuvas em cada safra.

Como demonstra a Figura 11, o aumento da produtividade na região depende de medidas para contenção do estresse hídrico. Historicamente, a deficiência de água nos canaviais nordestinos teve como resultado a queda no rendimento das safras. Por isso, as unidades nordestinas fizeram maiores investimentos em sistemas de irrigação.

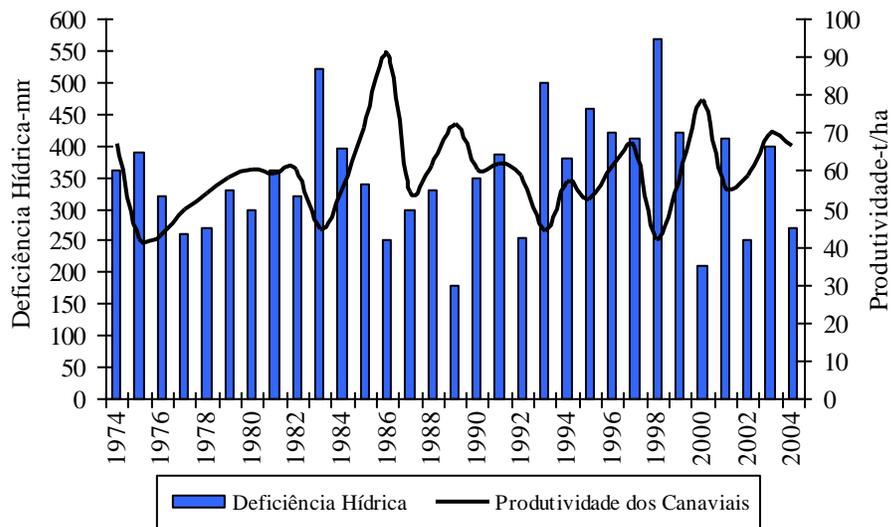


Figura 11 – Produtividade dos canaviais e deficiência hídrica no Nordeste, de 1974 a 2004.

Fonte: Baseado em Rosenfeld (2005).

Para que se possa compreender com que velocidade esses sistemas estão sendo implantados no Nordeste, os dados de Alagoas, um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do País, servem como referência. Até 1993, a área irrigada no Estado era de apenas 26 mil hectares, com um volume de água aplicado de 17,9 milhões de metros cúbicos. Entre 1993 e 1998, a área passou a ser de 61 mil hectares e o volume de 67,2 milhões de metros cúbicos. Entre 1998 e 2004, a área chegou a 89 mil hectares, com um volume de 136 milhões de metros cúbicos. O que significa que, em quase uma década, houve um aumento de mais de 340% na área irrigada e de 759% no volume de água utilizado para esse fim (ROSENFELD, 2005).

Esses valores continuaram crescendo nos últimos anos. Como demonstra a Figura 12, durante a safra de 2008, a área irrigada em Alagoas passou a cobrir 186 mil hectares, representando mais da metade da área cultivada com cana-de-açúcar no Estado. Nessa medida, as propriedades que usaram a irrigação de salvação representaram 62,5%, a suplementar 33,9%, e a plena 3,6%. Para 2009, um aumento de 5,9% está sendo projetado para o total da área irrigada no Estado. Ou seja, mais 12 mil hectares de canaviais deverão ser irrigados, com destaque para o sistema de irrigação plena, que deverá crescer 22% (SINDAÇÚCAR, 2008).

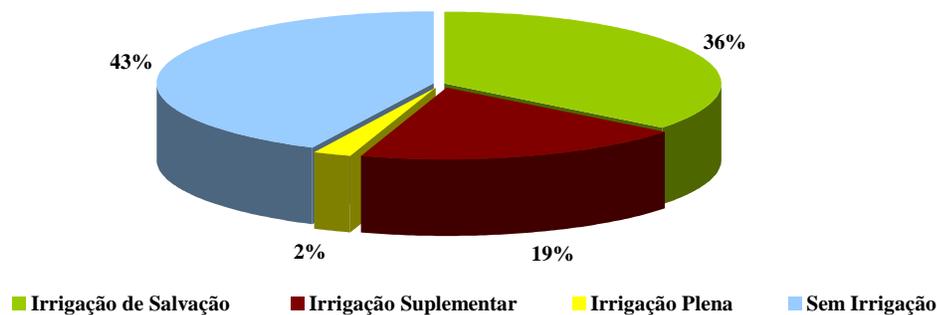


Figura 12 – Situação dos canaviais alagoanos em 2008, área com e sem irrigação.

Fonte: Sindaçúcar (2008).

Esse aumento na área irrigada, conforme assinalado anteriormente, vem sendo acompanhado pela elevação no consumo de água pelos canaviais. A cana-de-açúcar é uma cultura que demanda muito dos recursos disponíveis. Como demonstrado na Tabela 8, no regime de sequeiro, ela consome entre 1.500 e 2.500 mm de água por ano, sendo que cada 1 milímetro corresponde a 1 litro por metro quadrado. Com a irrigação, devido às limitações na eficiência dos sistemas mais usados pelos produtores no Brasil, o consumo é ainda maior.

Cultura	Consumo de água
Banana	1.500 a 3.000 mm/ano
Cana-de-açúcar	1.500 a 2.500 mm/ano
Café	800 a 1.200 mm/ano
Eucalipto	800 a 1.200 mm/ano
Citros	600 a 1.200 mm/ano
Feijão	300 a 600 mm/ciclo

Quadro 2 – Consumo de água em diversas culturas.

Fonte: Baseado em dados de Lima (1993) e Souza (2005).

Nesse sentido também apontam as pesquisas realizadas por Boas, Rodrigues e Sampaio (2006); Marques, Marques e Frizzone (2006); Moura et al (2007). A partir dos dados desses autores, conclui-se que os mecanismos de irrigação mais comuns nos canaviais brasileiros consomem muita água. Assim, a eficiência do sistema de sulcos é de apenas 50%; tubo

janelado 60%; autopropelido 65%; pivô central 70%. O método de gotejamento, que possui eficiência de mais de 80%, ainda está começando a ser utilizado.

Além da baixa eficiência dos sistemas mais usados, há ainda outro fator que tem contribuído para o avanço no consumo dos recursos hídricos pelos canaviais: a ampliação do volume de laminas de água aplicada nas áreas irrigadas. Como comprovam os dados anteriormente mencionados, do Sindaúcar (2008), propriedades que antes se valiam apenas da irrigação de salvação, aplicando entre 40 e 80 mm de água, estão adotando a irrigação complementar, que usa entre 200 e 400 mm, e a plena, de mais de 700 mm. Desse modo, a demanda tende a continuar crescendo.

Para suprir as necessidades dessa crescente quantidade de água demandada pela cana-de-açúcar são necessárias estruturas de armazenamento cada vez maiores. Novamente, Alagoas serve como referência. No Estado está localizada a maior barragem do Nordeste. Construída pela Usina Coruripe, em 2007, nela são armazenados 60 milhões de metros cúbicos de água, utilizados de maneira privativa pela empresa, que irriga 21,5 mil dos seus 28 mil hectares de canaviais (MONTANNI, 2007).

Essa é uma quantidade de água bastante expressiva, pois, a título de comparação, deve-se considerar que, de acordo com informação da ABAS (2008), uma pessoa no Brasil consome, em média, 300 litros de água por dia. Portanto, para que o volume de água armazenado pela barragem da Usina Coruripe pudesse ser esgotado, seria necessário o consumo de uma cidade com população de 547 mil pessoas durante um ano inteiro, sem que houvesse a reposição do seu reservatório.

### 3.3.2 A fertirrigação dos campos com vinhaça e os recursos hídricos

O aumento no uso de sistemas de irrigação para a cana-de-açúcar, no entanto, não está apenas associado à deficiência hídrica de algumas regiões do País. Isso também foi o resultado da necessidade de reaproveitamento de um dos mais importantes resíduos da produção de álcool, a vinhaça. Um subproduto que apresenta alto poder poluente, mas que vem sendo usado na irrigação de canaviais devido a suas propriedades fertilizantes.

Segundo Barbosa (2007), desde a década de 1950, há estudos publicados no Brasil sobre o uso da vinhaça como elemento para a fertirrigação da cana-de-açúcar. A maior parte deles observa que, em doses até  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , a aplicação do produto nos campos resulta em melhorias para o solo, com o aumento do pH, da biomassa microbiana e de sua fertilidade, tendo como consequência a melhora da produtividade dos canaviais.

No entanto, quando começaram ser realizados os primeiros experimentos com o produto, dosagens extremamente altas eram recomendadas, algo entre  $500$  e  $2.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Esses valores eram perigosos não somente para os canaviais<sup>27</sup>, como também para os recursos hídricos disponíveis nas áreas de plantação. O alto teor de potássio contido na vinhaça podia modificar as condições de salinidade do solo e a condutividade elétrica do meio, que sofrem alterações. Pois, como demonstra Ludovice (1997), os teores desse elemento em amostras são diretamente proporcionais ao volume de aplicações.

Hassuda (1989), objetivando comprovar os efeitos negativos da aplicação não moderada de vinhaça nos solos, fez diversos estudos no município paulista de Novo Horizonte. Segundo o autor, houve alterações físico-químicas nas águas subterrâneas após terem sido aplicadas taxas elevadas de vinhaça, cerca de  $12.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , durante 9 safras, nos solos arenosos da região. Mas não apenas a utilização do potássio em larga escala foi apontada por ele, como também outros elementos mais perigosos, a exemplo do nitrogênio.

É importante considerar que essa referência está muito distante das doses usualmente aplicadas nos canaviais brasileiros, que variam entre  $60$  a  $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  por ano nos diversos tipos de solo. Mesmo assim, seus resultados, em termos de riscos para o meio ambiente, não estão muito aquém daqueles encontrados em pesquisas de campo realizadas sob condições normais da agricultura comercial no País.

Os estudos realizados por Gloeden et al. (1991), na Usina da Pedra, no município paulista de Serrana, numa área de Latossolo Vermelho-Amarelo, provam que houve a saturação do solo com carbono orgânico, amônio e nitrogênio em razão da fertirrigação dos canaviais com vinhaça. Durante a pesquisa, foram aplicados, no máximo,  $300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  por ano, o que está dentro dos padrões comerciais da cultura.

---

<sup>27</sup> Conforme Malavolta, Vitti e Oliveira (1989), o excesso de potássio pode induzir à falta de magnésio e ao aumento do teor de cinzas no caldo da cana-de-açúcar.

Trabalho semelhante foi realizado por Gloeden (1994) em Serrana, São Paulo, que indicou que devido à saturação dos solos a área de afloramento dos aquíferos é muito sensível à aplicação da vinhaça. No estudo, o autor encontrou variações nos parâmetros de cloreto, carbono orgânico, nitrogênio e sulfato nas águas subterrâneas do Botucatu, resultantes do uso da vinhaça para irrigação dos canaviais da região.

Contudo, não é somente a aplicação direta da vinhaça nos campos que tem causado problemas. Pesquisas desenvolvidas por Hassuda (1989), na Usina São José da Estiva, localizada em Novo Horizonte, São Paulo, identificaram que os métodos empregados pelas empresas para armazenar e transportar o produto até o canal também podem provocar os mesmos efeitos sobre as águas subterrâneas. Na época da pesquisa, a Usina usava tanques de armazenamento e canais de condução não impermeabilizados, o que permitia a lixiviação do produto no perfil do solo, contaminando o lençol freático.

Existem, portanto, limites ao uso da vinhaça de maneira sustentável. Para que sua aplicação nos canaviais seja considerada segura, é preciso que os estudos sobre seus impactos continuem a ser aprofundados, assim como tem sido feito com relação aos seus resultados agrônômicos. Pois, muito embora o produto não seja considerado o substituto definitivo dos fertilizantes minerais, sua eficiência tem sido reiteradamente comprovada, fazendo dele uma alternativa muito difundida entre os produtores.

### 3.3.3 O uso de fertilizantes minerais na cana-de-açúcar e os recursos hídricos

Utilizados com o propósito de aumentar o suprimento de nutrientes disponíveis no solo, os fertilizantes minerais passaram a ser consumidos pela cultura da cana-de-açúcar em meados do século XX. No período, a agroindústria canavieira estava expandindo suas fronteiras em direção às áreas com solos cada vez mais pobres. Além disso, a prática prolongada da monocultura em algumas das zonas mais tradicionais havia depauperado as condições naturais de fertilidade. De sorte que o crescimento da produção de álcool e açúcar no futuro parecia estar comprometido pela baixa produtividade dos canaviais.

Diante do problema, foram oferecidos subsídios estatais para estimular o consumo de fertilizantes pela agroindústria canavieira. Em pouco tempo, ganharam ampla margem de uso

entre os produtores, que passaram a confiar em suas propriedades. Por isso, nem mesmo com o surgimento de alternativas como a vinhaça, perderam espaço entre os insumos básicos para produção de cana-de-açúcar.

Desse modo, não parece admirável que a cana-de-açúcar tenha sido a terceira maior consumidora de fertilizantes em 2008. Apenas a soja e o milho a superaram, mas ainda ficou a frente de culturas como café, algodão e arroz, tradicionalmente grandes consumidoras desses produtos. No entanto, conforme se pretende comprovar adiante, essa prática tem causado a degradação dos solos e a contaminação de cursos de água em algumas das regiões canavieiras (FERREIRA e VEGRO, 2008).

Segundo estudos de Ramalho, Amaral Sobrinho e Velloso (1999), alguns dos fertilizantes utilizados pela agroindústria canavieira contêm impurezas, incluindo metais pesados, por não serem suficientemente purificados durante o processo de manufatura. Como esses materiais ficam depositados sobre solos sujeitos à erosão, acabam atingindo os cursos de água, provocando a poluição do meio.

Corbi, Trivinho-Strixino e Santos (2008), após coletarem amostras em dez pontos dos rios paulistas de Mogi-Guaçu e Jacaré-Guaçu, encontraram vestígios de contaminação das águas por metais pesados devido ao uso de fertilizantes minerais. No estudo, foram encontradas quantidades elevadas de cobre e zinco, acima de  $50 \mu\text{g L}^{-1}$ , valor muito superior ao indicado pela Resolução nº. 357 do Conama, de 17 de março de 2005, tanto para cobre ( $2 \mu\text{g L}^{-1}$ ) como para o zinco ( $5 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Isso indica uma condição de insalubridade da água, devido à toxidez desses metais.

Como explica Sereno (2004), os metais pesados são elementos químicos com alta densidade ( $>5 \text{ g cm}^{-3}$ ) que podem ser extremamente tóxicos, como no caso do mercúrio, do chumbo e do cádmio, ou tóxicos quando em concentrações elevadas, como acontece com o zinco e o cobre. Como estes dois últimos metais foram detectados em grandes proporções, pode-se perceber o problema resultante do uso não controlado de fertilizantes na região.

Além do envenenamento causado pelo acúmulo de metais pesados, há outra ocorrência que costuma estar associada ao uso de fertilizantes em áreas de canaviais: a eutrofização dos rios e lagos. Devido ao deslocamento da água nos solos, os nutrientes que estão em excesso nos campos fertilizados, sobretudo o nitrogênio e o fósforo, são arrastados para os corpos hídricos, levando à progressiva degradação do meio. Há, assim, o crescimento não controlado

de plantas aquáticas, causando a morte de peixes e invertebrados em função da ausência de oxigênio e da liberação de toxinas no meio por algumas espécies de algas (XAVIER, DIOS e BRUNKOW, 2005).

As observações feitas por Moreira e Targino (1997) sobre estudos realizados na Paraíba indicam alterações nos teores de nitratos e nitritos no rio Açu, tributário do Mamanguape, e no reservatório de água do Mamuaba. Segundo os autores, os dois pontos são, tradicionalmente, áreas de ocupação exclusiva de canaviais, o que representa um forte indício de contaminação desses corpos de água por fertilizantes químicos utilizados na região, sendo esse, inclusive, o motivo aparente do crescimento dos problemas ambientais nos rios do Estado.

Outro alerta dos autores sobre a contaminação dos rios paraibanos pela atividade canavieira refere-se a vestígios de herbicidas e inseticidas num reservatório do rio Gramame, no município de Alhandra. Esses são produtos que atuam na atividade fisiológica do perifíton, organismo invertebrado que se adere a vegetais, alterando tanto a respiração quanto a fotossíntese das algas. Portanto, além dos fertilizantes minerais, há ainda outro elemento da agricultura moderna que vem influenciando negativamente a qualidade dos rios das regiões produtoras de cana-de-açúcar: os pesticidas.

### 3.3.4 O uso de pesticidas na cana-de-açúcar e os recursos hídricos

A cultura da cana-de-açúcar pode ter sua produtividade muito prejudicada por fatores biológicos. A incidência de plantas daninhas, em especial, pode trazer prejuízos de aproximadamente 50% na área cultivada. Por isso, é muito difundido no Brasil o uso de herbicidas nos canaviais. Para cada hectare plantado, são utilizados em média 4,5 kg do produto, o que corresponde a quase quatro vezes o valor do consumo de fertilizantes pelos produtores de milho (BARELA, 2005).

O uso de inseticidas, no entanto, é relativamente pequeno. Para cada hectare de cana-de-açúcar plantado são aplicados 0,36 kg do produto, enquanto a soja, por exemplo, utiliza 1,17 kg. Na prática, seu uso se resume ao controle de pragas de solo, formigas e, mais recentemente, cigarrilhas. Para outras pragas, como a broca-da-cana-de-açúcar, o controle

biológico com predadores naturais tem sido utilizado com maior frequência pelos produtores (STRAPASSON e JOB, 2006; IVO et al., 2008).

Há, portanto, grande diferença no consumo dos diversos tipos de pesticidas. Para que se possa compreender essa distinção, vale considerar o estudo de caso realizado por Armas e Monteiro (2005) sobre o uso de agrotóxicos na bacia do rio Corumbataí, em São Paulo. Conforme os autores, os herbicidas foram a classe mais empregada pelos produtores de cana-de-açúcar, totalizando 85% do total das compras, muito além do uso dos demais produtos (inseticidas, acaricidas, fungicidas etc.), que, embora venham apresentando aumento na região, ainda somam parte pouco expressiva das vendas.

Desse modo, Medeiros e Brito (2004) encontraram resíduos de herbicidas organoclorados da classe das triazinas em amostras superficiais em Iracemópolis, São Paulo, por meio da técnica de cromatografia gasosa. Os resultados das análises indicaram a presença de ametrina ( $0,6184 \mu\text{g L}^{-1}$ ), atrazina ( $0,0956 \mu\text{g L}^{-1}$ ) e simazina ( $0,5299 \mu\text{g L}^{-1}$ ) em um dos pontos da pesquisa, próximo à represa de Morro Azul, no ribeirão Cachoeirinha.

Azevedo, Gerchon e Reis (2004), usando uma metodologia similar a de Medeiros e Brito para análise das amostras, estudaram a qualidade da água do rio Paraíba do Sul a partir de seis pontos nas cidades de Resende e Campo dos Coytacazes, no Rio de Janeiro. Foram encontrados vestígios de atrazina em dois sítios nas proximidades de uma usina e de plantações de cana-de-açúcar, na concentração média de  $0,231 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Para ambos os casos, os autores consideraram a hipótese de que a contaminação dos corpos de água resultou do arreste superficial dos herbicidas, possivelmente pela ação das chuvas, pois a época de aplicação do produto coincidiu com os períodos de maior precipitação pluviométrica nas áreas analisadas, algo que costuma acontecer também nas demais zonas produtoras do País.

Contudo, além da chuva, outro fator influenciou na contaminação dos corpos de água estudados. Nos dois casos, foram encontrados vestígios de herbicidas do grupo das triazinas, muito utilizadas pelos produtores de cana-de-açúcar, mas que possuem amplo potencial de contaminação ambiental em virtude de suas características, tais como alta capacidade de escoamento e lixiviação; elevada persistência nos solos; hidrólise lenta; solubilidade baixa em água (MORON et al., 2006).

Das amostras coletadas, três compostos do grupo das triazinas foram detectados: ametrina, atrazina e simazina. Estes, conforme explica Grisolia (2005), são produtos que apresentam grande risco ao meio ambiente. Para comprovar sua tese, o autor apresenta os resultados de pesquisas realizadas mediante a aplicação regular de cada uma das substâncias em espécies animais e vegetais:

Ametrina: em trabalhos realizados com culturas *in vitro* foram observadas alterações no ciclo celular de linfócitos humanos. Em teste similar com células de medula óssea de ratos foram encontradas aberrações cromossômicas. Embora pareça contraditório, em pesquisas de campo com a cana-de-açúcar observou-se a redução da incorporação de C-ATP ao RNA, indicando inibição de síntese de RNAs, o que causa a morte da planta, quando há excesso do produto.

Atrazina: estudos com injeções do composto em ratos indicam atraso no início da puberdade, devido à redução dos níveis testiculares de testosterona; em salamandras, verificou-se a retardação no início do processo de metamorfose; em sapos da espécie *Rana pipens*, algumas cobaias se transformaram em hermafroditas. Por fim, extratos de milho tratados com a substância tornaram-se indutores de mutações em fungos. Ou seja, a atrazina pode ser degradada pelas plantas em metabólitos com atividade mutagênica.

Simazina: em pesquisas com células linfóides de camundogos, insetos da espécie *Drosophila melanogaster* e da planta *Vicia faba* foram detectados resultados positivos para mutações gênicas. Assim, na avaliação de periculosidade ambiental do produto, o aspecto de mutagenicidade deve ser considerado, ao se estabelecer restrições de uso ao produto para a atividade canavieira.

Apesar dos riscos indicados, segundo a Portaria nº.518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004, e a Resolução nº. 357 do Conama, de 17 de março de 2005, os valores encontrados nas amostras em São Paulo e no Rio de Janeiro, estão dentro dos parâmetros permitidos. Para os compostos indicados, as normas nacionais aceitam teores de até 2 µg L<sup>-1</sup>. No entanto, em países que possuem uma legislação mais restritiva, eles seriam inaceitáveis.

Na União Européia, conforme determina o Conselho Europeu, o máximo admitido para os compostos em amostras é de 0,1 µg L<sup>-1</sup>. Mesmo assim, alguns países do bloco foram ainda mais além e proibiram completamente o uso dessas substâncias em seus territórios, como aconteceu na França, Alemanha, Itália, Dinamarca e Áustria.

### 3.3.5 A mecanização da cultura mecanização dos canaviais e os recursos hídricos

Além das características dos herbicidas mais utilizados na agroindústria canvieira e do uso desses produtos justamente no período das chuvas, outro fator que contribui para a contaminação dos corpos de água por pesticidas é a intensa mecanização das unidades produtivas. Com a compactação dos solos, causada pela compressão da passagem das máquinas, a capacidade de escoamento dos produtos é ampliada, fazendo com que eles atinjam com maior facilidade rios e lagos.

Além disso, a compactação dos solos costuma causar outros problemas para os recursos hídricos das regiões produtoras de cana-de-açúcar. O primeiro é a diminuição na produtividade dos canaviais, causada pelo arrefecimento da taxa de lixiviação, o que contribui para o corte de suprimentos para a planta. O segundo é a diminuição do índice de recarga de aquíferos e dos lençóis freáticos. Por fim, devido à erosão do solo pelas enxurradas, há a perda de nutrientes dos campos e o assoreamento dos corpos de água.

Conforme explica Ronsin (2007), o tráfego de máquinas em áreas com canaviais aumenta a densidade e a resistência à penetração do solo em até 50%, comparando-se com áreas não trafegadas. Face ao peso dos novos equipamentos que estão sendo operados no campo, com mais de 15 toneladas, a pressão média aplicada aos solos varia entre 50 e 300 kPa. Esse peso, ao atuar sobre a superfície, dá origem a uma força externa que gera a reorganização das partículas, que passam a ocupar menor volume. Assim, ocorre o fenômeno da compactação, que causa todos os problemas já relatados.

#### 4. CONCLUSÃO

A transformação do padrão técnico de produção da agroindústria canavieira teve como consequência vários benefícios econômicos relacionados ao aumento da produtividade dos canaviais. No entanto, também criou muitos riscos para a preservação dos recursos hídricos nas principais áreas de produção de cana-de-açúcar do Brasil.

As mesmas tecnologias que possibilitaram melhor exploração do potencial genético da cana-de-açúcar em áreas mais aptas ao seu cultivo, também contribuíram para que novas áreas com solos de baixa fertilidade natural pudessem ser ocupadas. Com isso, os espaços que ainda permaneciam preservados da monocultura foram tomados pelos canaviais. Seja em áreas dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste Oriental ou na faixa de Cerrado que antes cobria São Paulo, a expansão da cana-de-açúcar foi documentadamente negativa.

Nesses locais, a lógica da produção a qualquer custo prevaleceu. Nem mesmo as matas ciliares, que antes cobriam as beiradas dos rios, foram conservadas. Infelizmente, este é um modelo de produção que não está reservado ao passado. Muito embora existam programas sendo desenvolvidos por usinas para o reflorestamento de trecho de rios, ainda hoje a cana-de-açúcar ocupa grandes áreas de florestas de galeria em Alagoas, São Paulo e Pernambuco.

Desse modo, a agroindústria canavieira vem prejudicando o fluxo dos rios em razão do assoreamento causado pela falta de cobertura vegetal em suas margens. No entanto, esse não é o único problema para a vazão dos corpos de água. Em vários pontos do Nordeste, as barragens artificiais estão ficando cada vez maiores, face ao avanço da necessidade de irrigação dos canaviais em áreas com baixa densidade pluviométrica.

Essas áreas, devido às características da cana-de-açúcar, não deviam estar sendo utilizadas pela agroindústria canavieira. A planta demanda, naturalmente, muita água, de modo que outras culturas, menos prejudicadas pelo estresse hídrico, deveriam ocupar esses espaços. Assim, não haveria concorrência entre o uso agrícola e as demais funções que servem as pessoas no aproveitamento dos recursos hídricos.

No entanto, o problema da irrigação não está somente associado à deficiência hídrica causada pelo excesso de água tomada dos rios do Nordeste pela cana-de-açúcar. O aproveitamento da vinhaça como elemento para fertirrigação dos canaviais, prática bastante

difundida em todo o País, também apresenta seus riscos. Devido à grande concentração de nutrientes nesse resíduo, quando lançado aos campos, ele pode contaminar o lençol freático se houver a sua lixiviação no perfil do solo, conforme apontam pesquisas realizadas em várias usinas localizadas em São Paulo.

O excesso de nutrientes pode causar problemas muito sérios para os corpos de água. Em rios e lagos conduz à eutrofização, devido ao crescimento descontrolado de algas. Contudo, esse é um processo que costuma estar menos associado ao uso da vinhaça do que ao emprego dos fertilizantes minerais nas zonas de produção canavieira.

Os fertilizantes minerais, amplamente utilizados pelos produtores de cana-de-açúcar, são fontes potencialmente perigosas de contaminação dos recursos hídricos. Conforme se buscou demonstrar neste capítulo, além de problemas devido ao excesso de nutrientes, também podem causar a degradação dos corpos de água pelo do acúmulo de metais pesados. Nesse sentido, foram analisados exemplos como os dos rios Mogi-guaçu e Jacaré-Açu, localizados em São Paulo, onde foram encontrados vestígios de cobre e zinco acima dos valores permitidos pela Resolução n°. 357 do Conama.

Essa Resolução é a mesma que permite elevadas dosagens de alguns dos pesticidas utilizados pela agroindústria canavieira nos campos. No entanto, conforme se demonstrou a partir da análise de três compostos, a norma parece pouco cautelosa. Casos de aberrações cromossômicas em animais e gênicas em plantas foram relatados a partir de estudos feitos com a aplicação da ametrina, atrazina e simazina, herbicidas muito comuns nos canaviais.

Com efeito, para o caso dos pesticidas, como para o dos fertilizantes, as contaminações costumam estar associadas ao escoamento superficial das águas das chuvas para os rios, que carregam essas fontes de contaminação difusas para o mar. Colabora para esse evento a compactação dos solos, que acontece com grande frequência em áreas onde há intensa mecanização e pequena cautela com os seus impactos.

Há, portanto, um grande número de fatores que passaram a colocar em risco a relação entre a agroindústria canavieira e os recursos hídricos após as mudanças ocorridas no padrão técnico de produção na agricultura. De fato, a mecanização e o uso de insumos agrícolas modernos foram importantes para o aumento na produtividade dos canaviais, mas a que custo? Os corpos de água localizados nas zonas de produção canavieira estão agora sob a ameaça constante da imprudência dos produtores que possuem essas tecnologias.

## **4 AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA: UMA ANÁLISE SOBRE O USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO**

### **Resumo**

O Estado de São Paulo é o principal produtor de cana-de-açúcar e de seus derivados no País. A produção estadual corresponde a mais de 60% da produção nacional, tornando esse Estado o mais indicado para um estudo da atual relação entre a agroindústria canavieira e a água. O uso dos recursos hídricos por essa atividade é tratado neste capítulo sob a perspectiva de que a água é um bem renovável, porém escasso. Portanto, o elevado consumo atribuído às usinas e destilarias, assim como a demanda hídrica relacionada à cana-de-açúcar são considerados elementos que possuem forte impacto na disponibilidade de água dentro do Estado. A expansão da agroindústria para o Norte e o Noroeste de São Paulo poderá ter sérias conseqüências para o abastecimento estadual. A escassez hídrica nesses territórios poderá obrigar as unidades de produção a irrigar seus canaviais e fazer com que a atual situação do setor em relação à demanda estadual seja agravada. Nos últimos anos, mudanças foram implementadas na parte industrial dos processos da produção canavieira, mas, apesar da significativa redução gerada pelas tecnologias de reuso da água, o setor sucroalcooleiro ainda é o responsável pela maior demanda entre as indústrias do Estado.

### **Abstract**

The State of São Paulo is the largest producer of sugarcane and its by-products in the country. The production of the State is more than 60% of what is produced in Brazil. Indeed, there is not a more appropriate place to study the current relationship between the sugarcane agribusiness and water. The use of water resources by this commercial activity is analyzed in this chapter from the perspective that water is a renewable but limited good. Therefore, the high consumption of plants and distilleries, and the water demand related to sugarcane are considered factors that have a strong impact on the availability of water within the State. The expansion of agribusiness to the North and northwest of São Paulo could have serious consequences for the supply of the State. The water shortage in these territories may force the production units to irrigate their sugarcane plantations and to aggravate the current situation of the sector in relation to the demand of the State. In recent years, changes were implemented in the industrial processes of production of sugarcane, but despite the significant reduction generated by the technologies of water reuse, the sugar-alcohol sector is still responsible for the increased demand among the industries of the State.

## INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo é o principal produtor de cana-de-açúcar e de seus derivados no Brasil. Somente em 2008, as usinas e destilarias paulistas processaram 296.313.957 toneladas de cana-de-açúcar, 60,5% da lavoura colhida no País. Elas também destilaram 13.345.207 mil litros de álcool e fabricaram 19.107.894 toneladas de açúcar, representando, respectivamente, 59,3% e 62,1% da produção brasileira. Dentre as trinta maiores unidades agroindustriais em operação no setor sucroalcooleiro nacional, somente seis não estão em seu território (CONAB, 2008; MAPA, 2009; ÚNICA, 2009).

Com duzentas unidades produzindo açúcar e álcool e mais de 24 mil produtores rurais dedicados à cultura da cana-de-açúcar, a agroindústria canavieira é muito importante para a economia estadual. Segundo Bragato et al. (2008), ela responde por quase 35% do Produto Interno Bruto e dos empregos rurais, mantendo 400 mil postos de trabalho. Uma série de estudos realizados por Campos et al. (2008), Silva (2008) e Camargo Júnior e Toneto Júnior (2008) demonstra a relação entre a atividade e o aumento da renda rural, da arrecadação fiscal e do índice de desenvolvimento humano nos municípios paulistas.

Nesse sentido, há muitas razões socioeconômicas para que as autoridades estaduais e municipais estimulem a expansão da agroindústria canavieira em São Paulo. No entanto, existem questões, sob o ponto de vista socioambiental, que ainda precisam ser trabalhadas. Além dos problemas de segurança alimentar e de biodiversidade, tratados em estudos como os de Gonçalves (2005), Barbosa (2008) e Camargo et al. (2008), temas como a conservação e o uso da água exigem maior cautela nas concessões feitas à atividade. Devido ao avanço da agroindústria canavieira, o Estado, apesar de seu elevado potencial hídrico, pode mesmo apresentar, no futuro, sérias limitações em sua disponibilidade de água.

O escoamento médio dos canais de rios e áreas de recarga dos aquíferos paulistas é de  $3.120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Esse volume é considerado o máximo possível a ser explorado no território, sendo que, por motivações econômicas, cerca de 30% dele não pode ser utilizado. Mesmo assim, mais de 20% da disponibilidade hídrica estadual já está sendo captada para atender às necessidades humanas no Estado. Com isso, a situação está ficando crítica em algumas regiões (SÃO PAULO, 2006).

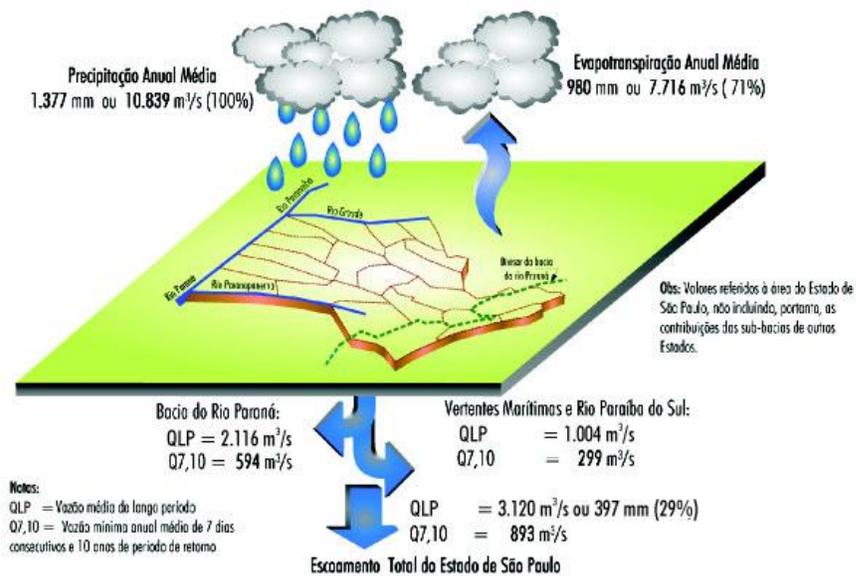


Figura 13 – Balanço hídrico dentro do território do Estado de São Paulo.

Fonte: São Paulo (2006).

Nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí e Mogi-Guaçu a situação é particularmente séria. Nelas, mais de 50% da disponibilidade hídrica atual está sendo demanda pelas atividades humanas. A principal fonte de consumo é a irrigação, seguida das demandas doméstica e industrial. Assim, apesar de ser considerada uma das atividades mais importantes dentro dessas bacias, a agroindústria canavieira não pode ser definida como o fator de maior influência na escassez hídrica estadual, visto que a cultura se desenvolve atualmente em regime de sequeiro em São Paulo (DAEE, 2009).

No entanto, a partir de uma análise da escassez hídrica nas áreas definidas como de expansão da atividade no Estado, pode-se dizer que, provavelmente, nos próximos anos a irrigação deverá se tornar uma prática comum no setor. Contudo, mesmo que isso não venha a acontecer, a cana-de-açúcar ainda será responsável por parcela importante do consumo de água na parte agrícola. Para manter suas funções básicas, a planta carece de uma precipitação incidente que varia de 1.500 a 2.500 mm ano<sup>-1</sup>, um valor muito superior ao demandado por outras culturas comerciais como a soja e o café, o que tem causado impactos nos balanços hídricos territoriais.

Ainda sobre a parte agrícola dos processos de produção da agroindústria canavieira pode-se observar que os problemas relacionados à contaminação e à degradação dos solos em áreas de canaviais também são fatores que influenciam na escassez da água. Devido ao depósito dos sedimentos carregados do campo para os rios, lagos e áreas de recarga dos

aqüíferos pelas enxurradas, parte do potencial hídrico pode se tornar indisponível. Embora essa não seja a realidade de todas as áreas de produção, há alguns casos relatados na literatura.

A relação entre a demanda hídrica e a produtividade da parte agrícola da agroindústria canavieira é complexa e não abre muito espaço para conclusões numéricas do seu impacto no desequilíbrio hídrico no Estado. No entanto, na parte industrial, além da avaliação qualitativa é também possível quantificar precisamente o volume captado e os seus efeitos sobre o balanço hídrico territorial. É possível, por exemplo, dizer que há vinte anos as usinas e destilarias paulistas eram responsáveis pelo consumo de 41% da captação industrial em São Paulo.

Atualmente, a agroindústria canavieira continua sendo a atividade com maior demanda agregada de água para realização de seus processos industriais no Estado. No entanto, sua importância para o volume captado pelas indústrias caiu para 27% da demanda global. O motivo para esse desconto percentual reside na incorporação de sistemas de otimização do consumo hídrico e do reaproveitamento das águas residuais, que antes eram perdidas na forma de vapor ou devolvidas aos rios como efluentes.

Não obstante, apesar das melhorias realizadas nas unidades produtivas do Estado, o consumo médio das usinas e destilarias ainda está muito acima das possibilidades técnicas de redução do uso da água na agroindústria canavieira. Com plantas industriais mais novas seria possível se reduzir a zero a captação de recursos hídricos. Em termos práticos, para se produzir o açúcar ou álcool não é preciso captar sequer um litro de água, bastam apenas os 700 litros de caldo presentes em uma tonelada de cana-de-açúcar.

Essa é uma das conclusões a que chega este capítulo, que expõe o resultado da pesquisa sobre o uso da água na agroindústria canavieira paulista, por meio da consulta a especialistas do setor e da busca em periódicos, livros e sítios institucionais. O estado da arte na tecnologia canavieira foi analisado com base em dados fornecidos pela Dedini, a maior fabricante de plantas industriais para o setor sucroalcooleiro no País.

## 4.1 DISPONIBILIDADE E USO DA ÁGUA

A água é um recurso ambiental renovável, porém escasso. Devido aos custos de seu aproveitamento, sua disponibilidade para as atividades humanas é limitada. Dependendo da qualidade, da quantidade e do estado físico em que se encontra, torna-se simplesmente inacessível. Esses fatores são determinados pela maneira como as pessoas utilizam o recurso e também pelo próprio ciclo hidrológico (CHRISTOFIDIS, 2001).

O fenômeno da circulação fechada da água entre a hidrosfera e a atmosfera, acionado pela energia solar e associado à gravidade e à rotação terrestre, é denominado de ciclo hidrológico. Por meio desse fenômeno a água é permanentemente renovada e filtrada, como se houvesse um enorme destilador natural. De seu estado líquido na superfície da terra é liberada pela transpiração vegetal e evaporada pelo efeito da radiação solar nos oceanos, mares, lagos e rios, ascendendo às camadas atmosféricas, onde se condensa, voltando ao solo devido à precipitação pluviométrica (CASTILHO, 2000; SILVA e KULAY, 2006).

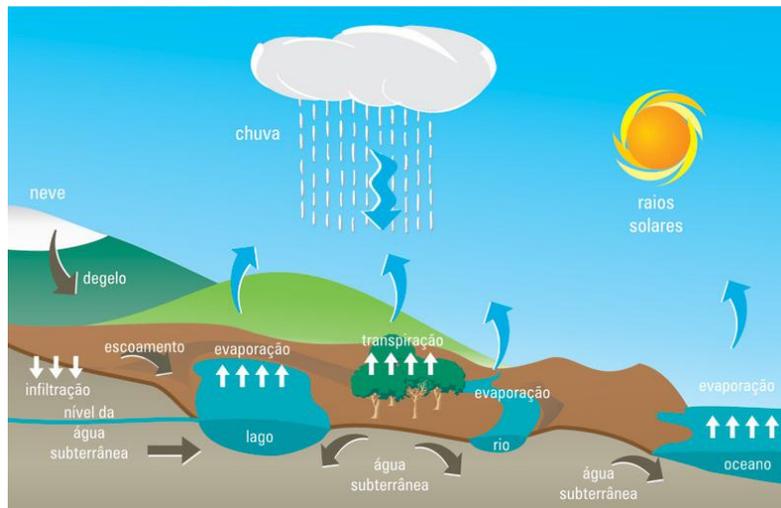


Figura 14: Ciclo hidrológico na Terra.

Fonte: SAG (2009).

A precipitação ocorre quando grande quantidade de gotas de tamanho e peso suficientes compele a força da gravidade a superar a turbulência normal ou os movimentos ascendentes do meio atmosférico. No entanto, mesmo durante o processo de queda das chuvas em direção à superfície ocorre evaporação, fazendo com que, em algumas regiões, a água não retorne à

superfície terrestre. Mas quando o resultado da taxa de precipitação, subtraída do índice de evaporação, é positivo, há umidade suficiente para que o solo seja banhado.

O excedente hídrico que atinge a terra na forma de chuva tende a se infiltrar no solo enquanto sua capacidade de absorção for superior ao volume precipitado. Mas, à medida que a água vai alcançando a zona saturada abaixo do nível do lençol freático, a taxa de infiltração decresce, até atingir um valor residual. Assim, o percentual não infiltrado passa a escoar pela superfície freática e pelo terreno acima (SÃO PAULO, 2007e).

Na superfície freática, parte da água é aproveitada pelos vegetais, que a absorvem por meio de suas raízes. Depois de assimilado, 90% deste volume é transpirado pela superfície de folhas e colmos, retornando à atmosfera. No entanto, a parcela de água dentro do lençol freático que não é absorvida pelas plantas flui vagarosamente para os aquíferos.

No nível do solo, os recursos hídricos se aglutinam em arroios e regatos que escoam superficialmente pela terra. Em contato com a radiação solar, as águas superficiais também se evaporam, o que leva mais água à atmosfera. O restante, aquilo que não infiltrou e nem evaporou, forma rios e lagos.

Na seqüência de eventos que caracterizam o ciclo hidrológico existem, portanto, três fontes de renovação dos recursos hídricos para um território: as precipitações pluviométricas, as águas dos cursos superficiais e os estoques subterrâneos. Subtraídas as taxas de evaporação dessas fontes, tem-se o seu potencial hídrico (REBOUÇAS, 2006).

Como demonstrado na Figura 15, o aproveitamento desse potencial pelas atividades humanas costuma ocorrer de duas formas: pela captação ou pelo uso local (*in situ*). No caso da captação, os recursos hídricos são retirados de corpos de água, podendo ou não retornar para os mesmos. No caso do uso local, não existe a derivação e a água é consumida ou apropriada diretamente dos recursos hídricos do território.

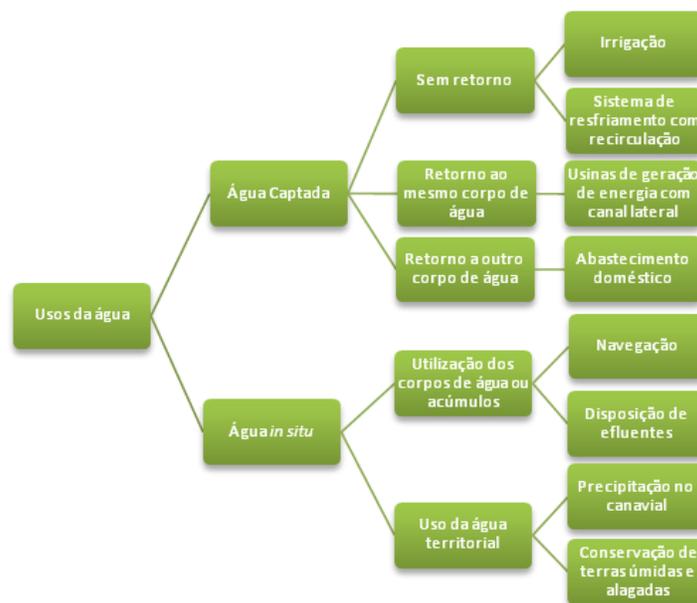


Figura 15: Principais modalidades de uso da água.

Fonte: baseado em Pinhatti (1998).

Dentre essas formas de uso existem modalidades que alteram o potencial hídrico territorial, reduzindo a quantidade ou a qualidade da água disponível. São os chamados usos consuntivos da água, como, por exemplo, a irrigação, a disposição de efluentes não tratados etc. Por outro lado, existem também aqueles usos que praticamente não alteram o balanço hídrico do território, como é o caso da navegação e das usinas de energia com canal lateral. Esses são os usos não consuntivos (BARROS, 2005).

Somente o elevado potencial hídrico de um território, portanto, não é suficiente para garantir as necessidades humanas por água. Havendo o aumento desregrado da demanda por atividades consutivas, existe a possibilidade de escassez. No entanto, há como se evitar os problemas de abastecimento, dependendo do planejamento do uso da água e do ordenamento do território (VIEIRA, 1982; BASSOI e GUAZELLI, 2004).

O planejamento do uso da água deve considerar a manutenção do potencial hídrico no padrão mínimo necessário para suprir as atividades humanas sem a violação dos aspectos de qualidade ambiental. Definido o consumo máximo, no ordenamento do território devem ser estabelecidos os limites para a expansão dos usos consuntivos que possuem maior impacto no balanço hídrico (SARAIVA, 1999).

No Estado de São Paulo, uma das atividades com maior potencial de impacto sobre o balanço hídrico territorial é a agroindústria canavieira. Para a produção de álcool e açúcar, a

água é consumida em grande volume, não apenas nas atividades industriais de destilarias e usinas, mas também na parte agrícola do processo de produção. Como poderá ser observado adiante neste capítulo, sem o estabelecimento de normas para redução da captação industrial e de limites para a expansão agrícola da cana-de-açúcar, o setor poderá ter séria influência negativa no potencial hídrico estadual, causando problemas no abastecimento de água nas regiões onde já existem problemas com a escassez hídrica.

#### 4.2 O USO DA ÁGUA NA PARTE AGRÍCOLA DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA

A cana-de-açúcar é uma cultura extremamente dependente da água. Para que possa desempenhar suas funções básicas, necessita de uma precipitação incidente que varia entre 1.500 e 2.500 mm ano<sup>-1</sup>. Esse valor é calculado a partir da quantidade de água perdida no sistema solo-planta pela evapotranspiração da cultura, que considera fatores variáveis como o ciclo de produção (cana planta ou soca), a temperatura do local, a variedade da planta, a área foliar do canavial, as características do solo etc. (GOUVÊA, 2008).

Esses fatores são determinantes para que se estabeleça se uma cultura necessita de irrigação para que seu potencial genético seja plenamente explorado. No caso do Estado de São Paulo, Smeets et al (2008) calcularam que a evapotranspiração da cana-de-açúcar, num arranjo com as variedades mais utilizadas, a temperatura média e os principais tipos de solo ocupados, é de 1.657 mm ano<sup>-1</sup>. Segundo os autores, nesse cenário não haveria razão para se esperar que a cana-de-açúcar venha a necessitar de irrigação no Estado nos próximos anos, visto que precipitação anual nas áreas de plantio é de 2.140 mm.

No entanto, há alguns problemas com a previsão traçada pelos autores. Um deles é que a precipitação média na área do Estado é menor do que a apresentada nos locais atualmente ocupados pela cultura, sendo de 1.377 mm ano<sup>-1</sup>. Além disso, as condições de temperatura e de estresse hídrico são extremamente variáveis dentro do território. Como demonstra Brunini (2009), as características climáticas de mais 30% do Estado fazem com que a restrição hídrica nas áreas de expansão da cana-de-açúcar varie de alta a moderada.



Figura 16: Restrição hídrica em áreas de expansão da cana-de-açúcar.

Fonte: Brunini (2009).

Desse modo, a situação atual, na qual a cana-de-açúcar praticamente não é irrigada, tende a mudar conforme a cultura avançar sobre áreas de restrição hídrica. Como indicam os estudos de Frizzone et al. (2001), a irrigação, a partir de critérios meramente econômicos, é justificável para canaviais localizados no Norte do Estado de São Paulo, devido aos ganhos gerados pelo aumento de produtividade. Com isso, o consumo tende a crescer em áreas que já apresentam problemas de deficiência hídrica.

No entanto, mesmo sem a irrigação, o volume de água utilizado pela cana-de-açúcar já pode ser considerado bastante elevado no Estado. Sua necessidade hídrica é cerca de três vezes a demanda da soja (450 a 850 mm ciclo<sup>-1</sup>) e quase o dobro do consumo do café e do eucalipto (800 a 1.200 mm ano<sup>-1</sup>). De sorte que essa é uma cultura capaz de produzir um impacto muito superior no balanço hídrico de um território do que aquelas plantas que são tradicionalmente conhecidas como grandes consumidoras de água (LIMA, 1993; FRANKE e DORFMAN, 2000; BRITO, 2006).

Considerando-se apenas a demanda direta de água pela planta para satisfação de suas necessidades básicas, sem levar em conta a interceptação pela intensa área de folhagem que caracteriza a cana-de-açúcar, tem-se que, em média são necessários 3,5 mm de água diretamente incidentes na planta a cada dia<sup>28</sup>. Isso representa um consumo médio de 35 m<sup>3</sup> por hectare plantado (PRIMAVESI, 1985; SCARDUA e ROSENFELD, 1987).

Esse valor corresponde ao volume de água que as raízes da cana-de-açúcar podem absorver do subsolo, acrescido da quantidade evaporada na camada superior do solo, cerca de

<sup>28</sup> Convertendo: 1 mm de chuva = 10 m<sup>3</sup> por hectare de água.

20% do total. Ou seja, quase 28 m<sup>3</sup> de água por dia são consumidos apenas pelas plantas, a cada hectare plantado. No entanto, desse total, menos de 10 % permanecem nos colmos, raízes e folhas do canavial. O restante, devido ao efeito da radiação solar, é perdido pela transpiração (VERTUAN, 2003).

Para efeito de comparação, tem-se que o valor de 28 m<sup>3</sup> de água por dia, segundo dados da Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal (2006), equivale ao consumo de 80 residências urbanas e à demanda de abastecimento de um curral com 466 cabeças de gado bovino em confinamento. Se comparado a outras culturas que não utilizam o sistema de sequeiro, equivale a um hectare irrigado por gotejamento de trigo, alface, chuchu e pepino, com eficiência máxima de 90% no aproveitamento da água.

Contudo, o consumo de água decorrente da evapotranspiração no sistema solo-planta, não representa o total de água que é retirado do território pela cultura da cana-de-açúcar. A interceptação das precipitações por cobertura vegetal constitui um dos fatores de maior importância para a escassez dos recursos disponíveis. A água proveniente da precipitação pluviométrica, ao cair sobre as plantas, tem parte do seu volume interceptado por folhas e caules. Impedida de atingir o solo, ela é perdida devido à evaporação (TERAMOTO, 2003).

A quantidade de precipitação interceptada pela cobertura vegetal (PP) representa uma parcela importante do balanço hídrico de um território. O volume de água que fica retido nas folhas e caules pode ser calculado pela equação  $PP = P_i - (P_L + E_C)$  onde a precipitação incidente ( $P_i$ ) indica a quantidade de chuva que atinge o solo em terreno aberto, acima das copas das árvores; a precipitação interna ( $P_L$ ) é a chuva que atinge o solo, incluindo gotas que passam diretamente pelas aberturas existentes entre as copas e as gotas que respingam das copas; o escoamento do caule ( $E_C$ ) mede o volume de água da chuva que, depois da absorção pelas copas, atinge o solo escoando pelos caules (troncos) das árvores (PARCHEN, 2007).

Castilho (2000) monitorou a perda por interceptação das precipitações incidentes em canaviais na região de Campinas durante o período de 05 de fevereiro a 20 de dezembro de 1999. Foram instaladas 29 calhas coletoras abaixo da folhagem da cultura, entre as linhas de plantio, cada qual conectada a um reservatório de armazenamento. Ao final da pesquisa, encontrou-se uma taxa de interceptação de 39,5%.

Para efeito de comparação, pesquisas com outras culturas sobre a interceptação da precipitação incidente, realizadas com a mesma metodologia utilizada por Castilho (2000),

apresentaram os seguintes resultados: o trigo interceptou 33%, a maçã 15%, o caju 31% e o citros 17%. Em condições de pluviometria média<sup>29</sup>, apenas o cacau interceptou um índice de chuva superior ao da cana-de-açúcar. Segundo Miranda (1997), 44% das chuvas que incidem sobre áreas de plantio de cacauzeiros são interceptadas. No entanto, do valor apresentado pelo autor, apenas 19% está associado exclusivamente à planta, o restante se refere às árvores de proteção e às folhas mortas no solo.

Embora a comparação com outras culturas forneça parâmetros significativos, o mais importante é verificar se a cana-de-açúcar é capaz de interceptar mais água do que a mata natural. No Estado de São Paulo, onde o Cerrado e a Mata Atlântica são os dois principais biomas, foram realizados estudos sobre a vegetação nativa. Assim, Lima e Nicoloielo (1983), em uma reserva de Cerrado na região de Agudos, encontraram um índice de 27,3% de interceptação das chuvas incidentes sobre o terreno. Arcova, Ciro e Rocha (2003), em área de Mata Atlântica, no município de Cunha, calcularam em 21% o volume interceptado.

Desse modo, a substituição da mata nativa pela cultura da cana-de-açúcar provoca a redução da quantidade de água que atinge o solo. Portanto, o volume de recursos hídricos disponíveis na superfície do Estado de São Paulo está sendo influenciado pela crescente demanda de terras para a expansão da agroindústria canavieira. Devido à ocupação das áreas de mata nativa pela cultura, há uma redução no volume de água que se deposita no solo e no subsolo, e, por conseqüência, do deflúvio nos rios (WATANABE, 2008).

#### 4.2.1 A ocupação das áreas de mata nativa pela cana-de-açúcar e os recursos hídricos

Segundo Nonato, Mantelatto e Rossel (2001), para os padrões de produção da agroindústria canavieira paulista, uma usina com destilaria anexa, considerada de porte médio, necessita de 12.000 t de cana-de-açúcar, durante uma temporada de 180 dias, para poder operar sem problemas de ociosidade em sua planta. Para fornecer essa quantidade de matéria-prima é necessário o cultivo de, aproximadamente, 25.000 ha de terra.

Com tamanha demanda por terras, não é de se admirar que, entre 2004 e 2008, a área de cobertura da cana-de-açúcar tenha sido ampliada de 3,09 para 4,44 milhões de hectares em

---

<sup>29</sup> Ou seja, sendo estabelecida a média dos períodos chuvosos e de baixa pluviometria.

São Paulo, uma expansão de 337 mil hectares por ano. Esse avanço da cultura ocorreu, principalmente, sobre áreas de pastagem e de culturas como o feijão da seca e o arroz. No entanto, aproximadamente 5.500 hectares de mata nativa também foram incorporados diretamente pela planta (CAMARGO et al., 2008; GOLDEMBERG, COELHO e GUARDABASSI, 2008; NASSAR et al., 2008).

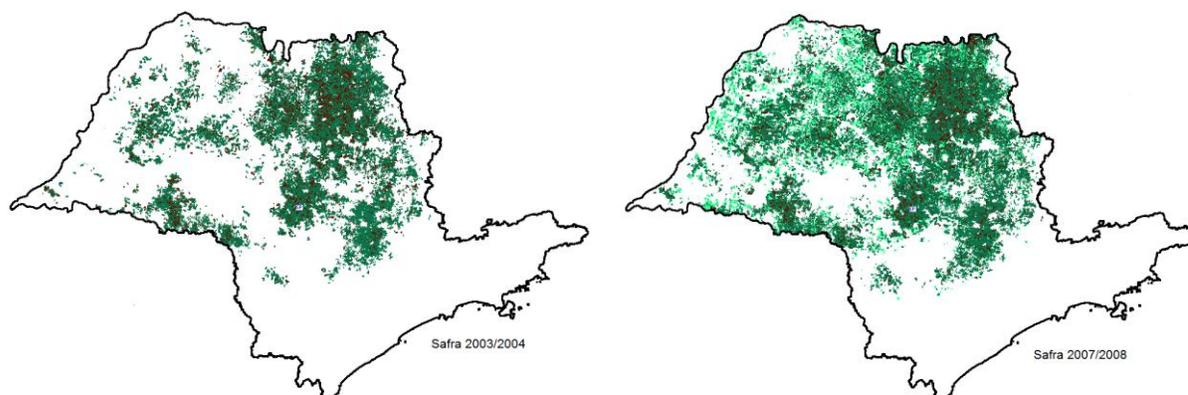


Figura 17 – Áreas ocupadas pela cana-de-açúcar em São Paulo. Safras 2003/2004 e 2007/2008.

Fonte: Inpe (2009).

Apesar de relativamente pequena quando comparada à área tomada de outras atividades agrícolas, a taxa de ocupação da mata nativa pela cana-de-açúcar, 2,4%, em São Paulo, entre 2004 e 2008, teve forte impacto sobre os recursos hídricos. Seus efeitos foram sentidos, sobretudo, nas bacias hidrográficas onde tradicionalmente a agroindústria canavieira estabeleceu mais de 60% de suas unidades de produção, a saber: nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiaí, Pardo e Mogi-Guaçu.

Há vários relatos sobre a ausência de reserva legal e de mata ciliar em pesquisas de campo nessas bacias. Embora sejam áreas protegidas pela Lei Federal n.º. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e pelo Decreto Estadual n.º. 50.889 de 16 de junho de 2006, são poucas as propriedades que cumprem tais normas conforme assinalam Rodrigues (2004), Gonçalves (2005), Piacente (2005), Silva et al. (2007) e Martinelli e Filosofo (2008).

Em todo o Estado de São Paulo, segundo a Secretaria de Meio Ambiente (2008), há quase 600 mil hectares, entre matas de galeria e reservas legais, sendo ocupadas de forma indevida pela agroindústria canavieira. Os problemas relacionados ao uso dessas áreas de conservação florestal para os recursos hídricos são muito variados. Além do aumento das perdas por evapotranspiração, há ainda questões relacionadas à taxa de infiltração da água no

solo e à drenagem de nutrientes pelo arraste superficial, que causa a contaminação dos rios que percorrem as áreas de canaviais.

Borges et al. (2005), avaliando os valores médios de permeabilidade para diferentes usos do solo na bacia do Córrego Palmital, no município de Jaboticabal, encontraram dados sugestivos sobre o impacto da substituição da mata nativa pela cana-de-açúcar. Segundo os autores, na área da bacia ocupada por florestas a média de infiltração é de 94,81 mm h<sup>-1</sup>, por eucalipto 72,11 mm h<sup>-1</sup>, pela cana-de-açúcar 36,01 mm h<sup>-1</sup> e por pastagem 8,95 mm h<sup>-1</sup>. Em um comparativo entre a cana-de-açúcar e a floresta, os autores detectaram que, enquanto esta última possui uma taxa de infiltração de 67,81%, a primeira permite ao solo que receba apenas 25,76% da chuva incidente. De modo que a perda de água pela floresta é de 32,19% e, no caso da cana-de-açúcar, de 72,24%, uma diferença de 42,05%.

A explicação para essa diferença no volume de água que infiltra no lençol freático está nas características físicas dos solos cultivados com cana-de-açúcar. Devido à redução do volume de matéria orgânica na camada superficial do piso, as gotas de chuva que não são interceptadas pela cobertura vegetal atingem diretamente o solo, causando a desagregação de suas partículas em razão da energia cinética, gerando a sua impermeabilização, bem como sua compactação (BEZERRA e CANTALICE, 2006).



Figura 18: Mudanças físico-químicas em solo cultivado com cana-de-açúcar.

Fonte: baseado em Cheesman (2004).

Maia e Ribeiro (2004) observam que, quando um ecossistema natural é substituído por um manejo intensivo, como é o caso da cana-de-açúcar, há uma tendência de que o estoque de

carbono no solo seja reduzido. Segundo os autores, para o caso dessa cultura em particular, mais de 50% da matéria orgânica, em média, é perdida no primeiro ano de cultivo devido a diversos processos como a erosão<sup>30</sup>, por exemplo.

O processo erosivo tem seu início com o impacto direto das gotas de chuva no solo. As partículas que são desagregadas com a força exercida pelo impacto da água obstruem os poros e vedam a superfície do solo, causando a redução da taxa de infiltração. Com isso, há um aumento no nível de escoamento superficial, ou enxurrada, que causa uma perda ainda maior no volume de matéria orgânica, à medida que a chuva supera a taxa de infiltração.

No caso da mata nativa, o piso tem várias camadas de matéria orgânica, que reduzem o impacto da água. Na área coberta com cana-de-açúcar, apesar da grande produção de aporte vegetais, as técnicas de manejo utilizadas atualmente limpam a superfície, tanto no caso do traçado mecânico quanto das queimadas. Por isso, tem-se uma taxa de erosão média nos canaviais de 20 t ha<sup>-1</sup> em São Paulo, muito acima das 2 t ha<sup>-1</sup> dos solos naturais. Não há como evitar completamente a erosão dos solos, mas segundo as estimativas de Smeets et al. (2008), seria possível reduzir o nível de erosão ao nível do solo natural com um acréscimo de apenas 3% nos custos de produção da agroindústria canavieira.

No entanto, não existe uma legislação que trate da questão no País. Interessante seria a adoção de um critério, baseado, por exemplo, na taxa de erosão da cultura comparada com a taxa natural do solo durante um período. Isso seria importante para um Estado como São Paulo, onde, segundo Feres (2008), 80% da área cultivada está sofrendo processo erosivo além dos limites médios anuais de tolerância (entre 4 e 15 t ha<sup>-1</sup>), com tendência ao sério agravamento com o passar dos anos.

O que piora o problema com as práticas de manejo no Estado de São Paulo são fatores como a susceptibilidade à erosão do solo, a topografia natural do terreno e as chuvas. As características de clima e morfologia fazem com que 60,2% do território do Estado sejam altamente suscetíveis à erosão. Com relação à topografia, 71,8% apresentam áreas com relevo ondulado e declividades que variam de 0 a 20%. Além disso, a distribuição das chuvas concentra-se de 74% a 94% no período de mobilização do solo, durante o qual fica menos protegido pela vegetação e mais desagregado, sendo muito mais vulnerável ao processo erosivo (MINOTI, 2006; SÃO PAULO, 2007d).

---

<sup>30</sup> Há estudos que relacionam esse tipo de perda de carbono ao aquecimento global. Nesse sentido, recomenda-se a leitura dos artigos de McCarty e Ritchie (2002) e Van Oost et al. (2007).

Estudos realizados por Oliveira, Pinto e Neto (2007) na bacia do rio Cachoeirinha, no município de Iracemápolis, onde a cobertura pela cana-de-açúcar atinge 75% da área rural, comprovam os efeitos erosivos da falta de proteção oferecida pela cobertura vegetal após a colheita. Como demonstrado na Figura 19, há um aumento gradual nos sulcos erosivos, com um avanço no depósito de sedimentos, durante o período. No entanto, mesmo com o plantio de mudas, o processo não é interrompido. No final do período da colheita, ainda subsiste o canal erosivo, que deposita seus sedimentos no corpo de água da cidade, o que tem levado ao assoreamento do ribeirão, devido à retirada da mata ciliar.

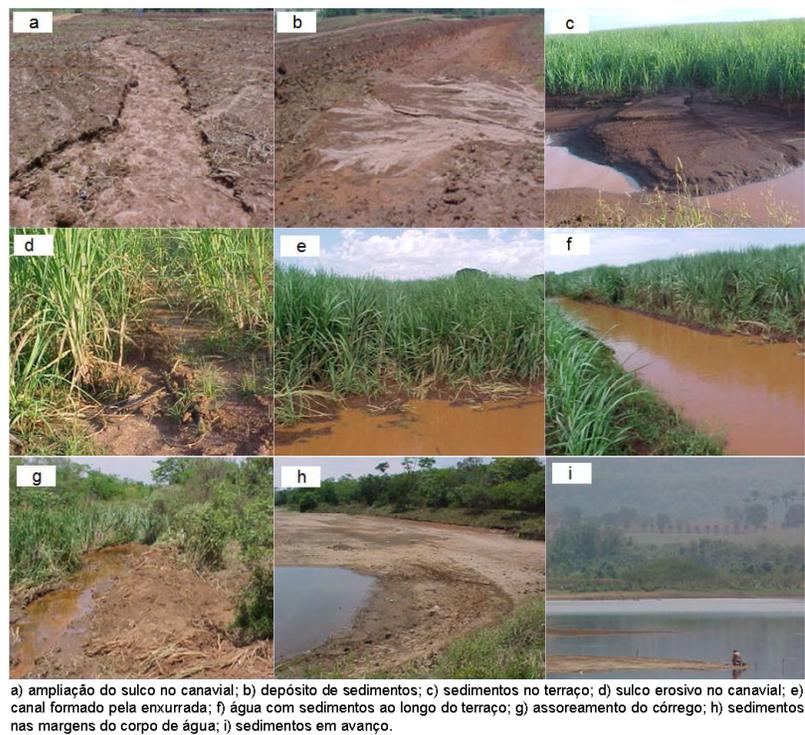


Figura 19: Seqüência de fotos do processo erosivo em um canavial.

Fonte: Oliveira, Pinto e Neto (2007).

A mata ciliar possui um papel fundamental na preservação da qualidade da água que abastece um território, atuando como um sistema tampão e, ao mesmo tempo, como um filtro de nutrientes e sedimentos das áreas adjacentes, evitando que as cargas difusas contaminem os rios (BATALHA, 2006; BALBINOT et al., 2008).

Quando o escoamento superficial passa de uma área cultivada com cana-de-açúcar para a vegetação nativa, ocorre uma diminuição na velocidade do fluxo devido à rugosidade superficial e à resistência da vegetação. A diminuição da velocidade, por sua vez, resulta na

redução da capacidade de transporte de sedimentos, impedindo que estes cheguem à rede de drenagem (CHESSMAN, 2004; PIACENTE, 2005; BEZERRA e CANTALICE, 2006).

Em uma análise do uso da terra na bacia do ribeirão Marins, em Piracicaba, Machado, Vettorazzi e Xavier (2003) projetaram um cenário em que a mata nativa das encostas com declividade superior a 45° e a vegetação ciliar local fossem recompostas nas áreas onde a predominância é da cultura da cana-de-açúcar, cerca de 60%. Com isso, segundo seus cálculos, haveria uma redução de 94% na produção de sedimentos.

Buscando definir de que maneira a substituição da cobertura de mata nativa por cana-de-açúcar pode influenciar o depósito de sedimentos em um corpo de água, Martinelli et al (1999b) usaram o teste de isótopos estáveis para determinar a origem da matéria orgânica que chega ao Rio Piracicaba devido ao escoamento superficial. O estudo somente foi possível porque a cana-de-açúcar é uma planta do tipo C<sub>4</sub>, que pode ser diferenciada das plantas C<sub>3</sub> (como a maioria das árvores nativas)<sup>31</sup> por sua assinatura isotópica, expressa como δ<sup>13</sup>C. Os resultados demonstraram que mais de 50% dos sedimentos no rio são provenientes dos canais que estão em suas margens.

Para se compreender a importância da associação entre a cana-de-açúcar e a poluição por sedimentos para o uso da água, vale a pena analisar o estudo de Cappariol (2005). A autora, pesquisando sobre a evolução do uso e da ocupação dos solos na bacia do Ribeirão Paraíso, em Charqueada, identificou que o avanço da agroindústria canavieira nos últimos anos causou, em ordem seqüencial, a degradação das matas ciliares, a erosão dos solos, o assoreamento e a contaminação dos cursos de água por excesso de nutrientes. Em razão desses processos, a empresa responsável pelo serviço de abastecimento de água no município foi obrigada a captar água numa bacia localizada fora do seu território.

---

<sup>31</sup> As plantas do tipo C<sub>3</sub> formam, como primeiro produto estável da cadeia bioquímica da fotossíntese, o ácido 3-fosfoglicélico, uma molécula com 3 carbonos. Enquanto isso, as C<sub>4</sub> formam o ácido oxalacético, com 4 carbonos.

#### 4.2.2 O uso de defensivos agrícolas nos canaviais e os recursos hídricos

A severidade do problema com a sedimentação do solo associada à cana-de-açúcar é agravada pelo transporte de substâncias tóxicas e metais pesados dos defensivos agrícolas comumente utilizados pela agroindústria canavieira. Apesar de usar um volume, por hectare plantado, menor do que o de outras culturas tradicionais, cerca de 40% menos que o milho e 90% menos quando comparado com o café, o citros e a soja, há muitos casos de incidência de contaminação de corpos de água por esses produtos em áreas de canaviais (SMEETS et al., 2006 e 2008; MARTINELLI e FILOSOFO, 2008).

Nesse sentido, Armas et al. (2007), em um estudo das águas superficiais na bacia do rio Corumbataí, nos municípios de Santa Gertrudes e Ribeirão Claro, encontraram vestígios do herbicida atrazina acima dos recomendados pela Portaria n°. 518 do Ministério da Saúde, de  $2 \mu\text{g L}^{-1}$ . Corbi et al. (2006), em pesquisa nos municípios da região central do Estado, acharam traços dos pesticidas aldrin, endrin e endosulfan nos córregos adjacentes às áreas com cana-de-açúcar em concentrações que chegavam a  $1.787 \mu\text{g kg}^{-1}$ . É importante notar que esses três compostos são proibidos para o uso agrícola no Brasil, sob qualquer valor, desde 1985, quando foi editada a Portaria n°. 329 do Ministério da Agricultura. No entanto, Silva et al. (2008), também detectaram esses produtos em peixes e sedimentos em áreas próximas a canaviais na bacia do rio Piracicaba.

Devido a esse tipo de prática, estudos indicam uma forte correlação entre o uso de defensivos agrícolas e a alta taxa de pacientes diagnosticados com câncer em municípios próximos às zonas canavieiras. Stoppelli e Crestana (2005), em pesquisa na cidade de Bariri, tradicional área de produção de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, detectaram a incidência de 8 novos casos de câncer em uma população de 10.000 habitantes a cada ano. Um valor considerado muito alto para os padrões nacionais, que, em média, não ultrapassam a proporção de 5 para 10.000.

No entanto, nem sempre se verifica a associação entre a atividade canavieira e a poluição causada por defensivos agrícolas. Conforme indicam Goldemberg, Coelho e Guardassi (2008), a maioria dos usineiros segue as normas da Lei de Agrotóxicos (n°. 7.082 de 1989) e demais legislações competentes. Além disso, a agroindústria canavieira paulista é considerada um

exemplo no uso do controle biológico e do melhoramento genético, com ferramentas de manejo que podem reduzir o consumo de pesticidas.

A importação, pela Universidade de São Paulo, da vespa *Cotesia flavipes*, de Trinidad e Tobago, para o combate da broca-da-cana-de-açúcar é uma referência no controle biológico de pragas<sup>32</sup>. Enquanto a infestação média do inseto era de 10% na década de 1970, atualmente está próxima de 2%. Além disso, foram desenvolvidas variedades de cana-de-açúcar resistentes a pragas e doenças por instituições como o Planalsucar, o Centro de Tecnologia Canavieira e o Instituto Agrônômico (BARELA, 2005; IVO et al., 2008).

Não obstante, ainda pairam dúvidas sobre a capacidade do controle biológico e do melhoramento genético servirem como soluções de mercado para a manutenção da qualidade fitossanitária. Bem divulgados, de fácil utilização e eficazes no curto prazo, os agrotóxicos são muito difundidos entre os produtores, que utilizam pouco as alternativas para o controle de pragas (PROCÓPIO, 2003; CARVALHO et al., 2005).

Uma oportunidade para a mudança pode estar surgindo com o avanço da mecanização da colheita no Estado São Paulo. Devido às limitações técnicas das colheitadeiras, que necessitam de plantas que possibilitem um corte mais raso e que sejam mais eretas, novas variedades podem entrar no mercado. Além disso, com o fim da queima da palha da cana-de-açúcar, a população da cigarrinha-das-raízes tende a aumentar<sup>33</sup>. De sorte que este é um bom momento para que as biofábricas que vendem o fungo *Metarhizium anisopliae*, usado no controle biológico da praga, possam expandir seus negócios (STINGEL, 2005).

Mas, enquanto os usineiros e fornecedores vão se acostumando a fazer o monitoramento necessário ao controle biológico de pragas, Barbosa (2007) recomenda algumas práticas no uso de defensivos agrícolas que podem reduzir os seus efeitos, sendo elas: a preferência por pesticidas de menor impacto; a escolha de produtos com menor embalagem; o uso de formulações que facilitem a limpeza das embalagens; a devolução de embalagens vazias aos centros de coleta; cuidados com o transporte e aplicação. Além disso, para a prevenção de ervas daninhas, deve-se buscar utilizar a cobertura verde, a rotação com outras culturas e o espaçamento adequado das fileiras plantadas.

---

<sup>32</sup> Sobre os efeitos adversos do controle biológico da broca-da-cana-de-açúcar, Rossi e Fower (2004) fizeram uma análise detalhada em duas usinas paulistas. Os autores concluíram que a inserção da espécie exótica tem gerado a redução populacional de moscas da família Tachinidae. Segundo eles, o controle biológico é uma prática que deve ser estimulada, mas que não está completamente livre de danos ambientais.

<sup>33</sup> O fogo no canavial limita o crescimento populacional da cigarrinha-das-raízes à medida que provoca a redução das formas biológicas do inseto, especialmente de ovos, presente em grande quantidade na época da colheita.

#### 4.2.3 A mecanização da colheita da cana-de-açúcar e o uso da água

Tendo início na década 1950, a mecanização da colheita da cana-de-açúcar somente começou a ser mais difundida no Estado de São Paulo trinta anos mais tarde. As usinas que adotaram colheitadeiras mecânicas nesse período, o fizeram com o objetivo de se ajustarem aos padrões internacionais de competitividade. Numa época em que a mão-de-obra estava ficando escassa, devido ao êxodo rural, o uso de uma máquina capaz de substituir o trabalho de 200 homens era uma maneira de se reduzir custos (ALVES, 1991; ELIA NATO, 2005).

Mas a mecanização da colheita só se intensificou realmente com a proibição legal da queima da palha da cana-de-açúcar imposta pelo Decreto Estadual nº. 41.719, em 16 de abril de 1997. Anos mais tarde, a Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, foi editada mantendo as mesmas restrições legais impostas pela norma precedente e tornando ainda mais estreito o cronograma para a eliminação gradativa das queimadas nas áreas em que continuou, temporariamente, a ser permitida.

Cronograma	Áreas mecanizáveis		Área não mecanizáveis	
1º ano	2002	Eliminação de 20%	2011	eliminação de 10%
5º ano	2006	Eliminação de 30%	2016	eliminação de 20%
10º ano	2011	Eliminação de 50%	2021	eliminação de 30%
15º ano	2016	Eliminação de 80%	2026	eliminação de 50%
20º ano	2021	Eliminação de 100%	2031	Eliminação de 100%

Quadro 3: Cronograma da eliminação da queima da cana-de-açúcar em São Paulo.

Fonte: Baseado em Fredo et al (2008).

Conforme os critérios legais, o ano de 2021 é o prazo para a completa erradicação da queimada nas áreas legalmente consideradas mecanizáveis<sup>34</sup>. Para aquelas que possuem declividade superior a 12%, no entanto, o prazo se estende até 2031. Com efeito, os prazos são razoáveis e os produtores têm cumprido as expectativas governamentais, sob o ponto de vista

<sup>34</sup> No mercado, existem colheitadeiras capazes de operar em terrenos com até 35% de declividade (RIOS, 2008).

legal. Em 2008, cerca de 40% da área colhida no Estado foi feito sem o uso de queimadas, o que constitui um avanço importante para um setor que dez anos antes queimava 82% da área que colhia (FREDO et al. 2008; SMEETS et al., 2008).

A queimada da palha da cana-de-açúcar interfere indiretamente na disponibilidade hídrica no Estado de São Paulo. Segundo Noronha (2006), dados do Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto indicam um aumento de 50% nos níveis de consumo durante a época da colheita. Como sugerem os estudos do autor, devido à fuligem dispersa na atmosfera, as pessoas que vivem em áreas próximas às unidades que ainda praticam a queima da palha são obrigadas a limpar várias vezes os quintais, calçadas e roupas que se sujam no varal. Com isso, sobra menos água para outras atividades.

No entanto, a prática da queima da palha também influencia, de outra maneira, o balanço hídrico do Estado. As queimadas estão relacionadas às emissões de óxido de nitrogênio (NO<sub>x</sub>). Na atmosfera, esta substância se converte em ânion nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), o que contribui para a formação da chuva ácida. Tal hipótese se sustenta, sobretudo, com a associação de cátion potássio (K<sup>+</sup>) e de ânion cloro (Cl<sup>-</sup>), também liberados durante a combustão na forma de cloreto de potássio (OMETTO, MANGABEIRA e HOTT, 2005).

Segundo indicam estudos realizados por Lara et al. (2001), na bacia do rio Piracicaba, onde o pH da água captada nos postos pluviométricos chega a 4, um valor similar ao das áreas mais poluídas do mundo, há uma estreita relação entre a queimada da palha da cana-de-açúcar e as chuvas ácidas. A situação regional é tão complexa que, em 2004, o Ministério Público instaurou um inquérito civil público<sup>35</sup> para apurar a responsabilidade dos usineiros.

A incidência de chuvas ácidas pode levar à acidificação dos sistemas aquáticos e do solo. No entanto, ironicamente, a grande quantidade de carbono orgânico dissolvido nos rios paulistas, sobretudo nos pontos de lançamento de esgoto não tratado, têm protegido esses sistemas. Krusche et al. (2003), em um estudo da capacidade de neutralização ácida do rio Piracicaba, acharam concentrações de até 350 µeq L<sup>-1</sup> em pontos não poluídos, enquanto que, em trechos contaminados, foram encontrados valores que variavam entre 1.200 a 1.700 µeq L<sup>-1</sup>.

A menor concentração para o limite de sensibilidade à acidificação dos rios é de 200 µeq L<sup>-1</sup>. Valores abaixo dessa estimativa indicam baixa capacidade do meio em neutralizar os efeitos da acidificação causada pelas entradas atmosféricas. Seguindo-se os padrões determinados

---

<sup>35</sup> Instrumento investigatório utilizado pelo Ministério Público para verificar a violação de um direito coletivo.

por esse critério, quanto maiores os valores encontrados, menor a propensão dos rios a se tornarem ácidos, como acontece nas áreas poluídas do Piracicaba. A explicação para isto é que o aumento no nível de carbono dissolvido amplia a decomposição aeróbica, liberando cátions básicos que aumentam a capacidade de neutralização dos efeitos da acidez (BALLESTER et al., 1999; MARTINELLI et al. 1999a).

No entanto, ao contrário do que acontece com as águas, a acidificação do solo não é evitada pela poluição ambiental, de modo que a incidência contínua de chuvas ácidas nos solos paulistas tem causado substituição da pobre camada de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$ ) existente na argila por cátion hidrogênio ( $\text{H}^{+}$ ). Conforme observam Martinelli e Filosofo (2008), com o tempo, a tendência é que o hidrogênio seja substituído pelo alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ), que, em grandes concentrações, é tóxico para algumas plantas.

Mas há outros efeitos relacionados à queima da palha da cana-de-açúcar no solo. As queimadas aumentam a temperatura e diminuem a umidade natural do meio, causando a sua compactação. Tem-se, ainda, que a perda de nutrientes por combustão e por efeito do escoamento superficial, facilitado pela excessiva mobilidade causada por falta de matéria orgânica (SZMERCZSÁNYI, 1994; CANELLAS, 2003; RESENDE et al., 2006).

Segundo Hartemink (2006), cerca de 30% do nitrogênio disponível em áreas de canaviais podem ser perdidos anualmente devido, exclusivamente, às queimadas. Assim, mais fertilizante nitrogenado é necessário para os canaviais, que consomem de 80 a 100  $\text{kg ha}^{-1}$  a cada ano em São Paulo. Quanto mais fertilizantes são utilizados pela cultura, maiores são as chances de contaminação dos corpos de água, devido à elevada mobilidade do nitrogênio.

Outro risco de contaminação dos corpos de água associado às queimadas da cana-de-açúcar está na produção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs). Esses compostos se formam pela combustão incompleta da matéria orgânica e são extremamente perigosos devido às suas propriedades mutagênicas e carcinogênicas, além da persistência ambiental, considerada mediana (PEREIRA NETTO, CUNHA e KRAUSS, 2004).

Zamperlini, Santiago-Silva e Vilegas (2000), em um estudo em Araraquara, utilizando a análise cromatográfica, encontraram uma concentração média de 1,5  $\mu\text{g}$  hidrocarbonetos aromáticos por grama de amostra coletada no solo, com o componente benzo[a]pireno, altamente carcinogênico sendo encontrado no teor de 9,6%. Em outra pesquisa realizada nesse importante município produtor de cana-de-açúcar, Godoi et al. (2004) identificaram teores de

até  $94 \text{ ng m}^{-3}$  em amostras de materiais particulados na atmosfera, valor superior ao descrito em aerossóis atmosféricos de cidades poluídas, como Seul e Londres.

A queimada da cana-de-açúcar é também reconhecida como uma das principais fontes de poluição por partículas de aerossóis no Estado. Esse material particulado em nível atmosférico afeta o núcleo de condensação das massas de chuvas, o que aumenta o efeito albedo das nuvens e reduz as taxas de precipitação, causando mudanças no ciclo hidrológico territorial (RAMANATHAN et al. 2001; LEVIN e BRENGUIER, 2006).

Lara et al. (2005), em estudo no município de Piracicaba, observaram que, durante o período da queima da cana-de-açúcar, o total de material particulado suspenso de diâmetro menor que  $10 \text{ }\mu\text{m}$  foi muito superior ao encontrado fora da época da colheita,  $91 \text{ }\mu\text{g m}^{-3}$  para o primeiro caso e  $34 \text{ }\mu\text{g m}^{-3}$  para o segundo. Em Araraquara, Allen, Cardoso e Rocha (2004) encontraram concentrações de até  $240 \text{ }\mu\text{g m}^{-3}$  durante as queimadas. Esse valor está muito acima do padrão estabelecido pela Resolução do Conama n°. 03, de 28 de junho de 1990, e pelo Decreto Estadual n°. 8468, de 08 de setembro de 1976, que definem como limite para as partículas inaláveis o total de  $150 \text{ }\mu\text{g m}^{-3}$ .

Apesar de todos esses fatores adversos, as justificativas para a queima dos canaviais se resumem a duas questões: maior produtividade na colheita manual e redução do risco de acidentes trabalhistas com cortadores. Com a queimada, a produtividade média de corte da cana-de-açúcar é estimada em 7,4 t por homem a cada dia trabalhado. Sem a queimada, avalia-se que seja de 3,3 t. Além disso, em algumas áreas, há casos de trabalhadores rurais que se negaram a fazer a colheita devido à infestação da planta daninha *Mucuna pruriens*, que, em contato mínimo com pele humana, pode causar sérias inflamações, e aos riscos de ataques por animais de peçonha (PITELLI, 1987; IVO et al., 2008).

No caso da colheita mecanizada, também há diferença na produtividade relacionada à queima da cana-de-açúcar. Em áreas que praticam as queimadas, uma máquina costuma colher, em média, 715 t por dia, enquanto nos canaviais que não fazem uso dessa prática o corte médio é de 580 t. Contudo, devido à grande capacidade de corte das colheitadeiras mecânicas, essa diferença não causa maiores problemas ao sistema produtivo das fábricas, visto que há baixa ociosidade dos equipamentos industriais (LAMPOWSKI e VIEIRA, 2004).

Desse modo, os canaviais mecanizados podem evitar os problemas causados aos recursos hídricos pela prática das queimadas e aproveitar as vantagens, em termos de serviços

ambientais, oferecidas pela colheita da cana-de-açúcar crua. Segundo Alvarez e Castro (1999), os seguintes benefícios resultam do manejo sem as queimas: maior proteção do solo contra a erosão, devido à manutenção da matéria orgânica após a colheita; redução do uso de herbicidas, com menores perdas de nutriente e maior atividade microbiana no solo; menor demanda hídrica, devido à umidade retida pela palha no campo, reduzindo a necessidade de irrigação em locais com déficit hídrico.

Mas, se por um lado, o uso de colheitadeiras mecânicas dispensa o uso das queimadas como prática de manejo, também significa mais pressão direta sobre o solo, como resultado do tráfego constante de equipamentos pesados. Atualmente, nos canaviais paulistas, 100% do preparo do solo, dos tratamentos culturais e do transporte são mecanizados. Isso significa que já há um trânsito considerável em todas as propriedades<sup>36</sup>. Além disso, em razão da colheita mecanizada, têm-se ainda, pelo menos, mais duas máquinas pesadas no campo: a própria colheitadeira e o transbordo (HAMMAD e DAWELBEIT, 2001; IVO et al., 2008).

O fenômeno que vem sendo chamado de “doença do pneu” ou “doença da parte rodante” pelos usineiros paulistas, cuja consequência sentida pelos produtores é a diminuição do rendimento agrícola, pode, assim, ganhar maiores proporções. Devido à pressão exercida pelo tráfego de máquinas sobre o solo, há o adensamento granular, que altera os seus parâmetros físicos, como porosidade e densidade, reduzindo a taxa de infiltração. Assim, há uma diminuição na quantidade de água disponível para as plantas e para a recarga dos aquíferos, ao mesmo tempo em que se tem um aumento no escoamento superficial e na taxa de erosão dos solos cultivados com canaviais (BARBOSA, 2007).

Para se evitar a doença do pneu, há práticas de manejo que devem ser adotadas pelos produtores paulistas, entre elas o uso de pneus de alta flutuação e de esteiras (que ajudam a reduzir a pressão direta sobre o solo); a utilização de equipamentos com maior espaçamento; a limitação do tráfego de veículos e a proibição da passagem de caminhões das áreas de estrada para os canaviais. Além disso, o término da colheita deve ser estabelecido para um período anterior ao do início das chuvas intensas em São Paulo. Quanto maiores os teores de umidade no solo, maiores os danos causados aos recursos hídricos e às plantas (MICHELAZZO e BRAUNBECK, 2007; ANSELMINI, 2008).

---

<sup>36</sup> No preparo do solo e para os tratamentos culturais são utilizadas, entre outras, máquinas como grades, subsoladores, cultivadores e pulverizadores. Além disso, caminhões com alta tonelagem também são comuns.

### 4.3 O USO DA ÁGUA NA PARTE INDUSTRIAL DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA

A agroindústria canavieira era tradicionalmente uma atividade que demandava grande quantidade de recursos hídricos para a realização de seus processos industriais. Há apenas trinta anos, para a fabricação 100 kg de açúcar, eram necessários 23,5 m<sup>3</sup> de água, além do caldo contido em uma tonelada de cana-de-açúcar processada. Para refinar essa quantidade de açúcar, eram necessários mais 14,6 m<sup>3</sup> de água<sup>37</sup>. Para se produzir apenas 1 m<sup>3</sup> de álcool em uma destilaria anexa eram necessários outros 150 m<sup>3</sup>, sendo que, no caso de uma destilaria autônoma, o valor subia para 240 m<sup>3</sup> (ZARPELON, 1978; EBELING, 1983).

Considerando que, no ano de 1978, as setenta e sete usinas em operação no Estado de São Paulo fabricaram cerca de 4 bilhões de quilos de açúcar, tem-se que o consumo foi de 940 milhões de metros cúbicos de água, sem incluir a água presente no caldo processado. Sabendo-se que 30% desse total foram refinados, mais 175 milhões foram consumidos, chegando-se a mais de 1 bilhão de metros cúbicos de água apenas para a fabricação de açúcar. Com a produção de mais 10 milhões de metros cúbicos de álcool na safra, sendo que 57% deste valor correspondem ao produzido por 25 destilarias autônomas, 3 bilhões de metros cúbicos foram usados pela agroindústria canavieira no ano em questão (MARTIN, CANCEGLIERO E VEIGA FILHO, 1981).

Trata-se de um valor muito alto, que estava associado, sobretudo, ao uso de sistemas com circuito aberto pelas unidades de produção. Como não havia o reaproveitamento das águas residuais, era necessário o bombeamento de grande quantidade de recursos hídricos para as seções das indústrias. Não obstante, esse padrão estava começando a ser alterado. Após a assinatura do Protocolo de Intenções estabelecido pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e pela Cooperativa dos Produtores de Açúcar e Álcool, em 1976, alguns dos usineiros passaram a investir na reciclagem da água (HESPANHOL, 1979).

No entanto, esse processo de mudança somente se intensificou a partir da década de 1980, quando os recursos financeiros da segunda fase do Programa Nacional do Álcool<sup>38</sup> viabilizaram transformações no padrão de consumo pelas unidades de produção. Em 1988, as

<sup>37</sup> Valor médio considerado para refinarias que utilizavam sistemas fechados, com recirculação total.

<sup>38</sup> A segunda fase do Programa Nacional do Álcool ocorreu entre os anos de 1979 e 1985. No período, cerca de US\$ 10 milhões em financiamentos foram concedidos às unidades produtivas, com base em 120 projetos de desenvolvimento industrial, orientados pelo Ministério da Indústria e Comércio. Desse total, quase 7,5% estavam relacionados a melhorias nos sistemas de reuso e tratamento de água (BRASIL, 1984).

usinas e destilarias paulistas passaram a reciclar 60% do volume de água necessário aos seus processos industriais. Com isso, para a produção de 115 kg de açúcar, além do caldo disponível em uma tonelada cana-de-açúcar, passaram a ser necessários 9,4 m<sup>3</sup> de água. Para a fabricação de 1 m<sup>3</sup> de álcool, as destilarias anexas começaram a utilizar cerca de 60 m<sup>3</sup> e as autônomas 90 m<sup>3</sup> (RIBEIRO e BOSSOI, 2007; PEREIRA, 2008).

Nesse sentido, houve grande redução no consumo pelo setor devido ao reuso de água e ao aumento de produtividade industrial. Mesmo assim, segundo dados do Plano Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo, em 1990, a utilização da água por usinas e destilarias representou 41% do volume captado por todas as indústrias em funcionamento no Estado<sup>39</sup>. O detalhe é que as 53 unidades sucroalcooleiras em operação na época representavam apenas 4% do número de fábricas paulistas (SÃO PAULO, 1990).

Tabela 11 – Demanda industrial de água por atividade no Estado de São Paulo, 1990.

Atividade	Captação total (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Participação do total (%)
Agroindústria canavieira	47,08	41,70
Química e petroquímica	19,72	17,50
Celulose, papel e papelão	13,65	12,10
Mecânica e materiais elétricos	12,59	11,10
Alimentos em geral	6,77	4,40
Bebidas em geral	5,11	0,68
Têxtil	5,00	6,00
Curtume e abatedouros	0,76	4,50
Outros	2,07	1,80
<b>Total</b>	<b>112,75</b>	<b>100</b>

Fonte: Baseado em São Paulo (1990).

<sup>39</sup> Em 1990, o consumo de água pela agroindústria canavieira no Estado de São Paulo foi de 47 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, enquanto a demanda calculada para a soma das atividades industriais foi de 112 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

Assim, era importante que a tendência de decréscimo no consumo industrial de água pela atividade canavieira fosse mantida durante a década de 1990, como de fato veio a ocorrer. No entanto, entre 1988 e 1998, a variação no volume de água reaproveitado pelas usinas e destilaria foi de apenas 6%. Há dois motivos para isso: 1) o setor atravessava uma fase de turbulência, devido à baixa perspectiva de mercado para o álcool combustível; 2) as tecnologias para redução do consumo foram ficando cada vez mais caras e passaram a exigir mais mudanças nas plantas industriais (PEREIRA et al. 2004; SOUSA, 2005).

Não obstante, devido à elevação dos preços no mercado internacional do açúcar e do crescimento do consumo interno de álcool carburante durante a década de 2000, os custos relacionados à transformação industrial para o reaproveitamento da água na agroindústria canavieira foram compensados pelo potencial de retorno nos investimentos feitos. Assim, as usinas e destilarias voltaram a modernizar seus sistemas. Em 2005, o reaproveitamento dos recursos hídricos nos processos industriais do setor alcançou 87,8% (AMARAL et al., 2008).

Com isso, a demanda por água nas usinas com destilarias anexas, que representavam 68% das unidades agroindustriais de produção sucroalcooleira em São Paulo, caiu para  $1,8 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  de cana-de-açúcar. Nas destilarias autônomas, que eram 25% das unidades estaduais, passou a ser de  $1,5 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ . Nas usinas apenas de açúcar, 6% da produção estadual,  $2 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ . Como na safra de 2005 foram moídas 230 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, estima-se que o consumo anual do setor no Estado, excluído o açúcar refinado<sup>40</sup> e o volume presente no caldo da planta, tenha sido de 396 milhões de metros cúbicos (ELIA NETO, 2005; VIEIRA, 2007; ÚNICA, 2008).

Apesar da redução no consumo, a agroindústria canavieira continuou demandando a maior parte do volume de água captado pelas indústrias em São Paulo. De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de 2004/2007, o agregado das fábricas consumiu  $116 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto nas usinas e destilarias o uso foi de  $31,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 27% do total. O motivo pelo qual o setor não melhorou sua posição em relação às demais atividades industriais está no fato de que elas também otimizaram seus sistemas (SÃO PAULO, 2006).

Como era de esperar, persiste a pressão para que a agroindústria canavieira melhore ainda mais o seu sistema de aproveitamento de água. Nesse sentido, as Secretarias do Meio Ambiente e Agricultura e Abastecimento, bem como a União da Agroindústria Canavieira de

---

<sup>40</sup> Atualmente, algumas usinas vêm produzindo açúcar no padrão refinado diretamente a partir do caldo da cana-de-açúcar, reduzindo o uso adicional de água pelas refinarias. Contudo, há escassez de dados sobre o assunto.

São Paulo (Unica), assinaram um Protocolo de Cooperação que visa, entre outros objetivos, estimular financeiramente a implantação de sistemas mais eficientes em usinas e destilarias. Datada de 04 de junho de 2007, a edição desse documento já começou a dar resultados.

Numa avaliação de pareceres técnicos do Conselho Estadual do Meio Ambiente, entre 2007 e 2008, para o licenciamento ambiental das empresas que querem ampliar ou construir usinas e destilarias, percebe-se uma tendência de redução no consumo para menos de  $1 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  de cana-de-açúcar. Nesse sentido, apontam os seguintes pareceres: 439/2007, 442/2007, 161/2008, 161/2008, 119/2008 e 492/2008.

Essa tendência está de acordo com a mais recente legislação editada no Estado para tratar do licenciamento ambiental no setor sucroalcooleiro, as resoluções SMA-67, de 18 de novembro de 2008; SMA-SAA-4, também de 18 de novembro de 2008; SMA-88, de 12 de dezembro de 2008. Essas normas definem que o consumo máximo de usinas e destilarias nas zonas qualificadas como plenamente adequadas segundo o Zoneamento Agroambiental de São Paulo é de  $1 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ . Para as áreas com restrição ambiental, o limite é de  $0,7 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , o que é bastante oportuno, tendo em vista as diferenças de disponibilidade de água nas zonas de expansão da agroindústria canavieira em São Paulo.

Mas, embora essas normas pareçam restritivas, são ainda muito flexíveis diante das possibilidades tecnológicas de redução de consumo no setor. Na teoria, seria possível implantar uma usina ou uma destilaria em um deserto, já que não há necessidade de captação de recursos hídricos para que os processos industriais sejam executados. Na própria cana-de-açúcar, tem-se toda água necessária. Como 70% da planta é basicamente caldo, para cada tonelada processada estão disponíveis, pelo menos,  $0,7 \text{ m}^3$  de água. Com o reaproveitamento das águas residuais e a otimização de alguns processos, pode-se ter um excedente hídrico nas unidades produtivas.

Nesse sentido, uma empresa paulista desenvolveu dois modelos de plantas industriais que são completamente auto-suficientes em água. Um deles, inclusive, além de não precisar captar recursos hídricos, aproveitando o volume disponível no caldo, é capaz de produzir um excedente de até  $0,3 \text{ m}^3$ . Ou seja, de consumidora a agroindústria canavieira pode passar a

fornecedora, sob o aspecto industrial. Tudo depende da adoção de tecnologias que já estão disponíveis no mercado e que não são efetivamente complexas<sup>41</sup> (DEDINI, 2009).

Atualmente, as principais unidades de produção paulistas, as usinas com destilarias anexas, que representam 65% das fábricas do setor, necessitam captar uma média de 1,83 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar processada. Isso ocorre devido a grandes perdas na forma de vapor de água nos equipamentos para o tratamento do caldo e em efluentes líquidos gerados em processos que não necessariamente precisam de água, como é o caso da lavagem da cana-de-açúcar. Além disso, subprodutos também costumam carregar grandes volumes na forma de águas residuais (MAPA, 2009).

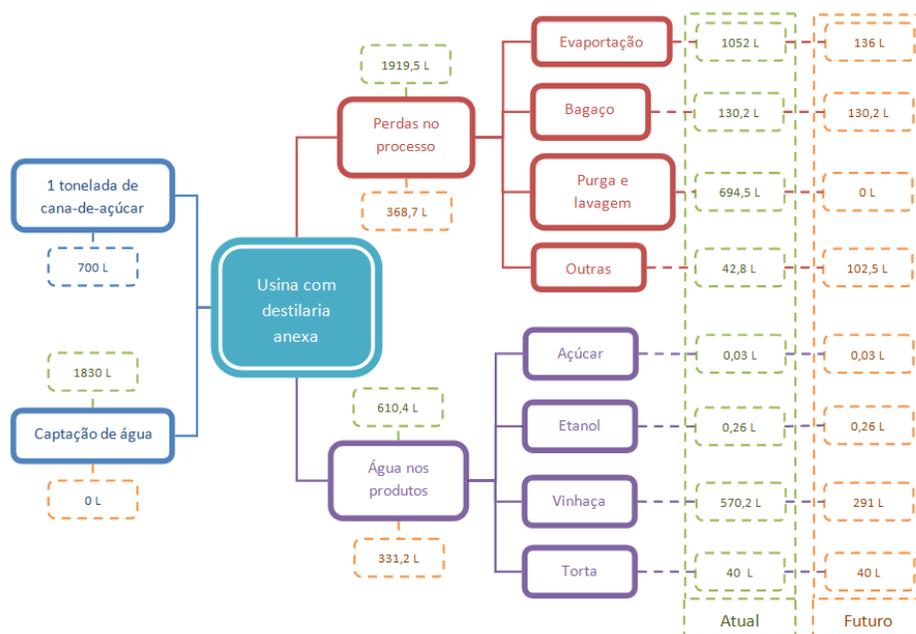


Figura: Consumo atual e futuro de água em usinas com destilarias anexas.

Fonte: Baseado em Carmo (2008) e Dedini (2009).

A mudança no modelo atual depende da adoção de tecnologias como sistemas para a recuperação do vapor formado nos processos de tratamento do caldo, que podem reduzir as perdas por evaporação nas usinas com destilarias anexas em até 86,7%. No processo de limpeza da cana-de-açúcar, a lavagem a seco, que já vem sendo utilizada por, pelos menos, 5% das unidades paulistas, consegue reduzir a zero o consumo de água. Além disso, outra forma de se aumentar o aproveitamento dos recursos hídricos é concentrando a vinhaça e a torta de filtro (SAHA, BALAKRSHNAN e BATRA, 2005; LEITE, 2008).

<sup>41</sup> Segundo informações da própria empresa, a Dedini projeta cerca de 80% das plantas industriais do setor.

Essas práticas relacionadas à lavagem da cana-de-açúcar, à vinhaça e à torta de filtro ampliam o reuso ou eliminam a produção de águas residuais. Dessa maneira, a adoção de novas tecnologias desenvolvidas pelo setor não somente deve diminuir o consumo de água por captação como também pode reduzir o impacto causado por efluentes da agroindústria canavieira, que possuem alto potencial poluidor.

#### 4.3.1 Águas residuais na agroindústria canavieira

As águas residuais na agroindústria canavieira são aquelas descartadas após serem utilizadas nos processos industriais e nas atividades domésticas. Quando são lançadas diretamente nos rios e lagos, devido as suas características físicas, químicas e biológicas, podem contaminar os recursos hídricos. Portanto, necessitam de tratamento ou de reuso em outras atividades para que não tornem inutilizáveis os corpos receptores.

Sobre as características físicas das águas residuais, pode-se dizer que fatores como a temperatura, a turbidez, o teor de sólidos em suspensão e flutuantes, o odor, a coloração e o material orgânico retido são alguns dos elementos que costumam apresentar problemas em relação aos descartes de usinas, destilarias e refinadoras. Todos podem causar a morte de peixes, problemas estéticos e a contaminação das águas. Para se determinar os riscos de eventos como esses, existem parâmetros de controle de lançamentos, como o total de sólidos em suspensão (TSS), o de sólidos dissolvidos totais (SDT) etc.

Com relação às características químicas, devem-se considerar os seus componentes orgânicos e inorgânicos, como os metais, os óleos, os surfactantes e os fenóis que causam a poluição por excesso de material oxidável na água. O parâmetro mais usado para medir a concentração desse material é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), que determina a quantidade do elemento usado por microorganismos para oxidação bioquímica da matéria presente no meio aquático. Existe ainda a demanda química de oxigênio (DQO) que avalia a quantidade equivalente para a oxidação da matéria orgânica. Essas ferramentas auxiliam no controle de acidentes como a morte de peixes (BARROS, 2005).

Para se tratar das características biológicas das águas residuais na agroindústria canavieira é preciso primeiro considerar que o esgoto doméstico é parte dos poluentes gerados

pelos processos das fábricas. Os microorganismos presentes nos coliformes fecais e nos agentes patogênicos dos sanitários de usinas, destilarias e refinarias também devem ser percebidos como problemas. Para se medir a qualidade dos corpos que recebem esses agentes, é feita a contagem dos microorganismos presente na água.

O Quadro 4 apresenta uma análise dos danos ambientais causados pelas características das águas residuais da agroindústria canvieira nos recursos hídricos, correlacionando as fontes de poluição presente nos efluentes ou esgotos das unidades do setor sucroalcooleiro e os parâmetros das formas mais comuns de contaminações. Como pode ser observado, há muitas conseqüências relacionadas ao lançamento desses rejeitos sem o devido tratamento.

Fontes de poluição e contaminação	Parâmetros de caracterização	Tipos de esgotos ou efluentes	Danos e conseqüências
Sólidos em suspensão	Total de sólidos em suspensão (TSS)	Domésticos e Industriais	Absorção de poluentes Proteção de patógenos Problemas estéticos Depósito de lodo
Sólidos flutuantes	Óleos e graxas	Domésticos e Industriais	Problemas estéticos
Matéria orgânica	Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	Domésticos e Industriais	Consumo de oxigênio Mortalidade de peixes Condições sépticas
Patogênicos	Coliformes	Domésticos	Doenças de veiculação hídrica

Quadro 4: Diferentes tipos de poluição e contaminação.

Fonte: Leme (2008).

No caso da agroindústria canvieira, a necessidade de tratamento das águas residuais é muito variável, mas basicamente é determinada por duas motivações: 1) a remoção dos resíduos que se agregam à água no processo de fabricação de açúcar e álcool; 2) a desinfecção do esgoto da parte doméstica da atividade. A maneira como as unidades agroindustriais executam essas tarefas são apenas relativamente importantes, posto que a

eficiência dos métodos atualmente empregados pelo setor variam entre 70 e 90%<sup>42</sup> (SALLES, 2003; ELIA NETO, 2005; LEITE, 2008).

Muito mais relevante para a questão do uso dos recursos hídricos são as formas de se reaproveitar as águas residuais nos circuitos de produção do setor e de se reduzir o seu consumo em atividades com tecnologias que permitam mudanças. Nesse sentido, valem os exemplos da água de lavagem da cana-de-açúcar e das sobras dos processos de condensação e de resfriamento do caldo. Essas águas residuais possuem alto potencial poluidor, mas não precisam ser descartadas, pois podem ser completamente reaproveitadas em sistemas de produção com circulação fechada (ALBUQUERQUE, 2005).

A lavagem da cana-de-açúcar consiste na eliminação das impurezas minerais que se agregam à planta durante o seu processo de desenvolvimento no campo por meio de jatos de água. A carga poluidora das águas residuais provenientes dessa atividade se origina do arraste do açúcar contido nas exsudações que ocorrem nos cortes e nos danos causados aos colmos. Ademais, a presença de palha, fragmentos e terra potencializam seus efeitos poluentes (PIACENTE, 2005).

Para realização dessa atividade, nas mesas sem inclinação da década de 1970, eram necessários de 5 m<sup>3</sup> a 10 m<sup>3</sup> de água. Com o advento das mesas de alimentação com 45° de inclinação, na década de 1980, o consumo caiu para a faixa de 3 a 5 m<sup>3</sup>. Recentemente, há menos de uma década, foi desenvolvido um dispositivo para a lavagem a seco. Com isso, a água deixou de ser um requisito e, nas usinas e destilarias que adotaram a nova tecnologia, o efluente também deixou de existir (BRASIL, 1984; BICHAR e FILHO, 1991).

Não obstante, em outras etapas do processo industrial, o uso da água não pode ser simplesmente substituído. É o que acontece com os condensadores e com a parte de resfriamento do fermentador. Nessas atividades, as águas residuais continuam sendo um elemento inevitável. Mas assim como acontece com as destilarias e usinas que não usam a lavagem a seco, os efluentes gerados podem ser reaproveitados nos sistemas com o circuito fechado, desde que antes sejam realizados os tratamentos necessários, conforme detalhado no Quadro 5.

---

<sup>42</sup> Eficiência dos métodos mais comuns de tratamento de águas residuais na agroindústria canavieira: lagoas não-aeradas, 80-90%, disposição no solo, 80-90%, lagoas aeradas, 70-90%, lodo ativado, 85-90% (Leme, 2008).

Águas residuais	m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup> de cana	Potencial poluidor	Tratamento	Notas
Água da lavagem da cana	3-5	Matéria orgânica (180-500 mg L <sup>-1</sup> DBO) e alta concentração de TSS	-Lagoas e redução do pH (circuito fechado)  - Lagoas de estabilização (circuito aberto)	Pode ser substituído pela lavagem a seco da cana
Água do condensador barométrico	6	Matéria orgânica (10-40 mg L <sup>-1</sup> DBO <sub>5</sub> ) e temperaturas acima de 50 °C	- Lagoas de resfriamento (circuito aberto ou fechado)	Próximo ao completo aproveitamento
Água de resfriamento do fermentador	3	Temperaturas acima de 50 °C	- Lagoas e torres de resfriamento  - Recirculação e liberação	Próximo ao completo aproveitamento
Água do condensador de destilação	4	Temperaturas acima de 50 °C	- Lagoas de resfriamento (circuitos abertos ou fechados)	Próximo ao completo aproveitamento
* Estas informações excluem possíveis desgastes das usinas que podem resultar de grandes contaminações com DBO superior a 18 mgL <sup>-1</sup> .				

Quadro 5 – Águas residuárias de uma usina com destilaria anexa antes da reciclagem.

Fonte: Baseado em Neto (1996) e Smeets et al. (2006).

Além da redução do descarte por meio do reuso dos efluentes gerados nos processos industriais em circuitos fechados, há como se promover também a redução das águas residuais nas atividades domésticas das unidades. Segundo observa Anselmi (2007), há usinas e destilarias paulistas que chegam a captar de 15 e 20 m<sup>3</sup> de água para fazer a lavagem de caminhões. Isso ocorre, segundo Piacente (2005), devido ao baixo índice de empresas que realizam campanhas internas para o uso racional da água. Esse autor, em pesquisa com os usineiros que atuam na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, constatou que apenas 17% dessas usinas investem realmente na conscientização dos funcionários.

Desse modo, conforme indicam as pesquisas de Salles (1993), a produção média de esgoto nas unidades do setor varia entre 0,075 a 0,102 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> por trabalhador. Considerando que uma usina com destilaria anexa de porte médio emprega cerca de 3 mil funcionários e opera durante 365 dias, a estação de esgoto dessa unidade é obrigada a tratar de 82 a 111 mil metros cúbicos. Tomada a média, a produção de uma única usina com destilaria anexa equivale

ao de uma cidade com 2.033 habitantes, segundo o padrão residencial médio estimado pela norma 7.229 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993).

Com essa quantidade de esgoto sendo tratado, seria possível, em uma mini-estação de tratamento, produzir 401,5 m<sup>3</sup> de lodo estabilizado e seco por ano. Assim, seria ainda maior o reaproveitamento de águas residuais na agroindústria canavieira. Já existem algumas unidades em fase de teste utilizando o biossólido em seus canaviais. Segundo Có Júnior, Marques, Tasso Júnior (2008), os resultados vêm provando a capacidade do resíduo em substituir os fertilizantes minerais. No entanto, como observam Velasco Molina (2004) e Chiba (2005), existe o perigo de contaminação da água por metais pesados nos locais onde a norma P. 4.230 da Cetesb, que regulamenta o uso agrícola do componente no Estado, não está sendo cumprida.

Esse é um risco similar ao que ocorre na aplicação da vinhaça *in natura* no solo. Mas esse é um elemento que, há anos, vem sendo utilizado nas usinas e destilarias como substituto dos fertilizantes minerais. Com efeito, essa é uma prática reconhecida não apenas como um primeiro exemplo histórico para o reuso da água, como também um caso de reciclagem de nutrientes na agroindústria canavieira (TASSO JÚNIOR et al. 2007).

#### 4.3.2 O reaproveitamento da vinhaça e o uso da água

A vinhaça é um subproduto da agroindústria canavieira, de elevado potencial poluidor, que é produzido em grande escala pelas destilarias. Em média, para a destilação de cada unidade em metros cúbicos de álcool, são fabricados 13 m<sup>3</sup> desse material. Trata-se, pois, de um volume elevado, que ao longo dos anos tem criado sérios problemas para o setor no seu descarte, devido a suas características ambientalmente negativas: a elevada temperatura de saída das máquinas, o baixo pH, o forte odor, o alto teor de potássio e, sobretudo, a elevada concentração de matéria orgânica (LUDOVICE, 1997; MELISSA, NORI e BORGES, 2007).

Devido a esse último atributo, a demanda bioquímica de oxigênio da vinhaça varia de 20.000 mg L<sup>-1</sup> a 30.000 mg L<sup>-1</sup>. Em termos de equivalência com o esgoto doméstico urbano, considerado de 54.000 mg por habitante por dia, tem-se que o potencial de poluição de uma destilaria de porte médio, que processa diariamente 120.000 litros de álcool, é similar ao de uma cidade com mais de 720 mil habitantes (SILVA, GRIEBELER, BORGES, 2007).

Por esse motivo, segundo a Lei Estadual n°. 6.134, de 02 de junho de 1998, é proibido o lançamento do produto diretamente em corpos de água. No entanto, não foi especificado na legislação como deve ser feito o tratamento da vinhaça. Assim, muitas formas diferentes foram adotadas pelas destilarias no Estado, sendo que as mais comuns são: a fermentação ou digestão aeróbica e anaeróbica; a concentração do resíduo em 60% dos sólidos totais; a disposição *in natura* no solo (CORAZZA e SALLES-FILHO, 2000).

Na fermentação aeróbica da vinhaça, o produto é utilizado como substrato microbiano para a produção da proteína unicelular (PUC) empregada na formulação de rações animais. A idéia é interessante porque importa em redução no tempo convencionalmente esperado para a produção da proteína nos ciclos agrícolas com animais. No entanto, possui uma série de problemas relacionados aos custos operacionais de seus processos e à manutenção das condições sépticas locais (PINTO, 1999).

No processo de digestão aeróbica da vinhaça, a matéria orgânica presente no produto é sintetizada e transformada em metano, que é queimado para a produção de energia. Esta é uma tecnologia muito utilizada em outros países, como a Índia e a China, mas que ainda está começando a ser adotada com maior intensidade no Brasil (SAHU e CHOUDHURY, 2005; INMAN-BAMBER e SITH, 2005).

Há muitas vantagens na digestão aeróbica da vinhaça. Além da rentabilidade ligada à geração de energia para a rede elétrica, o material que sobra do processo pode ser lançado ao solo como fertilizante natural. Como indica Longo (1995), esse material promove a melhoria nos atributos dos solos de maneira menos acentuada do que a vinhaça *in natura*, mas possui a vantagem de poder ser carregado a distâncias maiores com menores custos.

Assim também acontece com a concentração da vinhaça, que, no entanto, mantém as características organominerais do produto *in natura*. Concentrado, o efluente representa um menor volume a ser transportado e possui maior estabilidade quando aplicado em campo. Ademais, pode ainda ser utilizado como ração animal e sofrer a incineração para se obter cinzas potássicas e vapor para as caldeiras (PINTO, 1999).

A concentração da vinhaça parece uma das opções mais interessantes sob o ponto de vista do aproveitamento das águas residuais. Por meio dessa modalidade de tratamento é possível recuperar 80% da água no efluente, que pode ser reutilizada para as atividades

industriais das usinas e destilarias, bem como para a irrigação e até mesmo para o consumo humano, visto que o recurso recuperado possui pH de 7,2 (CARMO, 2008).

No entanto, dentre todas as soluções, a mais utilizada atualmente no Estado de São Paulo é a disposição da vinhaça *in natura* no solo. Utilizada há quase meio século, essa prática oferece grandes benefícios, mas também muitos riscos. Ao mesmo tempo em que pode representar uma forma de reaproveitamento das águas residuais e dos nutrientes extraídos do solo com a planta, também pode ser uma fonte não pontual de contaminação dos recursos hídricos.

Para analisar os benefícios da aplicação da vinhaça *in natura*, Longo (1995) estudou uma área que tem praticado esta modalidade de manejo há mais de dez anos. Com isso, a autora pode observar que o produto é capaz de promover a melhoria dos atributos físicos e bioquímicos dos solos. Canellas et al. (2003) examinando uma propriedade que, por 35 anos, também recorreu à mesma prática, comprovaram que há aumento nos teores de nutrientes e porosidade do solo, bem como melhoria de sua fertilidade natural.

Por outro lado, Hassuda (1989), que também encontrou vantagens para o solo no uso da vinhaça, observou que as águas subterrâneas nos locais de sua pesquisa, em Campinas, sofreram alterações físico-químicas após aplicação do produto em taxas muito elevadas, cerca de  $12.000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , por nove anos consecutivos. É importante considerar que essa referência não deve ser generalizada para o caso de doses usuais de aplicação, que estão entre 60 a  $500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

Mesmo assim, para não comprometer a qualidade das águas subterrâneas no Estado, a Cetesb editou a Regulação Técnica P 4.231, de 2005, que determina, entre outras coisas, que é proibido o uso da vinhaça em áreas de risco e seu depósito nas áreas de sacrifício; que rodas de monitoramento devem ser instaladas nas áreas tratadas com o produto para verificação dos níveis de pH, nitrato, alumínio, amônia, potássio etc.; que um responsável legal deve ser contratado pelas unidades de produção para monitorar esses valores, devendo encaminhar à Cetesb os resultados dos exames realizados por um laboratório acreditado.

Essa norma impõe uma série de limitações importantes. Uma delas é a total proibição do acúmulo de vinhaça em áreas sem cobertura, as chamadas áreas de sacrifício ou lagoas de acumulação. Como informa Rezende (1984), essas eram fontes constantes de poluição dos

corpos de água próximos aos canaviais, devido à infiltração do poluente pela camada não saturada do terreno até os corpos dos aquíferos.

Outras importantes determinações impostas pela Cetesb incluem a proibição do uso da vinhaça nas áreas de risco de contaminação de afloramentos de água e a definição de limites para a concentração de certas substâncias no terreno. No entanto, conforme assinala Piacente (2005), entre os critérios estabelecidos, está a concentração máxima de  $185 \text{ kg ha}^{-1}$  para o nível de potássio. Mas, parece complexa a adequação das unidades agroindustriais, visto que a maioria das usinas e destilarias do Estado possui em seus solos concentração elevada do nutriente, devido às altas quantidades aplicadas antes do surgimento da norma.

No mesmo ano da Regulação Técnica P 4.231, também foi editada a Portaria CTSA-01, que trata da impermeabilização dos tanques de armazenamento e de canais-mestres ou primários para a distribuição da vinhaça aplicada ao solo. Essa norma também representou um importante avanço na prevenção dos riscos associados à contaminação dos corpos de água pelo produto, muito embora algumas das unidades não estejam ainda seguindo suas disposições (SOUZA, 2008).

Os riscos relacionados ao não cumprimento dessa normativa foram apontados pelo trabalho de Ludovice (1997), que monitorou um canal não revestido para condução de vinhaça aos canaviais em uma destilaria no município de São João da Boa Vista. Usando como parâmetro de avaliação o pH, a condutividade elétrica, a DBO e a DQO, verifico-se que, ao longo dos anos, a taxa de remoção<sup>43</sup> do solo não foi suficiente, o que indica que houve a contaminação do lençol freático pelo efluente.

Desse modo, embora a legislação aplicada ao caso da vinhaça esteja ambientalmente dentro daquilo que se pode esperar da regulamentação governamental, falta capacidade de fiscalização por parte dos agentes do Estado. Segundo Rodrigues (2004), a Cetesb, assim como a Polícia Ambiental, não dispõem do contingente necessário para a realização de fiscalizações periódicas dos estabelecimentos agrícolas.

Por isso, segundo informações do Perfil Nacional de Gestão de Substâncias Químicas, (BRASIL, 2003), entre os anos de 1997 e 2002, cerca de 200 acidentes ambientais industriais foram detectados em São Paulo. Desse total, 12 estavam relacionados ao vazamento de vinhaça. Mais recentemente, a Cetesb citou como exemplos nos Relatórios de Qualidade das

---

<sup>43</sup> Taxa de remoção é a capacidade do solo em reter as substâncias presentes na vinhaça.

Águas Interiores no Estado de São Paulo dos anos de 2007 e 2008 quarto casos de atendimentos realizados por suas Agências Ambientais de mortandade de peixes causada por acidentes relacionados à vinhaça no Estado (SÃO PAULO, 2007d e 2008a).

## **CONCLUSÃO**

A expansão da agroindústria canavieira apresenta muitas vantagens socioeconômicas para São Paulo. No entanto, como demonstrado neste capítulo, também oferece riscos sob o ponto de vista socioambiental, sobretudo em relação ao consumo de água. Resta saber se as autoridades estaduais e municipais irão se guiar pelo princípio da precaução ou se valerão apenas da mentalidade produtivista, como há anos tem ocorrido em alguns locais aonde a cana-de-açúcar vem apresentando problemas dentro do Estado.

Capparol (2005), em estudo de campo no município de Charqueada, onde houve uma expansão superior a 20% na área dos canaviais nos últimos dez anos, perguntou aos moradores se consideravam positiva ou negativa a influência da agroindústria canavieira. Dos entrevistados, 42% responderam que era positiva sob o ponto de vista econômico, mas negativa sob a perspectiva ambiental. No entanto, somente 29% atestaram priorizar os prejuízos ecológicos em detrimento das vantagens econômicas.

Para evitar essa relação entre a expansão da agroindústria canavieira e a degradação das condições ambientais em São Paulo, foi editado, em 18 de setembro de 2008, o Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro. O documento deu origem a um mapa, que classifica porções do território estadual a partir de parâmetros como aptidão edafoclimática, restrições de declividade do terreno; disponibilidade de águas superficiais e vulnerabilidade das águas subterrâneas. A partir dessas classificações, foram definidos três tipos de áreas adequadas ao avanço da cana-de-açúcar: áreas plenamente adequadas, áreas com limitações e áreas com restrições ambientais. Além disso, foram estabelecidos os locais onde a cultura é totalmente inadequada em termos agrícolas e ecológicos.

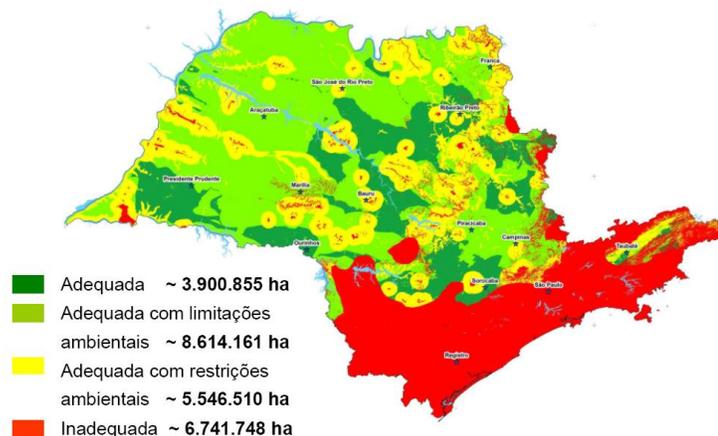


Figura: Zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo.

Fonte: São Paulo (2008h).

As áreas com limitações ambientais são aquelas que, apesar de apresentarem aptidão edafoclimática, estão localizadas em bacias hidrográficas consideradas críticas e possuem padrão de importância mediano para conectividade das espécies da vida selvagem. Representam mais de 8 milhões hectares e estão muito concentradas nas regiões Norte e Noroeste do Estado. Segundo a Resolução SMA-67, de 2008, nelas as usinas e destilarias ficam obrigadas a produzirem com o limite de 1 m<sup>3</sup> de água por tonelada de cana-de-açúcar processada.

As áreas com restrições ambientais são aquelas que também possuem características edafoclimáticas favoráveis, mas que estão localizadas em áreas com alta prioridade para o incremento da conectividade de espécies e que possuem vulnerabilidade de águas subterrâneas em percentual considerado elevado. Correspondem a mais de 5 milhões de hectares e estão muito concentradas nas áreas em que, atualmente, a agroindústria canavieira também está mais concentrada. Nessas áreas, a exigência da Resolução SMA-67 é que as unidades produzam com o limite de 0,7 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar processada.

Esses valores estão muito abaixo dos padrões atuais de consumo da agroindústria canavieira. No entanto, ainda estão acima das condições técnicas de mudança nas plantas industriais. Não há necessidade de captação de água para que as atividades das usinas e destilarias sejam executadas. No caldo da cana-de-açúcar, o campo exporta para a fábrica 0,7 m<sup>3</sup> de água por tonelada processada. Quando se considera somente o total processado em 2008, 296 milhões de toneladas, percebe-se que, no ano, foram consumidos na forma de caldo 207 milhões de metros cúbicos de água.

Esse volume representa, parcialmente, o volume do impacto causado pela cultura da cana-de-açúcar no balanço hídrico do território. No entanto, dentro da parte agrícola, ainda há que se considerar a quantidade de água interceptada pela área foliar das plantas e o total de lançamento de sedimentos nos corpos de água. Essa é uma relação complexa, que pode ser trabalhada melhor em uma escala proporcionalmente reduzida.

As questões avaliadas neste capítulo possuem grande potencial quando utilizadas em estudos realizados em bacias menores. Dentro das unidades de gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo, a avaliação das bacias dos rios Mogi-Guaçu, Piracicaba, Capivari, Jundiá e Pardo, tradicionais áreas de produção canavieira, podem trazer informações mais precisas sobre o impacto da agroindústria canavieira na disponibilidade hídrica estadual. Ao mesmo tempo, um estudo nas bacias do Turvo Grande, São José dos Dourados, Peixe e Baixo Tietê pode oferecer dados preciosos sobre o futuro da água nas áreas de fronteira.

## CONCLUSÃO

Historicamente, a agroindústria canavieira sempre dependeu do aproveitamento do potencial hídrico presente nas precipitações pluviométricas e nos corpos de água brasileiros para realizar os seus processos agrícolas e industriais. No entanto, no tempo dos engenhos, as limitações da tecnologia restringiram o impacto da atividade canavieira sobre os recursos hídricos ao processo de desenvolvimento de canais erosivos, ao desmatamento das bacias hidrográficas e à redução das reservas de água no solo.

Com a modernização do processo industrial, usinas e destilarias substituíram o padrão produtivo quase artesanal dos engenhos por processos mais complexos, que demandavam mais insumos e causavam maiores impactos no balanço hídrico dos territórios ocupados pela cana-de-açúcar. Além da necessidade de expansão nas áreas de plantio da cultura, as mudanças técnicas ocorridas nas fábricas provocaram também outros problemas ambientais que afetaram os corpos de água localizados em áreas próximas às unidades de produção. A vinhaça, principal efluente do processo de destilação do álcool, envenenou parte das águas do interior do País, e muitas das comunidades localizadas a jusante dos rios de destilarias passaram a ter problemas de acesso aos recursos hídricos.

Seguindo o modelo de produtividade definido pelos processos industriais, houve uma transformação também na parte agrícola da agroindústria canavieira. Usando insumos modernos, a capacidade de produção dos campos foi ampliada, assim como aconteceu com os riscos de contaminação dos corpos de água localizados próximos às zonas canavieiras. Devido ao uso de fertilizantes, herbicidas e outras tecnologias perigosas, quando utilizadas de maneira incorreta, os recursos hídricos passaram a estar sob a ameaça constante de produtores historicamente despreocupados com a preservação da água.

É bem verdade que a utilização de alguns insumos modernos pela agroindústria canavieira é proporcionalmente menor que a de outras atividades que dependem de processos agrícolas, como o café e a soja. A cana-de-açúcar consome 90% menos defensivos agrícolas do que essas culturas. Contudo, há diversos relatos de contaminação de corpos de água nas áreas de produção canavieira por herbicidas e inseticidas. Além disso, fertilizantes também foram encontrados em muitos estudos de campo e a chamada doença do pneu constitui uma realidade.

No entanto, esses aspectos ocorrem mais em função do modelo de industrialização da agricultura brasileira do que propriamente por constituírem elementos intrínsecos ou específicos da cana-de-açúcar. Trata-se de impactos ambientais que também podem ser identificados em outras monoculturas cultivadas em larga escala no País, como é caso do milho ou da soja. Ou seja, questões relativas ao uso da água não estão apenas relacionadas à parte agrícola da agroindústria canavieira.

A cana-de-açúcar é uma cultura que demanda, naturalmente, grande volume de água para atender as suas necessidades fisiológicas. Portanto, o cultivo da planta é capaz de provocar mudanças no balanço hídrico territorial. Além da água retirada dos solos por suas raízes, a planta interfere na recarga das bacias hidrográficas interceptando grande parte da precipitação incidente. Mais do que outras culturas comerciais e do que a vegetação nativa, a atividade canavieira interfere na quantidade de água que atinge o solo e se infiltra nos aquíferos, constituindo uma forma de consumo geralmente ignorada por estudos teóricos que avaliam a questão do uso da água na agroindústria canavieira.

Um trabalho interessante sobre o tema foi desenvolvido por Carneiro (2003). O autor estudou conflitos ocorridos da Baixada dos Goytacazes, no Rio de Janeiro, devido ao uso da água pela cana-de-açúcar. A região, que antes era um pântano, após ser drenada para o cultivo dos canaviais sofreu grandes mudanças em suas características climáticas. De um cenário de abundância de água, a paisagem passou a conviver com os efeitos da escassez. A planta, associada à práticas indevidas de manejo, causou a redução das fontes de recarga do potencial hídrico territorial.

Seja no Rio de Janeiro ou em qualquer outra área de produção de cana-de-açúcar, o impacto mais evidente gerado pela agroindústria canavieira não está associado à parte agrícola, mas sim, à parte industrial. Neste trabalho, o uso da água pelos processos industriais foi estudado com base na realidade das usinas e destilarias paulistas, que podem ser consideradas as mais modernas e com melhor índice de reaproveitamento da água no País. Isso ocorre em razão da legislação ambiental paulista ser especialmente rígida no controle das atividades do setor canavieiro, além de outros fatores locais que estimulam mudanças no uso da água, como a cobrança pelos recursos hídricos.

Mesmo assim, a agroindústria canavieira paulista ainda consome mais água do que o necessário, tecnicamente, para a produção de açúcar e álcool. Mudanças estão sendo implementadas em algumas usinas e destilarias para o cumprimento das mais recentes normas

editadas no Estado, mas a legislação se aplica basicamente às unidades que precisam de licenciamento ambiental para a ampliação ou a instalação de fábricas.

Desse modo, deverá levar algum tempo até que a agroindústria canavieira melhore a sua posição de maior usuária de recursos hídricos no agregado das atividades industriais do Estado de São Paulo. No entanto, o mais importante é que a iniciativa canavieira recupere sua imagem de poluidora dos corpos de água. Nos últimos dez anos, foram relatados diversos casos de contaminação de corpos de água por águas residuais provenientes de usinas e destilarias paulistas. O mais significativo deles ocorreu em outubro de 2003, quando o rompimento do reservatório de melaço da Usina da Pedra liberou 100 mil litros de melaço no rio Pardo, causando a morte de milhares de peixes e prejudicando a captação da água numa distância de mais de doze quilômetros (CASTAGNOLLI, 2008).

Ainda que isso possa ser considerado um acontecimento fortuito, existem outros registros de descumprimento das normas ambientais em São Paulo. De acordo com a Cetesb (2009), 102 autuações foram aplicadas ao setor sucroalcooleiro entre 2007 e 2008, tornando a agroindústria canavieira a líder do ranking de multas por crimes ambientais no Estado. A mais recente delas foi lavrada contra a Usina Louys Dreyfuss Commodities pelo lançamento de águas residuais não tratadas no ribeirão Anhumas, em Jaboticabal, em novembro de 2008.

Considerando esses fatores, pode-se afirmar que a relação da agroindústria canavieira com a água continua sendo descuidada. A água é usada em excesso nos processos das fábricas e contaminada pelas fontes pontuais de lançamento de efluentes e não pontuais dos insumos agrícolas modernos. Todavia, iniciativas responsáveis estão sendo adotadas por alguns produtores e pelas autoridades governamentais para minimizar a imagem da produção canavieira como grande consumidora de recursos hídricos.

Existem, por exemplo, acordos de cooperação entre a iniciativa privada e o poder público para a recuperação dos rios próximos às usinas e destilarias no País. Em Pernambuco, no ano de 2007, o Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool (Sindaçúcar) e a Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos se comprometeram a unir esforços para evitar acidentes com efluentes e para favorecer a recomposição das matas ciliares. Em São Paulo, a União da Indústria Cana-de-Açúcar (Única) e as Secretarias do Meio Ambiente e de Agricultura e Abastecimento assinaram um acordo que prevê a redução do uso da água e dos defensivos agrícolas, além do reflorestamento das áreas próximas aos rios.

Essas iniciativas, embora não resolvam completamente o problema do uso da água na agroindústria canavieira, representam ações importantes para se contornar um problema que atinge não somente o Brasil, mas também grandes produtores internacionais de derivados de cana-de-açúcar. No cenário internacional, a posição brasileira ainda consegue se apresentar mais positiva do que a de muitos países canavieiros.

Estudos realizados por autores como Ramjeawon (2000), Gumbo et al. (2003), Saha, Balakrishnan e Batra (2005) demonstram que em países como Maurício, o Zimbábue e a Índia, por exemplo, tecnologias básicas de tratamento das águas residuais provenientes das destilarias e usinas ainda não foram implantadas na maioria das unidades produtivas. Aliás, conforme o estudo de Sahu e Choudhury (2005), o principal problema da produção canavieira indiana, a segunda mais importante do mundo, é a poluição dos recursos hídricos.

No Brasil, a maneira como a água vem sendo usada pela agroindústria canavieira está melhorando, mas ainda não é sustentável. A prevalência do modelo produtivista, baseado no mito da natureza infinita, tem causado danos aos corpos de água que colocam em risco a manutenção dos ecossistemas e da própria atividade produtiva. Entretanto, com o fortalecimento das agências de regulação e controle dos recursos hídricos, bem como com o surgimento de novos agentes que podem influenciar a tomada de decisão das empresas que dirigem as usinas e destilarias, tais como organismos não governamentais, pode-se esperar uma melhoria na qualidade da relação entre a cana-de-açúcar e a água.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Instrução normativa n.º. 2 de 11 de outubro de 2006**. Brasília: Adasa, 2006.

ABAS. **Informativo da ABAS**. Disponível em: <<http://www.abas.org.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

ABNT. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ABQUIM. **Estatísticas da indústria química**. Disponível em: <<http://www.abquim.org.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

ALAN, A. G.; CARDOSO, A.A.; ROCHA, G.O. Influence of sugar cane burning on aerosol soluble ion composition in Southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, v.38, n.30, p. 5025-5038, 2004.

ALBUQUERQUE, Almir Gonçalves. **Avaliação exergética dos efluentes do processo industrial do álcool**. 2005. p.63. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.

ALENCAR, Edgar. **Complexos Agroindustriais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

ALMEIDA, Maria da Glória Santana de. **Nordeste açucareiro**: desafios num processo de vir-a-ser capitalista. Aracaju: Universidade Federal de Sergipe; Secretaria de Estado do Planejamento; Banco do Estado de Sergipe, 1993.

ALVAREZ, Ivan André; CASTRO, Paulo Roberto Camargo e. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, vol. 56, n. 4, 1999.

ALVES, José da Costa Alves. **Modernização da agricultura e sindicalismo**: as lutas dos trabalhadores assalariados rurais na região de Ribeirão Preto. 1991. p. 347. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

AMARAL, Weber Antônio Neves do et al. Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil. ZUURBIER, Peter; VOOREN, Jos van de (org.). **Sugarcane ethanol**: contributions to

climate change mitigation and the environment. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008.

ANDA. **Principais indicadores do setor**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

ANDRADE, Gilberto Osório. **Os rios-de-açúcar do Nordeste Oriental I: O rio Ceará-Mirim**. Recife: Imprensa Oficial, 1957a.

\_\_\_\_\_. **Os rios-de-açúcar do Nordeste Oriental II: O rio Mamanguape**. Recife: Imprensa Oficial, 1957b.

\_\_\_\_\_. **Os rios-de-açúcar do Nordeste Oriental III: O rio Paraíba do Norte**. Recife: Imprensa Oficial, 1959a.

\_\_\_\_\_. **Os rios-de-açúcar do Nordeste Oriental IV: Os rios Coruripe, Jiquiá e São Miguel**. Recife: Imprensa Oficial, 1959b.

ANDRADE, Manuel Correia de. **Estado, capital e industrialização no Nordeste**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1981.

\_\_\_\_\_. **História das usinas de açúcar de Pernambuco**. Recife: FJN. Ed. Massangana, 1989.

\_\_\_\_\_. **Modernização e pobreza: a expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico e social**. São Paulo: Unesp, 1994.

\_\_\_\_\_. **Nordeste, espaço e tempo**. Petrópolis: Ed.Vozes, 1970.

\_\_\_\_\_. **Usinas e destilarias das Alagoas: uma contribuição ao estudo da produção do espaço**. Maceió: EdUfal, 1997.

ANFAVEA. **Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira**. São Paulo: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2008.

ANSELMÍ, Renato. Tecnologia Agrícola. **JornalCana**, n°. 173, p.30-36, 2008.

ANTONIL, André João. **Cultura e opulência do Brasil por suas drogas e minas**. Salvador: Progresso, 1955.

ARAÚJO, Rita de Cássia Barbosa de. Carnaval do Recife: a alegria guerreira. **Estudos avançados**, vol. 11, n.2, p. 203-216, 1997.

ARAÚJO, Tatiana Brito de. **Os engenhos centrais e a produção açucareira no Recôncavo Baiano**. Salvador: FIEB, 2002.

ARCAVA, Francisc Carlo Soriano; CICCIO, Valdir de; ROCHA, Paulo Augusto Bueno. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, v. 27, n.2, p.257-262, 2003.

ARGENTON, Paulo Eduardo. **Influências das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Piracicaba, São Paulo**. 2006. p.109. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ARMAS, Eduardo Dutra de; MONTEIRO, Regina Teresa Rosim. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p.975-982, 2005.

AZEVEDO, Fernando de. **Canaviais e engenhos na vida política do Brasil: Ensaio sociológico sobre o elemento político na civilização do açúcar**. 2ª ed. São Paulo: Edições Melhoramentos, 1950.

AZEVEDO, Débora de A.; GERCHON, Elaine; REIS, Éderson. Monitoring of pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in water from Paraíba do Sul River, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.15, n.2, p.292-299, 2004.

BALBINOT, Rafaelo et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BALLESTER et al. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O<sub>2</sub>, free dissolved organic matter loading on the dissolved CO<sub>2</sub> and respiration rates in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. **Water Research**, v. 33, n. 9, p. 2119-2129, 1999.

BARBOSA, Constança S.; SILVA, Carlos B. Epidemiologia da esquistossomose mansônica no Engenho Bela Rosa, município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, vol. 8, no 1, Rio de Janeiro, jan./mar., p. 83-87, 1992.

BARBOSA, Luciana Mendes. Agroenergia, biodiversidade, segurança alimentar e direitos humanos. **Conjuntura Internacional**, v.4 ,n.33, p. 1-6, 2008.

BARBOSA, Valmir. **Ciclos biogeoquímicos como subsídio para a sustentabilidade do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar**. p. 117. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrária e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BARELA, Juliano Francisco. **Seletividade de herbicidas para cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2005. p. 82. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BARROS, Mário Thadeu Leme de. Gestão de recursos hídricos. In: JÚNIOR, Arlindo Philippi; ALVES, Alaôr Caffé. **Curso interdisciplinar de direito ambiental**. Barueri: Manole, 2005. p. 811-861.

BARUAH, A.K.; SHARMA, R.N.; BORAH, C.G. Impact of sugar mill and distillery effluents on water quality river Gelabil, Assam. **Indian Journal of Environmental Health**, vol. 35, n.4, p. 288-293, 1993.

BASSOI, Lineu José; GUAZELLI, Milo Ricardo. Controle ambiental da água. In: JÚNIOR, Arlindo Phillipi; ROMERO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet. **Curso de gestão ambiental**. Barueri: Manole, 2004. p. 53-99.

BATALHA, Rodrigo Miguel Pereira. **Expectativa de risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do rio Jundiá Mirim**. [s.n.]. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BEZERRA, Sandro Augusto; CANTALICE, José Ramon Barros. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.3, p.565-573, 2006.

BHOJVAID, P. **Towards a greener and secure energy future**. New Delhi: The Energy and Resources Institute, 2006.

BICHARA, José Mateus; FILHO, João Pizysieznic. Aspectos gerais do gerenciamento ambiental na agroindústria canavieira. **Saneamento Ambiental**, n. 11, v.2, p. 14-23, 1991.

BOAS, Márcio A. Villas; RODRIGUES, Vera Maria; SAMPAIO, Silvio César. Programa computacional para simulação em irrigação por sulcos. **Infocomp Journal of Computer Science**, Lavras, vol. 5, n.2, p. 66-72, 2006.

BRAGATO, Ivelise Rasesa. **Percepções de agentes sociais sobre as práticas de responsabilidade social corporativa em usinas de açúcar e álcool**. 2008. p. 143. Dissertação (Mestrado em Administração) – Faculdade de Gestão e Negócios – Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba.

\_\_\_\_\_ et al. Produção de açúcar e álcool vs responsabilidade social corporativa: As ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente às externalidades negativas. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 15, n. 1, p.89-100, 2008.

BRASIL. **Anuário estatístico do crédito rural**. Brasília: Bacen, 2008.

\_\_\_\_\_. **Balanço nacional de cana-de-açúcar e agroenergia**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.

\_\_\_\_\_. **Documentos para a história do açúcar**. vol.1. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1954.

\_\_\_\_\_. **Indústria de Alcool no Nordeste**. 2ª ed. Recife: Fundação Instituto de Tecnologia do Estado de Pernambuco e SUDENE, 1984.

\_\_\_\_\_. **Perfil nacional de gestão de substâncias químicas**. Brasília: MMA, 2003.

BRITO, Alexandro dos Santos. **Balanço de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. p. 82. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BRITO, Fábio et al. Qualidade de percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempos de incubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 318-323, 2007.

BRUNINI, Orivaldo. **O zoneamento de culturas bioenergéticas no Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

BORGES, Márcio José et al. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Florestalis**, n. 36, p. 93-103, 2005.

CALMON, Pedro. **A primeira Constituição do Brasil**: Regimento de Dom João a Tomé de Souza. Rio de Janeiro: Liceu Literário Português e Instituto de Estudos Portugueses, 1943.

CAMARGO, Ana Maria Montragio Pires et al. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias, Estado de São Paulo, 2001-2006. **Informações Econômicas**, v. 38, n.3, p. 48-66, 2008.

CAMARGO JÚNIOR, Alceu Salles; TONEDO JÚNIOR, Rudinei. Novas tecnologias mitigadoras no uso de água na produção de etanol. In: WORKSHOP OBSERVATÓRIO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. 1, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FEA, 2008. Disponível em <<http://www.observatoriodacana.org>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

CAMPOS, Celso et al. Novas tecnologias mitigadoras no uso de água na produção de etanol. In: WORKSHOP OBSERVATÓRIO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. 1, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FEA, 2008. Disponível em <<http://www.observatoriodacana.org>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

CAMPOS, Rodrigo Ferrarini de; CARDOSO, João Luiz. Pronaf: índices de financiamento e características da distribuição do crédito rural no Brasil de 1996 a 2001. **Informações Econômicas**, v.34, n.11, p. 7-21, 2004.

CAMPOS, Zóia Vilar. **Doce amargo**. Produtores de açúcar no processo de mudança: Pernambuco (1874-1941). São Paulo: Annablume Editora, 2001.

CANELLAS, A.C.X. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003.

CANO, Wilson. **Desequilíbrios regionais e concentração industrial no Brasil 1930 – 1970**. 3ª ed. São Paulo: Unesp, 2007.

CANHOS, Vanderlei Perez; SIQUEIRA, Marinez Ferreira de. Biodiversidade vegetal no Brasil: conhecimento, situação nos principais biomas e conservação. In: MACEDO, Isaias de Carvalho (org.). **A energia da cana-de-açúcar** – doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia; Unica, 2005, p. 76-90.

CAPPAROL, Daniela Cristina Aparecida. **Usos e abusos do território**: avaliação ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso – Charqueada/SP. 2005. p.149. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CARMO, Vadson Bastos. Novas tecnologias mitigadoras no uso de água na produção de etanol. In: WORKSHOP USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR. 6, 2008, Campinas. **Anais...** São Paulo: APTA, 2008. Disponível em <<http://www.apta.sp.gov.br>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

CARNEIRO, Paulo Roberto Ferreira. **Dos pântanos à escassez**: Uso da água e conflitos na Baixada dos Goytacazes. São Paulo: Annablume; Coppe/UFRJ, 2003.

CARVALHO, Francisco de Sales Vieira de. **Processo discriminatório de terras**: o caso do Pontal do Paranapanema (SP). 2004. p. 65. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CARVALHO, S.J.P. et al. Curvas de dose-resposta para avaliação do controle de fluxos de emergência de plantas daninhas pelo herbicida Imazapic. **Panta Daninha**, v. 23, n.3. Viçosa, p. 535-542, 2005.

CASCUDO, Luís Câmara. **Sociologia do açúcar**: pesquisa e dedução. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1971.

CASTAGNOLL, Marcelo Carrão. **Ictofauna nos trechos do médio e baixo rio Pardo, Alto Paraná**: inventário. 2008. p. 83. Dissertação (Mestrado em Aqüicultura) – Centro de Aqüicultura – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

CASTELLS, Manuel. **A questão agrária**. 3ª ed. São Paulo: Paz e Terra, 2006.

CETESB. **Notícias**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

CHABARIBERY, Denyse. **Inovação e desigualdade no desenvolvimento da agricultura paulista**. São Paulo: IEA, 1999.

CHEESMAN, Oliver D. **Environmental impacts of sugarcane production**: the cultivation and processing of sugarcane and beet. Wallingford: Cabi, 2004.

CHEN, James C.P. **Chen-Chou cane sugar handbook**: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12<sup>th</sup> Edition. New York: John Wiley & Son, 1993.

CHIBA, Marcio Koiti. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura**. 2005. p.142. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CHRISTOFIDIS, Demetrios. **Olhares sobre a Política de Recursos Hídricos no Brasil**: o caso da bacia do rio São Francisco. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

CMMAD. **Nosso futuro comum**. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CÓ JÚNIOR, Caramo; MARQUES, MARCOS O. TASSO JÚNIOR, Luiz C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n.1, p. 196-203, 2008.

COMISSÃO PASTORAL DA TERRA. **Conflitos no campo**: Brasil 2007. Goiânia: CPT, 2008.

CONAB. **Sistema de informações geográficas da agricultura brasileira**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

CORAZZA, Rosana I.; SALLES-FILHO, Sérgio L.M. Opções produtivas mais limpas: uma perspectiva evolucionista a partir de um estudo de trajetória tecnológica na agroindústria canavieira. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INFORMAÇÃO, 21, **Anais...** São Paulo: UNICAMP, 2008. Disponível em <<http://www.unicamp.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

CORBI, Juliano José et al. Diagnóstico ambiental de metais e organoclorados em córregos adjacentes a áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Estado de São Paulo, Brasil). **Química Nova**, v. 29, n.1, p.61-65, 2006.

CORBI, Juliano José; TRIVINHO-STRIXINO, Susana; SANTOS, Ademir dos. Environmental evaluation of metals in sediments and dragonflies due to sugar cane cultivation in neotropical streams. **Water, Air and Soil Pollution**, v.195, n.1-4, p.325-333, 2008.

CORRÊA, Angela Maria e FUGUEIREDO, Nelly Maria. Modernização da agricultura brasileira no início dos anos 2000: uma aplicação da análise fatorial. **Revista GEPEC**, vol. 10, n. 2, p.89-99, 2006.

DAEE. **Disponibilidade hídrica**. Disponível em: <<http://www.dae.sp.gov.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

DAVID, Maria Beatriz de Albuquerque. **Les transformations de l'agriculture brésilienne: une modernisation perçue**. Paris: École des Hautes Études en Sciences Sociales, Centre de Recherches sur le Brésil Contemporain, 1997.

DAVIS, John H. e GOLDBERG, Ray A. **Concept of agribusiness**. Boston: Harvard University, 1957.

DEDINI. **Plantas e equipamentos**. Disponível em: <<http://www.dedini.com.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

DELGADO, Guilherme Costa. **Capital financeiro e agricultura no Brasil: 1965-1985**. São Paulo: Ícone Editora, 1985.

\_\_\_\_\_. Capital e Política Agrária no Brasil: 1930-1980. In: SZMRECSÁNYI, Tamás e SUZIGAN, Wilson (organizadores). **História Econômica do Brasil Contemporâneo**. 2 ed. São Paulo: Hucitec; Associação Brasileira de Pesquisadores em História Econômica; Editora da Universidade de São Paulo; Imprensa Oficial, 2002.

DIÁLOGOS das grandezas do Brasil. São Paulo: Melhoramentos; Brasília: INL, 1977.

DIAS, Marcelo Henrique. Estrutura fundiária das freguesias de Cairu e Boipeba na Comarca de Ilhéus (BA), 1786-1800. In: GUIMARÃES, Elione Silva & MOTTA, Márcia Maria Menendes (org.). **Campos em disputa: história agrária e companhia**. São Paulo: Annablume; Núcleo de Referência Agrária, 2007, p.87-111.

EBELING, Carlos. Circuitos de águas em destilarias autônomas. **Álcool e Açúcar**, v. 3, n. 12, p. 18-28, 1983.

ELIA NETO, André. Aspectos da legislação ambiental para o setor da cana-de-açúcar. In: MACEDO, Isaias de Carvalho (org.). **A energia da cana-de-açúcar** – doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia; Unica, 2005, p. 76-90.

EISENBERG, Peter Louis. **Modernização sem mudanças**: a indústria açucareira em Pernambuco: 1840/1910. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 1977.

\_\_\_\_\_. **The sugar industry of Pernambuco, 1850-1889**. 1969. Tese (Doutorado em Ciência Política) – Faculty of Political Science – Columbia University, Columbia.

\_\_\_\_\_. **Modernização sem mudança**: a indústria açucareira em Pernambuco: 1840/1910. Rio de Janeiro: Editora Paz e Guerra, 1977.

ELLIS, Myrian et al. **O Brasil monárquico, v.6**: declínio e queda do império. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://www.fao.org/>>. Acesso em 25 de novembro de 2008.

FERLINI, Vera Lúcia Amaral. **Terra, trabalho e poder**: o mundo dos engenhos no Nordeste colonial. Bauru: EDUSC, 2003.

\_\_\_\_\_. Pobres do açúcar: estrutura produtiva e relações de poder no nordeste colonial. In: SZMERCSÁNYI, Tamás (org.). **História econômica do período colonial**. São Paulo: Hucitec, Associação Brasileira de Pesquisa em História Econômica, Editora Universidade de São Paulo, Imprensa Oficial, 2002, p. 20-34.

FERNANDES, Hamilton. **Açúcar e álcool**: ontem e hoje. Rio de Janeiro: GB, 1971.

FERREIRA, Célia Regina R.P. Tavares e VERGRO, Celso Luis Rodrigues. Fertilizantes: escalada das cotações e novo recorde nas vendas. **Análise e indicadores do agronegócio**, v.3, n.7, 2008.

FIGUEIREDO, Guilherme José Purvin de. **A propriedade no direito ambiental**. 3ª ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2008.

FIGUEIREDO, Sérgio Ferreira de. **O carro a álcool: uma experiência de política pública para a inovação no Brasil**. 2006. p. 102. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável – Universidade de Brasília, Brasília.

FRANK, Alberto Elvino; DORFMAN, Raul. Necessidades de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n.8, p.1675-1683, 2000.

FREDO, Carlos Eduardo et al. Índice de Mecanização na colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e nas regiões produtoras paulistas, junho de 2007. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, v. 3, n.3, p.1-5, 2008.

FREIRE, Wesley Jorge & CORTEZ, Luis Augusto Barbosa. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000.

FREYRE, Gilberto. **Açúcar: uma sociologia do doce, com receitas de bolos e doces do Nordeste do Brasil**. 5 e.d. São Paulo: Global, 2007.

\_\_\_\_\_. **Casa-grande e senzala**. 12 ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1963.

\_\_\_\_\_. **Nordeste: aspectos da influência da cana sobre a vida e a paisagem do Nordeste do Brasil**. 7ª ed. rev. São Paulo: Global, 2004.

\_\_\_\_\_. **Sobrados e mucambos: decadência do patriarcado rural e desenvolvimento do urbano**. 6ª ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Recife: Câmara do Estado de Pernambuco: Secretaria de Turismo, Cultura e Esportes, 1981.

FRIEDEN, Jeffry A. **Global capitalism: its fall and rise in the twentieth century**. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 2006.

FRIZZONE, José Antônio et al. Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v.23, n.5, p. 1131-1137, 2001.

FÜRSTENAU, Vivian. A política de crédito rural na economia brasileira pós 1960. **Revista Ensaios (FEE)**, v.8, n. 1, p.139-154, 1987.

FURTADO, Celso. **Criatividade e dependência na civilização industrial**. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

\_\_\_\_\_. **Dialética do desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1964.

\_\_\_\_\_. **Formação econômica do Brasil**. 34ª edição. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

GALLOWAY, J. H. The sugar industry of Pernambuco during the nineteenth century. **Annals of the Association of American Geographers**, Toronto, v. 58, n. 2, p. 285-303, 1968.

GAMA, Ruy. **Engenho e tecnologia**. São Paulo: Duas Cidades, 1983.

GLOEDEN, Elton. **Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça**. 1994. p.158. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geologia – Universidade de São Paulo, São Paulo.

\_\_\_\_\_ et al. The behavior of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in Botucatu aquifer recharge area. **Water Science and Technology**, vol. 24, n.11, p.147-157, 1991.

GODOI, ANA F. et al. Fast chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in aerosol sample from sugar cane burning. **Journal of Chromatography**, v. 1027, n. 1-2, p. 49-53, 2004.

GODOY, Marcelo Magalhães. **Civilizações da cana-de-açúcar**: dois paradigmas de atividades agroaçucareiras no novo mundo, séculos XVI a XIX. Belo Horizonte: UFMG/Cefeplar, 2007.

GOLDBERG, Ray. A. **Agribusiness Coordination**: A Systems Approach to the Wheat, Soybean, and Florida Orange Economies. Boston: Harvard University, 1968.

GOLDEMBERG, José; COELHO, Suani Teixeira; GUARDABASSI, Patrícia. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, 36, p. 2096-2097, 2008.

GOMES, Geraldo. **Engenho & Arquitetura**. Recife: Fundação Gilberto Freyre, 1997.

GOMES, Gustavo Maia. Setor açucareiro um pouco mais vulnerável. **O Estado de São Paulo**. São Paulo, 27 de fev. 1977. Caderno B, p.7.

GONÇALVES, Daniel Bertoli. **Mar de cana, deserto verde?** Dilemas do desenvolvimento sustentável na produção canavieira paulista. 2005. p. 256. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

GONÇALVES, José Sidnei; SOUZA, Sueli Alves Moreira; FERREIRA, Célia R.R.P.T. Financiamento da produção agropecuária e uso de fertilizantes no Brasil, período de 1950-2006. **Informações Econômicas**, v.38, n.9, p. 14-21, 2008.

GONÇALVES, Regina Célia. **Guerras e açúcares:** política e economia na Capitania da Parayba, 1585-1630. Bauru: Edusc, 2007.

GOULART, José Alípio. **Transportes nos engenhos de açúcar.** Rio de Janeiro: Gráfica Taveira, 1959.

GOUVÊA, Júlia Ribeiro Ferreira. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP.** 2008. p.98. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GRAZIANO DA SILVA, José. **Modernização dolorosa:** estrutura agrária, fronteira agrícola e trabalhadores rurais no Brasil. Rio de Janeiro: Zahar, 1981.

\_\_\_\_\_. **A nova dinâmica da agricultura brasileira.** Campinas: Unicamp. IE, 1996.

GRISOLIA, Cesar Koppe. **Agrotóxicos:** mutações, reprodução e câncer. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2005.

GUANZIROLI, Carlos E. PRONAF dez anos depois: resultados e perspectivas para o desenvolvimento rural. **Revista Sociologia Rural**, v. 45, n.2, p.301-328, 2007.

GUERRA, Flávio da Motta. **Idos do velho açúcar.** 2ª ed. Recife: Sociedade Auxiliadora da Agricultura de Pernambuco, 1982.

GUIMARÃES, Alberto Passos. **A crise agrária.** Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.

\_\_\_\_\_. **Quatro séculos de latifúndio.** 5ª edição. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1981.

GUMBO, Bekithemba et al. Industrial water demand management and cleaner production potencial: A case of three industries in Bulawayo, Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, n. 28, p. 797-804, 2003.

HAMMAD, E.A.; DAWELBEIT, M.I. Effect of tillage and field condition on soil physical properties, cane and sugar yields in Vertisols of Kenana Sugar. **Soil and Tillage Research**, v. 62, n. 3-4, p. 101-109, 2001.

HARTERMINK, Alfred E. Sugarcane for bioethanol: soil and environmental. In: SPARKS, Donald L. (org.) **Advances in agronomy**. Newark: Academic Press, 2006. p. 125-170.

HASSUDA, Seiju. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no Aquífero Bauru**. 1989. p. 92. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo.

HEREDIA, Beatriz Alasia de. **Formas de dominação e espaço social: a modernização da agroindústria canavieira em Alagoas**. São Paulo: MCT; CNPQ; Marco Zero, 1989.

HESPANHOL, Ivanildo. Efeitos ambientais do Programa Nacional do Álcool. **Revista DAE**, v. 39, n.121, 1979.

HOLANDA, Sérgio Buarque de. **Raízes do Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 1969.

IBGE. **Séries Estatísticas**. Disponível <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

IGLÉSIAS, Francisco et al. **O Brasil monárquico: reações e transações**. v.5. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, n. 92, p. 185-202, 2005.

INPE. **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Projeto engenho verde**. Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE ALAGOAS. **Recuperação florestal de áreas degradadas**. Disponível em <<http://www.ima.al.gov.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

ISPN. **Cana-de-açúcar avança em áreas prioritárias para a conservação e uso sustentável do Cerrado**. Disponível em <<http://www.ispn.org.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

IVO, Walane Maria Pereira de Mello et al. Impulsionando a produtividade da cana-de-açúcar. In: ALBUQUERQUE, Ana Christina Sagebin e SILVA, Aliomar Gabriel da (ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

JOHNSTON, Bruce F. & KILBY, Peter. **Agriculture and Structural Transformation: Economic strategies in late-develop countries**. Oxford: Oxford University Press, 1975.

JÚNIOR, Manuel Diegues. O açúcar no período da Independência. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 80, n. 2, p. 135-143, 1972.

\_\_\_\_\_. **População e açúcar no Nordeste do Brasil**. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Alimentação, 1954.

JUNQUEIRA, Messias. **O Instituto Brasileiro das Terras Devolutas**. São Paulo: Lael, 1976.

KAGEYAMA, Ângela (coordenação). O novo padrão agrícola brasileiro: do complexo rural aos complexos agroindustriais. In: DELGADO, Guilherme Costa; GASQUES, José Garcia; VERDE, Carlos Monteiro. **Agricultura e Políticas Públicas**. Brasília: Ipea, 1996.

\_\_\_\_\_. Produtividade e renda na agricultura familiar: efeitos do Pronaf-crédito. **Agricultura em São Paulo**, v.50, n.2, p.1-13, 2003.

LAMPKWSKI, F.J.; VIEIRA, G. Estratégia de produção: inovação tecnológica no processo de corte da cana-de-açúcar como fator competitivo. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11, 2005, Bauru. **Anais...** Bauru: Unesp, 2005. Disponível em: <<http://www.smpep.reb.unesp.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

LARA, B.L.S et al. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 35, n.2, p. 4937-4945, 2001.

LARA, L.L. et al. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in emssions in Southeastern Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 26, p. 4627-4637, 2005.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: EdUFSCar, 2008.

LEME, Rodrigo Marcelo. **Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar**. 2005. [s.n.]. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LEITE, Homero Tadeu de Carvalho. A sustentabilidade e o uso de água. In: WORKSHOP USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR, 6, 2008, Campinhas. **Anais...** São Paulo: APTA, 2008. Disponível em <<http://www.apta.sp.gov.br>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

LEVIN, Zev; BRENGUIER, Jean-Louis. Effects of pollution and biomass aerosols on clouds and precipitation: observational studies. In: LEVIN, Zev; COTTON, William .R. (eds.). **Aerosol pollution impact on precipitation: a scientific review**. Dordrecht: Springer, 2006, p. 205-241.

LIMA, Araken Alves de. A evolução da agroindústria canavieira alagoana da criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) ao processo de modernização da década de 1960. In: V Congresso Brasileiro de História Econômica - VI Conferência Internacional de História de Empresas, 2003, Caxambu. Anais do Congresso Brasileiro de História Econômica - VI Conferência Internacional de História de Empresas, 2003.

LIMA, Glauber Guedes Ferreira. **As elites açucareiras em Pernambuco**: um estudo sobre a heterogeneidade da açucarocracia pernambucana nas últimas décadas do Império. 2007. p. 132. Dissertação (Mestrado em História) – Programa de História Social – Universidade de Brasília, Brasília.

LIMA, Walter de Paulo. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Carlos: Ed. da Universidade de São Paulo, 1993.

\_\_\_\_\_; NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicas e em reserva de Cerradão. **IPEF**, n.24, p. 43-46, 1983.

LINS, Guilherme Gomes da Silva d'Ávila. **João Afonso Pamplona**: a restituição do nome daquele que foi o primeiro proprietário de terras na Capitania da Paraíba. João Pessoa: Empório dos Livros, 1996.

LINS, Rachel Caldas. Efeitos sociais da degradação dos rios do açúcar do Nordeste no Brasil. In: JATOBÁ, Lucivânio. **Estudos nordestinos de meio ambiente**. Recife: Fundaj; Ed. Massangana, 1986.

LONGO, Regina Márcia. **Efeito da vinhaça *in natura* e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1995. p. 98. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LUDOVICE, Maria Tereza Falsetti. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997. [s.n.]. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LYRA, Maria R.C.C; ROLIM, Mário M.; SILVA, José A. A. da. Toposeqüência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.523-532, 2003.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 727-733, 2003.

MACINNIS, Peter. **Bittersweet**: The story of sugar. London: Allen Unwin, 2003.

MAGALHÃES, Basílio de. **O açúcar nos primórdios do Brasil Colônia**. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1953.

MAHIMAIRAJA, Santiago; BOLAN, Nanthi S. Problems and prospects of agricultural use of distillery spentwater in India. In: Third Australian and New Zealand Soil Science Societies Joint Conference, Sydney, Australia, 5-9 dezembro, 2004.

MAIA, Joselanne Luiza Trajano; RIBEIRO, Mateus Rosas. Cultivo contínuo de cana-de-açúcar e modificações químicas de um Agrissolo Amarelo fragipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.11, p. 1127-1132, 2004.

MALASSIS, Louis. Developpement economique et industrialisation de l'agriculture. **Economie Appliquée**, Montipellier, t. 21, n. 1, 1968.

\_\_\_\_\_. **Agriculture et processus de développement**: essai d'orientation pédagogique. Paris: Unesco, 1973.

MALAVOLTA, Euripedes; VITTI, Godofredo César; Oliveira, Simone Cristina de. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1989.

MANTOVANI, Evandro Chartuni; HERRMANN, Paulo Renato; COELHO, José Luis Duarte. Máquinas e implementos agrícolas. In: ALBUQUERQUE, Ana Christina Sagebin e SILVA, Aliomar Gabriel da (ed.). **Agricultura tropical**: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

MAPA. **Relação das unidades produtoras cadastradas no Departamento da Cana-de-Açúcar e Agroenergia**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

MARCHIORI, Luis Fernando Sanglade. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. p. 273. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARQUES, Patrícia Angélica Alves; MARQUES, Tadeu Alcides; FRIZZONE, José Antônio. Viabilidade econômica sob condições de risco para a irrigação da cana-de-açúcar na região de Piracicaba – SP. **Irriga**, v.11, n.1, p.55-65, 2006.

MARTIN, Nelson Batista; CANCEGLIERO, Luiz Flávio B.; VEIGA FILHO, Alceu de Arruda. Análise do Programa Nacional do Álcool e suas implicações para o setor agrícola paulista. **Agricultura em São Paulo**, v. 28, n.1-2, p.35-56, 1981.

MARTINELLI, Luiz A. et al. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba River, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 110, n.2, p. 67-79, 1999a.

\_\_\_\_\_. Land-cover changes and  $\delta^{13}\text{C}$  composition of riverine particulate organic matter in the Piracicaba River Basin (southeast region of Brazil). **Limnology and Oceanography**, n.44, p.1826-1833, 1999b.

\_\_\_\_\_.; FILOSOFO, Solange. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. **Ecological Applications**, v. 18, n. 4, p. 885-898, 2008.

MCCARTY, G.W.; RITCHIE, J.C. Impact of soil movement on carbon sequestration in agricultural ecosystems. **Environmental Pollution**, v. 116, n.3, p. 423-430, 2002.

MEDEIROS, Maria Aparecida Carvalho de; BRITTO, Vania Flaig. Monitoring of S-Triazine in surface water samples by Solid Phase Extraction and Liquid-Liquid Extraction using gas Chromatography-ECD in sugarcane agriculture - Limeira – Itacemópolis Region, Brazil. In: 10<sup>th</sup> Latin American Congress on Chromatography and Related Techniques – Colacro X, 2004, Campos do Jordão, **Anais...** São Paulo: Colacro, 2004.

MEIRA, Roberta Barros. **Bangüês, engenhos centrais e usinas**: o desenvolvimento da economia açucareira em São Paulo e a sua correlação com as políticas estatais (1875-1941). 2007. p.301. Dissertação (Mestrado em História) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELLO, Evaldo Cabral de. **O Norte agrário e o Império**: 1871 -1889. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Editora Topbooks, 1999.

MELLO, José Antônio Gonçalves de. **Diário de Pernambuco e a história social do Nordeste**: 1890-1889. v. 2. Recife: Cruzeiro, 1972.

MELO, Mário Lacerda de. **O açúcar e o homem**: problemas sociais e econômicos do Nordeste canavieiro. Recife: Instituto Joaquim Nabuco de Pesquisas Sociais, 1975.

MELO, Andrea Sales & SILVA, Mônica Paula da. Estimando o valor da externalidade positiva do uso da vinhaça na produção de cana-de-açúcar. In: IV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2001, Belém. IV Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2001.

MICHELAZZO, Márcio Bernaldo; BRAUNBECK, Oscar Antônio. Tráfego controlado na mecanização da cana-de-açúcar. In: WORKSHOP INTERNACIONAL BRASIL-JAPÃO EM

BIOCOMBUSTÍVEL, MEIO AMBIENTE E NOVOS PRODUTOS DA BIOMASSA, 5, 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2007. Disponível em <<http://www.cori.unicamp.br>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiros de. Partitioning of rainfall in a cocoa (*Theobroma cacao* Law) plantation. **Hydrological Processes**, v.8, p.351-358, 1994.

MONT'ALEGRE, Omer. **Açúcar e capital**. Rio de Janeiro: IAA, 1974.

MONTANNI, Luiz. Coruripe termina a construção da maior barragem de Alagoas. **Jornal Cana**, Ribeirão Preto, junho de 2007, Caderno Usinas, p.17.

MORAIS NETO, João Marinho de; ALKMIM, Fernando Flecha de. A deformação das coberturas terciárias do Planalto da Borborema (PB-RN) e seu significado tectônico. **Revista Brasileira de Geociência**, v. 31, n. 1, p.59-106, 2001.

MOREIRA, Emília & TARGINO, Ivan. **Capítulos da geografia agrária da Paraíba**. João Pessoa: Editora Universitária/ UFPB, 1997.

MORON, Sandro Estevan et al. Estudo de alterações na concentração de íons plasmáticos e da indução de micronúcleos em *piaractus mesopotamicus* exposto ao herbicida atrazina. **Journal of Brazilian Society of Ecotoxicology**, v.1, v.1, p.27-30, 2006.

MOURA, Magda Soelma Beserra de et al. Balanço de energia na cana-de-açúcar irrigada no Submédio São Francisco. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2007, Mossoró. Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2007.

MOURA, Severino. **Senhores de engenho e usineiros, a nobreza de Pernambuco**. Recife: Fiam, CEHM, Sindaçúcar, 1998.

MURTY, M.N.; KUMAR, Surender; PAUL, Mahua. Environmental regulation, productive efficiency and cost of pollution abatement: A case study of the sugar industry in India. **Journal of Environmental Management**, 79, p. 1-9, 2006.

NASSAR et al. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct na indirect land use changes. ZUURBIER, Peter; VOOREN, Jos van de (org.). **Sugarcane ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment**. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008.

NASTARI, Plínio Mário. **The role of sugar cane in Brazil's history and economy**. 1983. 311p. Tese (Doutorado em Economia) – Agricultural Economics -, Iowa State University, Ames.

NEVES, Benjamin Bley de Brito. **O mapa geológico do Nordeste Oriental do Brasil, em escala 1 / 1.000.000**. 1983. p. 176. Tese (Livre Docência em Geologia) – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, São Paulo.

NEVES, Erivaldo Fagundes. Sesmarias em Portugal e no Brasil. **Politeia**. Vitória da Conquista, v. 1, n. 1, p. 111-139, 2001.

NEVES, Evaristo M.; SIGNORINI, Guilherme. 2007, o ano da virada? **Agroanalysis**, vol. 27, n. 5, p.17-18, 2007.

NEVES, Delma Pessanha. As políticas agrícolas e a construção do produtor moderno. **Cadernos de Difusão de Tecnologia**, vol. 4, n. 3, p.343-367, 1987.

NOGUEIRA, Antônio Carlos Lima. Mecanização na agricultura brasileira: uma visão prospectiva. **Caderno de Pesquisa em Administração**, v.8, n.4, p. 76-87, 2001.

NONATO, R.V.; MANTELATTO, P.E.; ROSSELL, C.E.V. Integrated production of biodegradable plastic, sugar and ethanol. **Applied Microbiology and Biotechnology**, vol. 57, ns. 1-2, p. 1-5, 2001.

NORDER, Luiz Antônio Cabello. **Políticas de assentamento e localidade: os desafios da reconstrução do trabalho rural no Brasil**. 2004. p. 315. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Programa Alfa Rede Estrela de Desenvolvimento Rural – Wageningen University and Research Center, Wageningen, Holanda.

NORONHA, Ibsen José Casas. **Aspectos do direito no Brasil quinhentista: consonâncias do espiritual e do temporal**. Coimbra: Edições Almeida SA, 2005.

NORONHA, Sílvia. Agronegócio e biocombustíveis: **Uma mistura explosiva: impactos da expansão das monoculturas para a produção de bioenergia**. Rio de Janeiro: Núcleo Amigos da Terra, 2006.

NOZOE, Nelson Hideiki. Sesmaria e apossamento de terras no Brasil Colônia. **Economia**, Brasília, v.7, p.587-605, 2006.

NUNES, Carlos Simões; BAPTISTA, António Oliveira. Implicações da reação de Maillard nos alimentos e nos sistemas biológicos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 96, n. 538, p. 53-59, 2001.

OCDE. **Développement durable**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

OMETTO, Algo Roberto; MANGABEIRA, João Alfredo de Carvalho; HOTT, Marcos Cicarini. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 de abril de 2005, INPE, p. 2297-2299.

PACEY, Arnold. **Meaning in technology**. The MIT Press: Cambridge, 1999.

PARCHEN, Carlos Augusto Petersen. **Desenvolvimento de uma metodologia para mensuração de alguns parâmetros de processos hidrológicos de superfície em ambiente florestal**. 2007. p. 187. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PASSOS SUBRINHO, Josué Modesto dos. **Reordenamento do trabalho: trabalho escravo e trabalho livre no nordeste açucareiro, Sergipe 1850/1930**. Aracaju: Funcaju, 2000.

PEDRO, Edison da Silva. **Gestão tecnológica: um estudo de caso no setor sucroalcooleiro**. 2004. p. 145. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PEREIRA, Consuelo de Lima Fernandez. **Avaliação de sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais**. Estudo de caso: suco de laranja e etanol. 2008. [s.n.]. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PEREIRA, N.M. et. al. Disponibilidade hídrica da bacia do rio Piracicaba, Estado de São Paulo, Brasil. **Holos Environment**, v.4, n.2, p. 97-113, 2004.

PEREIRA DA COSTA, Francisco Augusto. **Anais pernambucanos: 1795-1817**, vol. VII. Recife: Secretaria de Interior e Justiça, 1952.

PEREIRA NETTO, A. D.; CUNHA, I.F. KRAUSS, T.M. Persistence of polycyclic aromatic hydrocarbons in the soil of a burned area for agricultural purpose in Brazil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.73, n.,6, p.1072-1077, 2004.

PERUCCI, Gadiel. **A república das usinas**: um estudo de história social e econômica do Nordeste, 1889-1930. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1978.

PESSOA JÚNIOR, Adalberto et al. Perspective on bioenergy and biotechnology in Brazil. **Applied Biochemistry and Biotechnology**. vol. 121, n.1-3, p.59-70, 2005.

PIACENTE, Fabrício José. **Agroindústria canavieira e o sistema de gestão ambiental**: o caso das usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí. 2005. p.177. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PINHATTI, Antônio Luiz. **Aspectos conceituais da gestão de recursos hídricos e sua aplicação no caso das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí, SP**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PINTO, Cláudio Piazza. **Tecnologia da digestão anaeróbica da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. [s.n.]. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PINTO JÚNIOR, Joaquim Modesto; FARIAS, Valdez (org.). **Coletânea de legislação e jurisprudência agrária e correlata**. Vol.3. Brasília: MDA, 2007.

PITELLI, Robinson Antônio. Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas. **Série Técnica IPEF**, v. 4, n. 12, Piracicaba, p.1-24, 1987.

POMPEU, Cid Tomanik (a). Águas doces no Direito brasileiro. REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia (org.) 3ª ed. **Água doces no Brasil**: Capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 2006 p.677-718.

\_\_\_\_\_ (b). **Direito das águas no Brasil**. São Paulo: Editora dos Tribunais, 2006.

PRADO JÚNIOR, Caio. **Formação do Brasil Contemporâneo**: Colônia. 23 ed. São Paulo: Brasiliense, 2004.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicas**. 8 ed. São Paulo: Nobel, 1985.

PROCÓPIO, Sérgio de Oliveira et al. **Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar**. Viçosa: Suprema, 2003.

PUCCI, Roberto. La revolución industrial azucareira em Cuba, Brasil y Argentina: Tecnología y cambio social (CA. 1870 – 1930). **América Latina en la História Económica**, nº. 16, julio-diciembre de 2001.

QUINTAS, Fátima. Cana, engenho e açúcar. In. \_\_\_\_\_ (org). **A civilização do açúcar**. Recife: Sebrae, Fundação Gilberto Freyre, 2007, p. 53-67.

RAMALHO, Jair Felipe Pereira; AMARAL SOBRINHO, Nelson Moura Brasil do; VELLOSSO, Ari Carlos Xavier. Acúmulo de metais pesados em solos cultivados com cana-de-açúcar pelo uso contínuo de adubação fosfatada e água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.23, n.4, p.971-980, 1999.

RAMANATHAN, V. et al. Aerosols, climate and the hydrological cycle. **Science**, n. 5549, v. 294, p. 2119-2124, 2001.

RAMJEAWON, T. Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories. **Journal of Cleaner Production**, n. 8, p. 503-510, 2000.

RAMOS, Gracinda Clara Pereira. **A formação do território de Santa Catarina com base na concessão de terras públicas**. 2006. p. 269. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RAMOS, Pedro. O futuro da ocupação na agroindústria canavieira do Brasil: uma discussão dos trabalhos disponíveis e um exército de estimação. **Informações Econômicas**, vol. 37, n. 11, p.69-75, 2007.

RESENDE, Alexander Silva et al. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol. 30, nº 6, nov./dec. 2006.

RESENDE, Keila Maria. **Legislação Florestal Brasileira: uma reconstituição histórica**. 2006. p. 150. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

REZENDE, Joelito de Oliveira. Vinhaça: outra grande ameaça ao meio ambiente. **Revista Magistra**. Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia, Cruz das Almas, p. 34-148, junho, 1984.

RIBEIRO, Darcy. **O povo brasileiro: evolução e o sentido do Brasil**. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

RIBEIRO, Flávio de Miranda; BOSSOI, Lineu José. Reuso e uso racional de água na indústria: considerações e exemplos no estado de São Paulo. In: TELLES, Dirceu D'Alkimin; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães (coord.). **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Editora Blucher, 2007. p.165-202.

RIOS, Mário. Máquina colhe em terrenos com até 35% de declividade. **JornalCana**, nº. 180, p.24, 2008.

RODRIGUES, Geraldo Stachetti. Resultados obtidos na monitorização de produtos fitossanitários em águas. Embrapa Meio Ambiente. **Revista Brasileira de Toxicologia**. Vol. 12 n. 1, Ribeirão Preto, p. c9-c9, 1999.

RODRIGUES, Isabel Cristina. **Certificação ambiental e desenvolvimento sustentável: avaliação para o setor sucroalcooleiro localizado na bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, SP**. 2004. p. 297. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura**. São Paulo: Annablume; FAPESP, 1998.

ROSENFELD, Udo. Irrigação em cana-de-açúcar, situação atual e perspectivas para o futuro. In: SIMPÓSIO DA AGROINDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ALAGOAS, 22, Maceió. **Palestras...** Maceió, 2005, CD-ROM.

ROSIN, Daniel Coelho. **Influência da qualidade e manejo da palha na compactação de um Latossolo Vermelho distroférico**. p. 41. 2007. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) Instituto Agrônomo, Campinas.

ROSSI, M. N.; FOWLER, H.G. Spatial and temporal population interaction between the parasitoids *Cotesia flavipes* and Tachinidadae flies: considerations on the adverse effects of biological control practice. **Journal of Applied Entomology**, v. 128, n. 2, p. 112-119, 2004.

SAG. **Sistema Aquífero Guarani**. Disponível em <<http://www.sg-guarani.org>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

SAHA, N.K.; BALAKRISHNAN, M.; BATRA, V.S. Improving industrial water use: case study for an Indian distillery. **Resource Conservation and Recycling**, v.42, n.2, p. 163-174, 2005.

SAHU, Nirmal Chandra & CHOUDHURY, Amita Kumari (org). **Dimensions of Environmental and Ecological Economics**. Hyderabad: Universities Press, 2005.

SALLES, Lauriberto da Silva. **Elementos para o planejamento ambiental do complexo agroindustrial sucroalcooleiro no Estado de São Paulo**: conceitos, aspectos e métodos. 1993. p.113. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.

SANTOS, André Luiz da Silva; PEREIRA, Eugênia Cristina Gonçalves; ANDRADE, Laise de Holanda Cavalcanti. Expansão da cana-de-açúcar no espaço alagoano e suas conseqüências sobre o meio ambiente e a identidade cultural. **Campo-Território: revista de geografia agrária**, v.2, n.4, p. 19-37, ago., 2007.

SANTOS, Joelma Cristina dos; PESSOA, Vera Lúcia Salazar. A territorialização das empresas do setor sucroalcooleiro na microrregião geográfica de Presidente Prudente – SP: as tramas do capital e os impactos no mundo do trabalho. **Campo-Território: revista de geografia agrária**, v.3, n. 5, p. 243-263, 2008.

SÃO PAULO. **Parecer Técnico CPRN/DAIA/161/2008**. São Paulo: Consema, 2008a.

\_\_\_\_\_. **Parecer Técnico CPRN/DAIA/119/2008**. São Paulo: Consema, 2008b.

\_\_\_\_\_. **Parecer Técnico CPRN/DAIA/439/2007**. São Paulo: Consema, 2007a.

\_\_\_\_\_. **Parecer Técnico CPRN/DAIA/442/2007**. São Paulo: Consema, 2007b.

\_\_\_\_\_. **Parecer Técnico CPRN/DAIA/492/2008**. São Paulo: Consema, 2008c.

\_\_\_\_\_. **Plano Estadual de Recursos Hídricos:** primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE, 1990.

\_\_\_\_\_. **Protocolo de cooperação entre o Governo do Estado e a União da Agroindústria Canavieira.** São Paulo: SEMA/UNICA, 2007c.

\_\_\_\_\_. **Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo.** São Paulo: SEMA, 2007d.

\_\_\_\_\_. **Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo.** São Paulo: SEMA, 2008d.

\_\_\_\_\_. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo: SEMA, 2007e.

\_\_\_\_\_. **Resolução SMA-67.** São Paulo: SMA, 2008e.

\_\_\_\_\_. **Resolução SMA-88.** São Paulo: SMA, 2008f.

\_\_\_\_\_. **Resolução conjunta SMA-SAA-4.** São Paulo: SMA-SAA, 2008g.

\_\_\_\_\_. **Plano estadual de recursos hídricos 2004-2007.** São Paulo: DAEE, 2006.

\_\_\_\_\_. **Zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo.** São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento e Secretaria de Meio Ambiente, 2008h.

SATYAWALI, Y.; BALAKRISHNAN, M. Wastewater treatment in molasses-based alcohol distilleries for COD and color removal: A review. **Journal of Environmental Management**, 86, p. 481-497, 2008.

SCARDUA, Rubens; ROSENFELD, Udo. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, Sérgio Bicudo (Org.). **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fudação Cargil, 1987. p.373-431.

SCHAEFER, Carlos Ernesto G. R.; MARQUES, Antônio Francisco Sá e Melo; CAMPOS, Jackson Cleiton Ferreira. Origens da pedologia no Brasil: resenha histórica. **Genomos**, Belo Horizonte, v. 5, n.1, p.1-15, 1997.

SCHWARTZ, Stuart B. A commonwealth with itself. The early Brazilian sugar industry, 1550-1670. **Revista de Indias**, vol.LXV, num. 23, p. 79-116, 2005.

\_\_\_\_\_. **Sugar plantations in the formation of Brazilian society, Bahia, 1550 -1835**. Cambridge University Press: Cambridge, 1985.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sistema integrado de gestão ambiental**: Projeto de recuperação de matas ciliares. Disponível em <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

SERENO, Maria Lorena. **Avaliação de tolerância de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) a metais**: expressão dos genes de metalotioneína. p. 94. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis; ALVES, Lúcio Rogério Aparecido. Panorama industrial, dinâmica de crescimento e estratégias tecnológicas da agroindústria canavieira paranaense. **Nova Economia**, v.11, n.10, p.123-194, 2001.

SILVA, Alexandre Marco et al. Historical land-cover/use in different slope and riparian buffer zones in watersheds of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v.64, n.4, p.325-335, 2007.

SILVA, Daniela Mariano Lopes et al. Organochlorine pesticides in Piracicaba river basin (São Paulo/Brazil): a survey of sediment, bivalve and fish. **Química Nova**, v. 31, n.2, p.214-219, 2008.

SILVA, Francisco Carlos Teixeira. Pecuária, agricultura de alimentos e recursos naturais no Brasil-Colônia. SZMERCSÁNYI, Tamás (org.). **História econômica do período colonial**. São Paulo: Hucitec, Associação Brasileira de Pesquisa em História Econômica, Editora Universidade de São Paulo, Imprensa Oficial, 2002. p. 123-159.

SILVA, Gil Anderi da; KULAY, Luiz Alexandre. Água na Indústria. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia (org.). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3ª ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

SILVA, Melissa A.S. da; GRIEBELER, Nori P.; BORGES, Lino C. Uso da vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n.1, p.108-114, 2007.

Silva, Roseli. Novas tecnologias mitigadoras no uso de água na produção de etanol. In: WORKSHOP OBSERVATÓRIO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO. 1, 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: FEA, 2008. Disponível em <<http://www.observatoriodacana.org>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

SILVA, Paulo Roberto Paranhos da. O açúcar em Campos dos Goytacazes na segunda metade do século XIX. **Revista da ASBRAP**, São Paulo, v.9, n.1, p.101-108, 2002.

SIMONSEN, Roberto Cochrane. **História Econômica do Brasil: 1500 – 1820**. vol. 1. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1977.

SINDAÇÚCAR. **Esforço da irrigação**. Disponível <<http://www.sindacucar-al.com.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

SINGER, Paul Israel. **Desenvolvimento econômico e evolução urbana: análise da evolução econômica de São Paulo, Blumenau, Porto Alegre, Belo Horizonte e Recife**. São Paulo: Editora Nacional, 1974.

SMEETS, Edward et al. **Sustainability of Brazilian bio-ethanol**. SenterNovem: Utrecht, 2006.

\_\_\_\_\_. The sustainability of Brazilian ethanol – An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n.8, p. 781-813, 2008.

SOARES, Alcides Ribeiro. **Um século de economia açucareira: evolução da moderna agroindústria do açúcar em São Paulo, de 1877 a 1970**. São Paulo: Clíper Editora, 2000.

SORJ, Bernardo. **Estado e classes sociais na agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1980.

SOUSA, Gabriel Soares de. **Tratado descritivo do Brasil em 1578**. 4ª ed. São Paulo: Nacional/EDUSP, 1971.

SOUZA, Sérgio Antônio Veronez. Disponibilidade e uso de água no Brasil: irrigação. In: MACEDO, Isaias de Carvalho (org.). **A energia da cana-de-açúcar – doze estudos sobre a**

agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia; Unica, 2005, p. 106-108.

\_\_\_\_\_. Distribuição e aplicação da vinhaça na lavoura de cana-de-açúcar. In: WORKSHOP USO DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR. 6, 2008, Campinas. **Anais...** São Paulo: APTA, 2008. Disponível em <<http://www.apta.sp.gov.br>>. Acesso em 05 de janeiro de 2009.

STINGER, Erich. **Distribuição espacial e plano de amostra para a cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stal., 1854), em cana-de-açúcar.** 2005. p. 75. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

STOPPELLI, Ilona Maria de Brito Sá; CRESTANA, Silvio. Pesticide exposure and cancer among rural workers from Bariri, São Paulo State, Brasil. **Environmental International**, v.31, p. 731-738, 2005.

STRAPASSON, Alexandre Betinardi; JOB, Luís Carlos Mavignier. Etanol, meio ambiente e tecnologia: reflexões sobre a experiência brasileira. **Revista de Política Agrícola**, vol. 15, n.3, p.51-62, 2006.

SUZIGAN, Wilson. **Indústria Brasileira: origem e desenvolvimento.** São Paulo: HUCITTEC, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

\_\_\_\_\_. Investimento na indústria de transformação no Brasil: 1869/1939: uma visão geral. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, vol. 15, n.2, p. 369-399, 1985.

SZMRECSÁNYI, Tamás et al. **Dimensões, riscos e desafios da atual expansão da agroindústria canavieira.** Brasília: Embrapa, 2008.

\_\_\_\_\_. Growth and crises of the Brazilian sugar industry, 1914-1939. **Rivista di Storia Economica**, v. 5, n.2, p. 193-219, 1988.

\_\_\_\_\_. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil: 1930 – 1975.** São Paulo: HUCITEC, Universidade Estadual de Campinas, 1979.

\_\_\_\_\_ e MOREIRA, Eduardo Pestana. O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. **Estudos Avançados**, v. 5, nº. 11, p. 57-80, 1991.

\_\_\_\_\_ e RAMOS, Pedro. O papel das políticas governamentais na modernização da agricultura brasileira. In: \_\_\_\_\_ e SUZIGAN, Wilson (organizadores). **História Econômica do Brasil Contemporâneo**. 2 ed. São Paulo: Hucitec; Associação Brasileira de Pesquisadores em História Econômica; Editora da Universidade de São Paulo; Imprensa Oficial, 2002.

TASSO JÚNIOR, Luiz C. et al. Produtividade e qualidade de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n.1, p. 276-283, 2007.

TAUNAY, Carlos Augusto. **Manual do Agricultor Brasileiro**. Rio de Janeiro: Typographia de J. Villeneuve, 1839.

TERAMOTO, Edson Roberto. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*) baseadas em parâmetros do solo e do clima**. 2003. p. 86. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

THOMAZ JÚNIOR, Antônio. **Por trás dos canaviais, os “nós” da cana: a relação capital x trabalho e o movimento sindical dos trabalhadores na agroindústria canavieira paulista**. São Paulo: Annableme; Fapesp, 2002.

TOLLENARE, L.F. **Notas Dominicais**. Recife: Secretaria de Educação e Cultura do Estado de Pernambuco, 1978.

UNICA. **Dados e Cotações**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em 10 de novembro de 2008.

VALENTE, Marcelo Luiz Campos. **A taxação da agricultura comercial e familiar no Brasil: 1995 a 2005**. 2007. p.94. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Departamento de Economia Rural – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VAN DER DUSSEN, Adriaen. **Relatório sobre as capitanias conquistadas (1639)**. Suas condições econômicas e sociais. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1947.

VAN OOST, K. et al. The impact of agricultural soil erosion on the Global Carbon Cycle. **Science**, v. 318, n. 5850, p. 626-629, 2007.

VEIGA FILHO, Alceu de Arruda. **Mecanização da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**: uma fronteira de modernização tecnológica da lavoura. 1998. [s.n]. Dissertação (Mestrado em Política Científica e Tecnológica) – Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VELASCO MOLINA, Marta. **Nitrogênio e metais pesados em latossolo e eucalipto cinqüenta e cinco meses após a aplicação de biossólido**. p. 66. 2004. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VELLOSO, Lycurgo. **Legislação açucareira e alcooleira: 1931 a 1952**. Rio de Janeiro: IAA, 1955.

VERTUAN, Carlos Alberto. **Fluxos de transpiração de três variedades de cana-de-açúcar sob altas condições de demanda hídrica**. 2003. [s.n.]. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. **Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização**. Campinas: Editora Átomo, 2003.

VIARO, Mário Eduardo. Estudo diacrônico da formação e da mudança semântica dos sufixos – eiro/-eira na língua portuguesa. In: MASSINI-CAGLIARI, Gladis et al (org). **Trilhas de Mattoso Câmara e outras trilhas: Fonologia, morfologia e sintaxe**. 12 ed. Araraquara: Cultura Acadêmica, 2007, p. 45-84.

VIEIRA, D. B. **Avaliação da interceptação hidrológica e o efeito da vinhaça em cana-de-açúcar**. 124p. 1982. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Engenharia de Limeira – Universidade Estadual de Campinas, Limeira.

VICENTE, José Roberto; ANEFALOS, Lílian Cristina; CASER, Denise Viani. Produtividade agrícola no Brasil, 1970-1995. **Revista Economia Agrícola**, n.º. 48 v. 2, p.33-55, 2001.

VIEIRA, Maria Célia Azevedo. **Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e perspectivas**. Rio de Janeiro: BNDES, 2007.

WAINER, Ann Helen. **Legislação ambiental brasileira**: subsídios para a história do Direito Ambiental. 2ª ed. Rio de Janeiro: Revista Forense, 1999.

WATABABE, Marcos Djun Barbosa. **Mata nativa e cana-de-açúcar**: cálculo do valor dos serviços ecossistêmicos vinculados aos ciclos de água, carbono e nitrogênio utilizando a análise emergética. 2008. [s.n.]. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

WELTER, Elcio Fernando e SHIKIDA, Pery Francisco Assis. Evolução dos setores indústria do açúcar e do álcool no Brasil em 1975, 1980, 1985, 1992 e 1995: uma análise a partir do instrumental insumo-produto. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 33, n.4, p. 791-816, 2002.

XAVIER, Christine da Fonseca; DIOS, Leda Neiva; BRUNKOW, Renato Fernando. Eutrofização. In: ANDREOLI, Cleverson U. e CARNEIRO, Charles. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar, 2005.

YOSHINAGA, Emília Mieko Sakane. **As políticas de exploração da cana-de-açúcar no Brasil**: da ocupação colonial à produção sucroalcooleira moderna. 2006. 175 p. Dissertação (Mestrado em Educação, Comunicação e Administração), Universidade de São Marcos, São Paulo.

ZAMPERLINI, Gisele C. M.; SANTIAGO-SILVA, Mary; VILEGAS, Wagner. Solid-phase extraction of sugar cane soot extract for analysis by gas chromatography with flame ionization and mass spectrometric detection. **Journal of Chromatography**, v. 889, n. 1-2, p. 281-286, 2000.

ZARPELON, Florenal. **Efluentes líquidos de usinas, destilarias e refinarias de açúcar**. São Paulo: Copersucar, 1978.