



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - IFCH

ÉRIKA FERREIRA MOURA

**USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA EXPANSÃO SUCROENERGÉTICA
EM ÁREAS DO BIOMA CERRADO**

CAMPINAS

2017

ERIKA FERREIRA MOURA

**USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA EXPANSÃO SUCROENERGÉTICA
EM ÁREAS DO BIOMA CERRADO**

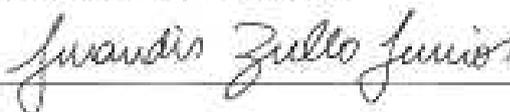
Tese apresentada no Instituto de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutora em Ambiente e Sociedade na área de Aspectos Sociais de Sustentabilidade e Conservação.

Orientador: PROF. DR. JURANDIR ZULLO JÚNIOR

Co-orientadora: PRÓFA. DRA. SÔNIA REGINA DA CAL SEIXAS

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA PELA ALUNA ÉRIKA FERREIRA
MOURA E ORIENTADA PELO PROF. DR. JURANDIR
ZULLO JÚNIOR

ASSINATURA DO ORIENTADOR



Jurandir Zullo Junior

CAMPINAS

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES

Ficha catalográfica

Universidade Estadual de Campinas

Biblioteca do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas

Paulo Roberto de Oliveira - CRB 8/6272

Moura, Érika Ferreira, 1981-

M865u Uso dos recursos hídricos na expansão sucroenergética em áreas de bioma cerrado / Érika Ferreira Moura. – Campinas, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Jurandir Zullo júnior.

Coorientador: Sônia Regina da Cal Seixas.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas.

1. Recursos hídricos. 2. Pegada hídrica. 3. Cana-de-açúcar. I. Zullo, Jurandir Júnior. II. Seixas, Sônia Regina da Cal. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Use of water resources in the expansion of sugarcane in Cerrado

Palavras-chave em inglês:

Water resources

Water Footprint

Sugar cane

Área de concentração: Aspectos Sociais de Sustentabilidade e Conservação

Titulação: Doutora em Ambiente e Sociedade

Banca examinadora:

Jurandir Zullo Júnior

Maria Ângela Fagnani

Simone Aparecida Vieira

João Luiz de Moraes Hoefel

Gabriela Farias Asmus

Data de defesa: 27-03-2017

Programa de Pós-Graduação: Ambiente e Sociedade



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS - IFCH

A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, composta pelos professores Doutores a seguir descritos, em sessão pública realizada em 27 de março de 2017 considerou a candidata Érika Ferreira Moura aprovada.

Prof. Dr. Jurandir Zullo Júnior
Profa. Dra. Maria Angela Fagnani
Profa. Dra. Simone Aparecida Vieira
Profa. Dra. Gabriela Farias Asmus
Prof. Dr. João Luiz de Moraes Hoefel

.

A Ata de Defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no processo da vida acadêmica da aluna.

Dedico ao amigo Carlos Alberto Lobão da Silveira Cunha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UNICAMP pelos quase 13 anos de oportunidades de conhecimento científico, cultura e vivências diversas, pela contribuição no meu crescimento pessoal, intelectual e profissional.

Ao NEPAM, CAPES pela estrutura e financiamento.

Ao CEPAGRI pela estrutura e apoio.

À FAPESP, FAEPEX e professora Rosana Baenger pelo apoio às atividades de campo e congressos.

Ao meu orientador Jurandir Zullo Júnior por me receber com carinho e atenção, pelo apoio acadêmico e pela confiança no meu trabalho.

À minha co-orientadora Sônia Regina da Cal Seixas pela dedicação, envolvimento e amizade.

Aos amigos que fiz durante estes quatro anos de doutorado: Camila Dourado, Esdras Matheus e Michelle Renk pelas contribuições dentro e fora da UNICAMP.

Aos amigos de sempre e que sempre me ajudaram direta e indiretamente, Tati e Marcos, Luciana, Érica, Talita, Juninho, Rosane, Carlos, Ivan, Rosana.

Aos meus amores Daniel, Cauã e Alexandre (Shin).

Ao Dr. Rafael Valioti pelo carinho durante o meu tratamento.

“O problema da condição contemporânea de nossa civilização moderna é que ela parou de questionar-se. O preço do silêncio é pago na dura moeda corrente do sofrimento humano. Fazer as perguntas certas constitui, afinal, toda a diferença entre sina e destino, entre andar à deriva e viajar. Questionar as premissas supostamente inquestionáveis do nosso modo de vida é provalmente o serviço mais urgente que devemos prestar aos nossos companheiros humanos e a nós mesmos.”

(Zygmunt Bauman, 1998)

“Eu quase que nada não sei. Mas desconfio de muita coisa.”

(Guimarães Rosa)

RESUMO

A pesquisa identificou impactos sobre os recursos hídricos ocorridos devido à expansão da cultura de cana-de-açúcar destinada à produção de etanol no bioma Cerrado, onde a prática de irrigação se faz necessária em períodos de déficit hídrico. Essa expansão ocorre devido à maior demanda mundial por etanol, que hoje assume posição de alternativa aos combustíveis fósseis, um dos possíveis responsáveis pelo aquecimento global. Como os critérios relacionados ao uso da água e pressões sobre recursos hídricos são incipientes, sobretudo na fase agrícola da produção de etanol, e cenários futuros sobre mudanças climáticas para a região já apontam aumento de temperatura e variação no regime de chuvas na região, há uma grande necessidade de mensurar e discutir a questão do uso da água na expansão do setor sucroalcooleiro. Para isso, utilizou-se a metodologia da “Pegada Hídrica”, tendo como estudo de caso dois municípios do estado de Goiás: Jataí e Quirinópolis. Esses dois municípios, por serem bastante representativos na dinâmica da expansão da cana, fornecem informações importantes sobre a pressão que esta cultura agrícola vem exercendo no uso da água. Os resultados demonstram que o uso da água para irrigação ainda não compromete os recursos hídricos da região. Porém a expansão da área de cultivo, de acordo com os cenários de mudanças climáticas, afetará esse recurso nos próximos 20 anos devido ao aumento expressivo da demanda. Tais informações podem contribuir para a avaliação de critérios de gestão ambiental relacionados ao uso da água na produção de biocombustíveis, na avaliação da pressão da produção de etanol de cana-de-açúcar sobre os recursos hídricos e na proposição de medidas para redução de impactos sobre esses recursos.

Palavras-Chave: Recursos Hídricos; Pegada Hídrica; Cana-de-açúcar; Cerrado.

ABSTRACT

The survey sought to identify impacts on water resources occurred due to the expansion of sugarcane crop for the production of ethanol in the Cerrado biome, where the practice of irrigation is needed in times of drought. This expansion is due to higher global demand for ethanol, which now assumes an alternative position to fossil fuels, one of the possible responsible for global warming. The criteria related to the use of water and on water pressures are incipient, especially in the agricultural phase of ethanol production, and future scenarios of climate change for the region already point increase in temperature and changes in rainfall in the region, there is a great need to measure and discuss the issue of water use in the expansion of this sector. For this, we used the methodology of "Water Footprint" with the case study two municipalities of the state of Goiás: Jataí and Quirinópolis. These two municipalities, because they are fairly representative in the dynamics of sugarcane expansion, provide important information about the pressure that this crop has been exercising in water use. The results demonstrate that the use of water for irrigation does not compromise the water resources of the region, but with the expansion of cultivation area and according to the climate change scenarios will affect this feature in the next 20 years due to the significant increase in demand. Such information may contribute to the evaluation of environmental management criteria related to water use in the production of biofuels, in assessing pressure production of sugarcane ethanol on water resources and propose measures to reduce impacts on these resources.

Keywords: Water Resources; Water Footprint; Sugar Cane; Cerrado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção por hectare de plantas utilizadas para a produção de biocombustíveis.....	26
Figura 2: Exportações brasileiras de etanol (em m ³) por continente nos anos de 2006-2014.....	31
Figura 3: Áreas cultivadas e com expansão exponencial de cana-de-açúcar...33	
Figura 4: Área colhida e produção de cana-de-açúcar no Brasil.....	35
Figura 5: Produção de cana-de-açúcar (milhões de t) por região entre os anos 1993-2012.....	36
Figura 6: Alterações do uso do solo no Brasil e regiões Sudeste e Centro-Oeste entre 1998-2008.....	38
Figura 7: Uso e cobertura do solo 2012.....	39
Figura 8: Área de expansão da Cana-de-açúcar, correlacionada com as usinas instaladas.....	41
Figura 9: Área de expansão de Pivôs Centrais em Goiás com destaque para o Sudoeste goiano.....	54
Figura 10: Áreas irrigadas (em hectares) por método de irrigação em Goiás....	58
Figura 11: Sistemas de Irrigação utilizados para a cana-de-açúcar, Carretel e Gotejamento.....	68
Figura 12: Áreas de expansão do Zoneamento Agroecológico da Cana.....	72
Figura 13: Representação esquemática dos componentes da Pegada Hídrica..	77
Figura 14: Mapa de localização da área de estudo.....	82
Figura 15: Área de vegetação de Cerrado e áreas de Cerrado ocupadas pela agricultura.....	83
Figura 16: Desmatamento no Cerrado e Agricultura.....	84
Figura 17: Ribeirão das Pedras, área do entorno Estação de Captação de Água da SANEAGO para abastecimento da cidade de Quirinópolis.....	86
Figura 18: Bacia do Parnaíba e leito principal.....	92
Figura 19: Região Hidrográfica do Paraná (foto menor) e Bacia do Rio Parnaíba (PRP).....	93
Figura 20: Processo de produção integrado Raízen S/A.....	94

Figura 21: Imagens da Usina Raízen em Jataí (GO).....	109
Figura 22: Fotos da Usina Boa Vista S/A.....	110
Figura 23: Comparação da Pegada Hídrica de cana-de-açúcar municípios de Jataí e Quirinópolis com o maior estado produtor São Paulo.....	117
Figura 24: Projeções de anomalias de temperatura para DJF, MAM, JJA e SON, com referência ao período base 2011-2049 para o Brasil, nos cenários A2 e B2, pelo modelo HadCM3.....	118
Figura 25: Projeções de anomalias de precipitação para DJF, MAM, JJA e SON, com referência ao período base 2011-2049 para o Brasil, nos cenários A2 e B2, pelo modelo HadCM3.....	118
Figura 26: Conselhos e agências que integram o SINGREH.....	93
Figura 27: Esquema de órgãos vinculados ao SECIMA.....	111
Figura 28: Demanda de águas superficiais cadastradas na UGRH.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área de cana-de-açúcar (ha) com uso de irrigação e método utilizado no Brasil e grandes regiões no ano de 2010.....	52
Tabela 2: Produtividade da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada.....	53
Tabela 3: Uso do solo no Brasil.....	65
Tabela 4: Municípios formadores da região Sudoeste Goiano por área em km ² e há	
Tabela 5: Demandas hídricas por usuário na bacia dos municípios e Jataí e Quirinópolis (ano base 2010).....	78
Tabela 6: Dados e variáveis consideradas para o cálculo da pegada hídrica do crescimento da cultura da cana-de-açúcar de acordo com o padrão do modelo CROPWAT 8.0.....	88
Tabela 7: Pegada hídrica para diferentes usos do solo na agricultura nos municípios de Jataí e Quirinópolis, da Bacia do Rio Parnaíba, Pegada Hídrica média brasileira (m ³ /t) e produtividade (t/ha) para as culturas de cana, milho e soja.....	97
Tabela 8: Indicadores de comprometimento e sustentabilidade dos recursos hídricos de acordo com a vazão outorgável.....	100
Tabela 9: Demanda Hídrica por hectare das culturas de cana-de-açúcar, milho e soja nos municípios de Jataí e Quirinópolis.....	101
Tabela 10: Demandas de retirada, disponibilidades hídricas e balanços hídricos tendo como ano base 2013.....	102
Tabela 11: Cenários de expansão da área plantada de cana-de-açúcar.....	103
Tabela 12: Evapotranspiração (mm) e Pegada Hídrica (m ³ /t) da cana-de-açúcar nos municípios de Jataí e Quirinópolis em diferentes cenários.....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Adoção da mistura de etanol à gasolina.....	34
Quadro 2: Usinas instaladas em Jataí e Quirinópolis.....	80
Quadro 3: Relação dos municípios com as concessionárias de água.....	87
Quadro 4: Tratamento da água nos municípios de Jataí e Quirinópolis.....	88
Quadro 5: Pedidos de outorgas entregues à ANA no período de 2011-2015 para o estado de Goiás estipulando os requerentes a finalidade, método e cultura.....	120

ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ANA: Agência Nacional de Águas

ANP: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

AR4: *Fourth Assessment Report*

Cenário A2: Cenário de alta emissão de gases de efeito estufa, ou —pessimista

Cenário B2: Cenário de baixa emissão de gases de efeito estufa, ou —otimista.

CGEE: Centro de Gestão de Estudos Estratégicos

CIMA: Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool

CMMAD: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento

CTC: Centro de Tecnologia Canavieira

DH: Demanda Hídrica

DJF: Dezembro-janeiro-fevereiro

EIA: *U.S Energy Information Administration*

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agrícola

EPA: *Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos*

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

ETa: Evapotranspiração ajustada da cultura

ETc: Evapotranspiração da cultura

ETo: Evapotranspiração de referência

FIESP: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GBEP: *Global Bioenergy Partnership*

GEEs: Gases de Efeito Estufa

GIFC: Grupo de Fertirrigação da cana-de-açúcar

GRI: *Global Reporting Initiative*

HadCM3: *Hadley Centre Coupled Model, version 3*

IAA: Instituto do Açúcar e do Alcool

IAEA: *International Atomic Energy Agency* ICONE: Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais

IBGE: Instituto de Geografia e Estatística

IEA: *International Energy Agency*

IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*
ISNA: Índice de Satisfação da Necessidade de Água
JJA: Junho-julho-agosto
Kc: Coeficiente de cultura
Ks: Coeficiente de estresse hídrico
MAM: Março-abril-maio
MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEA: *Millennium Ecosystem Assessment*
N: Nitrogênio
NECAT: Nexus-Água-Clima-Uso da Terra
ONU: Organização das Nações Unidas
PIDC: Pacto Internacional dos Direitos Civis
PH: Pegada Hídrica
PRH: Plano de Recursos Hídricos
RED: *Renewable Energy Directive*
REIDI: Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infra-Estrutura
RIMA: Estudo de Impacto Ambiental
RSF: *Renewable Fuel Standard*
SANEAGO: Companhia de Saneamento de Goiás S/A
SEMARH: Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SEPLAN: Secretaria de Planejamento
SON: setembro-outubro-novembro
TAR: Third Assessment Report
UGH: Unidades de Gestão Hídrica
UNESCO: Organização das Nações Unidas para a educação
UNICA: União da Indústria de Cana-de-Açúcar
UPH: Unidades de Planejamento Hídrico
USDA: *United States Department of Agriculture*
WEAP: *Water Evaluation and Planning*

SUMÁRIO

Introdução e justificativa.....	18
Hipótese.....	22
Objetivo Geral e objetivos específicos.....	22
Estratégias Metodológicas.....	23
Revisão Bibliográfica.....	23
Dados Secundários.....	23
Dados primários e Pegada Hídrica da cana-de-açúcar.....	23
Análise dos Dados.....	24
Capítulo 1: Expansão sucroalcooleira no Brasil.....	26
1.1. Biocombustíveis como alternativa mundial.....	26
1.2. Etanol: demandas e perspectivas.....	29
1.3. Expansão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil.....	35
1.3.1. Expansão da cana-de-açúcar em Goiás.....	39
Capítulo 2: Recursos Hídricos e irrigação da cana-de-açúcar.....	42
2.1. Recursos Hídricos e Escassez.....	42
2.2. Especificidades da água na cultura de cana-de-açúcar.....	45
2.3. Usos da água para produção do etanol.....	47
2.4. Irrigação: novo paradigma da cana.....	50
2.4.1. Tipos de irrigação para cana-de-açúcar.....	54
Capítulo 3: Mudanças Climáticas e uso de água na produção sucroalcooleira	
3.1. Agricultura e mudanças climáticas.....	60
3.2. Desenvolvimento sustentável, água e mudanças climáticas no Brasil.....	62
3.3. Zoneamentos Agrícolas de Riscos Climáticos para cana.....	67
3.4. Pegada Hídrica.....	70
3.4.1. Tipos de Pegada Hídrica.....	74

Capítulo 4: Estudo de caso: Produção de cana-de-açúcar e impacto nos recursos hídricos em Jataí e Quirinópolis – GO

4.1. Caracterização da Área de Estudo.....	77
4.1.1. Recursos Hídricos em Jataí e Quirinópolis	85
4.1.2. Usinas sucroalcooleiras de Jataí e Quirinópolis.....	89
4.2. Metodologia para avaliação de impactos sobre os recursos hídricos.....	95
4.2.1. Pegada Hídrica da cultura de cana-de-açúcar.....	98
4.2.1.1. Resultados.....	101
4.2.2. Cálculo da Sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar.....	103
4.2.2.1. Resultados.....	105
4.2.3. Expansão da produção de cana-de-açúcar e impactos sobre os recursos hídricos.....	106
4.2.3.1. Resultados.....	108
4.2.4. Necessidade hídrica da cultura de cana-de-açúcar em diferentes cenários de mudanças climáticas para o período de 2010-2041	111
4.2.4.1. Resultados.....	113

Capítulo 5: Discussões: Pegada Hídrica, biocombustíveis e Sustentabilidade

5.1. Desafios do uso de indicadores como a Pegada Hídrica.....	113
5.1.1. Políticas de Recursos Hídricos.....	115
5.2. Sustentabilidade X Biocombustíveis.....	121

Considerações Finais.....	126
----------------------------------	------------

Bibliografia.....	129
--------------------------	------------

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Dentro do contexto da consolidação produtiva da cana-de açúcar no sudeste do país (BERINGER *et al.*, 2013), do crescente aumento da demanda e da consequente expansão da fronteira agrícola, verifica-se um aumento considerável desta monocultura rumo ao centro-oeste brasileiro (RIBEIRO *et al.*, 2009). Essa expansão se dá por meio da seletividade dos espaços, que se orienta de acordo com as flutuações do mercado para justificar a escolha de uma região onde será inserida uma nova cultura. Por meio de uma competição, alguns lugares são selecionados em detrimento aos outros (CASTILLO, 2008). As novas regiões são escolhidas levando em consideração fatores edafo-climáticos, tais como: declividade do relevo, recursos hídricos, tipo de solo e clima, entre outros, além de aspectos econômicos, como fatores de logística para escoamento da produção, isenção de impostos e mão-de-obra disponível e barata.

No território brasileiro, a tendência à expansão da produção de cana para o centro-oeste em áreas de Cerrado resulta de uma combinação complexa de fatores. A maior parte dos municípios que são os novos receptores da cana tem por objetivo a produção de combustível (sucroenergéticas), devido, principalmente, ao interesse e apoio do governo federal brasileiro em sustentar o etanol como solução alternativa aos combustíveis fósseis (CANABRAVA, 2005). Há, atualmente, uma grande tendência mundial ao uso de fontes menos danosas ao meio ambiente, isso incentivado pelas indicações alarmantes do quarto relatório do IPCC (2007) que diagnosticaram que o modelo energético atual, baseado na queima de combustíveis fósseis, é o grande responsável pelas mudanças climáticas globais.

Atualmente, a valorização do etanol como combustível limpo vem aumentando a demanda pelo produto, fazendo com que haja uma projeção da expansão da cultura da cana-de-açúcar para os próximos anos, a fim de atender ao crescimento do mercado interno e suprir as exportações (MORAES, 2002). Esta demanda crescente por energias renováveis, a competitividade do álcool como combustível e a aceitação dos usuários pelos veículos movidos a álcool, têm incentivado mais e mais a produção desse combustível. Por conseguinte, o Brasil, detentor de vasta área territorial, vem investindo no setor sucroalcooleiro, usando, em seu discurso oficial, a justificativa de reaproveitamento de áreas de pastagens

degradadas no Cerrado (ANDRADE, 1994). Todavia, pesquisas recentes realizadas para Goiás demonstram que apenas 12% dessa expansão ocorreu em áreas de pastagens degradadas e que a maioria do crescimento acontece em áreas outrora de pecuária, soja, milho, feijão, arroz e, também, de áreas remanescentes de Cerrado (CASTRO *et al.*; MIZIARA, 2009; SILVA e MIZIARA, 2011).

Mediante ações dos governos federal, estadual e municipal, vários locais do centro-oeste passaram a receber incentivos público-privados que lhes conferiram um conjunto de competências infraestruturais (transporte, armazéns e centros de distribuição, entre outros), institucionais (normas, contratos de concessão, parcerias e agências reguladoras, por exemplo) e estratégicas (conhecimento especializado) que, reunidas num subespaço, conferiram fluidez e competitividade na produção da cana (CAMELINI, 2012).

Sob o ponto de vista econômico, o setor sucroalcooleiro do Brasil apresenta grande importância, com reflexo no Produto Interno Bruto (PIB) setorial de US\$ 28 bilhões ou 1,5% do PIB nacional em 2008 (ROVERE *et al.*, 2009), além de refletir em crescimento econômico no nível local, incidindo em urbanização, chegada de mão-de-obra especializada e aumento de vagas de emprego, por exemplo. Contudo, se por um lado a economia é estimulada pelo setor sucroalcooleiro, o aumento expressivo das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Cerrado tem despertado diversas preocupações em relação aos impactos ambientais e sociais decorrentes. Há fortes evidências de que o avanço do setor sucroalcooleiro tem prejudicado a manutenção das áreas remanescentes de Cerrado, como observado na mesorregião Sul Goiana, com elevada fragmentação, sobretudo em áreas de reserva legal e de preservação permanente (FERREIRA *et al.*, 2009). Para Rovere *et al.* (2009), os pontos críticos do setor estão relacionados à alteração da biodiversidade, perda de solos, disponibilidade hídrica, qualidade do ar, clima global, segurança alimentar, concentração de renda e condições de trabalho.

Nesta conjuntura, o desenvolvimento econômico gerado pela produção de cana, por ser subserviente à lógica globalizada, está sendo incompatível com a sustentabilidade ambiental, tornando a expansão da cana fator preocupante para a condição do bioma Cerrado (CAMELINI, 2012).

Além dos problemas de proteção ambiental, o Cerrado, por suas características naturais, possui uma grande demanda por insumos para compensar

deficiências (FREDERICO, 2008). No caso do uso da água, e das lavouras de cana-de-açúcar serem intensivas em água, a crescente demanda pela incorporação de novas áreas de cultivo de cana tem levado à exploração de regiões com condições hidrológicas menos favoráveis, como o caso da região centro-oeste do Brasil (GODOY, 2002). Informações sobre áreas de expansão da cultura de cana-de-açúcar e projeções de demandas de água para o crescimento da biomassa nestas áreas são de grande contribuição para a avaliação de impactos dos programas de biocombustíveis sobre os recursos hídricos, sobretudo frente à importância da agroindústria canavieira para o desenvolvimento econômico, social e ambiental sustentável do país (LIMA, 2010).

Este trabalho pretendeu identificar impactos sobre os recursos hídricos devidos à expansão da cultura de cana-de-açúcar destinada ao processamento de etanol em áreas de Cerrado, onde a prática de irrigação se faz necessária em períodos de déficit hídrico. Para tanto, utilizou-se a metodologia da Pegada Hídrica da cana, que mensura o volume de água (m^3 por ano) utilizada por uma cultura, num determinado sistema produtivo e numa determinada região. Aplicou-se tal metodologia em dois municípios do sudoeste goiano como estudos de caso, Jataí e Quirinópolis, a partir de dados fornecidos por duas grandes usinas instaladas em seus territórios: RAIZEN e Usina Boa Vista. Tais municípios foram escolhidos por serem bastante representativos do novo contexto de expansão sucroalcooleira da região, sendo a região do sudoeste goiano (região de planejamento da SEPLAN) a maior produtora de álcool e açúcar do estado. Além disso, tais cidades abrigam, além das plantações, usinas instaladas recentemente em seus territórios e características representativas do avanço da cana e de seu impacto nos recursos hídricos.

Outro fator da delimitação do estudo de caso é o fato da região se localizar em áreas onde estudos de mudanças climáticas e zoneamento de riscos climáticos (que levam em consideração fatores como temperatura média e deficiência hídrica) revelarem alterações de temperatura e de regime de chuvas (ZULLO et al., 2013), o que conferirá a estes locais uma maior necessidade de irrigação e, portanto, uma maior demanda por água. Contudo, a região é uma das áreas do Cerrado em que a expansão tende a aumentar nos próximos anos (LIMA, 2010) acarretando em maiores impactos aos recursos hídricos.

Com informações obtidas pelo trabalho pretende-se contribuir para a avaliação de critérios de sustentabilidade socioambiental relacionados ao uso da água

na produção sucroalcooleira, na avaliação local da pressão da produção sucroalcooleira¹ sobre os recursos hídricos de determinada área e na proposição de medidas para redução de impactos sobre os recursos hídricos.

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

No Capítulo 1, caracterizou-se a transformação do etanol em produto e analisou-se a expansão do setor sucroalcooleiro para áreas do Cerrado.

No Capítulo 2, é apresentada a importância da água, o novo paradigma do uso da irrigação na cana-de-açúcar e os tipos de irrigação mais utilizados para essa cultura.

No Capítulo 3, mostra-se os debates sobre Mudanças Climáticas Globais e seus impactos nos recursos hídricos e na agricultura e, também, como o uso da Pegada Hídrica na cana é eficiente dentro dos panoramas de análise dos atuais impactos nos recursos hídricos, bem como nos impactos nas projeções climáticas futuras.

No Capítulo 4, é apresentado o estudo de caso da produção de etanol de cana-de-açúcar e os impactos sobre os recursos hídricos nos municípios de Jataí e Quirinópolis em Goiás. Neste capítulo, é apresentado detalhadamente a metodologia utilizada para os cálculos da pegada hídrica, indicador selecionado para mensurar e avaliar a pressão da produção de cana-de-açúcar sobre os recursos hídricos de forma temporal e geograficamente explícita, e os resultados das análises propostas.

No Capítulo 5, têm-se algumas discussões sobre o trabalho e intersecções da metodologia utilizada no estudo de caso com as propostas de um doutorado interdisciplinar. Analisa-se também a proteção dos recursos hídricos e a escassez mundial de água com base nos resultados descritos no Capítulo 4 e a apresentação do debate sobre a real sustentabilidade dos biocombustíveis.

¹ O termo —sucroalcooleirol vem sendo substituído por —sucroenergético- para referenciar a importância do etanol na matriz energética, tanto por sua participação direta no abastecimento de veículos, quanto pela produção de bioeletricidade.

HIPÓTESE

A expansão da cana-de-açúcar no bioma Cerrado leva a um aumento na demanda por água impactando os recursos hídricos. Com as projeções de mudanças climáticas globais apontando aumento de temperaturas na região estudada, ocorrerá maior necessidade de irrigação e, conseqüentemente, de gestão dos recursos hídricos. Logo, o conseqüente aumento da necessidade de água para irrigação da cana, aliado às mudanças no clima, nas próximas décadas, afetarão a disponibilidade de água para as populações locais.

OBJETIVO GERAL

Analisar se o uso da irrigação da cana-de-açúcar para produção de biocombustível, em áreas de condições edafo-climáticas do bioma Cerrado, exerce ou exercerá pressão nos recursos hídricos e se frente às possíveis mudanças climáticas essa pressão será acentuada.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular a pegada hídrica azul, verde e cinza da produção da cana-de-açúcar;
- Verificar se há sustentabilidade na fase agrícola da produção do etanol;
- Analisar se a expansão da produção de etanol causará impactos sobre os recursos hídricos;
- Investigar a sensibilidade da necessidade hídrica da cultura de cana-de-açúcar para produção de etanol, considerando diferentes cenários de mudanças climáticas para o período de 2010-2041.

ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS E ANÁLISE DOS DADOS

São utilizadas quatro etapas e os seguintes métodos neste trabalho:

1 - Revisão Bibliográfica

Para os cinco capítulos, pesquisou-se uma bibliografia sobre a história e a evolução da cana-de-açúcar no Brasil, além de sua ascensão por meio da utilização efetiva do etanol como produto. Levantou-se a literatura sobre avanços econômicos da cultura da cana, dados econômicos, sociais e ambientais sobre as formas de cultivo, aspectos agrometeorológicos e geográficos da expansão da cana. Também foi utilizada uma literatura sobre a importância da gestão dos recursos hídricos, uso de água para a irrigação e técnicas e eficiência dos sistemas de irrigação mais utilizados na cultura da cana-de-açúcar.

Procurando debater sobre o tema das mudanças climáticas e aprofundando a questão acerca dos esforços de inúmeras pesquisas científicas sobre as conexões entre variabilidade climática, impactos ambientais, sociais e suas projeções futuras, debruçamo-nos sobre a leitura dos relatórios das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), por meio do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Além dos Relatórios de Avaliação das Mudanças Climáticas, também utilizamos o Relatório Especial sobre Gestão dos Riscos de Extremos Climáticos e Desastres (SREX), Zoneamento Climático para a cana-de-açúcar e bibliografia específica sobre o tema.

2 - Dados secundários

Para a obtenção dos dados secundários utilizados neste trabalho, investigou-se dados do censo agropecuário de 1995-96 e de 2006. No Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), foram encontrados dados referentes ao crescimento exponencial da produção de cana-de-açúcar nos últimos 20 anos no Brasil.

Na Secretária do Planejamento e Desenvolvimento do Estado de Goiás – SEPLAN coletou-se dados sobre as estatísticas da região em relação à evolução econômica, à participação estadual da região e os dados sobre a produção de açúcar

e de álcool do Estado de Goiás por unidade produtiva. Estes dados foram coletados em vários anuários desta instituição.

Na Secretaria de Meio Ambiente e de Recursos Hídricos – SEMARH de Goiás, foram obtidos os Relatórios de Impactos Ambientais – RIMA de algumas agroindústrias canavieiras do Estado de Goiás. Estes relatórios foram utilizados para uma análise da questão da utilização ou não da irrigação pelas empresas instaladas nos municípios estudados.

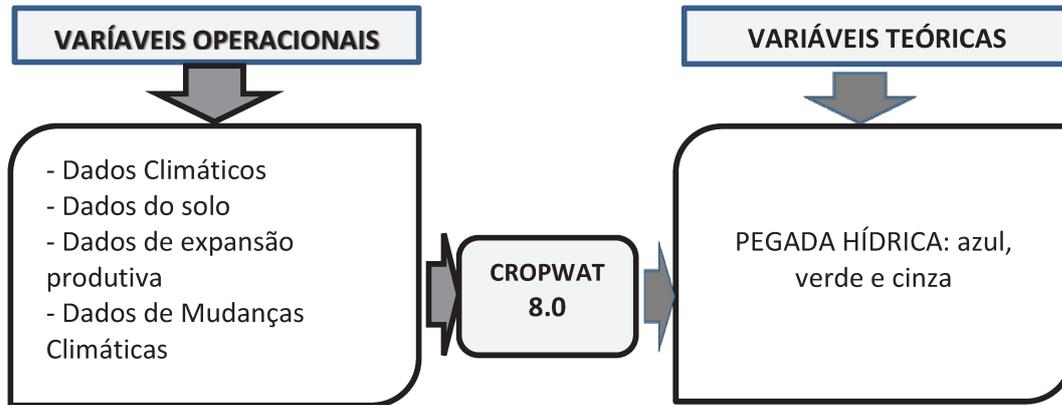
Coletou-se, também, dados por meio das instituições representativas de produtores rurais e das agroindústrias canavieiras sobre o uso e gestão dos recursos hídricos para a irrigação e processamento da cana-de-açúcar. Além de dados do IBGE, sobre rede hidrográfica e formas de abastecimento, juntamente com dados da SANEAGO (Empresa de Abastecimento de Água e Tratamento de Esgoto de Goiás), ANA (Agência Nacional de Água), CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), FAO e relação do índice de satisfação das necessidades de água (ISNA) com a produtividade da cana.

Especificamente para o Capítulo 4, empregou-se dados de utilização de água para irrigação da cana-de-açúcar, fornecidos pela ANA e pelas duas usinas instaladas nos municípios do estudo de caso, sendo elas: Raízen (Jataí) e Usina Boa Vista (Quirinópolis). Estes dados foram obtidos por mensagens eletrônicas (e-mails) enviadas pelos agrônomos responsáveis das duas usinas citadas. O contato com os agrônomos se deu pessoalmente no 1º Seminário de Irrigação da Cana - Irrigacana organizado pela GIFIC (Grupo de Irrigação e Fertirrigação de Cana-de-açúcar), ocorrido em Ribeirão Preto, em outubro de 2014.

3 – Dados Primários e Pegada Hídrica para a cana-de-açúcar

No Capítulo 4, utilizamos o modelo CROPWAT 8.0 para calcular a Pegada Hídrica dos municípios estudados. Detalhes do modelo e as etapas requeridas para o seu uso estão expostas de forma detalhada no próprio capítulo. A escolha pela especificação desta metodologia estar no Capítulo 4 teve como objetivo facilitar a compreensão da análise dos resultados dispostos no mesmo.

Abaixo, apresenta-se um esquema resumido da metodologia utilizada para o Capítulo 4:



4 – Análise dos Dados

Após a obtenção dos resultados gerados pelo modelo CROPWAT 8.0, foram analisados os resultados frente aos problemas de escassez e de gestão dos recursos hídricos e sobre a sustentabilidade da produção de biocombustíveis como o etanol.

CAPÍTULO 1:

EXPANSÃO SUCROALCOOLEIRA NO BRASIL

1.1 Biocombustíveis como alternativa mundial

Os biocombustíveis são provenientes de biomassa renovável para o uso em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (BRASIL, 1978). Derivam de matérias-primas de produção renováveis, como produtos de origem vegetal e animal: cana-de-açúcar, milho, soja, semente de girassol, madeira, celulose e sebo (Figura 1).

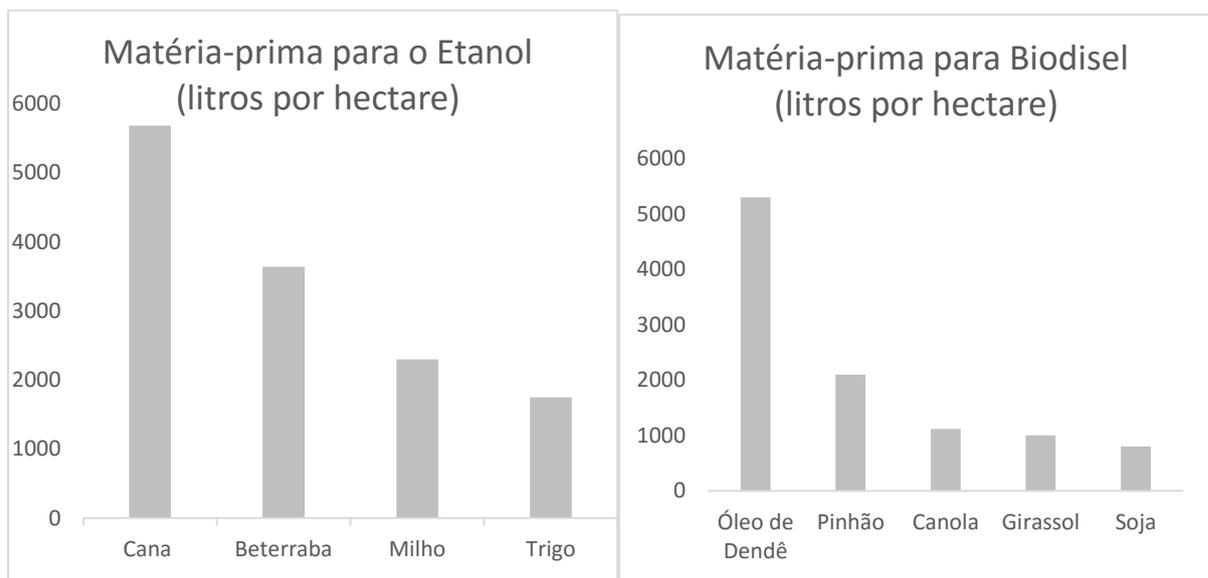


Figura 1: Produção por hectare de plantas utilizadas para a produção de biocombustíveis. Fonte: OCDE, 2004.

Segundo Leite e Leal (2007), a produção mundial de biocombustíveis é baseada em tecnologias de primeira geração o que significa produção de etanol a partir de açúcares ou amidos (cana, beterraba, milho, trigo, mandioca) e biodiesel de óleos vegetais ou gordura animal (soja, mamona, dendê, sebo e óleo de fritura).

Várias tecnologias que utilizam os materiais lignocelulósicos como matérias-primas (resíduos agroflorestais, madeira de florestas plantadas, culturas energéticas de curto ciclo, lixo urbano), são mais baratos mais abundantes e podem ser produzidos nas mais variadas condições de solo e clima.

Diante da preocupação mundial acerca da diminuição da dependência energética do petróleo, bem como a substituição permanente dos combustíveis fósseis, há um crescente desenvolvimento de pesquisas e tecnologias para combustíveis à base de biomassa, como incentivo às fontes de energias renováveis menos danosas ao ambiente (BACCARIN, 2005).

Neste contexto, o etanol produzido no Brasil tem como principal matéria prima a cana-de-açúcar, cultura presente na história do país desde a sua colonização, mas que somente a partir de 1931, mediante o decreto nº 19.717 (BRASIL, 2005), houve a destinação de parte da lavoura de cana para a produção de etanol com a mistura compulsória de, no mínimo, 5% de etanol anidro² à gasolina. Com a criação em 1933 do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), foi dado um grande passo na indústria sucroalcooleira, pois resultou em um crescimento do papel do Estado na regulamentação do setor na tentativa de amenizar as constantes tensões entre usineiros e fornecedores de cana (TÁVORA, 2011).

Após a primeira crise do petróleo, em 1975, surge o Programa Nacional do Alcool (Proálcool) (BRASIL, 1975), que tinha por objetivo garantir o fornecimento de energia para os mercados interno e externo, além de apoiar a diversificação da produção da indústria açucareira por meio da modernização e instalação de novas unidades produtoras e de intervenções no mercado, estimulando a produção de álcool. Em 1979, devido ao novo aumento dos preços do petróleo, o programa foi expandido com o incentivo de uso do etanol hidratado em motores adaptados ou especificamente produzidos para tal. Como consequência, a produção de etanol cresceu de 0,6 bilhão de litros, em 1975, para quase 12 bilhões de litros, em 1985 (CGEE, 2007).

Nos anos 80, a produção do etanol foi severamente reduzida em razão da situação econômica do país, na chamada década perdida, tornando o Proálcool um programa economicamente não viável (LIMA, 2002). O aumento do preço do açúcar e a liberalização da exportação do produto em 1988 levaram à redução da produção do biocombustível e, por consequência, acabou por desencadear na redução da produção de carros movidos a etanol.

² Etanol anidro apresenta em torno de 0,5% de água em volume, em sua composição.

Já nos anos de 1990, com o crescimento de questões ambientais em escala mundial, a importância de combustíveis alternativos se tornam importantes nas discussões do aquecimento global na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento realizado na cidade do Rio de Janeiro (ECO -92). Essa conferência teve como resultado posterior a assinatura de protocolos como os de Montreal (tentativa de eliminação dos gases que destroem a camada de ozônio) e Kyoto (redução das emissões de gases de efeito estufa), iniciando o estabelecimento de metas de redução de emissões e agendas de comprometimento de melhorias sociais e ambientais, como a Agenda 21 (SCHAFFEL et al.,2010). Estas novas preocupações globais se tornaram um marco importante para o início da consolidação do etanol de cana-de-açúcar brasileiro nas ações de reforma dos setores de energia e transportes dos países com metas de redução ou limitação de emissões de Gases de Efeito Estufa – GEEs (GIBBS, et al., 2008).

Em 2000, ocorre o retorno do Programa Brasileiro de Álcool, ratificando o reconhecimento do etanol combustível como uma das principais vias de combate ao aquecimento global e de garantia de oferta de um combustível alternativo aos fósseis. É neste período que se inicia a reestruturação institucional do setor sucroalcooleiro por meio da criação do Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA), em 2000, e pela ampliação do campo de atuação da Agência Nacional do Petróleo, Gases Naturais e Combustíveis (ANP) pela Lei 11.097 de 2005 (BRASIL, 2005).

No ano de 2003, com o advento dos carros *flex-fuel* (carros movidos tanto a gasolina quanto a etanol hidratado³) e sua grande aceitação pelos consumidores, a frota nacional de veículos somente a gasolina ou a etanol teve uma significativa redução, enquanto a frota *flex-fuel* cresceu exponencialmente. Em 2014, a frota de carros *flex-fuel* já representava mais de 84% da frota de veículos produzida no Brasil (ANFAVEA, 2013).

Nos últimos anos (2012, 2013 e 2014), o setor sucroenergético encolheu pelo menos 20%, devido, principalmente, aos preços em baixa, custos elevados, clima desfavorável e alto endividamento das usinas. Nesta conjuntura, a Política Energética Nacional teve uma complementação através da Lei Federal nº 12.490/2011 (BRASIL, 2005) de forma a garantir o abastecimento de biocombustíveis em todo o território

³ Etanol hidratado: apresenta cerca de 5% de água, em volume na sua composição.

brasileiro (ELBEHRI, 2013). Considerada um marco importante da política pública, esta lei trata da fiscalização das atividades referentes ao abastecimento e utilização de biocombustíveis considerando, inclusive, os benefícios ambientais destes.

Os benefícios ambientais do uso de biocombustíveis são ressaltados no Plano Nacional de Agroenergia, outro importante marco nacional para as ações públicas e privadas na geração de conhecimento e tecnologias que contribuem para o estímulo da expansão da produção doméstica de etanol, aumento da eficiência energética, produção sustentável e uso racional da energia renovável (MAPA, 2006).

Todos os programas que agregam ações voltadas à sustentabilidade de negócios do setor sucroenergético brasileiro vêm sendo reconhecidas e, muitas vezes, questionadas mundialmente (NASSAR, 2011). Mercados mais fechados como o da União Europeia, que exigem o cumprimento de critérios de sustentabilidade para os biocombustíveis consumidos em seus estados membros, estimularam o desenvolvimento de sistemas de certificação para o açúcar e o etanol brasileiro. Importante desdobramento destas iniciativas foi o reconhecimento pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em 2010, do etanol brasileiro como biocombustível avançado capaz de reduzir as emissões de GEEs em pelo menos 50% quando comparado com a gasolina (RIBEIRO, 2010).

Todavia, fica evidente que o crescimento da produção de cana-de-açúcar para a fabricação principalmente de biocombustíveis, devido às proporções que atinge, passa a gerar diversos problemas e discussões socioambientais em relação aos locais de sua produção, sua distribuição, e acarreta discussões ambientais no nível global (ROVERE *et al.*, 2009).

1.2. Etanol: demandas e perspectivas

Uma conjuntura de fatores associados, como a evolução da indústria de veículos bicombustíveis no Brasil, a consolidação do etanol como um combustível limpo e alternativo à gasolina, o aumento dos investimentos estrangeiros no setor sucroenergético e a elevação cada vez maior do preço do etanol no período da entressafra, vêm motivando, nos últimos anos, uma maior intervenção do Estado neste mercado (CASTRO, 2012).

Já o consumo mundial de biocombustíveis cresceu rapidamente na década de 2000 à 2010, principalmente a partir da sua segunda metade, chegando a uma taxa de crescimento de cerca de 150% entre os anos de 2000 e 2006 (CGEE, 2009). Os Estados Unidos e o Brasil são os maiores líderes desse mercado, estimando-se que ambos são responsáveis por mais de 70% do consumo mundial de biocombustíveis no ano de 2011, cerca de 900 e 380 mil barris/dia, respectivamente (EIA, s/d).

O etanol combustível representa a maior parte do consumo mundial de biocombustíveis, cerca de 70% do consumo total. Entre os anos de 2000 e 2014, o consumo de etanol aumentou cerca de 420%, atingindo mais de 1,9 milhão de barris/dia (EIA, s/d), sendo seus principais países consumidores os Estados Unidos, Brasil, Canadá, China e Alemanha. Apesar do mercado de combustíveis renováveis europeu ser dominado pelo biodiesel (cerca de 70%), o consumo de etanol tem aumentado nos últimos anos especialmente na Alemanha, França, Suécia e Espanha (EIA, s/d).

A participação do etanol brasileiro no mercado internacional assim como a liderança deste mercado variam ao longo dos anos conforme políticas internas relacionadas a biocombustíveis amadurecem entre os países. Nos anos de 2012, 2013 e 2014, o Brasil teve como principais mercados importadores de etanol a América (com destaque para os Estados Unidos e Jamaica); a Europa (com destaque para o Reino Unido e Países Baixos) e a Ásia (com destaque para o Japão e Coreia do Sul) (MAPA, 2010) (Figura 2).

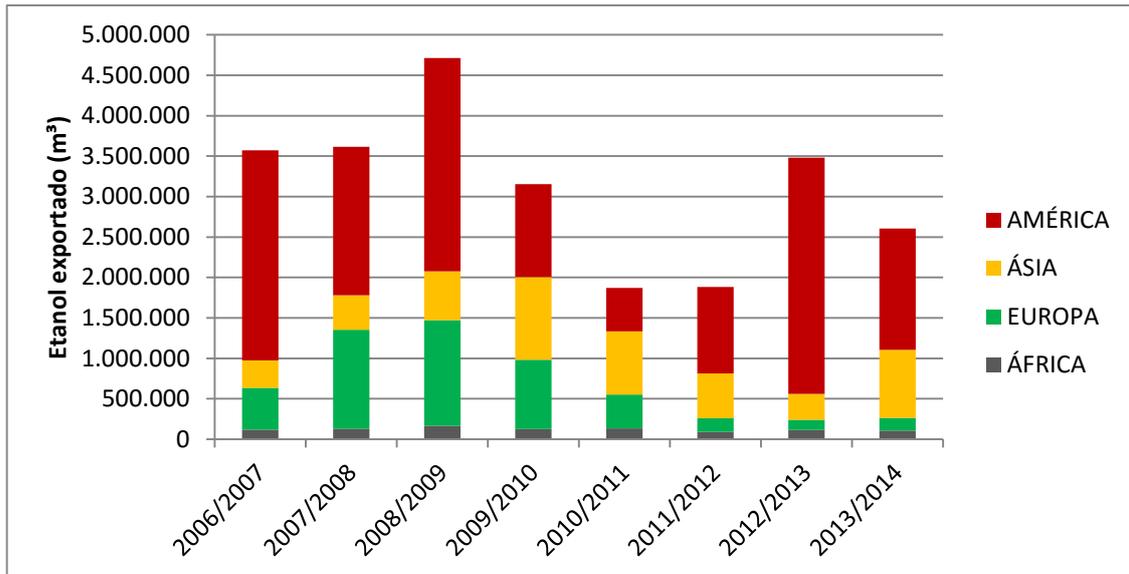


Figura 2: Exportações brasileiras de etanol (em m³) por continente nos anos de 2006-2014. Fonte: UNICA, s/d

Vários países estão introduzindo os biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel) no setor de transportes, como a Tailândia, que visa substituir 17% do óleo fóssil por biodiesel; a Índia 20%; a China, que promove a produção de biocombustíveis visando uma participação de 15% de biocombustíveis na energia de transporte em 2020. Nos Estados Unidos, o Ato de Segurança e Independência Energética de 2007⁴ estipulou uma medida mandatória para a produção 36 bilhões de galões de biocombustível a partir do milho e celulose em 2022. A União Europeia pretende substituir 10% dos combustíveis para transporte por energias renováveis em 2020 (GERBENS-LEENES e HOEKSTRA, 2011).

As discussões acerca dos biocombustíveis, como as relacionadas à segurança energética e metas de redução de emissões de GEEs, questões quanto à sustentabilidade e boas práticas na produção destes energéticos, garantiram a instituição, em 2005, do *Renewable Fuel Standard* (RSF), obrigando a mistura de combustíveis renováveis à gasolina e o reconhecimento, em 2010, a partir da RFS⁵, do etanol de cana-de-açúcar como biocombustível avançado (GIBS *et al.*, 2008).

Dentro disso, houve um incentivo para que o governo brasileiro aumentasse ainda mais a produção de cana-de-açúcar voltada ao etanol. E, embora

⁴ *Energy Security and Independence Act of 2007*

⁵ RSF é uma das ações do Energy Independence and Security Act.

vários mercados de biocombustíveis sejam dominados por biodiesel (80%), o consumo de etanol tem aumentado rapidamente nos últimos dois anos (2011 e 2012), com tendência de importação do etanol brasileiro para a próxima década (SUGARCANE.ORG, s/d; USDA, 2013). Nesse panorama, o Brasil tende a se manter como líder no mercado internacional de etanol (MME/EPE, 2012; USDA, 2013).

Quanto ao mercado interno brasileiro, a demanda de etanol continuará em franca expansão no país entre 2010 e 2020, devido ao aumento expressivo da frota de veículos *flex-fuel*. Os veículos *flex*, que em 2010 representavam 63% da frota nacional de veículos leves circulantes, chegarão a representar cerca de 80% da mesma em 2020 (MME/EPE, 2013). De acordo com a EPE (MME/EPE, 2013), a demanda doméstica de etanol no decênio de 2011-2021 será plenamente atendida pela expansão da oferta interna, mais retraída no início do mesmo período. A demanda doméstica do etanol hidratado passará de 14,6 bilhões de litros para 52 bilhões de litros entre 2011 e 2021.

A *United States Department of Agriculture - USDA* (2013) previu em 2013 um aumento de 47% na produção de etanol no Brasil, principalmente para atender à crescente demanda doméstica e aumento das exportações para União Europeia e Estados Unidos. Agregando as demandas internas e externas, o relatório prevê uma demanda de 67 bilhões de litros em 2022.

O governo brasileiro já vem implementando desde 2003 vários investimentos no setor sucroenergético com intuito de aumentar a produção de cana. Essas medidas, além de isenções fiscais e subsídios, implicam numa expansão das áreas de produção, como vem ocorrendo em vários locais do país com destaque para a região centro-oeste (MORAES, 2005) (Figura 3).

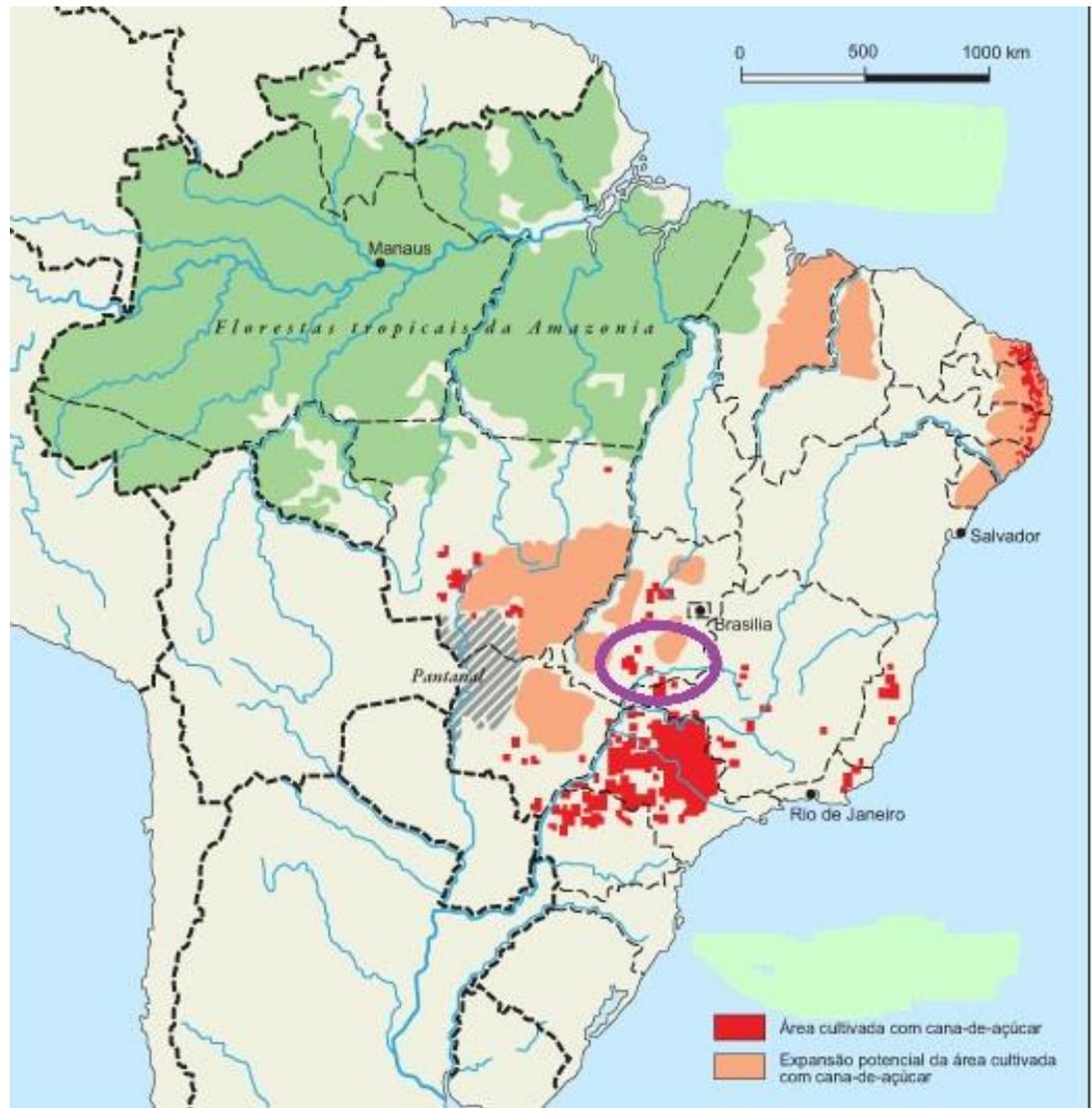


Figura 3: Áreas cultivadas e com expansão exponencial de cana-de açúcar.
 Fonte: MAPA, 2013.

No contexto mundial, considerando que não existem perspectivas de melhoras no contexto das mudanças climáticas, tendo como problema principal a queima de combustíveis fósseis e, sendo esse combustível finito, torna-se indispensável aos países industrializados buscar alternativas que garantam o abastecimento (MARIN, 2013). Por isso, o Brasil se insere como um grande fornecedor mundial de etanol. Como pode ser misturado à gasolina sem comprometer sua qualidade, trazendo ainda algumas vantagens, como a eliminação de aditivos (notadamente chumbo e benzeno, ambos de alta toxicidade) e redução dos níveis de enxofre, ele se transforma numa excelente alternativa complementar para o cumprimento de metas ambientais previstas em acordos internacionais, apesar do

sistema produtivo ser controverso quanto à sua sustentabilidade socioambiental (ANP, 2008).

Contudo, a partir de 2013, há diversos levantamentos que indicam que são consistentes os planos de utilização do etanol como parte da solução para a matriz energética em grandes consumidores mundiais, como Estados Unidos, União Européia, China e Japão (BAENINGER,2013). O Quadro 1 resume as políticas de alguns países em relação à adição de etanol à gasolina, interpretadas de forma bastante otimista pelos produtores. Esta forte tendência vem mobilizando todo o planejamento do setor, principalmente no centro-oeste, que se estrutura para ter condições de atender às demandas futuras (CASTRO, 2010)

Quadro 1- Adoção da mistura de etanol à gasolina

PAÍS	MISTURA (%)	IMPOSIÇÃO
 Austrália	10	Opcional
 Brasil	20 a 25	Obrigatória
 Canadá	5 a 10	Opcional
 China	10	Opcional
 Colômbia	10	Obrigatória
 Costa Rica	7	Obrigatória
 Índia	5	Obrigatória
 Jamaica	10	Obrigatória
 Nova Zelândia	10	Opcional
 Paraguai	12	Obrigatória
 Tailândia	10 a 20	Opcional
 Austria	10	Opcional
 Dinamarca	5	Opcional
 Finlândia	5	Opcional
 Suécia	5	Obrigatória
 Estados Unidos	10	Obrigatória

Fontes: CAMELINI (2008); OLIVA FILHO (2007); ANP e legislações locais.

1.3. Expansão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

As crescentes demandas por biocombustíveis vêm moldando o uso e a ocupação do solo dos países produtores de bioenergéticos nas últimas décadas (CASTRO, 2010). O Brasil foi considerado, em 2015, o maior produtor de cana-de-açúcar mundial, teve rápida expansão da sua área de cultivo de cana-de-açúcar nas últimas décadas (1996-2016), em grande parte impulsionada pelo seu programa de biocombustíveis iniciado em 1975 (Figura 4).

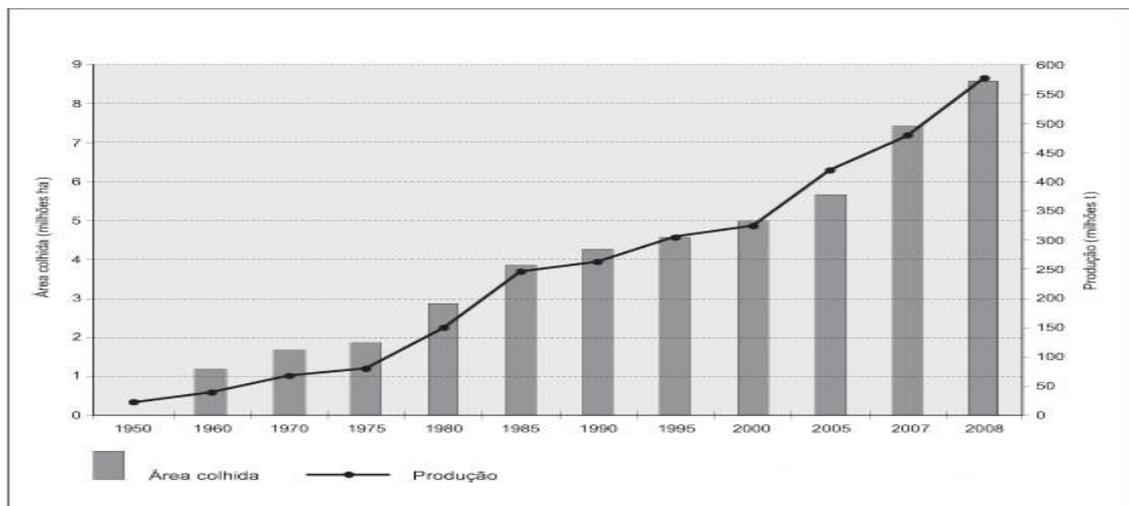


Figura 4: Área colhida e produção de cana-de-açúcar no Brasil. Fonte: IBGE, s/d.

Na década de 90, as áreas ocupadas para produção de cana-de-açúcar concentravam-se nas chamadas regiões tradicionais do sudeste e nordeste (HOLANDA, 1960). É a partir da década de 2000, com a consolidação do setor sucroalcooleiro na região sudeste; a retomada do Programa Proálcool e o aumento da demanda interna de etanol, que novas fronteiras agrícolas para a expansão canavieira tomaram direção ao centro-sul (CTC, 2005) (Figura 5).

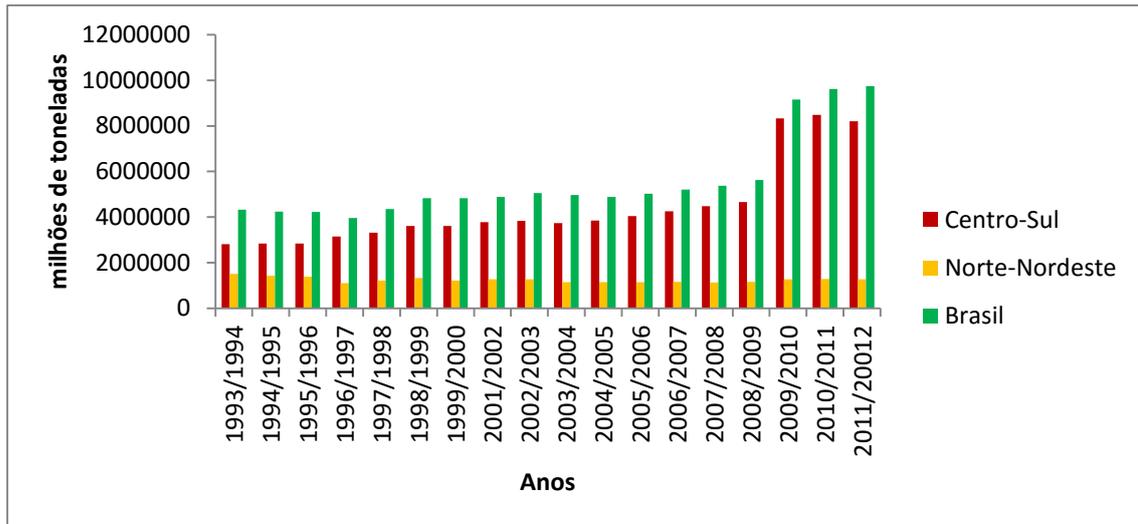


Figura 5: Produção de cana-de-açúcar (em milhões de toneladas) por região entre os anos 1993-2012. Fonte: ÚNICA, s/d.

A área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil em 2014 foi de 10,8 milhões de hectares, com a região centro-sul sendo responsável por 89,7% da área plantada. Aliando a concentração de áreas de cultivo e a elevada produtividade, cerca de 77 t/ha contra 63 t/ha da região norte-nordeste, a região centro-sul é a maior produtora de cana-de-açúcar do país (MAPA, 2010). São Paulo se destaca pela produção de cerca 55% da cana-de-açúcar nacional e mais de 60% da produção da região centro-sul no ano de 2014. Minas Gerais, Goiás, Paraná e Mato Grosso do Sul juntos representaram quase 30% da produção nacional no mesmo ano (UNICA, s/d).

O centro-oeste do país vem se destacando pelo rápido crescimento da área plantada com cana-de-açúcar a partir de 2000 (CORREA, 2013). Esta região passou de 373 mil hectares plantados em 2002 para cerca de 1,42 milhão de hectares em 2011 (UNICA, s/d), representando um aumento de cerca de 280%. Goiás e Mato Grosso do Sul foram os maiores responsáveis por esse aumento, ambos representando cerca de 80% (80 milhões de toneladas) da produção atual dessa região (UNICA, s/d).

A tendência de expansão da cultura da cana-de-açúcar em direção ao Cerrado no Brasil central parece continuar nos próximos anos. O zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar (MANZATTO *et. al*, 2009), uma das ações previstas pelo Plano Nacional de Agroenergia (MAPA, 2006) para desenvolvimento de plano diretor para a expansão sustentável da indústria sucroalcooleira no Brasil, aponta a

região centro-oeste como a de maior concentração de áreas aptas à expansão do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil⁶. Essa região, com destaque para os estados de Goiás e Mato Grosso do Sul, representa, aproximadamente, 47% (cerca de 30 milhões de hectares) das áreas aptas potenciais para expansão do cultivo da cana-de-açúcar, e a região sudeste, com destaque para São Paulo e Minas Gerais, representa cerca de 30% (cerca de 23 milhões de hectares) (MAPA, 2006).

A expansão projetada de aproximadamente quatro milhões de hectares da área de cana-de-açúcar, entre 2010/2011 e 2022/2023, irá se concentrar nas regiões sudeste e centro-oeste (áreas de bioma Cerrado), com 42% e 38% de todo o crescimento em área plantada, respectivamente, de acordo com estudo da FIESP/ICONE (2012), sendo estimado um crescimento de 19% somente no sudoeste goiano.

O estado de Goiás é o que deverá apresentar, nos próximos anos, os maiores aumentos da área plantada com cana-de-açúcar: 41%. Existem preocupações em até que ponto o aumento da produção de cana-de-açúcar tem causado o desmatamento e o deslocamento de culturas agrícolas no Brasil, bem como impactos alarmantes para as populações locais (RIBEIRO, 2010; WALTER et. al., 2011). A comparação das alterações do uso do solo nas regiões do Brasil com maior concentração de áreas destinadas à plantação de cana-de-açúcar e tendências de expansão dessa cultura revela uma redução nas áreas de pastagens e aumento das áreas de lavouras. Em relação à região centro-oeste, percebe-se uma redução na área de matas e florestas concomitantemente com o grande aumento da área de lavouras e da cana-de-açúcar (Figura 6).

⁶ No estudo foram excluídas terras com declividade superior a 12%, áreas com cobertura vegetal nativa, terras indígenas, áreas urbanas, afloramentos de rocha e mangues.

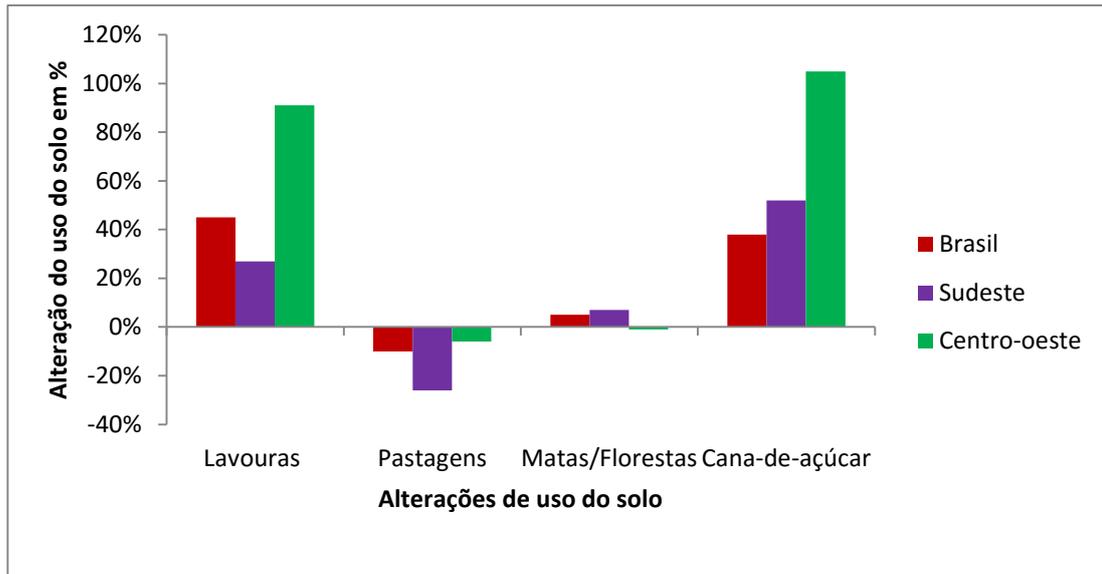


Figura 6: Alterações do uso do solo no Brasil e nas regiões sudeste e centro-oeste entre 1998-2008. Fonte: IBGE, s/d.

A expansão das áreas de cana-de-açúcar vêm alterando a ocupação do solo, e conseqüentemente impactando o uso dos recursos hídricos. Esses impactos são um dos principais problemas relacionados à sustentabilidade da produção de etanol, visto que tal atividade representa uma alternativa aos combustíveis fósseis e tende a se expandir ainda mais (SIMS, 2003). A agricultura e, portanto, a produção de biomassa é um dos principais usos antropogênicos que resultam em alterações na quantidade dos recursos hídricos (cerca de 70% da água captada no mundo é destinada à irrigação) e na qualidade das águas (excesso de carga de nutrientes e poluentes associadas com o uso de fertilizantes e agrotóxicos pela agricultura) (MEA, 2005).

Esses dados apontam que um dos principais compromissos envolvendo decisões políticas para os próximos anos envolverá o uso de recursos naturais, sobretudo, os relacionados à produção agrícola e à qualidade da água, uso da terra e biodiversidade, uso da água e a biodiversidade aquática e o uso de água para irrigação e a futura produção agrícola. Estas discussões permeiam fatores tanto ambientais quanto sociais, gerando uma necessidade de discussões interdisciplinares sobre o tema.

1.4. Expansão da cana-de-açúcar em Goiás

As terras do Cerrado brasileiro, desde a segunda metade do século XX, vêm sendo usadas para a execução de um projeto de modernização, que tem na produção agropecuária a sua estratégia principal, para incorporar esse espaço a circuitos produtivos internacionais (Figura 7). Como parte do projeto de modernização, esse espaço foi ocupado para a realização de produção que atende, prioritariamente, às demandas externas e, de forma complementar, às internas, como se pode observar com a criação de bovinos e o cultivo de gêneros agrícolas como soja e milho (CAMELINE, 2012).

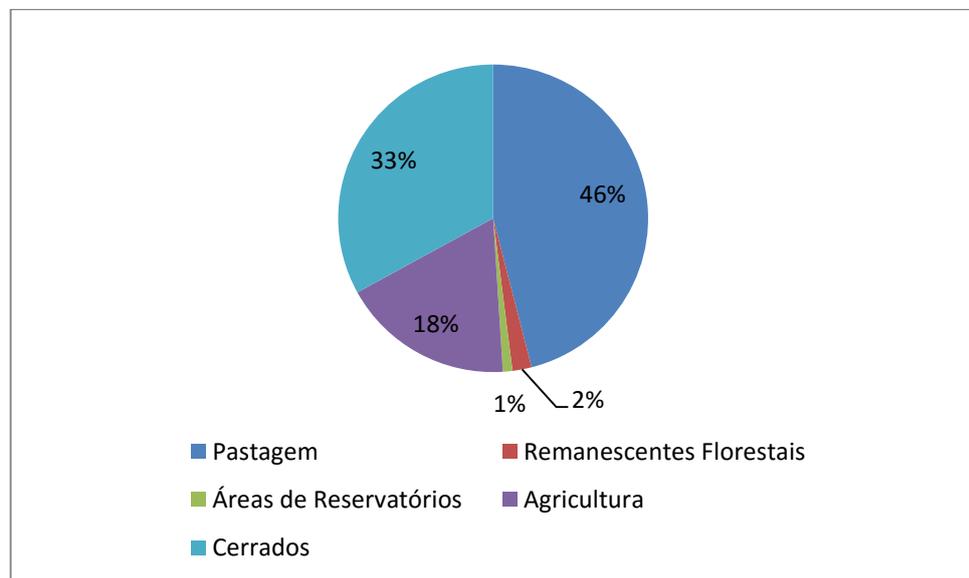


Figura 7: Uso e cobertura do solo no Centro-oeste brasileiro em 2012. Fonte: Elaboração própria com dados do IBGE, 2012.

Todavia, a saturação de terras disponíveis no sudeste brasileiro moveu a expansão para a região centro-oeste por meio da substituição de atividades rurais (LIMA, 2012). Uma das atividades com maior possibilidade para esse processo de substituição foi a da pecuária extensiva, já que a região tem uma elevada área de pastagens. Estas se encontram, na sua maioria, degradadas, tendo baixos índices de produtividade para a pecuária de corte da região (FREDERICO, 2008). Apesar das áreas de pastagens realmente estarem sendo utilizadas para a nova expansão da cana-de-açúcar, ela não se limita a estas áreas e, também, vêm incorporando áreas de pequenos produtores de arroz, feijão e outras culturas, além de áreas de remanescentes de Cerrado (SHIKI, 1997).

A expansão para o Cerrado deveu-se não só às excelentes perspectivas de crescimento do etanol, mas, também, dos grandes incentivos no plano estadual, onde foram agregados alguns benefícios à camada de incentivos federais. Entre eles, menciona-se a redução ou isenção de determinados impostos por meio de programas de fomento, a diminuição de restrições legais para exploração do território e toda e qualquer facilidade que possibilitasse a redução de custos da produção e distribuição e, finalmente, os municípios tornam-se opcionalmente signatários dos programas de fomento e agregaram outra camada de incentivos, como cessão de terrenos para construção das plantas industriais e isenção parcial ou total de impostos por um período determinado (MORAES, 2002).

Neste contexto, Goiás aparece como a área mais atrativa dentro dos estados do centro-oeste, por apresentar baixo preço de terras, clima quente e úmido com alternância entre estação seca e chuvosa, solos basálticos muito férteis, facilidade logística de distribuição do produto, além de grande aceitação por parte dos proprietários pecuaristas e produtores de grãos de se tornarem produtores de cana-de-açúcar (KOHLHEPP, 2008). O reflexo do aumento dos investimentos no centro-oeste e, principalmente, em Goiás, é o aumento das áreas de cultivo de cana-de-açúcar e a elevação do estado ao posto de segundo maior produtor desta cultura no país (MAPA, 2012) (Figura 8).

Dentro do estado de Goiás, destaca-se a microrregião sudoeste, pois nela estão os municípios com maior produção de cana-de-açúcar, entre eles os dois municípios que foram selecionados como objetos deste trabalho: Jataí e Quirinópolis. Nestes municípios, vê-se grande investimento no setor que não considerou os grandes capitais que seriam mobilizados, a oscilação do preço do petróleo e, conseqüentemente, do álcool no mercado internacional. Também não foram considerados os problemas que seriam causados pelo lançamento de resíduos industriais nos rios e solos e, nas áreas cultivadas, o problema de expansão dos canais por áreas de floresta e cerrados, destruindo as associações vegetais naturais, e por áreas de pecuária e de lavouras de subsistência, provocando um desequilíbrio no abastecimento alimentar, além dos impactos sociais.

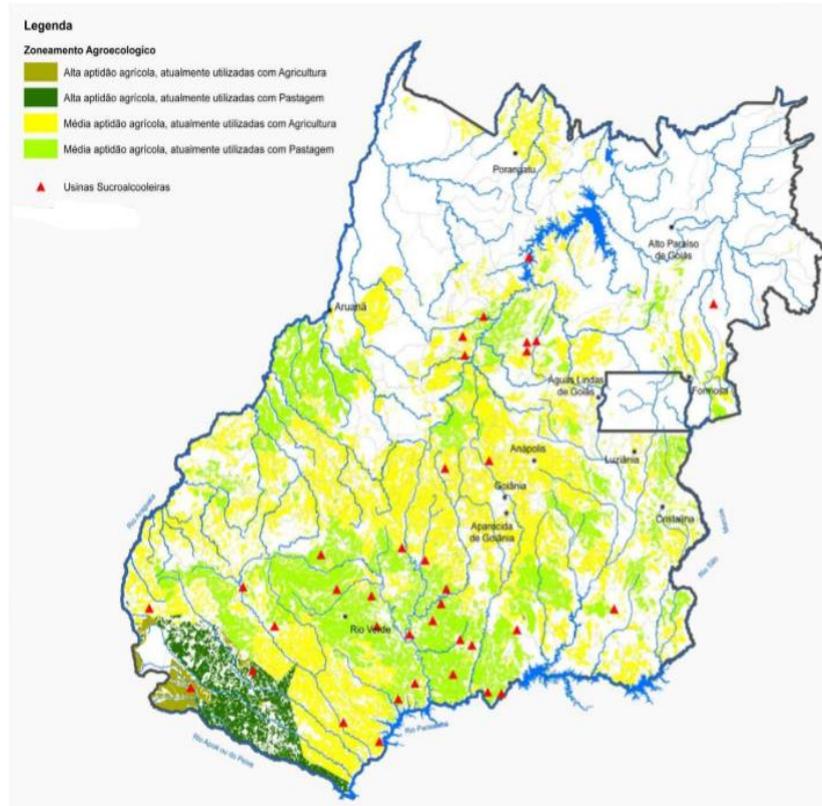


Figura 8: Área de expansão da cana-de-açúcar em Goiás com destaque para a localização das usinas instaladas. Fonte: PERH, 2012.

A avaliação das alterações dos usos do solo devidas à expansão de áreas produtoras de cana-de-açúcar e os potenciais impactos sobre os recursos hídricos, considerando dois municípios como unidades de estudo, proporciona uma análise integrada dos fatores ambientais e sociais. Esta análise está detalhada no Capítulo 4.

CAPÍTULO 2:

RECURSOS HÍDRICOS E IRRIGAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR

2.1 Recursos Hídricos e Escassez

Devido a todos os problemas de escassez e gestão de seu uso, a água possui múltiplos aspectos de análise, por ser um recurso socioambiental no qual se atribui grande valor econômico e social e que constitui objeto de disputas e conflitos significativos.

Apesar de mais de dois terços da superfície do globo terrestre ser coberta pela água, a situação deste recurso está longe da abundância que comumente costuma-se pensar. É que, do ponto de vista socioeconômico dominante, a noção de recursos hídricos tem sido aplicada restritivamente apenas às águas doces, pois somente elas são utilizáveis para a maior parte das necessidades humanas, sendo que dificuldades técnicas e custos financeiros elevados impedem atualmente a dessalinização em grande escala (COUTINHO, 2005).

De acordo com levantamentos da UNESCO no âmbito do Decênio Hidrológico Internacional (1964- 1974), as águas doces representam apenas 2,7% (cerca de 38 milhões de km³) da disponibilidade hídrica total do planeta (1.380 milhões de km³). Destas águas, a maior parte (77,2%) se encontra em estado sólido nas geleiras, *icebergs* e calotas polares, sendo o restante distribuído da seguinte forma: 22,4% armazenadas em aquíferos e lençóis subterrâneos (dos quais cerca da metade se encontra a mais de 800 metros de profundidade); 0,36% em rios, lagos e pântanos; e 0,04% na atmosfera. Estes dados mostram que a quantidade de água doce disponível para o consumo humano (presente nos lagos, rios e aquíferos de menor profundidade) representa menos de 1% da disponibilidade hídrica mundial (COUTINHO, 1999).

Esta situação geral de escassez, em termos médios e absolutos, seria realmente insustentável face ao crescimento constante das demandas urbana, agrícola e industrial se a água não fosse um recurso natural constantemente renovado através dos processos físicos do ciclo hidrológico (CAPUTO, 2009). Contudo, a

questão da escassez dos recursos hídricos não pode ser vista apenas em termos geofísicos e quantitativos, sendo uma questão eminentemente social relacionada também a padrões de desenvolvimento econômico (urbanização, industrialização, irrigação), de demanda e de qualidade das águas (CASTRO, 2011).

Há uma distinção formal entre escassez quantitativa, escassez qualitativa e escassez econômica (devido a custos marginais exorbitantes de adução ou tratamento) dos recursos hídricos numa dada região, embora os três aspectos tendam a manifestar-se indissociadamente.

Diante de fluxos e estoques de água relativamente constantes nas diferentes bacias hidrográficas, a urbanização, a industrialização e o desenvolvimento agrícola têm provocado um aumento progressivo da quantidade de água captada e consumida, bem como a degradação da qualidade dos mananciais em diferentes países e regiões (BRAGATO, 2008).

Com o processo de urbanização e industrialização das bacias hidrográficas, há uma tendência progressiva e generalizada de queda no coeficiente “recursos disponíveis para utilização” sobre “volume efetivamente utilizado” pelos diferentes tipos de usuários. Esta queda, que se reflete no aumento de conflitos de uso e na captação de água em mananciais cada vez mais distantes dos centros de consumo, revela a emergência de uma escassez relativa ressentida de maneira desigual em diferentes períodos e em pontos diversos do território de cada país (VIEIRA, 2008).

Portanto, deve-se reconhecer que a noção de escassez não se forma na sociedade sem uma ampla referenda política, social, econômica e, até mesmo, técnica ambiental. Com relação ao último aspecto, deve-se lembrar que uma situação de escassez de água raramente se caracteriza por um resultado médio deficitário, em termos absolutos, no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica; no cotejamento da vazão média disponível nos mananciais com as vazões de captação urbana, agrícola e industrial (ZANONI *et al.*, 1998).

Mesmo quando a demanda de água da sociedade é inferior à vazão disponível, a escassez pode existir, pois também é preciso considerar a componente ambiental da demanda hídrica (KOEHLER, 2008). Esta noção indica que uma

quantidade razoável da vazão disponível nos rios deve ser destinada especificamente para a diluição da carga poluidora que recebem, permitindo-lhes assegurar uma capacidade mínima de autodepuração, necessária não apenas para a preservação da vida aquática, mas também para garantir as potencialidades de uso sanitário e econômico da água (CHRISTOFIDIS, 2003).

A água propicia vários tipos de uso. Assim, entre as alternativas apontadas para uma maior eficiência da água, está uma melhor gestão dos recursos hídricos, mediante a integração e melhorias nos usos múltiplos (LATHUILLERE, 2012). Dessa forma, os recursos hídricos são melhores utilizados mediante o consumo racional e aceitável, devendo ser regulados com critério de equidade, benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Ainda que a Lei Federal nº 9.433/1997 estabeleça que, no caso de escassez, os usos prioritários da água devam ser o abastecimento humano e a dessedentação dos animais, a correta gestão deve prever a sua plena utilização, na mais ampla forma, que além de seus usuários naturais contempla ainda outros setores tidos como transversais.

O uso dos recursos hídricos por cada setor pode ser classificado como consuntivo e não-consuntivo. Consuntivo quando, durante o uso, uma determinada quantidade de água é retirada dos mananciais e logo após a sua utilização, uma quantidade menor ou com qualidade inferior é retornada ao meio, ou seja, parte da água retirada é consumida durante seu uso. Não-consuntivo quando é extraída uma parte de água dos mananciais e, depois de utilizada, é devolvida a esses mananciais a mesma quantidade e com a mesma qualidade, ou ainda nos usos em que a água serve só como veículo para certa atividade, ou seja, a água não é consumida durante seu uso (CARDWELL *et al*, 2010).

No caso da cana-de-açúcar, por se tratar de um uso consuntivo, o aumento exponencial do uso da água pode vir a representar um impacto considerável para o fornecimento de água potável para os demais usos da sociedade e, sem planejamento, pode acarretar em problemas de escassez.

2.2 Especificidades da água na cultura da cana-de-açúcar

O clima é responsável por grande parte da produtividade das lavouras de cana-de-açúcar, que possui, em média, 70% de água na composição de sua matéria prima. Em suas fases iniciais de crescimento e desenvolvimento, onde as plantas apresentam pouca idade, o teor de água nos tecidos é ainda maior, seja em estado de planta ou soqueira, pois atua como solvente responsável nas reações metabólicas que ocorrem nas células, tecidos e órgãos. A manutenção do turgor nas células vegetais permite a continuação dos processos vitais, como divisão celular e fotossíntese (CONAB, 2012). No entanto, a necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia de acordo com diversos fatores, como estágio vegetativo e fisiológico da lavoura, cultivar, área foliar e densidade radicular, entre outros (FIGUEIREDO, 2008).

A cana-de-açúcar é uma planta que possui grande área foliar e apresenta enorme capacidade fotossintética e produção de matéria seca (CAPUTO *et al.*, 2008). Em condições de temperatura ambiente mais elevada, as plantas de cana-de-açúcar tornam-se ainda mais eficientes, em função da atividade mais acelerada de diversas enzimas, que requerem água de forma constante.

Por outro lado, em condições de déficit hídrico acentuado, há favorecimento do fechamento de estômatos, estruturas presentes nos tecidos de revestimentos da planta, principalmente das folhas, que participam ativamente do processo de transpiração vegetal. A falta de água pode levar à redução no desenvolvimento e multiplicação das células que compõem os tecidos, afetando a expansão dos órgãos (DOMINGUEZ-FAUS, 2009).

Na cana-de-açúcar, assim como em outras culturas, a deficiência hídrica promove a restrição de processos fisiológicos que determinam a diminuição do acúmulo de massa seca e a taxa de crescimento da cultura. A carência de água leva ao enrolamento das folhas, diminuindo, dessa forma, a exposição da área foliar (MACEDO, 2005). Nesse cenário, o deslocamento de água no interior do vegetal também fica prejudicado, pois os mecanismos de adaptação das plantas são influenciados pela umidade relativa do solo, temperatura ambiente, quantidade de gás carbônico disponível no ambiente produtivo, além da intensidade e qualidade da radiação solar.

O déficit de água sofrido pela cultura com o passar das safras é uma das importantes causas de queda da produtividade, pois provoca redução da brotação, diminuição do crescimento das plantas e morte das soqueiras. Com o avanço da idade do canavial, o percentual e o tamanho médio desses espaços vazios tendem a aumentar, favorecendo o aparecimento de plantas daninhas (ESCHRICH, 2000). Dessa forma, o regime hídrico de uma safra influencia de forma direta a safra subsequente. No entanto, havendo maior disponibilidade hídrica do solo, touceiras mais desenvolvidas passam a ocupar os espaços vazios, aumentando a produtividade agrícola.

Percebe-se que a disponibilidade hídrica é um dos fatores ambientais que mais influenciam na produção e longevidade da cana-de-açúcar, pois determina as condições de estabelecimento da cultura durante o estágio vegetativo. É importante destacar que, estando o solo suprido de água, há maior renovação das raízes, aumentando a eficiência do sistema radicular (MACEDO *et al.*, 2001).

A quantidade de água armazenada no solo disponível às plantas varia de acordo com a textura e as características físicas, químicas e biológicas do mesmo. Revolver ou escarificar o solo, principalmente aqueles com mais agregação de partículas, pode representar o fornecimento de boas condições hídricas, desde que haja fornecimento adequado de água, seja pelas condições pluviométricas ou por meio de irrigação (ROMERO *et al.*, 2000).

De maneira geral, a irrigação tende a aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, em função da maior disponibilidade de solventes e nutrientes, que são indispensáveis para a ocorrência de reações químicas. Plantas bem supridas em água tendem a produzir mais e apresentar um metabolismo mais ajustado, passando, inclusive, a resistir mais ao ataque de pragas e doenças (SILVA *et al.*, 2013).

2.3 Usos da água para produção do etanol

Como recurso natural, a água é indispensável ao crescimento de qualquer tipo de biomassa, e também é essencial a todos os serviços ecossistêmicos e seres vivos. Já para cana-de-açúcar, principalmente para produção de etanol, a água desempenha um papel fundamental, uma vez que é um elemento vital para a etapa de crescimento da biomassa (SMEETS *et al.*, 2008).

Com o objetivo de estipular princípios e critérios para o uso sustentável da água na agricultura, surgiram várias iniciativas. Uma das principais foi a “Comissão Cremer”, que tem como princípio o fato que na produção e processamento da biomassa a água subterrânea e superficial não pode ser empobrecida, e a qualidade da água deve ser preservada ou melhorada. Esta iniciativa ainda pressupõe como critérios que: não deve haver violação das leis e regulamentações nacionais aplicáveis para o manejo de água; na produção e processamento da biomassa, as melhores práticas devem ser aplicadas para preservar e aumentar a qualidade da água subterrânea e superficial e; na produção e processamento da biomassa, não deve ser feito o uso de água oriunda de fontes não-renováveis (IEA, 2012).

Outra iniciativa é a “*Better Sugarcane Initiative*”, que propõe melhorar continuamente as áreas chaves do negócio, além de gerenciar ativamente a biodiversidade e os serviços do ecossistema. Ela tem por critérios melhorar continuamente o status dos recursos do solo e da água (utilizando o indicador água por unidade-peso de produto) e avaliar o impacto de empresas de cana-de-açúcar na biodiversidade e nos serviços do ecossistema (isto é, avaliar o impacto de empresas de cana-de-açúcar na biodiversidade e nos serviços do ecossistema) (IEA, 2012).

A iniciativa “Norma Agricultura Sustentável” prevê a conservação dos recursos hídricos e que a propriedade agrícola deva executar um programa de conservação de água para fomentar o uso racional do recurso hídrico. Com isso, garante que toda fonte de água superficial ou subterrânea explorada pela propriedade agrícola deva contar com as respectivas concessões e as autorizações outorgadas pela autoridade legal ou ambiental correspondente. Além disso, que as propriedades agrícolas que usam irrigação devam utilizar mecanismos precisos para determinar e demonstrar que o volume de água utilizado e a duração da aplicação não produzem desperdícios ou aplicações excessivas. E, também, priorizar que todas as águas residuárias da propriedade agrícola devam contar com um sistema de tratamento.

Por fim, a “*Roundtable on Sustainable Biofuels*” tem como princípio que a produção dos biocombustíveis deva manter ou aperfeiçoar a qualidade e a quantidade das águas superficiais e subterrâneas e respeitar os direitos formais ou habituais dos recursos hídricos, que a produção de biocombustíveis deva respeitar os direitos de água existentes em locais de comunidades locais e indígenas. Além disso, propõe que

a produção de biocombustíveis deva incluir um plano de manejo de água com objetivos de usar a água eficientemente e manter ou aumentar a qualidade da água utilizadas nas operações e a produção de biocombustíveis não deva contribuir para o esgotamento das águas superficiais ou subterrâneas além da capacidade de reabastecimento (IEA, 2012).

Entretanto, mesmo com várias iniciativas, a crescente demanda por biocombustíveis leva a uma expansão das áreas de cultivo da cana-de-açúcar e, conseqüentemente, ao uso de grandes quantidades de água para o desenvolvimento da biomassa, sobretudo em regiões onde o déficit hídrico é determinante na redução da produtividade e desenvolvimento das culturas, e a fiscalização e o comprometimento com as iniciativas de proteção aos recursos hídricos não ocorram de forma eficaz.

De acordo com a *International Energy Agency* (IEA, 2012), os biocombustíveis serão os grandes responsáveis pelo aumento relativo do consumo de água, o que exercerá grande importância como critério de viabilidade de projetos energéticos sustentáveis. Críticas quanto à pressão sobre os recursos hídricos são preconizadas quando da utilização há água em grande escala para a produção de biocombustíveis (BERNDES, 2008), ressaltando a importância do planejamento governamental para a inserção ou expansão de culturas energéticas em diferentes regiões do planeta, dada as especificidades territoriais e suas relações com as necessidades hídricas das culturas.

Apesar do uso da água ocorrer ao longo de toda a cadeia produtiva dos biocombustíveis (FINGERMAN et al., 2010), na fase industrial, o consumo de água e a disposição dos efluentes têm diminuído muito nos últimos anos. O uso médio de água, principalmente para a região centro-sul do Brasil, é de 21 m³/tc nas usinas e de 15 m³/tc nas destilarias (FINGERMAN et al., 2010). Com a racionalização do consumo da água pela indústria sucroalcooleira brasileira (reutilizações, fechamentos de circuitos e mudanças de processo, como a redução da lavagem da cana), a captação tem sido reduzida, chegando próxima a 2 m³/tc. A taxa de descarga de efluentes pode chegar à zero, melhorando tanto a reutilização e o uso de águas servidas na fertirrigação.

Na fase industrial, já há uma conscientização maior do uso da água. Contudo, ainda existe impactos na qualidade hídrica, relacionados principalmente às descargas de efluentes e ao uso de fertilizantes e químicos pela indústria sucroalcooleira, os quais lixiviam e chegam aos corpos hídricos (FRAITURE; GIORDANO; LIAO, 2008; GERBENS-LEENES et. al.,2009). A alteração da qualidade das águas é de difícil quantificação e monitoramento uma vez que depende das taxas de aplicação de fertilizantes e de outros químicos (DE LA TORRE UGARTE et al., 2010), das condições geográficas regionais e de práticas agrícolas e industriais que interferem nos processos de poluição dos recursos hídricos, muitas delas não fiscalizadas ou descritas pelos responsáveis das usinas.

Já a fase agrícola é a grande responsável pela maior demanda hídrica da cadeia produtiva dos biocombustíveis, devido à grande quantidade de água evapotranspirada pela cultura da cana-de-açúcar (BERNDES, 2008). Essa perda de água pela evapotranspiração é atendida pela precipitação ou irrigação da cultura. Para DOORENBOS e KASSAM (1979), a necessidade hídrica da cana-de-açúcar é de 1.500 a 2.500 mm por ciclo vegetativo, variando em função do ciclo da cultura (cana planta, soca ou ressoca)⁷, do estágio de desenvolvimento da cultura (ciclo fenológico), das condições climáticas e de outros fatores, como água disponível do solo e variedades utilizadas.

Para FRAITURE (2008), o total de água evapotranspirada no planeta por ano para a produção de biocombustíveis está em torno de 100 km³, cerca de 1% do total evapotranspirado por culturas agrícolas (7.130 km³), sendo cerca de 44 km³ de água por ano é captada para a irrigação de culturas destinadas à produção de biocombustíveis, ou seja, cerca de 2% do total captado para a irrigação (2.630 km³). Sendo assim, tem-se uma média global de 820 litros de água captada para irrigação para produzir um litro de biocombustível. GERBENS-LEENES *et al.* (2009), em estudo sobre a pegada hídrica da bioenergia, apresentam a cana-de-açúcar como a terceira cultura com menor pegada hídrica média global de um conjunto de 12 culturas energéticas.

⁷ A cana-de-açúcar de primeiro corte é chamada de "cana planta", a de segundo corte "cana soca" e de terceiro corte em diante "ressoca"

Esses indicativos levam a questionamentos sobre a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar destinada principalmente à produção de etanol. Importante destacar que uma questão chave para o planejamento e gestão sustentável da produção de biocombustíveis é que o elemento água não está dissociado dos elementos terra, clima e sociedade. Assim, uma análise que integre estas variáveis é a mais indicada para se obter uma visão holística de um sistema de produção sustentável de biocombustíveis. De acordo com BAZILIAN et al. (2011), a visão não interdisciplinar de temas como energia, uso do solo, água e alimentos das áreas de produção de bioenergia resulta em políticas e regulamentos que, muitas vezes, criam sinais errados para a segurança nacional, economia, meio ambiente e sociedade.

Assim, a adoção de abordagens que resultem num melhor entendimento das interligações da água com os temas terra, clima e sociedade, com as políticas de incentivo de produção de biocombustíveis, é necessária para identificar padrões insustentáveis de produção (BARROS, 2008). Uma análise interdisciplinar é apropriada para mensurar impactos ambientais e sociais de estratégias governamentais relacionadas à produção de biocombustíveis uma vez que as ações definidas por estas estratégias interferem no uso e ocupação do solo (substituição de culturas alimentares), nos usos da água (necessidade de irrigação de culturas energéticas) e, ainda, podem sofrer interferências das alterações climáticas globais (alterações de temperatura e precipitação nas áreas de cultivo).

2.4 Irrigação: novo paradigma da cana-de-açúcar

Nos próximos anos, a cana-de-açúcar será a grande responsável pelo aumento relativo do consumo de água para a produção de energia (IEA, 2012), o que exercerá grande pressão nos recursos hídricos. Com posição de destaque no agronegócio brasileiro, a cana-de-açúcar vem se expandindo para novas áreas agrícolas, antes não tradicionais. Essa expansão vem ocorrendo principalmente nas regiões de Cerrado, onde o período de déficit hídrico é mais acentuado e, portanto, tende a aumentar a necessidade de irrigação em relação às áreas mais tradicionais desse cultivo (MARIN, 2013).

A cana-de-açúcar é uma cultura muito exigente agronomicamente, demandando grandes quantidades de água para seu consumo. Isso pode tornar sua produção insustentável em regiões que exijam irrigação, sobretudo em regiões onde possa ocorrer competição por recursos hídricos com culturas alimentares, problemas de escassez e conflitos pelo uso da água (GOLDEMBERG; et.al., 2008).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil geralmente era associada à reduzida captação de água para irrigação. Todavia, a partir de 2012, a cultura com mais área irrigada no país já é a da cana-de-açúcar com cerca de 1,7 milhão de hectares (MIN, 2013) e a tendência é de aumento dessa área. A Política Nacional de Irrigação sancionada em janeiro de 2013 (BRASIL, 2013) reforça esta tendência uma vez que incentiva a ampliação da área irrigada e o aumento da produtividade das culturas agrícolas de forma a contribuir para o abastecimento do mercado interno de alimentos e o interno e externo de biocombustíveis.

No Brasil, o setor sucroalcooleiro já lidera a demanda pelos incentivos fiscais concedidos pelo Governo Federal às empresas nos investimentos em irrigação do Ministério da Integração Nacional por meio da adesão ao Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI). Dos 11 projetos de irrigação analisados até o ano de 2014, nove são do setor sucroenergético, sendo, destes, dois projetos localizados em São Paulo, cinco em Goiás e dois em Minas Gerais, totalizando cerca de 30.000 ha de área irrigada (BRASIL, s/d).

Dados mostrando a evolução histórica de áreas de cana-de-açúcar irrigada por região não são fáceis de obter, sendo verificado o IBGE e o MAPA como principais provedores de dados e informações. O censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2006) apresenta informações para este ano civil discriminando o método de irrigação utilizado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Área de cana-de-açúcar (ha) com uso de irrigação e método utilizado no Brasil e grandes regiões no ano de 2010.

Local	Área irrigada (ha) de acordo com o método de irrigação			
	Total	Aspersão (pivô central)	Aspersão (outros Métodos)	Outros Métodos
Brasil	1.071.349	266.063	705.708	99.506
Sudeste	487.846	93.235	357.323	37.289
Nordeste	341.932	112.448	191.481	38.003
Centro-Oeste	202.987	54.058	125.337	23.591
Sul	32.116	3.522	28.133	458
Norte	6.469	0	3.505	156

Fonte: MAPA, 2013.

Como já mencionado, grande parte das áreas de expansão da cana-de-açúcar ocorre no Cerrado onde é necessária a utilização da irrigação da cana-de-açúcar (MANZATTO, 2009), o que pode representar uma ameaça (CGEE, 2009) à sustentabilidade da produção de etanol combustível. O uso de irrigação e pesquisas por variedades com maior resposta a este manejo agrícola visam, além de permitir o cultivo da cana-de-açúcar em terras marginais devido a condições de déficit hídrico, também alcançar alto rendimento e aumentar a longevidade de plantas (SILVA *et al.*, 2013).

Verifica-se que o Cerrado possui a terceira área com maiores extensões de cana-de-açúcar irrigada, sendo precedida pelas regiões sudeste e nordeste. Importante ressaltar que a região centro-oeste, a partir de 2011, ultrapassou a região nordeste em área cultivada com cana-de-açúcar - cerca de 1,4 milhão de hectares contra cerca de 1,2 milhão de hectares, respectivamente - (IBGE, s/d), colocando a região centrp-oeste na posição de segundo maior produtor brasileiro.

Nas novas áreas de cana-de-açúcar irrigada no centro-oeste brasileiro, prevalece a chamada “irrigação de salvamento” onde se irriga somente num período relativamente curto e, em apenas um estágio do cultivo, ou irrigação suplementar, que consiste em irrigar somente quando a precipitação não for efetiva no atendimento da evapotranspiração da cultura. Além disso, vários estudos e experiências práticas dos próprios produtores já demonstram que a cana irrigada tem uma produtividade, em

média, 27% maior do que a de sequeiro⁸ conforme a Tabela 2, independentemente das variedades disponíveis no mercado e das restrições do ambiente (UNICA, 2013).

Tabela 2: Produtividade da cana-de-açúcar irrigada e não irrigada.

Variedade	Produtividade (t ha)		Aumento de Produtividade (%)
	Irigada	Não irrigada	
Média	90,1	55,7	34,4
CO997	88,5	51,6	36,9
SP70-1143	76,6	44,7	31,9
SP75- 3046	105,3	70,9	34,2

Fonte: GIFC, 2010.

O uso da irrigação no Cerrado constitui uma alternativa potencial para a viabilidade econômica da cultura, devido ao ganho de produtividade proporcionado. As usinas que já aderiram a sistemas de irrigação da cana-de-açúcar utilizam principalmente os sistemas de pivô central e linear, e carretel (métodos de aspersão), variando de acordo com as características dos terrenos.

Para a escolha do sistema de irrigação, atualmente, os produtores tendem a investir no PDIC (Plano Diretor de Irrigação de Canaviais). O PDIC é um estudo que tem por objetivo identificar a necessidade de irrigação, bem como a melhor época, método e sistema de irrigação. Porém, no atual período (2013), qualquer investimento ainda é visto com certa resistência por parte de alguns produtores mais tradicionais.

Apesar do uso da água para irrigação ainda ser incipiente no Brasil (FRAITURE, 2008), e nas áreas mais tradicionais de cultivo da cana (principalmente no estado de São Paulo), onde comumente é de sequeiro, verifica-se que a irrigação, nos últimos anos, em algumas áreas do noroeste paulista e nas novas áreas de expansão no centro-oeste, já é uma ferramenta determinante.

A irrigação cada vez mais se torna uma preocupação dos produtores de cana-de-açúcar, sendo uma questão recorrente no setor, pois, apesar da necessidade eminente, a implementação de um sistema de irrigação elevaria os custos de produção em torno de 36% (UNICA, 2013) e as outorgas de uso da água estão cada vez mais rígidas e demoradas para serem concedidas devido às restrições

⁸ Cultivo sem uso de irrigação.

ambientais. Além disso, grande parte dos usineiros do setor ainda são conservadores quanto ao uso da irrigação e ainda não aderem a esse recurso.

Contudo, o uso da irrigação pautado em melhorias do manejo dos recursos hídricos e o desenvolvimento de pesquisas por variedades com maior resposta a ambientes secos tornam-se conjuntamente o centro dos debates para o setor de cana-de-açúcar. É fato que as novas áreas de expansão da cana-de-açúcar enfrentam esse novo paradigma da irrigação, que confere alto rendimento e aumento da longevidade das plantas (SILVA *et al.*, 2013), mas que trazem à tona questionamentos sobre a sustentabilidade desta produção, e dos impactos e pressões que a cultura irrigada exercerá sobre os recursos hídricos (Figura 9).

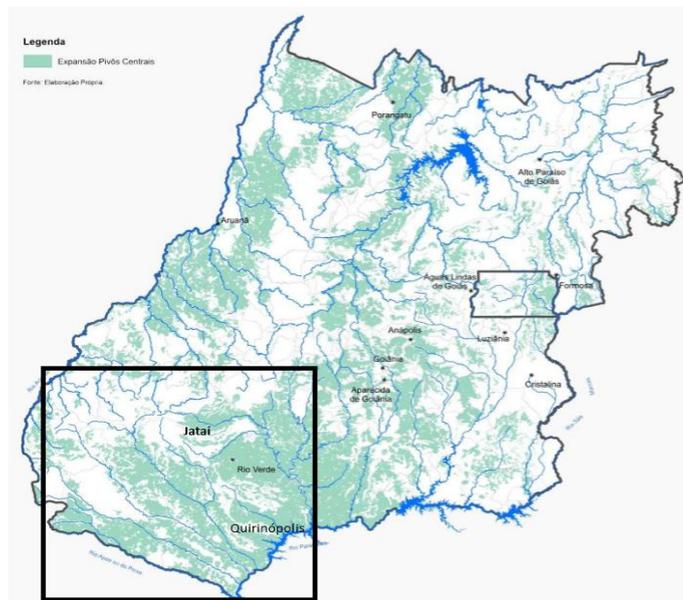


Figura 9: Área de expansão de pivôs centrais em Goiás com destaque para o sudoeste goiano. Fonte: Elaboração Própria.

2.4.1 Tipos de irrigação para cana-de-açúcar

A finalidade básica da irrigação é proporcionar água às culturas de maneira a atender as exigências hídricas durante todo o seu ciclo, possibilitando alta produtividade e produtos de boa qualidade. A quantidade de água necessária às culturas é função da espécie cultivada, do local de cultivo, do estágio de desenvolvimento da cultura, do tipo de solo e da época de plantio (BELIK, 2012). A agricultura irrigada exige investimento em obras, aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição de água, gastos com energia e mão-de-obra. Para

Cramer (2013), esse aumento nos custos de investimento deve ser pago pelo incremento da produtividade, proporcionado pelo fornecimento eficiente de água às plantas.

De acordo com MATIOLI (1998), os benefícios da irrigação na cultura da cana-de-açúcar se dividem em benefícios diretos e benefícios indiretos. Os benefícios diretos consistem no aumento da produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com a redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade. Entretanto, a viabilidade econômica é um fator indispensável para sua adoção entre os agricultores (FRICH *et al.*, 2002).

No estado de Goiás, os produtores de cana-de-açúcar utilizam quatro métodos principais para a irrigação, sendo três por aspersão (pivô fixo, pivô linear e carretel) e um de irrigação localizada (gotejamento), conforme apresentado na Figura 10.

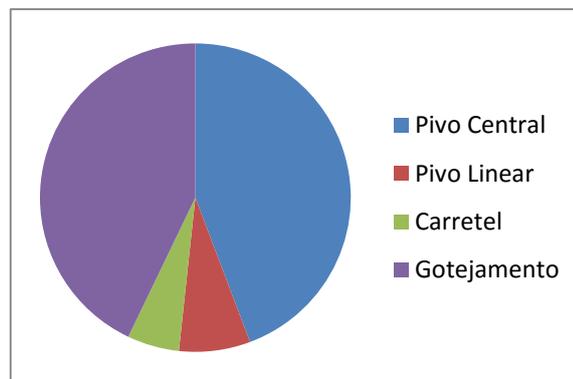


Figura 10: Áreas irrigadas (em hectares) por método de irrigação em Goiás. Fonte: MAPA, 2012.

Considerando a possibilidade de escassez de água e a distribuição pluviométrica no bioma Cerrado, é constatada uma das grandes dificuldades em um produtor conseguir concretizar a sua estabilidade, mediante dependência das chuvas na região. Isto faz surgir uma das grandes preocupações com relação a qual método de irrigação irá aplicar para que obtenha um menor custo possível e desenvolva o melhor benefício, satisfazendo a carência da sua agricultura e respondendo as suas expectativas de agricultor (KING, 2008).

A seguir, são descritos os métodos de irrigação mais utilizados para o cultivo da cana-de-açúcar em Goiás (Figura 11):

a) Método de Aspersão - A água é aplicada através de equipamentos pressurizados por bocais aspersores.

a.1) Aspersão sobre rodas com deslocamento- Pivô linear: Esse modelo de aspersão é recomendado para áreas planas e uniformes. Consiste na utilização de carro comando, contendo um conjunto de moto bomba (diesel), com gerador de energia elétrica e sistema geral de comando. As tubulações são de aço zincado aéreo, sustentadas sobre rodas e fixadas por meio de amarrações metálicas (torres) e de tirantes de aço, sobre os quais estão instalados os aspersores. Este sistema é instalado no centro ou na periferia da área, sendo sua velocidade controlada de acordo com lâmina de água a ser aplicada. Um cabo de aço-guia faz o alinhamento do equipamento (LUIZ, 2003).

a.2) Pivô Central Fixo: Método de irrigação por aspersão que consiste na utilização de um equipamento (pivô central/fixo) composto por estrutura de canos e pneus com tração, motor, redutor de rodas, moto redutor e painel de controle elétrico para giro de 360º no campo. Esse sistema de irrigação apresenta, como característica principal, a capacidade de irrigação diária, durante todo o ciclo de vida da cana-de-açúcar. Cada equipamento (pivô) lança, em média, de 8 a 10 mm de água por dia para completar a circunferência e cobrir toda sua área do campo. A eficiência desse sistema fica em torno de 80 a 90%, o que significa que, durante o processo de irrigação, perde-se de 10 a 20% da água. Os principais fatores de perdas técnicas são: escoamento superficial da água no solo, deriva da água pelo fator vento, evaporação e percolação profunda, isto é, a água penetra em camadas profundas do solo.

De acordo com GOMES JR. (2005), as principais vantagens em relação ao sistema tradicional de irrigação por aspersão são a economia de mão-de-obra, economia de tubulação – não precisa de linha principal, mesmo alinhamento e velocidade de movimentação em todas as irrigações, após completar uma irrigação, o sistema estará no ponto inicial para outra irrigação, boa uniformidade de aplicação. Como desvantagens, pode-se destacar a perda de cerca de 20% da água com o escoamento superficial.

a.3) Carretel: Constituídos de carretel (chassis e rolo), mangueira de polietileno de média densidade e carro porta aspersor. São diversos modelos para

suprir as necessidades específicas das culturas. Os carretéis podem ser utilizados para a aplicação de fertilizantes naturais como a vinhaça⁹ no caso da cana-de-açúcar.

b) Sistema Localizado - Irrigação por Gotejamento: Consiste em um método de irrigação localizada, o que significa aplicar água exatamente no local em que a planta se encontra. É um sistema onde se utilizam mangueiras com orifícios (gotejadores) para a saída da água. Todo o sistema de condução e aplicação de água através de mangueiras é subterrâneo, sendo enterrado a uma profundidade entre 20 e 30 cm. Esse sistema possui uma infraestrutura própria com estação de bombeamento, dois motores elétricos, além de equipamentos para sistema de filtragem próprio. A eficiência desse sistema fica em torno de 90 a 95%, o que significa uma perda muito menor de água no processo de irrigação. O seu manejo de irrigação é preparado através de uma tabela especial, considerando os intervalos do balanço hídrico e a lâmina diária.

⁹ A vinhaça (ou vinhoto) é um resíduo do processamento industrial para obtenção do álcool, constituído por uma suspensão de sólidos, rico em substâncias orgânicas e minerais, e com predominância do potássio.



Fig. 11a- Pivô Central



Fig. 11b- Carretel



Figura 11c – Pivô Linear



Figura 11d- Gotejamento



Figura 11e – Gotejamento

Figura 11: Sistemas de Irrigação utilizados para a cana-de-açúcar - aspersão e gotejamento. Fonte: GIFC, 2013.

Sabe-se que, há poucos anos atrás, quase a totalidade dos produtores de cana-de-açúcar do Brasil utilizava o método de plantio de sequeiro (ANA, s/d), por estarem localizados em regiões com índice pluviométrico adequado à cultura, não necessitando de suporte de água para o ciclo produtivo da cultura. Hoje, com a expansão do setor sucroalcooleiro para outras regiões e com os cenários futuros de mudanças climáticas, a irrigação vem, cada vez mais, fazendo parte da agenda dos produtores. A maioria dos métodos utilizados na irrigação da cana-de-açúcar tem como ponto fraco a grande perda de água, o que gera uma demanda de água maior que a necessária.

CAPÍTULO 3: MUDANÇAS CLIMÁTICAS E USO DE ÁGUA NA PRODUÇÃO SUCROALCOOLEIRA

3.1 Agricultura e mudanças climáticas

A agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar (LUIZ, 2013). A mudança climática pode afetar a produção agrícola de várias formas: pela mudança dos fatores climáticos, incluindo a frequência e a severidade de eventos extremos, pelo aumento da produção devido ao efeito fertilizador de carbono por meio de maiores concentrações de CO₂ atmosférico, pela alteração da intensidade da colheita devido a uma mudança no número de graus-dia de crescimento, ou, então, modificando a ocorrência e a severidade de pragas e doenças (PINTO et. al., 2000).

Estudos baseados em modelos de circulação geral (GCM) mostram que a produtividade de várias culturas tende a diminuir em algumas regiões do globo e aumentar em outras devido às possíveis mudanças climáticas. Ao mesmo tempo em que se constitui em uma atividade potencialmente influenciável pela mudança do clima, a agricultura também contribui para o efeito estufa com emissões de gases como o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (PINTO et. al, 2000). Avalia-se que 20% do incremento anual do forçamento radiativo global é atribuído ao setor agrícola, considerando-se o efeito dos gases metano, óxido nitroso e gás carbônico (baseado em IPCC, 2007), excluída a fração correspondente às mudanças do uso da terra relacionadas às atividades agrícolas (15%) (COTTON e PIELKE,1995).

As fontes agrícolas de gases de efeito estufa são o cultivo do arroz irrigado por inundação, a pecuária, os dejetos animais, o uso agrícola dos solos e a queima de resíduos agrícolas. O cultivo do arroz irrigado por inundação, a pecuária doméstica e seus dejetos, assim como a queima de resíduos agrícolas promovem a liberação de metano (CH₄) na atmosfera. Estima-se que cerca de 55% das emissões antrópicas de metano provêm da agricultura e da pecuária juntas (IPCC, 2007). Os solos agrícolas, pelo uso de fertilizantes nitrogenados, fixação biológica de nitrogênio, adição de

dejetos animais, incorporação de resíduos culturais, entre outros fatores, são responsáveis por significativas emissões de óxido nitroso (N_2O). As queimas de resíduos agrícolas nos campos liberam, além do metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO) (IPCC, 2007).

Para os países que são altamente dependentes dos recursos naturais, como o Brasil, os impactos de eventos extremos podem ter uma importância econômica e social que superam de longe suas probabilidades de ocorrência aparente (PEREIRA *et al.*, 2008). Esses impactos sobre a agricultura têm importância especial para o Brasil, uma vez que quase 30% do produto interno bruto (PIB) brasileiro estão relacionados ao agronegócio (BARROS, 2009). Apesar desses números expressivos, o setor passa, nos últimos anos, por uma importante crise, decorrente de três causas principais segundo Bressan Filho (2009):

- 1) a crescente necessidade de capital financeiro para a formação de estoques de etanol e garantia de oferta do produto na entressafra;

- 2) a baixa taxa de remuneração da atividade alcooleira nas safras de 2007/2008 e 2008/2009; e

- 3) a ausência de mecanismos comerciais para interferir na formação das margens de comercialização e na competitividade do etanol frente à gasolina.

Considerando que os preços atuais de 2016 do etanol e do açúcar tem alta remuneração, é razoável supor que a tendência de expansão da área de cana-de-açúcar seja mantida, ainda que em taxas inferiores àquelas observadas na de 2006 a 2016. O IPCC apresentou, no seu Quarto Relatório de Avaliação (AR4), as estimativas recentes de aumento da temperatura, que estão na faixa de 1,8 a 3,6°C, e de aumento na atmosfera de CO_2 , podendo chegar a 720 ppm em 2090-2099, dependendo do cenário de emissão de gases de efeito estufa considerado nos modelos climáticos (TRENBERTH *et al.*, 2007).

As projeções de variabilidade e mudanças climáticas indicam para alterações na umidade do solo e na frequência de eventos extremos de alta temperatura, inundações e secas em muitas localidades (ALVARENGA e QUEIROZ, 2012).

Bombardi e Carvalho (2008) afirmaram que, na região centro-oeste do Brasil, onde estão as maiores áreas de expansão da cana-de-açúcar, deverá ocorrer um aumento na ocorrência de eventos extremos, tanto de anos mais chuvosos quanto de anos mais secos. Este cenário de maior “fragilidade” climática é especialmente importante para culturas com ciclos mais longos, mais expostas aos riscos climáticos, como é o caso da cana-de-açúcar.

3.2 Desenvolvimento sustentável, água e mudanças climáticas no Brasil

O Brasil está entre os maiores produtores agrícolas do mundo, tendo uma enorme potencialidade para a produção de cana-de-açúcar. O país dispõe de uma série de variáveis que podem ser utilizadas ao seu favor como vantagens, tais como o clima que possibilita a produção de diversos produtos agrícolas (SZMRECSANYI, 1979). Além disso, as condições climáticas de algumas regiões permitem uma produção ao longo de todo o ano, possibilitando obter vantagens comerciais. No entanto, dentre todas as atividades econômicas, considera-se que a agricultura apresenta maior dependência das condições ambientais, especialmente as climáticas. Desta forma, tais alterações poderão modificar o atual cenário da agricultura brasileira em cada região, com sérias consequências econômicas, sociais e ambientais (WALTER, 2011).

O aquecimento global provocado pela emissão de gases de efeito estufa figura como um dos maiores paradigmas da atualidade científica. As previsões de modelos climáticos divulgadas têm despertado a atenção e o interesse não apenas para as variações climáticas sazonais, mas também para os efeitos que possíveis mudanças climáticas podem causar na agricultura (VASQUEZ-AGUIRRE, 2006).

Independentemente de qualquer teoria, é evidente que a partir do século XVIII, início da revolução industrial, houve um aumento da emissão de gases na atmosfera que vem acentuando no período de 2006-2016. Esta emissão desordenada é preocupante, pois interfere nas concentrações atmosféricas, levando a modificações nas condições climáticas do planeta (YANG *et al.*, 2009).

De acordo com o IPCC, considerando os efeitos naturais e antropogênicos no ajuste dos dados observados e simulados, a previsão é até 2100 a temperatura

global deverá aumentar entre 1,4 a 5,8 °C (PINTO et al., 2004). A maioria das informações e conhecimentos sobre mudanças climáticas globais (MCG) vem de estudos com modelos climáticos.

Os modelos climáticos são complexas representações matemáticas de muitos processos conhecidos como responsáveis por afetar o clima. Esses processos incluem as interações entre a superfície e a atmosfera terrestre para atingir efeitos topográficos, correntes oceânicas e geleiras (POPE et al., 2004). Os modelos globais simulam distribuições de variáveis como temperatura, vento, nebulosidade e chuva. Estes modelos têm evoluído em complexidade ao longo do tempo com o conhecimento da física atmosférica e tecnologia computacional mais avançada (MACEDO, Jr., 2011).

Apesar dos avanços, um considerável grau de incerteza ainda está associado às previsões das condições climáticas futuras. Vale ressaltar que a previsão de aumento não é apenas sobre a média da temperatura, mas também em sua variância (MANZATTO *et al.*, 2009). Portanto, a incidência de eventos extremos, tais como alteração da destruição e intensidade das precipitações durante as estações e aumento da velocidade do vento, provavelmente deverá acentuar. Adicionalmente, essas oscilações terão importantes diferenças regionais. Isto provavelmente levará a uma redivisão do mapa da produção agrícola (MARENCO, 2007).

O aumento da demanda por água, a poluição das águas, a contaminação dos solos e o desperdício são elementos que interferem significativamente no processo que compromete a disponibilidade do recurso, tanto qualitativa quanto quantitativamente. A falta de água compromete a vida da população, além de interferir diretamente nos processos produtivos e nas atividades econômicas, impondo restrições no desenvolvimento de algumas regiões (POPE et al., 2004). Cabe lembrar que o recurso hídrico é um bem público, vulnerável e ameaçado, necessitando de uso e controle adequados, que se deduzirão na gestão.

O controle do uso dos recursos hídricos se alinha com a sustentabilidade que tem por conceito a ideia de se obter de modo contínuo condições de vida iguais ou superiores para um grupo de pessoas e seus sucessores, ou seja, uma equidade intergeracional. Na definição de sustentabilidade, também está incluída a noção de limitações físicas ao uso produtivo dos recursos (RAHAMAN et al., 2005). A

associação estreita entre estes limites que ameaçam o homem e a sustentabilidade associam-se às ameaças, provocadas pelo próprio homem, de exceder a capacidade de suporte do planeta. Por meio dessa discussão de meios sustentáveis de produção, os biocombustíveis são uma das tecnologias eleitas para a minimização de problemas ambientais de ordem mundial, mesmo que, durante seu processo produtivo, possam-se identificar vários problemas de ordem social e ambiental (HAYLOCK *et al.*, 2006).

Os biocombustíveis, como etanol, são desenvolvidos a partir de biomassa que é definida pela IEA, como qualquer matéria orgânica derivada de plantas ou animais disponíveis numa base renovável, incluindo madeira e culturas agrícolas, herbáceas e culturas energéticas lenhosas, resíduos orgânicos municipais, bem como esterco. Este tipo de energia renovável surgiu como uma alternativa às fontes energéticas fósseis, à dependência energética, à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e ao desenvolvimento rural (FRAITURE, 2008). Diante disso, os biocombustíveis líquidos vêm ao encontro do tão almejado desenvolvimento sustentável, sobretudo em países em desenvolvimento como o Brasil.

Aproveitando-se de suas condições climáticas, disponibilidade de terras e da experiência acumulada ao longo do tempo como pioneiro no ressurgimento de sistemas de energia a partir de biomassa, o governo brasileiro vem investindo em programas para produção de biocombustíveis (BACCARIN, 2005). Exemplo disso é o Programa Proálcool que retomou a produção de etanol na década de 2000 com vistas a atender uma demanda doméstica e internacional crescente por fontes renováveis. Hoje, o Brasil, como o segundo maior produtor de etanol do mundo, continua sendo considerado um caso de sucesso dado às baixas emissões de gases de efeito estufa, a disponibilidade de terras para culturas energéticas, o baixo desmatamento induzido e as metas de inclusão social da agricultura familiar (GOLDEMBERG *et al.*, 2008).

De acordo com Pereira Jr. *et al.* (2008), o requerimento de terras para produção de cana-de-açúcar, para atender a demanda de etanol projetada pela matriz energética nacional de 2030 (14 milhões de hectares), representa 15% do total de terras disponíveis para agricultura e 3,8% do total da área de agricultura (Tabela 3). Dessa forma, devido à grande disponibilidade de terras, a expansão da atividade agrícola não necessariamente implica em desmatamento.

Tabela 3: Uso do solo no Brasil

Uso do solo	10 (ha)	%
Floresta e Áreas de Proteção Ambiental	405	47,6
Áreas urbanas, rodovias, rios	20	2,4
Áreas para a agricultura	366	43
-Pastagens	210	24,7
-Culturas permanentes e temporárias	61	7,2
-Silvicultura	5	0,6
- Fronteira agrícola	90	10,6
-Cana-de-açúcar	14	15,5
Outros usos	60	7,1
Total	851	100

Fonte: PEREIRA JR, et al., 2008.

No entanto, preocupações quanto aos impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de biocombustíveis resultam em questionamentos sobre a sustentabilidade da produção desse tipo de energia (SMEETS et al., 2008). Discussões e estudos que relacionam a produção dos biocombustíveis com a perda da biodiversidade, escassez de recursos hídricos, insegurança alimentar e aumentos nas emissões de GEEs, devidos ao desmatamento indireto e adubação nitrogenada (LAPOLA et al., 2010).

Estudos vêm sendo realizados, sobretudo, por países consumidores e produtores de biocombustíveis. Mudanças diretas e indiretas no uso e ocupação do solo para a produção de culturas bioenergéticas (MIYAKE et al., 2012) continuarão a ocorrer e provavelmente a demandar elevados recursos terrestres em todo o mundo e a incorporação de novas áreas para a produção de cana-de-açúcar demandará água para o crescimento de biomassa resultando em pressões sob os recursos hídricos. Além disso, a adoção de práticas para a intensificação da produção ou a utilização de áreas subutilizadas para a produção agrícola poderão requerer entradas significativas de água e nutrientes para manter a produtividade, acabando, também, por impactar os recursos hídricos (FRITSCHE et al., 2010).

Estas preocupações em torno dos impactos socioambientais percebidos durante a produção da cana-de-açúcar para a bioenergia, e ainda ao aumento da

participação desta forma de energia na matriz energética de diversos países (IEA, s/d), passam a requerer cada vez mais a adoção de instrumentos e medidas que resultem em práticas sustentáveis para produção de biocombustíveis (LIN, 2011).

Instrumentos voluntários como a Agenda 21 formulada pela CNUMAD¹⁰, a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, Princípios sobre Florestas e Painel Intergovernamental sobre Florestas, Foro Intergovernamental sobre Florestas enfatizam e orientam a importância de políticas para a preservação ambiental e do desenvolvimento social em países produtores de bioenergia.

No Brasil, algumas medidas visando a sustentabilidade da produção do etanol de cana-de-açúcar brasileiro se destacam tais como a Lei Estadual nº 11.241/2002 (SÃO PAULO, 2002), que estabelece prazos para redução da prática das queimadas de canaviais, o Protocolo Agroambiental do Estado de São Paulo, firmado em 2007, que define diretrizes técnicas ambientais a serem implementadas pelas unidades agroindustriais e pelas associações de fornecedores de cana aderentes ao protocolo (UNICA, s/d), o Relatório de Sustentabilidade do Setor Sucroenergético Brasileiro da UNICA, com base nas diretrizes da *Global Reporting Initiative* (GRI) (UNICA, 2010); o Programa Brasileiro para Certificação de Biocombustíveis (INMETRO) baseada em critérios técnicos preestabelecidos, contemplando a qualidade intrínseca do produto e o impacto socioambiental do processo produtivo e o zoneamento agroambiental do Estado de São Paulo e o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (MANZATTO, 2009), que visam o planejamento sustentável da expansão da cana-de-açúcar no território nacional.

Estas diversas iniciativas governamentais e privadas apresentam princípios e critérios econômicos, sociais e ambientais no intuito de alcançar uma produção mais aliada à proteção da natureza.

¹⁰ Conferência da Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida também como ECO-92, ocorrida em 1992 na cidade do Rio de Janeiro.

3.3 Zoneamentos Agrícolas de Riscos Climáticos para cana-de-açúcar

O Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura. O trabalho é elaborado com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos e permite, a cada município, identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares. A técnica é de fácil entendimento e adoção pelos produtores rurais, agentes financeiros e demais usuários (MAPA, 2006).

Por meio do Zoneamento, são analisados os parâmetros de clima, solo e de ciclos de cultivares, a partir de uma metodologia validada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e adotada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Desta forma, são quantificados os riscos climáticos envolvidos na condução das lavouras que podem ocasionar perdas na produção. Esse estudo resulta na relação de municípios indicados ao plantio de determinadas culturas, com seus respectivos calendários de plantio.

O Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos foi utilizado pela primeira vez na safra 1996 para a cultura do trigo. Ele recebe revisão anual e é publicado na forma de portarias, no Diário Oficial da União e no site do MAPA. Atualmente, os trabalhos de Zoneamento Agrícola de Risco Climático já contemplam 40 culturas, sendo 15 de ciclo anual e 24 permanentes, além do zoneamento para o consórcio de milho com braquiária, alcançando 24 Unidades da Federação.

Os resultados do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (Manzatto et al., 2009) (Figura 12) mostraram a disponibilidade de muitas áreas aptas à expansão do cultivo com cana-de-açúcar, sendo que $19,3 \times 10^6$ ha foram considerados com alto potencial produtivo, $41,6 \times 10^6$ ha como médio e 5×10^6 ha como de baixo potencial para o cultivo. A região centro-oeste apresenta o maior percentual de terras aptas à expansão do cultivo com cana-de-açúcar, com 45% do total estimado, seguida das regiões sudeste 34,5%, sul 11,2%, nordeste 7,6% e pelo estado do Tocantins na região norte, com 1,7%.



Figura 12: Áreas de expansão do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar. Fonte: Embrapa, 2010.

Apesar da boa regularidade e dos elevados volumes de chuva na maior parte do Brasil durante o verão, o longo período de estiagem é limitador do acúmulo de biomassa por causa da baixa umidade do solo durante praticamente todo o outono e inverno. Tal limitação hídrica acarreta o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, queda nas taxas de fotossíntese, sobretudo entre os meses de abril e novembro, compreendendo a fase final de crescimento vegetativo, a fase de maturação e o início do período de perfilhamento da cultura.

Considerando a reação da cana-de-açúcar à fertilização pelo CO_2 atmosférico elevado, este quadro de estresse por deficiência hídrica poderia ser reduzido, caso as projeções climáticas fossem confirmadas. Disto decorre que as áreas que hoje apresentam certa limitação à produção canavieira, devido ao estresse hídrico, devem ser mais beneficiadas que aquelas que ocupam, em 2015, regiões adequadas à produção de cana-de-açúcar quanto ao suprimento hídrico.

Tais informações são interessantes no presente contexto uma vez que revelam a tendência de expansão da cana-de-açúcar para uma região em que o estresse hídrico relativamente maior é uma das principais limitações à obtenção de rendimentos elevados. Grande parte da área para o cultivo futuro da cana-de-açúcar ocorrerá em áreas de pastagens degradadas, principalmente na região centro-oeste, onde é necessária a utilização da irrigação durante a estação seca, tanto de salvamento como complementar, sendo outro indicador do estresse hídrico enfrentado pela cultura no Cerrado brasileiro (MANZATTO et al., 2009).

Outro ponto relevante diz respeito em relação às perspectivas de mudanças climáticas. ASSAD et al. (2008) e GOUVEA et al. (2009) demonstraram que, apesar da cultura da cana-de-açúcar apresentar uma projeção de aumento de área apta ao cultivo, algumas regiões, como o centro-oeste do Brasil, podem se tornar mais dependentes da irrigação, como já ocorre no sudoeste goiano.

Considerando também os mapas de projeção apresentados para o Brasil, observa-se tendência de redução no volume de chuvas durante o verão e estabilidade no inverno para a região centro-sul, redução no volume de chuvas no inverno e estabilidade no verão para a região nordeste (TRENBERTH et al., 2007; ALVES e MARENGO, 2010). Caso haja aumento da temperatura verificado nos estudos, a necessidade de irrigação para a cana-de-açúcar será evidenciada.

Nesta linha, é possível inferir que, mesmo no sudeste do Brasil, nas áreas tradicionais de cultivo da cultura, haja melhor aproveitamento da água disponível e redução do estresse fisiológico durante os períodos de estiagem, tornando tais áreas mais aptas ao cultivo da cana-de-açúcar irrigada, o que causará um impacto no uso dos recursos hídricos, tencionando bacias hidrográficas e os demais usos desses recursos (ALVES e MARENGO, 2010).

3.4 Pegada Hídrica

As discussões sobre Pegada Hídrica (PH) foram introduzidas em 2002, por Arjen Hoekstra, na reunião internacional sobre o comércio de água virtual realizada em Delft, Holanda. A PH das nações foi avaliada quantitativamente por Hoekstra & Huang (2002) e, posteriormente, de forma mais abrangente, por Hoekstra e

Chapagain (2007). O termo Pegada Hídrica foi escolhido por Hoekstra em analogia à Pegada Ecológica, no entanto, os conceitos referentes a estas pegadas são diferentes, visto que Pegada Ecológica é expressa em hectares e a PH em volume (m^3) de água doce consumida.

A ideia da PH foi introduzida com o propósito de mostrar as relações pouco conhecidas entre o consumo humano e o uso da água, bem como entre o comércio global e a gestão de recursos hídricos. Para Hoekstra (2003), o ponto de partida para esta pesquisa se deu com o descontentamento do fato que a gestão de recursos hídricos é vista, comumente, como uma questão local ou, no máximo, como o problema que ocorre no âmbito de uma bacia hidrográfica. Porém, o conceito de Pegada Hídrica tem sido usado como indicador do consumo de água de pessoas e produtos em diversas partes do mundo e para diversas áreas da ciência. (ZHAO et al., 2009; ROMAGUERA et al., 2010; FENG et al., 2011), sendo que no Brasil esse tema ainda é incipiente.

Por definição, a PH é o volume de água total usada durante a produção e o consumo de bens e serviços, bem como o consumo direto e indireto no processo de produção. A PH quantifica o consumo de água total ao longo da cadeia produtiva (YU et al., 2010), tanto da produção agrícola (onde está a maior parte do consumo) como também da água consumida e poluída nos setores industriais e domésticos.

O conceito da pegada hídrica se concentra nas definições de "água embutida" ou "água virtual" introduzido por Allan (1998) quando estudou a possibilidade de importação de água virtual (em oposição à água real) como solução parcial para problemas de escassez de água no Oriente Médio. O interesse em água virtual começou a crescer rapidamente uma vez que os primeiros estudos quantitativos foram publicados em várias partes do mundo (HOEKSTRA e HUANG, 2002; ERCIN et al., 2011).

A "água virtual" é definida como o conteúdo de água de um produto (mercadoria, bem ou serviço) ou seja, o volume de água doce utilizada para produzir tal produto (HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2007). Esse termo se refere à soma do uso da água nas diversas fases da cadeia de produção.

O termo “virtual” diz respeito ao fato que a maioria da água utilizada para produzir um produto não está contida no produto. Geralmente, o verdadeiro conteúdo de água dos produtos é insignificante se comparado com o conteúdo virtual de água. O comércio de água virtual ocorre quando os produtos são comercializados de um lugar para outro (HOEKSTRA e HUNG, 2005). Portanto, o conceito de PH tem sido utilizado pela comunidade científica com o propósito de demonstrar a importância da gestão da água.

O conceito de água virtual foi introduzido para descrever o volume total de água embutida nos produtos agrícolas sugerindo que as regiões pobres de água importam água contida nos produtos agrícolas. Vários estudos têm reconhecido a utilidade do conceito de água virtual para analisar padrões de produção e os fluxos de água associados (ZEITOUN et al., 2010). Existe uma relação estreita entre a água virtual e a Pegada Hídrica, que é o total de água virtual contida nos produtos consumidos por um indivíduo, negócio, cidade ou país.

A Pegada Hídrica depende inteiramente de fatores locais, como as características hídricas da região. Assim, o desmatamento e o reflorestamento afetam o processo hidrológico de tal forma que podem influenciar diretamente a disponibilidade de água. O uso da água doce está totalmente relacionado com os problemas de escassez e poluição, fato que ocorre principalmente pelo uso de pesticidas na agricultura e pelos poluentes lançados no ar e na água pelas indústrias (YU et al., 2010).

A água doce é um dos recursos mais valiosos do planeta, sendo um elemento de sustentação da vida que não pode ser substituído, muito embora cada vez mais tenha se tornado um recurso escasso. Em todo o mundo, existem fortes indícios de esgotamento de águas subterrâneas, diminuição da vazão dos rios e a deterioração da qualidade da água. Esses indícios indicam que os níveis atuais de uso da água podem exceder os limites sustentáveis em muitas partes do mundo (POSTEL, 2000).

O volume de água doce utilizada para produzir o produto é somado ao longo das várias fases da cadeia de produção, sendo a base para a compreensão do conceito de Pegada Hídrica. Assim, a PH pode ser considerada um indicador

abrangente da apropriação do recurso de água doce confrontando a tradicional e restrita mensuração de retirada de água, conforme mostra a Figura 13.

A partir de 2000, a abordagem da limitação dos recursos hídricos tem sido bastante destacada. Os consumidores finais, revendedores, comerciantes e todos os tipos de empresas que operam ao longo da cadeia produtiva de bens de consumo continuam fora do alcance das políticas governamentais destinadas a atenuar a escassez de água e a poluição, pelo fato do uso da água no mundo estar ligado, sobretudo, ao consumo final (ALDAYA et al., 2010). Desta forma, surge a necessidade de um instrumento de medida dos fluxos de entrada e saída de recursos hídricos de determinado local.

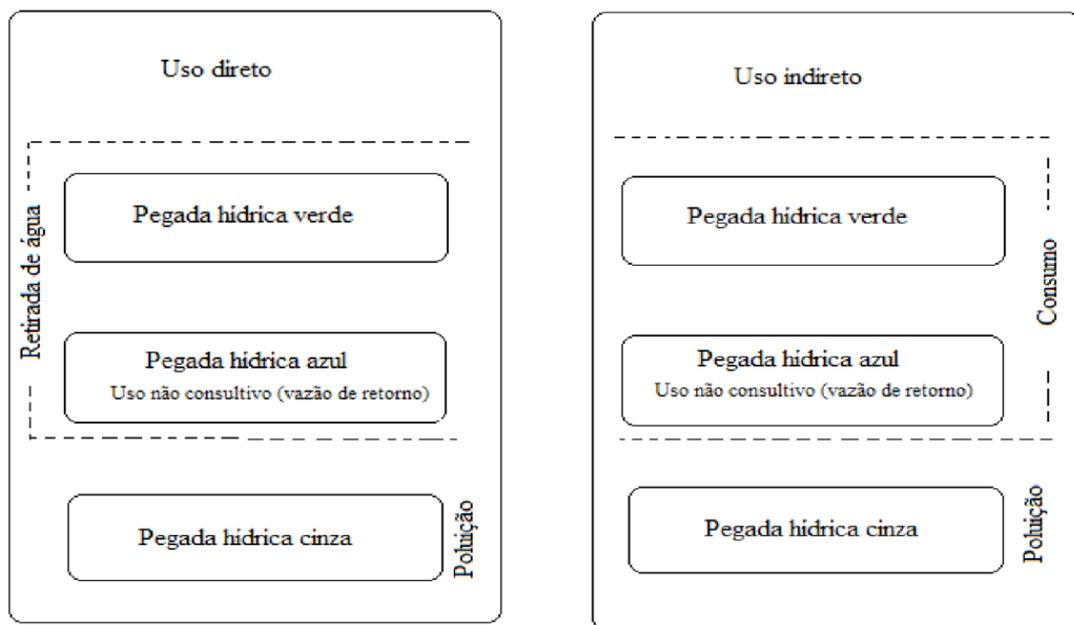


Figura 13: Representação esquemática dos componentes da Pegada Hídrica. Fonte: HOEKSTRA, 2011.

A Pegada Hídrica é calculada pela soma de suas componentes direta e indireta, em que a Pegada Hídrica direta (uso direto) se refere ao consumo e à poluição da água que é utilizada em casa ou no jardim enquanto a Pegada Hídrica indireta (uso indireto) corresponde ao consumo e à poluição da água utilizada na produção de bens e serviços utilizados pelo consumidor (exemplo: alimentação, vestuário, energia, papel e consumo de bens industriais). O uso indireto da água é

calculado multiplicando-se todos os produtos consumidos por suas respectivas Pegadas Hídricas (HOEKSTRA, 2011).

A PH foi definida com base no uso real da água por unidade de consumo; logo, ela só pode ser calculada através da análise da fonte de bens de consumo e, só então, considerar o uso real da água nos países de origem, ou seja, onde a produção acontece.

Os indicadores utilizados pela PH se baseiam na apropriação da água subjacente de bens e serviços, integrando o uso da água e da poluição sobre a cadeia de produção, indicando a ligação entre o local e o consumo global dos recursos hídricos, aferindo-se não apenas o uso da água azul mas, também, o uso da água verde e a produção da água cinza poluída.

Importante destacar que, por ser considerado um indicador geográfico e temporalmente explícito, a Pegada Hídrica pode gerar informações relacionadas à abordagem Nexus Água -Energia-Clima-Uso da Terra. Por exemplo, é possível relacionar este indicador a outros (GBEP, 2011) como:

1. Emissões de GEE, uma vez que o uso da água para irrigação esta relacionado com emissões da utilização de energia pelos equipamentos de irrigação;
2. Capacidade produtiva da terra e dos ecossistemas, uma vez que o excesso de retirada de água pode afetar a qualidade da terra e do solo;
3. Diversidade biológica, uma vez que a produção de biocombustíveis pode competir por água com a vegetação natural;
4. Preço e fornecimento de uma cesta básica nacional, pois a bioenergia pode competir com a produção de alimentos pelo uso da água;
5. Disponibilidade e eficiências no uso de recursos na produção, e vazão de retorno;
6. Viabilidade econômica e competitividade da bioenergia, uma vez que a produção de bioenergia não será viável se as suas necessidades de água não puderem ser satisfeitas economicamente; e

7. Segurança energética e diversificação de fontes e oferta, uma vez que a escassez de água pode atrapalhar o fornecimento de energia se houver uma forte dependência das matérias-primas de bioenergia e elevados requisitos de água;

8. Segurança alimentar, uma vez que o aumento da necessidade de irrigação pode se relacionar ao aumento dos preços dos alimentos; e

9. Iterações e impactos nos demais usos dos recursos hídricos, como o uso doméstico, gerando problemas relacionados à saúde e de determinada população.

3.4.1- Tipos de Pegada Hídrica

A PH total se divide em três componentes: azul, verde e cinza. A PH azul é o indicador do consumo de “água azul”, ou seja, água doce superficial e/ou subterrânea. Para Hoekstra et al. (2011), o termo “uso de água de consumo” refere-se a um dos quatro casos seguintes: (i) evaporação da água; (ii) água incorporada ao produto; (iii) não retorno da água para a área de captação - a água é retornada para outra área ou para o mar; e (iv) não retorno da água no mesmo período - a água é retirada no período escasso e é retornada no período chuvoso.

A PH verde é definida como sendo a água das precipitações, que não é retirada nem armazenada pelos mananciais e, sim, armazenada temporariamente no solo ou permanece temporariamente na superfície do solo ou vegetação (HOEKSTRA, 2011). Ela representa o volume de água proveniente da chuva consumida durante o processo de produção. O cálculo da Pegada Hídrica verde é particularmente relevante para produtos baseados em culturas agrícolas, devido à evapotranspiração. A distinção entre a PH azul e a verde é muito importante em razão dos impactos hidrológicos, ambientais e sociais, tal como os custos e impactos do uso da água superficial e do subsolo. Esta definição difere dos custos e impactos do uso da água de chuva.

A PH cinza indica o grau de poluição de água doce associada ao processo de produção e é definida como sendo o volume de água doce que é requerido para assimilar a carga de qualidade da água existentes. Ela é calculada dividindo-se a

carga de poluentes pela diferença entre a máxima concentração aceitável para aquele poluente específico e sua concentração natural naquele corpo de água que assimila o poluente.

Já a Pegada Hídrica indireta se refere ao consumo e ao nível de poluição que estão diretamente associados ao processo de produção de bens e serviços e são utilizados pelos consumidores. Percebe-se então, que, no geral, a Pegada Hídrica indireta é superior à direta. Apesar disto, e por ser “invisível”, ela é geralmente negligenciada.

No caso de empresas, grande parte tem sua Pegada Hídrica na cadeia de abastecimento (Pegada Hídrica indireta) e não no processo de produção (Pegada Hídrica direta) visto que medidas aplicadas na cadeia de abastecimento levam a custos mais eficazes. A Pegada Hídrica interna está relacionada à utilização dos recursos hídricos do país para produzir bens e serviços para serem consumidos pela própria população enquanto a Pegada Hídrica externa está relacionada à quantidade de recursos hídricos utilizados em outro país com vista à produção de bens e serviços que são consumidos pela população, através do processo de importação.

Com a intensificação contínua da escassez de água e o aumento do comércio inter-regional, espera-se que a importação de água virtual se torne uma fonte de água adicional importante a ser considerada no planejamento dos recursos hídricos. A média anual da disponibilidade de recursos hídricos (referindo-se às águas superficiais e subterrâneas) é internacionalmente adotada como sendo o valor mínimo de 1000 m³ per capita (MAET et al., 2006).

3.4.2 Contabilidade da Pegada Hídrica

A Pegada Hídrica e a Pegada Ecológica sugerem a possibilidade que a demanda por recursos naturais pela humanidade seja maior do que o planeta pode fornecer de forma sustentável. Este excesso de consumo é definido de forma significativa devido à rápida expansão econômica, bem como à urbanização, migração, mudanças de estilo de vida e outras grandes transições sociais.

A segunda maior componente da PH é a utilização de terras aráveis (21%) seguida do uso da floresta para madeira (10%), uso de áreas de pesca (7%), uso de pastagens para o pastoreio de animais (6%) e uso de edificações (4%). Por outro lado,

a PH global é de 7.450 bilhões de m³/ano, média do período de 1997-2001. A PH verde da humanidade é de 5.330 bilhões de m³/ano, enquanto as componentes azul-cinza da PH são de 2.120 bilhões de m³/ano (HOEKSTRA & CHAPAGAIN, 2007). A PH verde total se refere à produção agrícola enquanto a combinação azul-cinza da PH diz respeito aos produtos agrícolas (50%) e industriais (34%), e aos serviços domésticos de água (16%).

O modelo mais utilizado para contabilizar a Pegada Hídrica de produtos agrícolas é o modelo CROPWAT 8.0. No capítulo 4, são descritos em detalhes a utilização do modelo para o cálculo do PH da produção de cana-de-açúcar nos municípios de Jataí e Quirinópolis.

CAPÍTULO 4: ESTUDO DE CASO: PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E IMPACTOS NOS RECURSOS HÍDRICOS EM JATAÍ E QUIRINÓPOLIS – GO

4.1- Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é composta pelos municípios de Jataí e Quirinópolis que estão localizados na microrregião sudoeste do estado de Goiás (Figura 14) e possuem, respectivamente, 93.759 e 46.187 habitantes, com densidade demográfica de 12,27 e 11,41 hab/km² (IBGE, 2013). Esta região é caracterizada por municípios economicamente voltados para o agronegócio, especificamente para a produção de grãos como milho e soja. Ela apresenta altas taxas de crescimento populacional na maioria dos municípios, quando comparados os dados de 1980 com os de 2008 do Censo do IBGE. Na Tabela 4, podem-se verificar as áreas utilizadas para a agricultura em ha e sua área total em km².

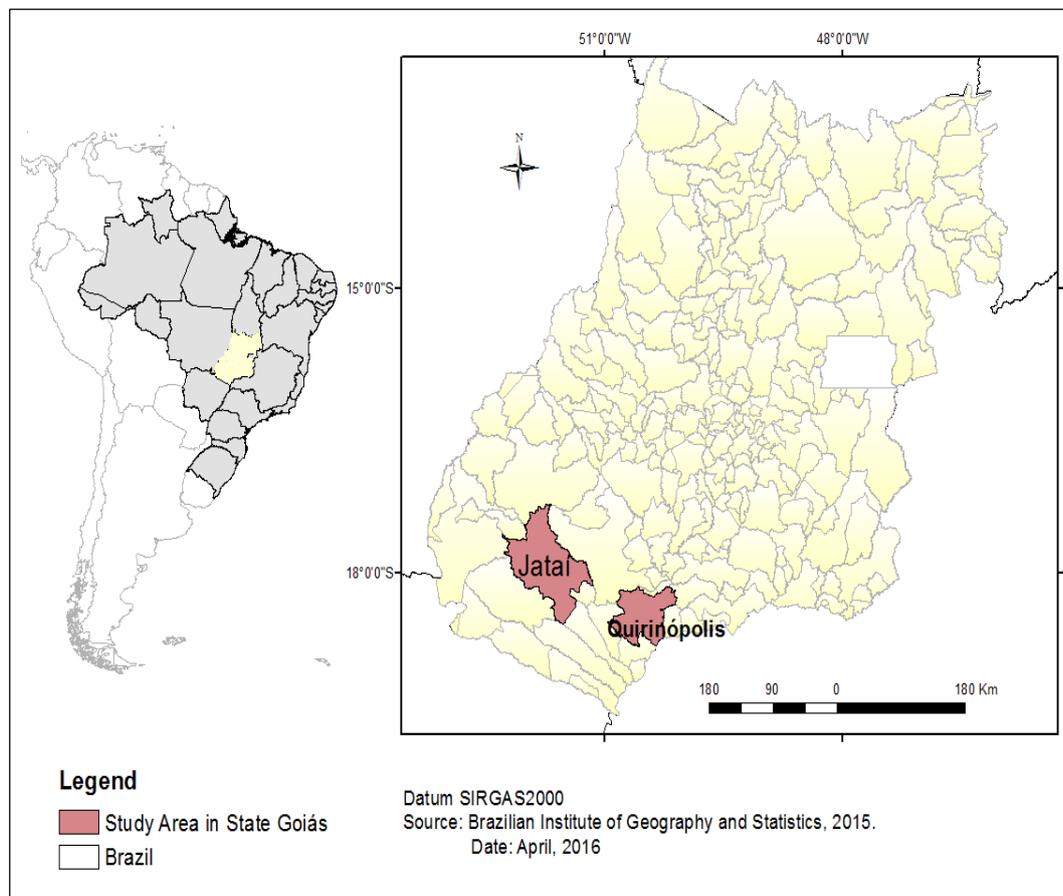


Figura 14: Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4: Municípios formadores da região sudoeste de Goiás por área em km² e ha.

Municípios	Área (km²)	Área (ha)
Acreúna	1.565,989	156.598,9
Aparecida do Rio Doce	602,288	602,288
Aporé	2.900,344	290.034,4
Cachoeira Alta	1.654,343	165.434,3
Caçu	2.251,098	225.109,8
Castelândia	297,428	29.742,8
Chapadão do Céu	2.354,822	235.482,2
Itajá	2.091,394	209.139,4
Itarumã	3.433,619	343.361,9
Jataí	7.174,217	717.421,7
Lagoa Santa	458,865	45.886,5
Maurilândia	393,793	39.379,3
Mineiros	8.896,304	889.630,4
Montividiu	1.874,611	187.461,1
Paranaiguara	1.153,786	115.378,6
Portelândia	550,646	55.064,6
Quirinópolis	3.780,173	378.017,3
Rio Verde	8.388,295	838.829,5
Santa Helena de Goiás	1.127,855	112.785,5
Santa Rita do Araguaia	1.361,764	136.176,4
Santo Antonio da Barra	451,596	45.159,6
São Simão	414,055	41.405,5
Serranópolis	5.526,526	552.652,6
Turvelândia	934,260	93.426,0
Total da região	61.498,463	6.149.846,3

Fonte: IBGE (2010)

Como resultado do modelo de crescimento econômico que incorpora, de modo incipiente, a esfera ambiental em seu planejamento, os municípios de Jataí e Quirinópolis (GO) apresentam problemas de ordem socioeconômica e ambiental que se intensificam. Especificamente no que diz respeito à disponibilidade de recursos hídricos, verifica-se que, durante certos períodos do ano, há escassez, o que gera preocupações quanto ao futuro, visto que projeções na área socioeconômica delineiam a continuidade da dinâmica crescente de sua demanda.

A escolha de municípios do sudoeste de Goiás como estudo de caso valeu-se de um momento propício: a crescente demanda interna e externa por etanol de cana-de-açúcar brasileiro; a expansão da cultura de cana-de-açúcar em direção ao Cerrado; a adoção da irrigação da cana-de-açúcar; e a importância da região para os setores agrícola e energético.

O sudoeste goiano é uma das regiões brasileiras mais importantes na produção de grãos até os anos 2000, sendo que a cultura da soja, a partir da década de 1980, tornou-se a atividade pecuária local mais importante. Na década de 2000 a 2010, esta região tem recebido o impacto de uma grande expansão da agroindústria canavieira, sendo que, a partir de 2004, com a crise do setor de grãos, o aumento da cultura canavieira se efetivou na região como forma de agricultura intensiva e com alto padrão tecnológico.

Essa microrregião apresenta os maiores indicadores de produtividade nos vários segmentos do agronegócio goiano, estabelecendo-se no cenário nacional como exemplo dos efeitos multiplicadores positivos da integração do setor agrícola com o segmento industrial. Essa integração deveu-se à percepção do esvaziamento dos excedentes pelo não processamento industrial, motivando iniciativas consideradas pioneiras para a instalação de setores industriais que agregassem valores aos produtos primários da região (CASTILLO, 2009). No que se refere à cana-de-açúcar, várias usinas foram instaladas próximas aos centros de cultura da cana-de-açúcar a fim de minimizar os custos da produção.

Considera-se que, na região sudoeste de Goiás, o processamento da matéria-prima pelas indústrias foi responsável pela concentração populacional em alguns municípios. Outro fator que motivou esta concentração foi a criação de pólos dinâmicos em municípios com uma diversidade de atividades agroindustriais, baseada

principalmente na produção de grãos. Este fator criou cadeias locais que incentivaram investimentos em infraestruturas de armazenagem e de escoamento da produção local. Com o aumento dos usos das terras para o cultivo de cana, a região sudoeste apresentou um adensamento produtivo no decorrer dos anos, com um padrão de produção com alta incorporação de tecnologia e de capital com pouca preocupação social e ambiental (MAPA, 2006).

Há um aumento populacional crescente na área. Somente alguns municípios apresentam redução da sua população como: Cachoeira Alta, Castelândia, Itajá e Itarumã. Outra característica da região é que ela mantém uma média de participação na população total do estado de 8%, destacando que, nesta região, os municípios que apresentaram as maiores taxas de crescimento foram Rio Verde, Jataí, Mineiros e Quirinópolis, considerados como de alto poder de atração populacional pelo seu dinamismo econômico, baseado exclusivamente nos setores do agronegócio goiano, mais particularmente na produção de grãos, na produção de carnes e na produção sucroalcooleira (LIMA, 2010).

Percebe-se, à medida que o setor agrícola integra-se ao capital industrial, que existe uma convergência para a melhoria dos indicadores econômicos dos municípios, razão pela qual vários órgãos estaduais têm incentivado a integração do setor em Goiás ao sistema industrial (LIMA, 2010). Em Jataí e Quirinópolis, as usinas Raízen e Boa Vista instalaram-se nos anos 2000 dentro dessa lógica do plantio e processamento da cana num só local (Quadro 2).

Quadro 2: Usinas instaladas em Jataí e Quirinópolis

Município	Usina	Ano de instalação	Tipo de produção
Jataí	RAÍZEN S/A	2009	Açúcar e Álcool
Quirinópolis	Usina Boa Vista S/A	2010	Álcool

Fonte: LIMA, 2010.

De acordo com SEPLAN (2009), impulsionada pelo agronegócio, a região do sudoeste goiano apresenta a maioria de seus municípios com IDE (Índice de Desenvolvimento Econômico) acima da média do Estado – 73% do total dos municípios da região. Com IDE médio de 5.061, a região apresenta apenas sete municípios com desenvolvimento econômico abaixo da média da região centro-oeste.

O sucesso da alta produção da microrregião, além dos artefatos tecnológicos, fica por conta das características físicas, visto que o clima dessa região é estacional, onde um período chuvoso, que dura de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1.500 mm e as temperaturas são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22°C e 27°C, em média. Já os solos são muito antigos, intemperizados, ácidos, depauperados de nutrientes. Eles possuem concentrações elevadas de alumínio, com muitos arbustos e árvores nativas do Cerrado, que acumulam o alumínio em suas folhas (HARIDASAN, 1982), e são corrigidos para fins agrícolas com a aplicação de fertilizantes e calcários (KLINK & MACHADO, 2005, p.148). Nota-se, nesta região, que a demanda por insumos tende a ser elevada para compensar deficiências e, devido às condições naturais, o empobrecimento do solo pode ocorrer com bastante facilidade se houver negligência na sua conservação.

Outro fator físico importante é que a entrada de diversas culturas na área de Cerrado trouxe uma demanda adicional de água como, por exemplo, o caso do café que era cultivado anteriormente em São Paulo e Paraná e que não demandava irrigação, pois, nas regiões tradicionais de clima temperado, o regime de chuvas é adequado às necessidades da cultura. O mesmo fato é verificado quando se comparam culturas como as do milho e da cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar, em especial, devido à ampliação de suas áreas de cultivo para o Cerrado, comumente tem a necessidade da chamada “irrigação de salvamento”, na qual é comum a adição, em agosto, setembro e outubro, de cerca de 5 mm de água ao dia. Fato importante que vem sendo observado nas áreas de plantação de cana-de-açúcar em Goiás é a tendência de irrigar a cultura não apenas nos períodos críticos.

Ademais, a microrregião sudoeste tem como predominância o bioma Cerrado, que ocupa uma área de 2.036.448 km², representando 23,92% do território nacional continental (IBGE, 2004). Trata-se do bioma de savana mais rico em biodiversidade do mundo, contendo cerca de um terço de toda a biodiversidade existente no território nacional continental (DIAS, 1991). Todavia, o avanço produtivo sobre a área do Cerrado brasileiro vem acentuando o processo de degradação ambiental desse bioma (Figura 15).



Figura 15: Área de vegetação de Cerrado e áreas de Cerrado ocupadas pela agricultura. Fonte: www.proetecaocerrado.org.br.

SHIKI (1997, p. 135) alerta que o modelo adotado no Cerrado tinha seu sucesso econômico fundamentado:

...num modelo de produção altamente dependente de energia fóssil, de fontes de sintropia positiva e produtora de entropias indesejáveis, que questionam a sustentabilidade do sistema agroalimentar num ecossistema frágil, como são os cerrados brasileiros. Essas entropias se manifestam de diversas maneiras, entre as quais está a degradação do solo; de redução de quantidade e qualidade da água; de simplificação do ecossistema e redução da biodiversidade e de ocorrência de patógenos e pragas oportunistas que adquirem caráter endêmico (Figura 16).

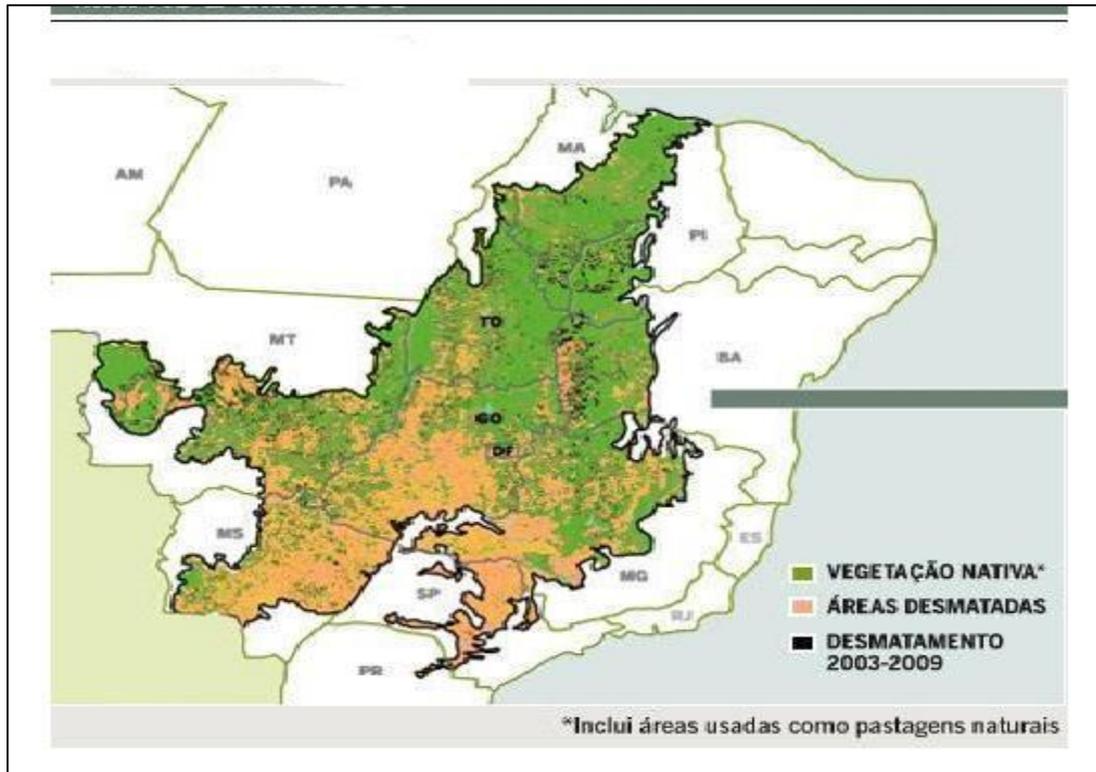


Figura 16: Desmatamento no Cerrado e agricultura. Fonte: www.ecodebate.com.br

Os impactos já verificados nos municípios do estudo de caso são: no uso de recursos materiais - principalmente energia e materiais; no meio ambiente - qualidade do ar, clima global, suprimento de água, ocupação do solo e biodiversidade, preservação de solos, uso de defensivos e fertilizantes; a sustentabilidade da base produtiva; os impactos nas ações comerciais; e os socioeconômicos (LIMA, 2011). Ressalta-se que, neste trabalho, a análise se concentrou nos impactos causados no uso dos recursos hídricos pela expansão da cana-de-açúcar.

O aspecto que vem se tornando cada dia mais importante é a demanda pelos recursos hídricos. Ocorre que a pressão pela viabilização de certas áreas para plantio da cana-de-açúcar torna indispensável a prática da irrigação, o que envolve um consumo elevadíssimo de água, algo preocupante especialmente em regiões que se encontram em situação de déficit hídrico. Além disto, a lavagem da cana-de-açúcar colhida antes do início da moagem também é um processo de alto consumo, que exige cuidados no descarte (Figura 17).



Figura 17: Ribeirão das Pedras, área do entorno estação de captação de água da SANEAGO para abastecimento da cidade de Quirinópolis. Fonte: Trabalho de Campo, 2015.

A monocultura implica no uso de fertilizantes, fungicidas e pesticidas, pois a questão da recuperação do potencial produtivo e o controle de pragas são recorrentes a cada safra. Esta prática se desenvolve mesmo em áreas de preservação, desarticulando totalmente o delicado equilíbrio ecológico. Com isto, as águas pluviais ocasionam o escoamento superficial ou penetração destes compostos químicos no solo, o que contamina rios e águas subterrâneas, essenciais para o abastecimento de água potável. Com o tempo, o aumento da acidez do solo pode inviabilizar economicamente a recomposição do seu estado original. Tais fatos comprometem seriamente a saúde de moradores dos municípios envolvidos, bem como podem afetar a disponibilidade de água potável para as populações locais (MORAES, 2002).

4.1.1 – Recursos Hídricos em Jataí e Quirinópolis

Os municípios que são tratados como estudos de caso dessa tese fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Esta Bacia está localizada entre os paralelos 15° e 20° sul e os meridianos 45° e 53° oeste, sendo a segunda maior unidade hidrográfica da Região Hidrográfica do Paraná (25,4% de sua área), que corresponde a uma área de drenagem de 222.767 km². Em Goiás, o rio Paranaíba recebe outros três grandes afluentes da Bacia, os rios Meia Ponte, Turvo e dos Bois pela margem direita e o rio Tijuco pela margem esquerda. As Figuras 18 e 19 procuram representar a Bacia e o leito principal do rio Paranaíba, tridimensionalmente, junto com seus principais afluentes, e a localização da Bacia de acordo com o PRH Paranaíba¹¹.

¹¹ O Plano de Recursos Hídricos (PRH) é um instrumento que estabelece as ações de proteção e recuperação de uma Bacia Hidrográfica e o controle sobre os usos da água. Os PRHs são concebidos para o país, para os estados e para as bacias hidrográficas.

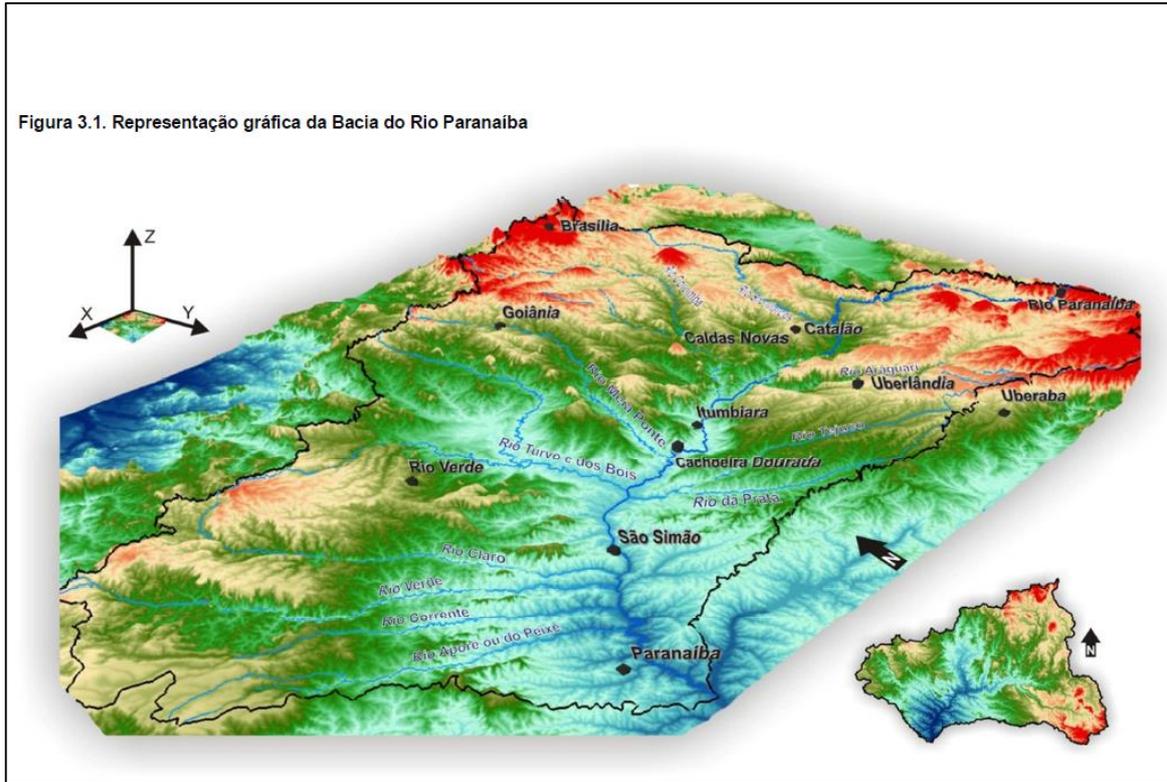


Figura 18: Bacia do Parnaíba e leito principal. Fonte: ANA, 2010.

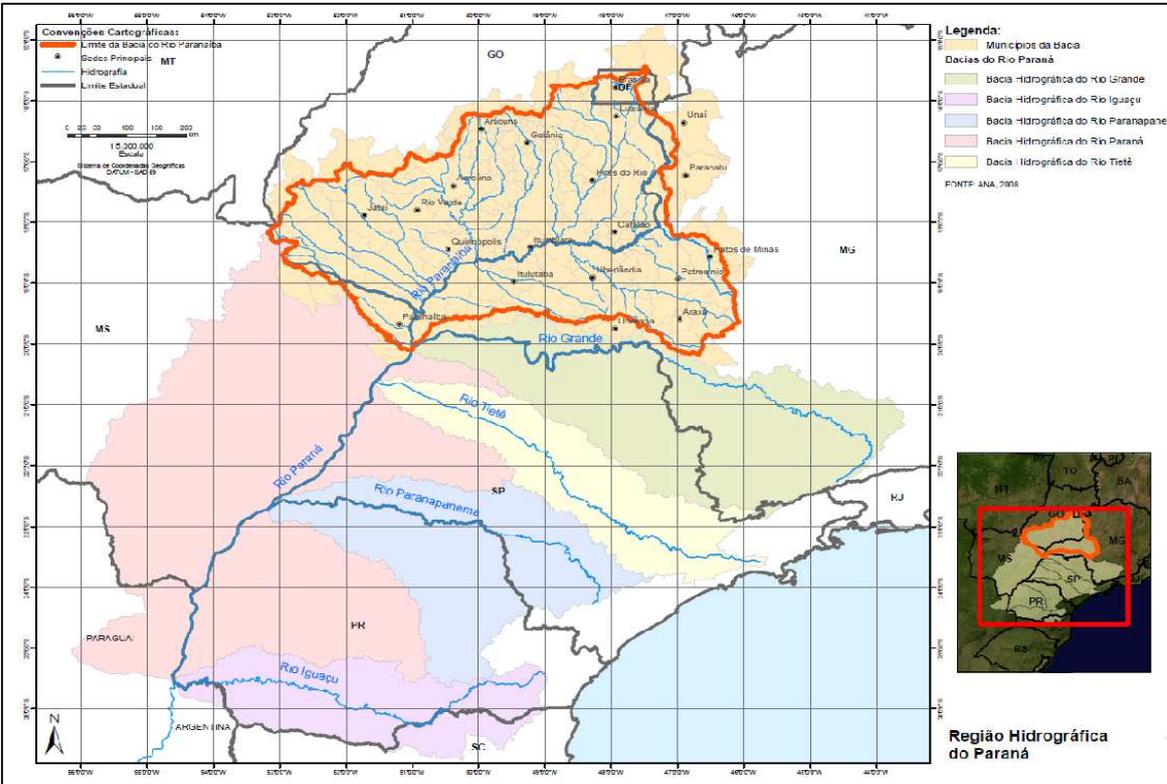


Figura 19: Região Hidrográfica do Paraná (foto menor) e Bacia do Rio Parnaíba (PRP). Fonte: ANA, 2013.

No estado de Goiás, a Bacia foi dividida em cinco Unidades de Gestão Hidrográfica (UGH), sendo elas:

- São Marcos, composta pelas sub-bacias goianas afluentes do Rio São Marcos e pelas sub-bacias do Rio Veríssimo e Ribeirão Ouvidor;
- Corumbá: composta pela bacia hidrográfica do Rio Corumbá;
- Meia Ponte: composta pela bacia hidrográfica do Rio Meia Ponte e sub-bacias hidrográficas dos Ribeirões Santa Maria e da Campanha;
- Turvo e dos Bois: composta pela bacia hidrográfica dos Rios Turvo e dos Bois que serve o município de Rio Verde (GO);

Claro, Verde, Correntes e Aporé (ou Afluentes Goianos do baixo Paranaíba): composta pelas bacias dos Rios, Preto, Claro, Verde e Corrente, sub-bacias goianas afluentes do Rio Aporé e dos Rios São Francisco e Alegre e do Ribeirão da Madeira, que serve aos municípios de Jataí e Quirinópolis (GO).

Analisando os dados do SNIS (2008), verificou-se, ainda, que, em relação à prestadora de serviços de saneamento, a maioria dos municípios contemplados pela Bacia do Rio Paranaíba (83%) tem o atendimento realizado pelas concessionárias estaduais dos respectivos estados. O Quadro 3 apresenta a relação dos municípios de acordo com a natureza da concessionária.

Quadro 3: Relação dos municípios com as concessionárias de água. A prestadora de serviços é estadual.

Município	Manancial	Tipo de Captação
Jataí	Rio Claro	Mista (Superficial e Subterrânea)
Quirinópolis	Ribeirão das Pedras	Superficial

Fonte: Atlas, 2010.

Um estudo utilizado como referência para traçar o perfil dos municípios em termos de abastecimento de água foi o Atlas do Abastecimento Urbano de Água, elaborado pela ANA. A partir dos dados coletados pelo estudo foi possível identificar

como se dá o tratamento da água após a utilização da mesma (Atlas, 2010) (Quadro 4).

Quadro 4: Tratamento da água nos municípios de Jataí e Quirinópolis.

Município	Índice de Coleta de Esgoto (%)	Índice de Tratamento Esgoto	Tipos de Tratamento
Jataí	56,1	100	Lagoa Facultativa
Quirinópolis	94,5	100	Reator Anaeróbico

Fonte: PNSB, 2008

As atividades desenvolvidas nos municípios do estudo de caso resultam em uma demanda crescente por água devido principalmente ao uso pelo setor agrícola, sendo atualmente a vazão de retirada para atendimentos dos diversos usos totalizam 211,2 m³/s (66,8% da vazão de retirada). As demandas hídricas da bacia por setor são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Demandas hídricas captada e consumida por usuário na bacia do Parnaíba dos municípios de Jataí e Quirinópolis (ano base 2010).

Fonte: ANA, 2013

Usuário	Captação (L/s)¹²	Consumo (L/s)¹³
Abastecimento Humano	1.700,00	1.236,00
Indústria	3.223,00	982,90
Pecuária	340,00	302,74
Mineração	252,64	54,8
Agricultura	98.762,50	81.902,90
Total	103.878,14	84.176,63

Setorialmente, a atividade agrícola (irrigação) representa 89,4% da demanda total de consumo, sendo a irrigação por pivô central responsável por metade

¹² A demanda captada corresponde a vazões de retirada dos corpos hídricos, enquanto as vazões de consumo correspondem à água efetivamente consumida, considerando o coeficiente médio de retorno dos diferentes usos.

¹³ A demanda total captada teve como base a demanda de irrigação das culturas para um período crítico de dois meses (agosto e setembro).

da demanda. A segunda maior demanda de consumo é a dessedentação animal, com participação de 4%, seguida pela indústria (3,5%) e abastecimento humano (2,9%). Grande parte da demanda industrial está relacionada com a agroindústria e, mais especificamente, com o setor sucroalcooleiro.

Para o cálculo da Pegada Hídrica para irrigação da cana-de-açúcar em Jataí e Quirinópolis, são utilizados dados de uso da água das duas usinas instaladas nos municípios. No próximo item, estas usinas são descritas.

4.1.2 Usinas sucroalcooleiras de Jataí e Quirinópolis

Por se encontrarem próximas tanto da densa malha rodoviária mineira quanto do grande centro consumidor paulista, os municípios de Jataí e Quirinópolis se tornaram de grande interesse para instalação de usinas sucroalcooleiras, pois suas localizações permitem escoamento rápido de sua produção para o mercado interno. Ademais, sua área rural é ampla, como também são as de outros municípios localizados nas proximidades. Estas, entre outras características, atraíram os investimentos para instalação das duas usinas consideradas modelo: a Raízen e a Boa Vista, pertencente ao grupo São Martinho.

Mediante seus modelos de gestão, é considerado pelas demais usinas como referência na condução do processo de atração/fixação do capital sucroenergético. Por esta razão, torna-se especialmente interessante para este trabalho, já que as bases que sustentaram sua ocupação podem ser reproduzidas em larga escala neste novo momento histórico, em que o rápido incremento da produção é considerado fundamental. Todas estas características levam a identificar a centralidade de Jataí e Quirinópolis no processo de expansão do setor sucroenergético para o Cerrado.

Em relação ao processo de ocupação pelas usinas e suas consequências, cabe ressaltar que a prática dos arrendamentos é bastante usual. Os primeiros foram realizados nas terras em que existia soja e, portanto, estas já se encontravam trabalhadas para o plantio da cana-de-açúcar. Também foram ocupadas antigas plantações de milho, feijão e arroz e, na falta de alternativas, restaram pastagens, que não puderam ser utilizadas pela pecuária com a intensidade do passado.

A partir de 2006, a concorrência entre as usinas pelo arrendamento das terras disponíveis aumentou em certa medida o valor negociado, o que ainda faz parecer um bom negócio estabelecer este tipo de contrato. De acordo com levantamentos realizados em campo, a usina Boa Vista remunera o proprietário da terra, em média, com R\$ 1.100,00 anuais por hectare, valor um tanto superior aos praticados em São Paulo até 2010. Isto provavelmente se justifica pela concorrência com culturas previamente instaladas, existência de outra usina nas proximidades e pelos contratos estarem na primeira vigência, dentro do ciclo inicial de cinco anos da planta. Certamente, após este período, a renovação implicará numa negociação mais difícil, à qual o produtor será forçado a ceder por falta de opções.

A abdicação de verbas federais para incentivo à produção familiar é um indicativo que o foco da administração é colaborar para o processo de substituição da pequena produção pela monocultura, aumentando, desta maneira, a arrecadação municipal associada ao setor. Especificamente para o caso de Quirinópolis, o dinheiro pago ao produtor que arrenda suas terras, associado ao crédito abundante, é utilizado para adquirir veículos luxuosos e adotar um padrão de vida insustentável, que rapidamente requer uma fonte de renda adicional.

Existe grande dependência do setor sucroenergético, isto é inquestionável. Estima-se que 73% da arrecadação de ICMS municipal de Quirinópolis e Jataí estejam ligadas direta ou indiretamente à cana, segundo a administração municipal. De acordo com a mesma fonte, no entanto, não há temor quanto à possibilidade de federalização dos impostos sobre esta atividade, já que a partilha dos mesmos foi estabelecida em contrato anterior a qualquer lei que venha a se estabelecer. Para que se tenha ideia do que representou a instalação das usinas no município, a arrecadação de ICMS aumentou 80% de 2005 para 2006, quando a primeira unidade entrou em operação¹⁴.

Utilizando dados obtidos através de consulta à base FINBRA¹⁵, é possível constatar que a arrecadação de Jataí e Quirinópolis é sensivelmente superior quando comparada à de municípios de porte semelhante no mesmo estado, com destaque para os impostos sobre a produção e circulação, que são praticamente todos atrelados

¹⁴ Segundo a Secretaria de Estado de Gestão e Planejamento de Goiás (SEPLAN), que publicou o ranking dos municípios em GOIÁS (2007).

¹⁵ Finanças do Brasil - Dados Contábeis dos Municípios, publicação de 2010 com dados referentes a 2009. Consultar BRASIL (2011).

às usinas e o ISSQN, de arrecadação exclusiva do município. Em relação às despesas, estas não apresentam desvios substanciais quando comparadas às demais, salvo variações nos gastos com saúde.

A baixa variedade de atividades produtivas e, principalmente, a grande diferença existente entre as fontes de arrecadação resultam numa condição de dependência que tende a se aprofundar com a crescente especialização, que não é inibida por nenhuma restrição legal em relação à ocupação. Como único mecanismo de proteção aos produtores, foi criada a lei 2.679, de 18 de setembro de 2007, segundo a qual 50% da cana utilizada pelas usinas é, obrigatoriamente, originada de fornecedores terceirizados locais, ou seja, de proprietários sem grau de parentesco próximo a qualquer representante dos grupos usineiros.

Essencialmente, os moradores locais são empregados nas usinas como cortadores de cana e motoristas. Cargos com maior remuneração, em geral, são ocupados por profissionais de outros estados, especialmente de São Paulo, onde estão localizadas as sedes dos grupos usineiros. As demais alternativas de emprego não são comparáveis às usinas em nenhum aspecto. Para que se tenha uma ideia da importância do etanol para a economia local, basta considerar que a usina Raízen gera cerca de 4.500 empregos diretos e cerca de 2.000 empregos indiretos. O presidente da ACIQ (Associação Comercial e Industrial de Quirinópolis), Leidimar Divino Nunes, estima que cerca de 40% dos empregos do município sejam direta ou indiretamente relacionados às usinas.

Analisando os dados disponíveis na base Rais-Caged, é possível comparar os períodos de 2003-2005 e 2005-2007 e constatar que o predomínio da oferta de empregos pela indústria sucroenergética e atividades relacionadas indiretamente a ela tornou-se total, mudando completamente o perfil de ocupação nos municípios estudados após o advento das usinas. Assim sendo, a presença de organizações como SENAC, SENAI, SESI e SEBRAE acaba se direcionando para a qualificação da força de trabalho atualmente concentrada no campo, convertendo-a para atividades urbanas, o que estimula a migração desta parcela da população para a cidade. Por outro lado, não existe parceria estabelecida com as universidades locais para formação de profissionais especializados, o que diminui a possibilidade de aproveitamento de moradores em cargos de remuneração mais elevada.

A Raízen foi criada a partir da fusão da Shell e Cosan e instalada em Jataí. Está, atualmente, entre as cinco maiores empresas em faturamento e as três maiores distribuidoras de combustíveis do Brasil, além de ser a principal fabricante de etanol de cana-de-açúcar do país e a maior exportadora individual de açúcar de cana no mercado internacional. Dentro da lógica contemporânea do mercado no setor sucroalcooleiro, a empresa tem como prática um processo totalmente integrado (Figura 20), com atuação em todas as etapas: cultivo da cana, produção de açúcar e etanol, logística interna e de exportação, distribuição e comercialização.



Figura 20: Processo de produção integrado Raízen S/A. Fonte: www.raizen.com.br

A Raízen também aposta em alternativas energéticas de matrizes renováveis, com constante investimento em tecnologia, pesquisa e desenvolvimento. Produzem bioeletricidade a partir dos coprodutos da cana-de-açúcar, além de reaproveitar uma parte de tais coprodutos na produção do etanol de segunda geração. A empresa está entre os maiores produtores de etanol do país, com um volume anual de cerca de dois bilhões de litros. No mercado interno, são comercializados, principalmente, etanol anidro e hidratado carburante por meio da nossa rede de postos Shell. O produto também é vendido a diversos segmentos industriais: parte da

produção de álcool para fins industriais, álcool neutro e etanol carburante para o mercado externo.

A unidade da empresa em Jataí (GO) foi implantada em 2009, fica na Fazenda Santo Antônio do Rio Doce, possui a certificação Bonsucro 11/032012. Lançada em 2011, esta certificação visa garantir a sustentabilidade na produção de cana-de-açúcar e de todos os seus derivados, por meio do reconhecimento das empresas que demonstram cumprir esse padrão de forma íntegra. A unidade produtora de Jataí já é responsável pela produção de aproximadamente 500 milhões de litros de etanol por ano. Na Figura 21, há fotos da usina ainda em construção em 2008 e em total funcionamento em 2010. Quanto ao uso da água, a empresa afirma que há preocupação em utilizá-la de forma consciente, com maior eficiência e investimentos.



Figura 21: Imagens da Usina Raízen em Jataí (GO). Fonte: www.raizen.com.br

Já no município de Quirinópolis, a empresa Boa Vista S/A do grupo São Martinho (Figura 22) foi inaugurada em 2008 e é considerada uma das mais modernas do mundo por sua avançada tecnologia para a produção de etanol. Com colheita 100% mecanizada, que não promove a queima da cana-de-açúcar para a sua extração, a usina foi a pioneira no Brasil em combinar práticas modernas e sustentáveis, tanto nas suas operações quanto com as comunidades da região.



Figura 22: Fotos da Usina Boa Vista S/A. Fonte: www.saomartinho.ind.br.

Presente em uma área de 1,7 milhão metros quadrados, sendo 23 mil de área construída, a usina possui *layout* projetado para futuras expansões de suas operações com o objetivo de ampliar a sua capacidade de processamento de cana. Um de seus destaques é o COI (Centro de Operações Industriais), uma sala de comando que apresenta o status em tempo real de todos os processos em andamento na indústria 24 horas por dia, de forma ininterrupta. No local, são gerenciadas operações como extração e tratamento do caldo de cana, fermentação, destilação, armazenagem, geração de vapor, geração de energia elétrica e ar comprimido, tratamento de água e efluentes, entre outras.

Em junho de 2010, o Grupo São Martinho e a Petrobras Biocombustível se uniram para formar uma parceria voltada à produção de etanol, na região centro-oeste do Brasil, criando, assim, a Nova Fronteira SA. Além da Usina Boa Vista, o negócio também compreende o projeto de Greenfield SMBJ S.A. localizado em Goiás. A Usina Boa Vista recebeu um aporte de R\$ 420 milhões da Petrobras Biocombustível para acelerar o crescimento das suas operações nos próximos anos.

4.2 – Metodologia para avaliação de impactos sobre os recursos hídricos

Como indicador, a Pegada Hídrica permite monitorar os efeitos da escassez de água, podendo ser útil como ferramenta de avaliação da gestão das águas, o que é bastante necessário no sudoeste goiano devido ao aumento de área com culturas irrigadas. No caso de Jataí e Quirinópolis, esse indicador que mostra não somente os volumes de água consumidos, mas também o período em que ocorre o consumo de água, a pegada hídrica possibilita, através do estudo de seus resultados, a discussão socioambiental da exploração e uso dos recursos hídricos. Assim, pode-se evitar a exploração nos locais onde a água é mais escassa e, no caso da cana-de-açúcar, mensurar o uso da água para irrigação, e seus possíveis impactos nos demais usos da população.

Considerando a abordagem NECAT¹⁶ como norteadora deste trabalho, foi selecionado o indicador Pegada Hídrica (HOEKSTRA, A.Y., et al, 2011) para analisar a apropriação de água da produção de etanol de cana-de-açúcar nos municípios de Jataí e Quirinópolis, na bacia do rio Paranaíba, e os potenciais impactos da produção de cana-de-açúcar sobre recursos hídricos.

Foi selecionado o modelo CROPWAT 8.0, que é um programa para microcomputadores desenvolvido pela FAO (*Food and Agriculture Organization*), que serve para calcular os requerimentos de água da cultura e de irrigação, a partir de dados de clima e da cultura. Adicionalmente, o programa permite estabelecer calendários de irrigação para diferentes condições de manejo, e calcular o esquema de suprimento de água de um projeto para diferentes padrões de cultivo, sendo subdividido em três partes distintas:

- a) entrada e processamento dos dados de evaporação e precipitação;
- b) entrada de dados da cultura e data de plantio; e
- c) cálculo dos requerimentos de água da cultura.

Para cálculo dos requerimentos da cultura são necessários dados mensais de ETo (Evapotranspiração) e de precipitação. O cálculo da evapotranspiração de

¹⁶ Abordagem integradora Nexus-ÁguaClima-Uso da Terra (NECAT)

referência é baseado no método de Penman-Monteith¹⁷ e necessita de dados climáticos tais como temperatura, umidade, radiação e velocidade do vento, também mensais. Este método é atualmente o recomendado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) para o cálculo da evapotranspiração de referência (ALLEN *et. al.*, 1998).

A entrada de dados da cultura necessária para o cálculo dos requerimentos de água é feita com as seguintes informações: comprimento, em dias, dos estádios de desenvolvimento; coeficiente de cultura (Kc) para as fases inicial, intermediária e na colheita. A necessidade hídrica de qualquer cultura está relacionada com a evapotranspiração, que corresponde à quantidade de água que passa para a atmosfera em forma de vapor pela evaporação do solo e pela transpiração das plantas. Embora os valores para evapotranspiração e necessidade hídrica da cultura sejam idênticos, o primeiro se refere à quantidade de água que é perdida através da evapotranspiração, enquanto o segundo se refere à necessidade de água que deve ser fornecida à cultura. Parâmetros meteorológicos, características da planta, estádios fenológicos, tipos de manejo e aspectos ambientais são fatores que afetam a evapotranspiração de uma cultura, logo, sua necessidade hídrica (ALLEN *et. al.*, 1998).

Para o cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc), características específicas da planta são adicionadas ao cálculo através do coeficiente de cultura (Kc), que varia ao longo do período de desenvolvimento da cultura.

Os dados e variáveis considerados para o processamento no CROPWAT e o cálculo da Pegada Hídrica da cultura de cana-de-açúcar são apresentados na Tabela 6.

¹⁷ O método de Penman-Monteith (Monteith, 1973) é recomendado pela FAO (Smith, 1991) para o cálculo da evapotranspiração, utilizando os dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, insolação e velocidade do vento medida a dois metros de altura

Tabela 6: Dados e variáveis consideradas para o cálculo da pegada hídrica do crescimento da cultura da cana-de-açúcar de acordo com o padrão do modelo CROPWAT 8.0.

Dado	Variáveis consideradas	Fonte dos Dados
	Coeficiente de cultura (Kc) Cana-de-açúcar: (0,4 – 1,20 – 0,60) Milho: (0,30 – 1,20 – 0,35) Soja: (0,40 – 1,15 – 0,50)	*Valores adotados para os municípios de Jataí e Quirinópolis (SEMARH, 2013)
Parâmetros da Cultura no Brasil	Fração média da produção de cana destinada ao etanol (55%) Produtividade média: Cana-de-açúcar: 77 t/ha Milho: 3,3 t/ha Soja: 3 t/ha Produtividade média para São Paulo: - cana-de-açúcar: 84 t/ha	CONAB, 2013 IBGE (Média safras 2005/2006 à 2011/2012 para a região centro-sul)
	Calendário de plantio	CONAB, 2013
	Irrigação de salvamento por aspersão Eficiência da irrigação: 75%	MAPA, 2014, Usinas RAIZEN e Boa Vista, FIESP, 2012
Solo	Capacidade de água disponível (CAD)	Base de dados do modelo CROPWAT (padrão)
Clima	Temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento (km/h), Insolação (h), radiação solar média (MJ/m ² /dia), precipitação (mm). Médias Mensais.	New LocClim (GRIESER, 2006)

Fonte: Elaboração própria de acordo com dados padrões do Modelo CROPWAT 8.0

4.2.1 Pegada Hídrica da cultura da cana-de-açúcar

Os municípios de Jataí e Quirinópolis apresentam expansão da agricultura sucroalcooleira que vem substituindo áreas hoje ocupadas por pastagens e cerrado, além, principalmente, das lavouras de milho e soja. Estas diferentes coberturas do solo podem representar alterações no uso da irrigação local, resultantes dos diferentes fluxos de água associados à evapotranspiração de cada tipo de cultura e uso da terra.

Os volumes de água necessários para repor as perdas por evapotranspiração, tanto oriundos da precipitação (água verde) quanto da irrigação (água azul), durante o ciclo completo de crescimento das culturas nos municípios, foram estimados com auxílio do modelo CROPWAT 8.0.

Para o cálculo da Pegada Hídrica são utilizados os seguintes dados padrões de saída do modelo CROPWAT:

a) Evapotranspiração azul (ETazul) = mínimo (irrigação líquida total, demandas reais de irrigação);

b) Evapotranspiração ajustada da cultura (ETa) = Evapotranspiração azul (Etazul) + Evapotranspiração Verde (ETverde).

Para o cálculo da Pegada Hídrica da cana-de-açúcar neste trabalho foram consideradas condições de irrigação de forma a evitar qualquer estresse hídrico durante todo o período de desenvolvimento da cultura.

Após o cálculo das ETazul e ETverde das culturas (mm/período de crescimento), estes valores são convertidos para m³/ha multiplicando pelo fator 10. A componente verde da pegada hídrica da cultura (PHverde, em m³/ton) é calculada como a demanda hídrica da cultura (DHCverde, m³/ha) dividida pela produtividade da cultura (Prtv, ton/ha). A componente azul (PHazul, m³/ton) é calculada de maneira semelhante.

Além das pegadas verde e azul, também pode ser estimada a pegada cinza da produção de cana-de-açúcar, calculando-se a vinhaça (fertirrigação) largamente utilizada nos municípios de Jataí e Quirinópolis (ANA, 2013).

A PH cinza da pegada hídrica do processo de uma cultura primária (m^3/ton) é calculada com base na carga de poluentes que é lançada no sistema hídrico (kg/ano), sendo dividida pela diferença entre o padrão de qualidade da água em seu estado natural, definido para aquele poluente (a concentração máxima aceitável (c_{max}), e sua concentração natural no corpo de água receptor (c_{nat}).

Para o cálculo da pegada cinza, foi considerado apenas o uso de nitrogênio, o que levou a uma estimativa conservadora do componente cinza, uma vez que o efeito da aplicação de outros nutrientes, pesticidas e herbicidas no ambiente não foi analisado devido à falta de dados. Assumiu-se que a quantidade de nitrogênio que atinge os corpos de água correntes seja equivalente a 10% da taxa de fertilizantes aplicada (em $\text{kg}/\text{ha}/\text{ano}$) (HOEKSTRA e CHAPAGAIN, 2008). O volume total necessário de água por tonelada de nitrogênio (N) é calculado com base no volume que é lixiviado ou escoado (t/t) e na concentração máxima permitida nos corpos de água superficiais. Como padrão de qualidade da água em seu estado natural para o nitrogênio, adotou-se o equivalente a 10 mg/litro (medido como N) (WHO, 2006). Esse limite foi utilizado para calcular o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes. Por falta de dados adequados, a concentração natural no corpo de água receptor foi considerada igual à zero.

O objetivo dessa etapa do trabalho, além de calcular a Pegada Hídrica da cultura da cana-de-açúcar na área de interesse, foi gerar informações para uma análise comparativa dessa PH com a da produção de cana-de-açúcar para o estado de São Paulo (maior produtor de cana-de-açúcar do país), considerando as mesmas premissas de manejo de irrigação adotadas para o cálculo da pegada hídrica na região estudada, estes dados foram adquiridos pelos relatórios do GIFC, 2014.

4.2.1.1 Resultados

Como resultado teve-se que a Pegada Hídrica total foi estimada em 238 m^3 de água/tonelada de cana produzida, sendo que $142 \text{ m}^3/\text{tc}$ representam a Pegada Hídrica verde e $96 \text{ m}^3/\text{tc}$ correspondem à Pegada Hídrica azul, ou seja, o montante de água necessária via irrigação.

A Pegada Hídrica cinza foi contabilizada juntamente com a Pegada azul (8,42m³/tc), já que expressa a poluição da água em termos de volume poluído, podendo ser comparada com o consumo de água.

A análise comparativa da PH da produção de cana-de-açúcar entre regiões produtoras considerou a Pegada Hídrica da produção no estado de São Paulo, maior produtor do Brasil, que apresentou dados de utilização de água por tonelada de cana produzida menores que os municípios de Jataí e Quirinópolis, tanto para a PHverde, como para a PHazul, ou seja, para o montante de água necessária via irrigação. A Pegada Hídrica cinza foi contabilizada juntamente com a Pegada Hídrica azul, já que expressa a poluição da água em termos de volume poluído (Figura 23).

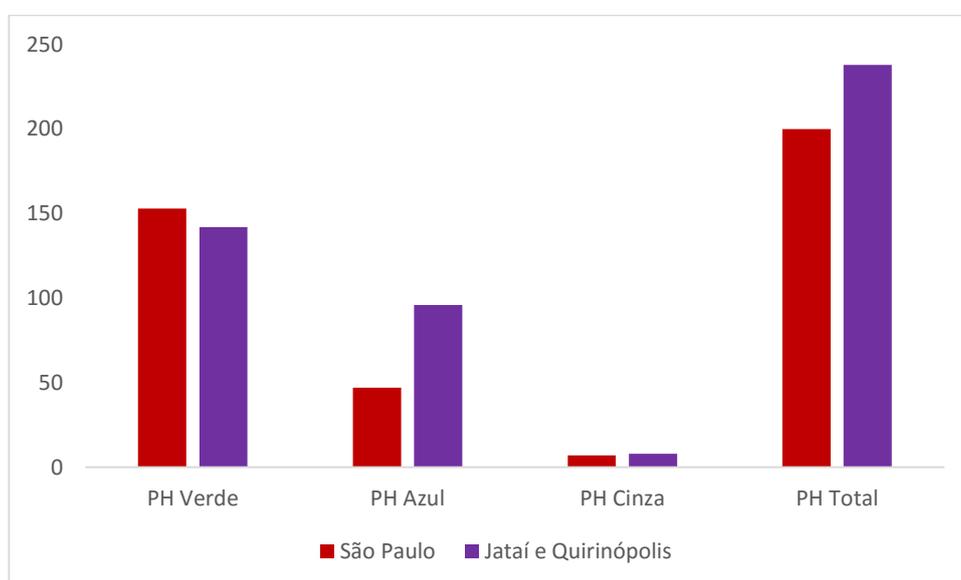


Figura 23: Comparação da Pegada Hídrica e m m³/t de cana-de-açúcar para os municípios de Jataí e Quirinópolis com São Paulo, maior estado produtor do país.

Fonte: Elaboração própria.

Com o objetivo de verificar a eficiência no uso da água da cultura da cana-de-açúcar, foram gerados os cálculos de Pegada Hídrica para as culturas agrícolas que predominavam na área de estudo, ou ainda apresentam competição por uso da terra, como o milho e a soja. Para tanto, foi adotada a produtividade média dos anos de 2006 a 2013 utilizando dados do IBGE. Esses cálculos foram realizados com o mesmo modelo e as variáveis de cada cultura, como feitas para a cana-de-açúcar.

De acordo com os resultados da Tabela 7, pode-se inferir que o cálculo das pegadas hídricas mostra que a cultura da soja apresenta a menor produtividade da água, ou seja, produz menor quantidade de grãos por volume total de água consumida (t/m^3). Já a cana-de-açúcar apresenta a maior produtividade de biomassa em relação à água consumida, ou seja, a menor Pegada Hídrica entre as culturas analisadas. Esse resultado se explica, em parte, pela elevada produtividade da cultura de cana-de-açúcar em relação às três culturas consideradas. Entretanto, a Pegada Hídrica azul da cultura de soja, ou seja, a demanda via irrigação, é menor quando comparada com a cultura da cana (estudo em tela e MEKONNEN, M.M. e HOEKSTRA, A.Y., 2010) e do milho (estudo em tela), o que indica menor necessidade de captação de recursos hídricos para irrigação da soja e do milho.

Tabela 7: Pegada hídrica para diferentes usos do solo na agricultura nos municípios de Jataí e Quirinópolis, da Bacia do Rio Parnaíba, Pegada Hídrica média brasileira (m^3/t) e produtividade (t/ha) para as culturas de cana, milho e soja.

Cultura	PH Jataí e Quirinópolis (Verde+Azul)	PH Bacia do Parnaíba (Verde+Azul)	Produtividade (IBGE, 2008-2014)
	(m^3/t)		t/ha
Cana-de-açúcar	7,59	243	77
Milho	14,4	773	4,3
Soja	27,67	961	3

Fonte: Resultados das análises em tela.

4.2.2 Cálculo da sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar

Para poder avaliar a sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar em Jataí e Quirinópolis, considerando critérios relacionados aos recursos hídricos, foram comparados dados da Pegada Hídrica da cana-de-açúcar destinada ao etanol e dados de disponibilidade hídrica.

O cálculo da Pegada Hídrica utilizou dados de quantidade produzida de cana-de-açúcar por município por meio de dados do IBGE para o ano civil de 2013 corrigidos de acordo com a área de cada município. A parcela da produção de cana-de-açúcar destinada ao processamento de etanol considerado foi a média brasileira de 55% da produção (MAPA, 2012). As demandas hídricas de retirada e consumo

(ANA, 2013), agregando valores estimados no cálculo da demanda hídrica para a cana-de-açúcar, e as vazões de referência com base no ano de 2010 (ANA, 2013), foram avaliados por meio do balanço hídrico superficial e, posteriormente, relacionados a indicadores de comprometimento dos recursos hídricos. Os indicadores de comprometimento dos recursos hídricos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Indicadores de comprometimento e sustentabilidade dos recursos hídricos de acordo com a vazão outorgável.

Classificação	Indicador	Características
Normal	$I < 50\%$	As demandas representam menos que 50% da disponibilidade hídrica (vazão outorgável).
Alerta	$50\% < I < 80\%$	As demandas representam mais que 50% e menos que 80% da disponibilidade hídrica (vazão outorgável).
Moderadamente Crítico	$80\% < I < 100\%$	As demandas representam mais que 80% e menos que 100% da disponibilidade hídrica (vazão outorgável).
Altamente Crítico	$I > 100\%$	As demandas hídricas representam mais que 100% da disponibilidade hídrica (vazão outorgável).

Fonte: (SEMARH, 2012).

O método de análise pelo balanço hídrico superficial auxilia no conhecimento das condições de oferta e demandas hídricas de diferentes regiões, comparando as demandas hídricas com a disponibilidade hídrica da mesma área de análise. O resultado do balanço hídrico vem de uma relação direta entre demanda e disponibilidade, ou seja, quando o resultado for maior que 'um' significa que, naquela

região específica, a demanda consumida está maior que sua disponibilidade hídrica, identificando a região como um trecho crítico.

As demandas utilizadas para o balanço hídrico são compostas pelo somatório de todas as demandas que captam e consomem recursos hídricos, neste último caso, já descontados os respectivos retornos aos mananciais. A demanda por recurso hídrico para a cana-de-açúcar foi calculada como sendo igual a 14.765 m³/ha. Já no caso da disponibilidade hídrica superficial, o valor utilizado refere-se à média anual da vazão de referência (ANA, 2013).

4.2.2.1 Resultados

Na análise da sustentabilidade, a demanda hídrica da cultura de cana-de-açúcar por unidade de área (hectare) é superior às demais culturas analisadas para os municípios de Jataí e Quirinópolis, devido ao seu valor de produtividade maior em relação às demais culturas. Assim, a pressão sobre os recursos hídricos por hectare produzido de cana-de-açúcar (4.630 m³/ha), considerando apenas a componente azul da demanda hídrica, é superior à pressão exercida pelas culturas do milho (1.270 m³/ha) e da soja (28 m³/ha), respectivamente. Ou seja, cada hectare de expansão da cultura da cana-de-açúcar que venha a substituir as culturas de milho e soja, acarretará maior pressão quantitativa sobre os recursos hídricos para fins de irrigação.

Já para Pegada Hídrica verde, também foi observada que a cultura da cana-de-açúcar apresenta maior apropriação de água por área produzida (10.135 m³/ha) que as culturas de milho (2.130 m³/ha) e soja (2.652 m³/ha) (Tabela 9).

Tabela 9: Demanda Hídrica por hectare das culturas de cana-de-açúcar, milho e soja, nos municípios de Jataí e Quirinópolis.

Cultura	PH Verde* (m³/ha)	PH Azul* (m³/ha)	Total Consumido (m³/ha)
Cana-de-açúcar	10.135	4.630	14.765
Milho	2.130	1.270	3.400
Soja	2.652	28	2.680

Fonte: Estudo em tela.

*Estimativa realizada por meio do cálculo da PH das culturas em m³/t, considerando a produtividade por hectare.

Também foi comparada nesta análise, a Pegada Hídrica da produção de cana-de-açúcar destinada ao processamento de etanol e a disponibilidade de água nas bacias dos Rios Claro, Verde e Corrente, que serve aos municípios de Jataí e Quirinópolis (GO). Esses dados foram avaliados e relacionados aos indicadores de comprometimento dos recursos hídricos. Os indicadores representam as relações entre as demandas de água e a disponibilidade hídrica, dada pela vazão de referência (Q95%) e vazão outorgável dado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Goiás (CERH-GO).

A Tabela 10 apresenta os indicadores de comprometimento baseadas nas vazões de retirada superficiais e, de acordo com ela, pode-se verificar que os Rios Claro, Correntes e Aporé apresentam indicadores de comprometimento hídrico considerados “Normal”, com índice de 49%. As demandas representam menos do que 50% da disponibilidade hídrica (vazão outorgável).

Vale ressaltar que nem toda água que retorna aos corpos hídricos retorna com padrões aceitáveis de qualidade para utilização, ou retorna na mesma quantidade e local em que foi captada. Os municípios de Jataí e Quirinópolis, apesar de produzirem maior quantidade de cana-de-açúcar (15% da produção de cana-de-açúcar da bacia do Rio Paranaíba), apresentaram uma situação normal em relação ao comprometimento de seus recursos, devido, principalmente, à sua maior disponibilidade hídrica e menores demandas de retirada e consumo.

Tabela 10: Demandas de retirada, disponibilidades hídricas e balanços hídricos tendo 2013 como ano base.

UGHs e Bacia do Paranaíba	Demanda de retirada (m³/s)	Disponibilidade Hídrica superficial: vazão outorgável (m³/s)	Balanço Hídrico(vazão de retirada/ vazão de referência)	Balanço Hídrico (vazão de retirada/ vazão outorgável)	Demanda de Retirada+ Demanda de Retirada para Cultura de Cana-de-açúcar (m/s³)	Balanço Hídrico (retirada+ Demanda cana/ Vazão de referência)	Balanço Hídrico (demanda de Retirada+ Demanda cana/ vazão outorgável)
Bacia do Paranaíba	334	612	0,27	0,55	406	0,33	0,66
Turvo e dos Bois	58	78	0,37	0,75	82	0,53	1,05
Meia Ponte	33	31	0,52	1,05	37	0,59	1,18
Afluentes Mineiros	30	44	0,34	0,69	32	0,37	0,74
Claro, Verde, Correntes e Aporé	23	180	0,07	0,13	34	0,009	0,19

Legenda

Normal	Alerta	Moderadamente Crítico	Altamente Crítico
--------	--------	-----------------------	-------------------

Fonte: CERH-GO, 2013.

4.2.3 Expansão da produção de cana-de-açúcar e impactos sobre os recursos hídricos

A avaliação dos impactos da produção de cana-de-açúcar sobre os recursos hídricos, considerando cenários de expansão da área plantada para atender as demandas crescentes principalmente por etanol, foram realizadas com base no ano de 2022. Foram levadas em conta as taxas de expansão da cultura de acordo com os valores apresentados na Tabela 11. Essas taxas foram aplicadas sobre a área plantada de cana-de-açúcar nos municípios de Jataí e Quirinópolis, referentes a 2011 (IBGE, s/d), considerando a área dos mesmos. Além disso, foi considerado o percentual de 67,6% da produção total de cana-de-açúcar destinada à produção de etanol em 2022, conforme estudo da Empresa de Pesquisa Energética (MME/EPE, 2012).

Tabela 11: Cenários de expansão da área plantada de cana-de-açúcar em 2022.

Cenário	Unidade Referência	Período de projeção	Fonte	Área de Expansão(ha)	Área plantada Em 2022 (ha)
1	Jataí/ Quirinópolis	2011/2012 2021/2023	MAPA, 2012	50.400	334.874
2	Jataí/ Quirinópolis	2010/2011 2021/2022	RAIZEN e Usina Boa Vista	83.673	845.474
3	Jataí/ Quirinópolis	2011/2012 2021/2022	FIESP, 2012	51.813	287.780

Fonte: MME/EPE, 2012 e Dados de Campo obtidos pelas Usinas São Martinho e RAIZEN, 2014.

Para avaliação de cada um dos cenários, o modelo CROPWAT 8.0 foi rodado considerando aumento da área plantada. De forma a gerar maiores informações sobre os impactos da produção de etanol de cana-de-açúcar dos municípios de Jataí e Quirinópolis sobre os recursos hídricos em 2022, foram comparados dados da demanda hídrica para a produção de cana-de-açúcar destinada

ao processamento de etanol em 2022 e dados de disponibilidade hídrica superficial (vazão de referência) da bacia do Parnaíba no ano civil de 2010 (ANA, 2013). O volume de água demandado para a produção de cana em 2022 foi estimado com base na pegada hídrica da cana-de-açúcar (calculada no item 4.2.1.1).

As demandas hídricas e as vazões de referência foram avaliadas por meio do balanço hídrico superficial e, posteriormente, relacionados a indicadores de comprometimento dos recursos hídricos, conforme apresentados no item 4.2.2.1.

4.2.3.1 Resultado

Na análise dos potenciais impactos sobre os recursos hídricos nos municípios do estudo de caso, frente a diferentes cenários de expansão da área plantada de cana em 2022, foi realizado o balanço hídrico considerando a demanda hídrica estimada para o crescimento da cultura de cana-de-açúcar destinada ao processamento de etanol em 2022 de acordo com a área plantada. As demandas hídricas de retirada e consumo para 2022 e as vazões de referência de 2010 foram avaliadas e relacionadas a indicadores de comprometimento dos recursos hídricos. Os indicadores representam as relações entre as demandas de água e a disponibilidade hídrica, dada pela vazão de referência (Q95%) e vazão outorgável.

Por meio dos indicadores é possível identificar que os cenários de expansão da área da cultura de cana em 2022 nos municípios de Jataí e Quirinópolis apresentam comprometimento quantitativo. Quando analisado o balanço hídrico considerando a vazão de retirada o comprometimento dos recursos hídricos ocorre de forma mais intensa do que quando considerada a vazão de consumo. Sem agregar a informação da demanda hídrica estimada da cultura de cana destinada ao processamento de etanol para 2022, o balanço hídrico (considerando a disponibilidade hídrica como a vazão outorgável) para o ano de 2010 já apresenta uma situação de alerta quanto ao comprometimento hídrico na bacia, assim como quando agregada a demanda para irrigação da cultura de cana considerando o ano civil de 2011.

O pior cenário de expansão de cana para o comprometimento dos recursos hídricos na área do estuo e caso é o cenário 2, apresentando uma situação moderadamente crítica de comprometimento.

De acordo com a demanda de consumo e a disponibilidade outorgável, os cenários 1, 2 e 3 de expansão de cana para 2022 apresentam aumento do

comprometimento dos recursos hídricos quando comparados com o balanço hídrico considerando a demanda para irrigação da cana no ano de 2011.

Ressalta-se que para a análise de cenários considerando a expansão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar, destaca-se que a taxa de expansão de culturas não se dá de forma homogênea na unidade de análise. O cenário que melhor pode retratar os possíveis impactos sobre os recursos hídricos é o cenário 3 por ter uma unidade de análise nem muito timista, nem conservadora, resultando em uma taxa de crescimento da área de expansão da cultura de cana mais próxima para a realidade.

Considerando o estudo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012) o qual projeta para 2022 uma área de 10,9 milhões de hectares de cana plantada no Brasil e, considerando uma produtividade média de 88,5tc/ha (MME/EPE, 2012), pode-se inferir que os municípios goianos de Jataí e Quirinópolis cerca de 4% da produção brasileira de cana-de-açúcar irrigada em 2022, o que acarretará numa grande demanda por recursos hídricos.

4.2.4. Necessidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar em diferentes cenários de mudanças climáticas para o período de 2010-2041

O objetivo desta análise foi verificar o efeito das mudanças climáticas sobre a agricultura, no que diz respeito à necessidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar, e os potenciais impactos sobre os recursos hídricos para Jataí e Quirinópolis, período de 2010 a 2041, período escolhido devido à disponibilidade de dados. Considerou-se anomalias nas variáveis climáticas temperatura e precipitação, as quais integram a equação de Penman-Monteith para o cálculo da evapotranspiração de referência.

As anomalias nas variáveis temperatura e precipitação basearam-se nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 dos relatórios do IPCC. Os cenários climáticos do IPCC (2001) são baseados nas quatro projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro. Estes cenários foram definidos no *Special Report on Emissions Scenarios* (SRES) do IPCC e são utilizados neste capítulo para analisar o clima futuro.

Os cenários SRES mostram diferentes condições/possibilidades futuras de mudanças climáticas, denominados A1, A2, B1 e B2, que estão disponibilizados no IPCC-DDC da CRU - *University of East Anglia*. Os cenários utilizados para esse trabalho apresentam as seguintes características:

- a) **A2:** cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante e onde existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais. Outras características são: um crescimento populacional alto, e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido;

- b) **B2:** cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais, a sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

Os modelos climáticos são utilizados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, como consequência de futuros cenários de forçamento climático. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) criou quatro projeções diferentes para mostrar o que ocorreria com o planeta em diferentes cenários – otimistas ou pessimistas. Essas projeções são chamadas de “Caminhos Representativos de Concentração” ou RCP, na sigla em inglês.

Os RCPs consideram o histórico evolutivo de diversos fatores, como emissões de gases, concentrações de gases do efeito estufa, e informações sobre o tipo de cobertura do solo, para as projeções, e são calculados com base no número de reflexão de radiação, ou seja, na capacidade de dissipar calor em cada cenário. A escala de projeções vai de 2,6 (otimista) a 8,5 (pessimista).

O RCP 4.5 aponta uma certa estabilidade, e assinala que o aumento da radiação se estabilizará em 2100, considerando a diminuição dos gases do efeito estufa. No RCP 8.5, o valor da radiação quadruplicaria, devido ao aumento da concentração de gases do efeito estufa.

Nesta análise, considerou-se as anomalias resultantes do modelo de circulação geral atmosfera-oceano HadCM3¹⁸ a partir de cenários de emissões de

¹⁸ *Hadley Centre Coupled Model, version 3*

gases de efeito estufa do IPCC¹⁹, sendo o RCP 8.5 considerado A2 ou —pessimista, e o RCP 4.5, B2 ou —otimista. A variabilidade sazonal das anomalias contemplou dezembro-janeiro-fevereiro (DJF); março-abril-maio (MAM); junho-julho-agosto (JJA); e setembro-outubro-novembro (SON) para o período de tempo de 2010-2041 centrados no ano de 2020.

As anomalias de temperatura para a região de estudo, em ambos os cenários A2 e B2, foram aumentos de 1°C, nos períodos MAM, JJA e SON. Já as anomalias de precipitação, foram aumentos de 0,5 mm/dia, no período SON, e de 1 mm/dia, no período DJF para o cenário B2 e, para o cenário A2, aumento de 1 mm/dia durante o período SON (Figuras 24 e 25).

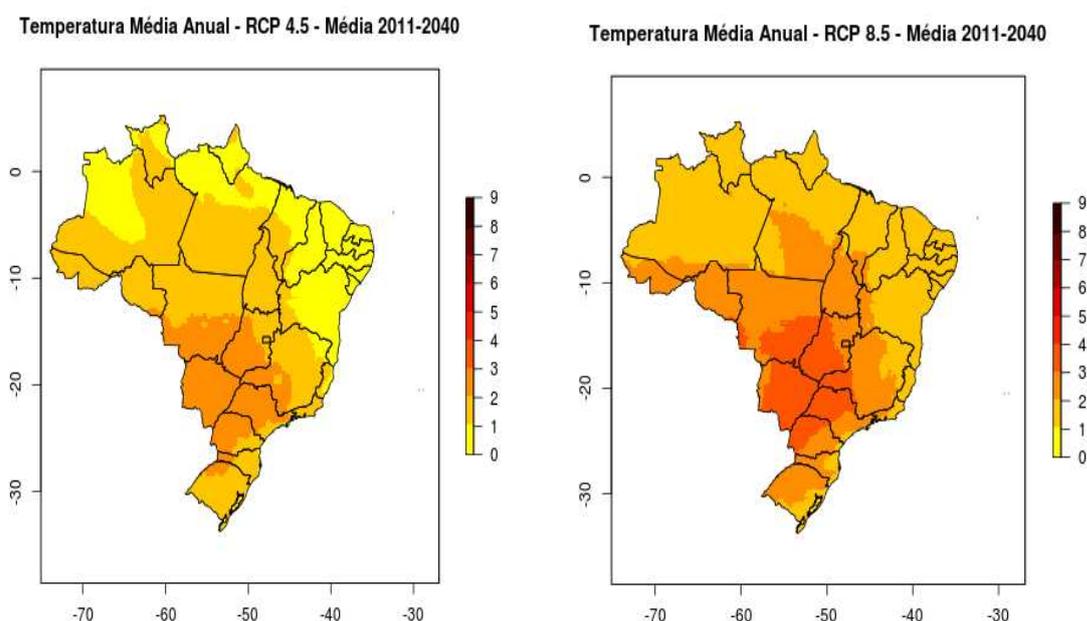


Figura 24: Projeções de anomalias de temperatura para DJF, MAM, JJA e SON, com referência ao período base 2010-2041 para o Brasil, nos cenários A2 e B2, pelo modelo HadCM3. Fonte: IPCC, 2014.

¹⁹ *Third Assessment Report (TAR) e Fourth Assessment Report (AR4) do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*

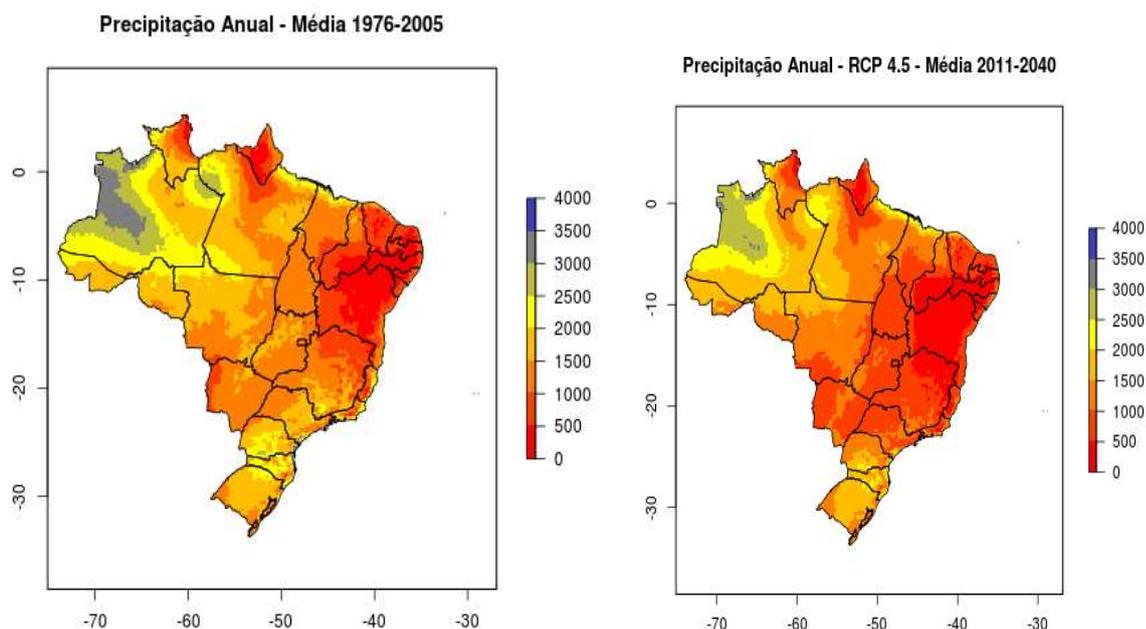


Figura 25: Projeções de anomalias de precipitação para DJF, MAM, JJA e SON, com referência ao período base 2011-2049 para o Brasil, nos cenários A2 e B2, pelo modelo HadCM3. Fonte: IPCC, 2014.

Considerando as anomalias de temperatura e precipitação, elas foram agregadas aos dados climáticos observados do período base (2010-2031), adquiridos pela base de dados CLIMWAT para a área de estudo. Após o tratamento dos dados climáticos, estes serviram de entrada para o processamento do modelo CROPWAT, mantendo as demais informações climáticas utilizada nos itens anteriores como: dados de produtividade da cultura, dados de solo, características fenológicas da cultura e, do manejo de irrigação adotado para o cenário base - cenário considerando dados do período base.

Esses dados de saída do modelo serviram para o cálculo da pegada hídrica da cana-de-açúcar, no período (2010-2041) centrado em 2020, para os cenários de mudanças climáticas resultantes de diferentes cenários de emissões de GEE – cenários A2 e B2.

4.3.4.1 Resultado

O impacto das anomalias de temperatura e precipitação foi expresso em termos de perda de água na forma de evapotranspiração pela cultura de cana-de-açúcar. Considerando a necessidade hídrica da cultura, foram calculadas as pegadas hídrica verde e azul para os cenários A2 e B2 (Tabela 12) para o período de análise 2010-2041.

Tabela 12: Evapotranspiração (em mm) e Pegada Hídrica (em m³/t) da cana-de-açúcar nos municípios de Jataí e Quirinópolis, em diferentes cenários climáticos.

Cenário	ET cana-de-açúcar	PHverde	PHazul	Pegada Hídrica
	(mm)		m ³ /t	
Base(1961-1990)	1.877	142	96	238
A2 (2010-2040)	1.941	163	92	255
B2 (2010-2040)	1.941	161	93	254

Foi observado que para os dois cenários de mudanças climáticas, A2 e B2, a evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar na área analisada é maior em relação ao cenário base. Esse resultado pode ser explicado pelo aumento da temperatura em ambos cenários (1 °C nos períodos MAM, JJA e SON), o que reflete no aumento da evapotranspiração de referência (ET_o). As pegadas hídricas totais dos cenários A2 e B2 também são maiores em relação ao cenário base.

Comparando-se os dois cenários de emissões de GEEs, a Pegada Hídrica verde do cenário B2 é menor, provavelmente, devido a um aumento do volume de chuva diário ser menor neste cenário (0,5 mm/dia) que para o cenário A2 (1mm /dia) durante o período SON, período esse com meses apresentando déficit hídrico na região. Verifica-se, então, que a Pegada Hídrica azul no cenário B2 é maior que no cenário A2, uma vez que este último tem sua necessidade hídrica atendida pela precipitação.

Ressalta-se a influência da sazonalidade das anomalias meteorológicas na demanda hídrica das culturas. Ou seja, mesmo o cenário B2 tendo dois períodos anuais com aumento na precipitação (1 mm/dia no período DJF e 0,5 mm/dia no período SON) contra um período anual do cenário A2 (1 mm/dia no período SON), a

taxa de aumento na precipitação menor para um período de reconhecido déficit hídrico na região (período SON) induz em um aumento da Pegada Hídrica azul. Apesar da diferença pequena neste caso, deve-se ter atenção com as variações sazonais nas variáveis climáticas para a corrida de modelos baseados em balanço hídrico do solo.

Devido às incertezas nas emissões futuras de gases de efeito estufa, é difícil mensurar com exatidão os efeitos diretos do aumento na concentração de CO₂ atmosférico. Todavia, apesar das incertezas na sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos, já é possível afirmar que haverá mudanças nas distribuições geográficas de ecossistemas terrestres.

As taxas de aquecimento e mudanças nos regimes de chuva para o futuro, projetadas pelos modelos climáticos, representam uma ameaça para os recursos hídricos. Porém, com os resultados obtidos nesta análise, pode-se afirmar que haverá uma maior demanda por água para a irrigação da cultura de cana-de-açúcar se mantidos os mesmos padrões de cultivo e as mesmas normas de utilização dos recursos hídricos. No Capítulo 5 apresenta-se a discussão sobre os resultados obtidos neste capítulo, especialmente sobre a sustentabilidade e a metodologia da Pegada Hídrica.

CAPÍTULO 5: Pegada Hídrica, Biocombustíveis e Sustentabilidade

5.1 Desafios do uso de indicadores como a Pegada Hídrica

No mundo, quatro milhões de pessoas enfrentam escassez severa de água (Mekonnen et al., 2016) sendo que esse número pode crescer ainda mais. Estima-se que até 2050 este crescimento será de 55%, causando um déficit considerável desse recurso (UNESCO, 2015). Esse quadro advém de condições pluviométricas desfavoráveis de algumas regiões, aumento populacional, uso industrial e agrícola pautados em um modelo de desenvolvimento não-sustentável, como também, pela falta de gestão eficaz e coerente com a disponibilidade dos recursos hídricos (SOUZA. Jr et al., 2009).

A escassez de água doce é cada vez mais percebida como um risco sistêmico global. Em diversas partes do mundo, observa-se que o fornecimento da água não é universalizada, ou seja, há diferentes graus de disponibilidade e distribuição desse recurso, e variadas dificuldades relacionadas aos ciclos hidrológicos, acesso à água em boa qualidade, aos efeitos das mudanças climáticas na produção da água, e à falta de investimentos em infraestrutura de armazenamento (OELKERS et al., 2011).

O *World Economic Forum* (2015), em seu relatório anual de risco, considera que as crises hídricas são o maior risco global em termos de impacto potencial e aponta, como principais forças motrizes para o aumento da escassez, a população mundial crescente e a expansão da agricultura irrigada.

Falkenmark, em 1987, foi um dos primeiros que propôs um índice para descrever quantitativamente problemas relacionados à escassez de água. Esse índice, denominado Water Scarcity Index –WSI, define o número de pessoas que podem ser atendidas por unidade de vazão. Países com uma unidade de vazão para atender até 100 pessoas têm problemas restritos em relação à água. Com vazão entre 100 a 600 pessoas, possuem problemas comuns relacionados à água, principalmente

a qualidade e as variações sazonais. Entre 600 e 1000 pessoas, são classificados como estresse hídrico (BARBIERI, 2004).

Ohlsson (2000), a fim de associar a escassez de água com os aspectos sociais, propôs o índice social de escassez de água (SWSI), o qual é obtido pela razão do WSI pelo índice de desenvolvimento humano (IDH) de um país. De acordo com o índice proposto, o autor sugere quatro classificações que refletem diferentes estágios de disponibilidade hídrica: menor que 5 - relativamente suficiente; de 6 a 10 - estresse; de 11 a 20 - escassez; e maior que 20 - além da barreira hídrica.

A Agência Europeia de Meio Ambiente utiliza o índice de retirada da água (WEI), dado para uma região pela razão entre a retirada total anual e a vazão média de longo período (EEA, 2004), para analisar como as alterações do uso da água impactam os recursos hídricos na Europa. Dessa forma, a agência quantifica quais países possuem maiores usos da água, em relação aos seus recursos hídricos, e, conseqüentemente, quais têm maiores chances de sofrer com a escassez desse recurso.

Índices como WSI, SWSI e WEI, ou critérios de classificação com base na disponibilidade e demanda hídrica, fornecem valores globais para toda a bacia, mas esses índices não são aplicados no nível mais local, não permitindo a verificação de diferenças regionais, bem como a variação de disponibilidade e da demanda de água (YOFFE et al., 2003).

Dada a constatação que indicadores são úteis para caracterizar a situação hídrica de uma área, a Pegada Hídrica se torna um instrumento importante na gestão dos recursos hídricos, principalmente por fornecer informações tanto numa grande escala, como numa escala municipal ou de uma cultura agrícola específica.

Apesar dos avanços, o sistema de informações sobre os recursos hídricos no Brasil ainda é bastante ineficaz. Nas áreas rurais, os dados para gestão são ainda muito complexos, posto a fragilidade da estrutura de cadastramento dos sistemas de irrigação e o caráter difuso da poluição proveniente da agricultura. Neste contexto, os estudos de caso com uso de indicadores revelam-se não apenas mais densos, mas também mais confiáveis em termos diagnósticos das situações de uso e acesso aos recursos hídricos em uma área específica.

5.1.1 Políticas de Recursos Hídricos

No Cerrado, representado aqui por Jataí e Quirinópolis, a base pela qual a cultura da cana-de-açúcar foi introduzida caracterizou-se pela prática de uma agricultura altamente especulativa, voltada para o cultivo contínuo e visando cada vez maiores níveis de rentabilidade. Os riscos ecológicos próprios do modelo monocultor provocam danos ecossistêmicos muitas vezes irreversíveis tanto no solo quanto nos recursos hídricos e na biodiversidade de forma geral.

Quando há baixa densidade demográfica, ocupação pouco intensiva do solo e baixo desenvolvimento industrial, o controle no uso das águas exige menor cuidado. Entretanto, à medida que seu uso se amplia, é necessário maior atenção para proteção dos recursos hídricos visando seu aproveitamento racional (SETTI et al., 2001).

Detectamos que na região centro-oeste brasileira em áreas de bioma Cerrado, a expansão da cana-de-açúcar ocasionará grandes impactos nos recursos hídricos caso não haja uma gestão efetiva.

A análise dos cenários de expansão da cultura da cana-de-açúcar apontados por pesquisas do MAPA serve de base para compreender as pretensões de expansão dos usineiros da região, que já investem fortemente na compra e arrendamentos de terras para aumento da planta de usinas²⁰.

Nesse contexto de rápido desenvolvimento econômico e tecnológico, com consequente elevação da produção de várias culturas irrigadas, aumenta a demanda pelo uso da água, sendo que a preocupação com os recursos hídricos tem induzido uma série de medidas governamentais e sociais, objetivando viabilizar a continuidade das diversas atividades agropecuárias.

No Brasil, a principal medida legal foi o Código de Águas – Decreto nº 24.643/1934 (BRASIL, 1934), criado na década de 1930. Entretanto, esse ordenamento jurídico não previa meios de combater o desequilíbrio hídrico e os conflitos de uso em vista do aumento das demandas e de mudanças climáticas

²⁰ Dados fornecidos por representantes das Usinas RAIZEN e São Martinho no evento IRIGACANA, ocorrido em Ribeirão Preto-SP, outubro de 2014.

globais, e tampouco previa meios adequados para promover uma gestão descentralizada e participativa, exigências dos dias de hoje.

A partir da Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, estabeleceu-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH. Através da Lei nº 9.984/2000 (BRASIL, 2000), foi criada a Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal encarregada da implementação da política e da coordenação do sistema de gerenciamento de recursos hídricos. Essa nova política dos recursos hídricos objetivou, principalmente:

- i) Assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequada aos respectivos usos;
- ii) A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- iii) A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

A Política de Recursos Hídricos teve como diretrizes uma gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade levando em consideração a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do país, bem como a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental. Porém, para isso, seria necessária uma articulação maior do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional, o que no caso do estado de Goiás não é muito efetivo.

No âmbito federal, o Sistema Nacional de Recursos Hídricos fica responsável por coordenar a gestão integrada das águas e arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos além de planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos. A Figura 26 mostra o esquema que integra o SINGREH.

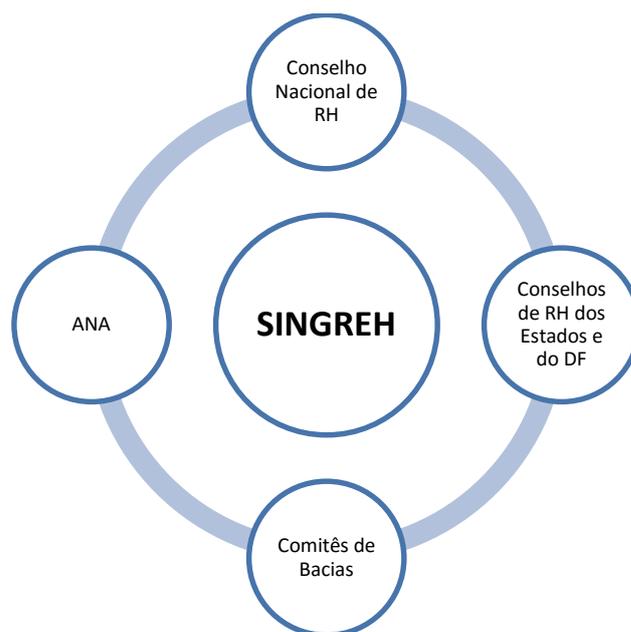


Figura 26: Conselhos e agências que integram o SINGREH. Fonte: Elaboração própria.

O Estado de Goiás também instituiu, por meio do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-GO) e da resolução nº9 de 04 de maio de 2005, o sistema de outorga das águas do Estado de Goiás e estabeleceu a vazão com garantia de permanência em 95% do tempo (Q95%) como vazão de referência da outorga. A resolução nº11 de 20 de março de 2007 modificou a resolução de 2005 e limitou a vazão outorgada na bacia, de forma que não sejam superiores a 50%, visando assegurar o controle do uso da água e de sua utilização em quantidade, qualidade e regime satisfatórios, pelos usuários atuais e futuros.

Essas medidas asseguraram a descentralização na tomada de decisão para gestão dos recursos hídricos. Hoje, há estados onde uma única secretaria especializada em recursos hídricos gerencia todas essas funções (ex.: Ceará) e outras que as distribuem em diferentes instituições. No caso de Goiás, a SECIMA - Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos é bastante ativa na gestão dos recursos hídricos, centralizando diversas informações sobre o uso da água (Figura 27).

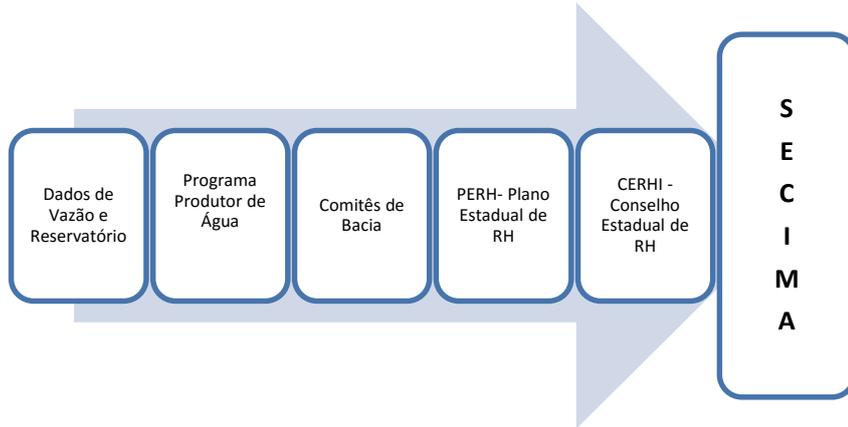


Figura 27: Esquema de órgãos vinculados ao SECIMA. Fonte: Elaboração própria.

No que tange ao uso das águas, as captações superficiais cadastradas em Jataí e Quirinópolis revelam grande predominância da demanda de usuários industriais e rurais (mais de 96% das captações superficiais cadastradas) (Figura 28). Dentre esses usuários rurais e industriais, destacam-se as grandes usinas de açúcar e álcool que, de acordo com o próprio comitê de bacias da área, “merecem atenção dos gestores não somente pela grande quantidade de água a ser disponibilizada, mas também pelo fato de parcela dos lançamentos chegarem aos cursos d’água com temperaturas não adequadas”.

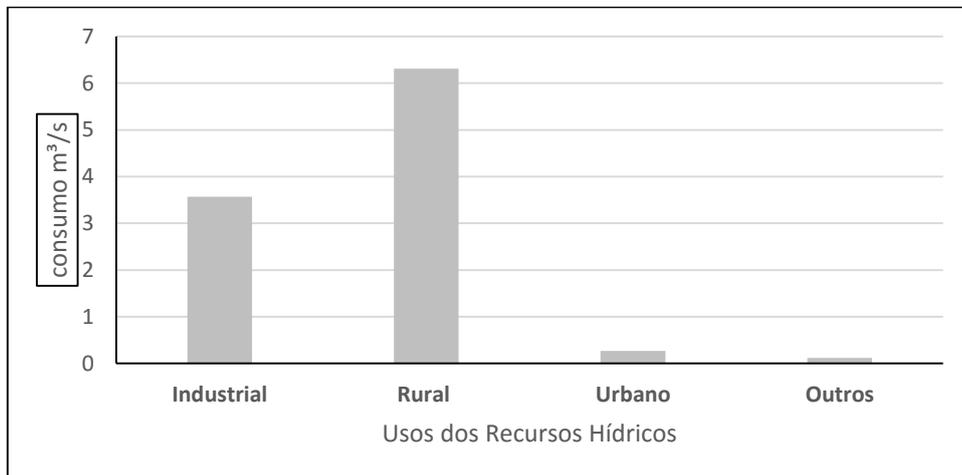


Figura 28: Demanda de águas superficiais cadastradas na UGRH. Fonte: SANEAGO, 2014.

Por meio da outorga, o poder público concede, por um período definido, o direito de uso de uma determinada quantidade de água, condicionado à sua disponibilidade, de tal modo que assegure ao gestor o controle qualitativo e

quantitativo do seu uso, ao mesmo tempo em que garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível.

É de responsabilidade dos órgãos gestores dos recursos hídricos em níveis federal ou estaduais a concessão de outorgas, seja nela utilizada a vazão mínima de referencia ou a vazão média de longa duração para situações de regularização de corpos hídricos. O conhecimento da disponibilidade de água é a informação básica para a tomada de decisão. Para superar a dificuldade encontrada na obtenção de informações hidrológicas para todos os locais de interesse, necessários ao ideal gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, utiliza-se a técnica de regionalização das vazões.

Analisando os pedidos de outorga para o uso da água em Goiás no período de 2001-2015 (Quadro 5), podemos observar que a maioria dos requerentes tem como finalidade a irrigação e, dentro dela, em sua grande maioria, para a irrigação de cana-de-açúcar. Isso demonstra como a inserção da cultura de cana-de-açúcar vem se consolidando não só como um grande produto gerador de capital, mas, também, como um produto que demanda muita água.

Dentro dos pedidos de outorga para uso dos recursos hídricos no período de 2011-2015, verifica-se que, para os municípios estudados (Jataí e Quirinópolis), houve três pedidos de outorga, sendo dois para a Usina Boa Vista, em Quirinópolis, e um para a RAIZEN, em Jataí. É importante ressaltar que estas usinas foram instaladas em 2009 e 2011 e que, devido à sua expansão, já pediram novas outorgas de uso da água. Avalia-se que o uso da Pegada Hídrica seria de bastante importância para os órgãos públicos como instrumento de avaliação na seção de outorgas.

Quadro 5: Pedidos de outorgas entregues à ANA no período de 2011-2015 para o estado de Goiás estipulando os requerentes a finalidade, método e cultura.

Requerente	Município	Corpo Hídrico	Região Hidrográfica	Finalidade	Método	Cultura
Cerradinho Bioenergia S.A.	CHAPADAO DO CEU	Rio da Prata	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
PRISCILLA SILVA SARMENTO FRITSCHÉ	LUZIANIA	Rio Saia Velha	Paraná	Irrigação	Pivô central	Soja
Luciano Sanches Fernandes	APORE	Rio da Prata	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
JOÃO EDUARDO DE OLIVEIRA HONORATO	CAMPO ALEGRE DE GOIAS	UHE Serra do Facão	Paraná	Irrigação	Pivô central	Feijão
GREICE TEREZINHA GATTO	CRISTALINA	Rio São Marcos	Paraná	Irrigação	Pivô central	Feijão
Saulo Hércules de Oliveira	FORMOSA	Rio Uruçuia	São Francisco	Irrigação	Pivô central	Feijão
Agropecuária Lagoa Formosa Bolívia II Ltda.	CABECEIRAS	Ribeirão Formosa	São Francisco	Irrigação	Pivô central	café
Agropecuária Lagoa Formosa Bolívia II Ltda.	CABECEIRAS	Outro Espelho d'agua...	São Francisco	Irrigação	Pivô central	café
NOVA PIRATININGA EMPREENDIMENTOS	SAO MIGUEL DO ARAGUAIA	Rio Verde	Tocantins-Araguaia	Criação Animal		
EGYDIO ALDINO BONATO E OUTROS	CRISTALINA	Córrego Morais	Paraná	Irrigação	Pivô central	Feijão
TARCISIO BONATO E OUTROS	CRISTALINA	Córrego Morais	Paraná	Irrigação	Pivô central	Feijão
JOSÉ DONATO MILANI	CRISTALINA	Córrego Morais	Paraná	Irrigação	Pivô central	Cebola
JOÃO BATISTA DO AMARAL	CRISTALINA	Córrego Morais	Paraná		Pivô central	Cana de Açúcar
SJC BIOENERGIA LTDA	GOUVELANDIA	UHE São Simão	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
SJC Bioenergia Ltda	INACIOLANDIA	UHE São Simão	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
Alfeu Geraldo Boff	CABECEIRAS	Rio Bezerra	São Francisco	Irrigação	Pivô central	Cana de Açúcar
ANTONIO FRANCISCO BESSA	URUANA	Rio das Almas	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Sulcos de infiltração	
Agropecuária Araporã LTDA	ITUMBIARA	UHE Itumbiara	Paraná	Irrigação	Aspersão convencional	Soja
SJC BIOENERGIA LTDA	GOUVELANDIA	UHE São Simão	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
SJC BIOENERGIA LTDA	GOUVELANDIA	Rio dos Bois	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
Lusénrique Quintal	JUSSARA	Rio Araguaia	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Pivô central	Cana de Açúcar
Trier Engenharia LTDA	CABECEIRAS	Rio Uruçuia	São Francisco	Irrigação	Pivô central	Soja
Usina Boa Vista	QUIRINOPOLIS	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
Usina Boa Vista	QUIRINOPOLIS	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
ILDEU AFONSO DE CARVALHO	IACIARA	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Pivô central	Milho
Central Itumbiara de Bioenergia e Alimentos	ITUMBIARA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
SJC BIOENERGIA LTDA	GOUVELANDIA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
Sérgio Galvão Junqueira Reis	CACHOEIRA DOURADA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
Companhia Energética Vale do São Simão	PARANAIGUARA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
SJC BIOENERGIA LTDA	INACIOLANDIA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
Silvano Bonfim Júnior	FORMOSA	Rio Bezerra	São Francisco	Criação Animal		
Raizen	JATAÍ	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
SJC BIOENERGIA LTDA	GOUVELANDIA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
Usina Boa Vista S/A	PARANAIGUARA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar
JBS Agropecuária LTDA	IACIARA	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Pivô central	Feijão
APRUPPBV	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
Arnaldo Lopes de Avelar	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
Fiorentino Capellesso	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
JADIEL FERREIRA DE OLIVEIRA	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
Sérgio Henrique Hatschbach	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
Marcelo Machado Goulart	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
Antônio Carlos da Silva Braga	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
Valdemar Meinhard	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
André Luiz Wustro e Patrícia Wustro Badotti	FLORES DE GOIAS	Rio Paranã	Tocantins-Araguaia	Irrigação	Inundação	Arroz
USINA BOA VISTA S/A	PARANAIGUARA	Rio Paranaíba	Paraná	Irrigação	Autopropelido	Cana de Açúcar

Fonte: ANA, 2015.

5.2 Sustentabilidade X Biocombustíveis

A expansão da produção de etanol nas últimas décadas ocorreu, como vimos, não apenas com o aumento da área cultivada, mas também com expressivos ganhos de produtividade nas fases agrícola e industrial. Destacam-se entre os avanços tecnológicos observados: o melhoramento genético da cana-de-açúcar; o aperfeiçoamento do gerenciamento da produção por meio do uso de mapas do solo e imagens de satélite; a adoção de processos mais eficientes. Porém, quanto aos aspectos ambientais, a produção de etanol ainda tem um caráter ambíguo.

A crescente conscientização acerca da questão ambiental vem possibilitando abertura de novos paradigmas, como o da análise interdisciplinar, diminuindo a dicotomia na análise homem-natureza. Em face desse novo contexto de análise ambiental, a palavra sustentabilidade vira “clichê” tanto dentro do meio acadêmico como fora dele (BITOUN, 2002).

Conceitualmente, nas atividades com menor desperdício de matérias e combustíveis, no uso de insumos de baixo custo ambiental e capazes de gerar poucos rejeitos. Sob esse conceito de harmonia e democratização dos recursos naturais, jazem, contudo, questões a serem esclarecidas e muitas contradições a serem demonstradas.

Harvey (1994), resgatando os conceitos de excedente e acumulação de capital, enfatizou que uma das características essenciais da produção capitalista é a sua necessidade de expansão. Tal necessidade vincula-se estritamente ao aumento do lucro. Este expansionismo tem se realizado historicamente a despeito de suas consequências socioambientais. Neste sentido, Foladori (2001) nos afirma que o aumento do lucro constitui-se na explicação mais contundente para a degradação ambiental. No Brasil, isso fica bem caracterizado no estudo de caso em Jataí e Quirinópolis, onde a prática da agricultura monocultora e altamente especulativa causa perdas anuais de solos em algumas áreas de lavouras tradicionais, como feijão e arroz, além do mau emprego de técnicas de irrigação que intensificam o uso dos recursos hídricos.

A incorporação de novas áreas para a produção de culturas energéticas demandará água para o crescimento da biomassa, resultando em pressões sobre os

recursos hídricos, caso essa expansão ocorra em áreas com déficit hídrico, como é o caso da área de estudo localizada no Cerrado brasileiro. Logo, o sistema energético brasileiro está muito suscetível às pressões sobre os recursos hídricos devido à sua forte concentração e dependência dessa fonte renovável (WALTER, 2011).

Contudo, o estudo de caso mostra que o padrão da cultura da cana-de-açúcar assinalado nas análises não necessariamente pode ser considerado insustentável em áreas onde há abundância de água, como é o caso de Jataí e Quirinópolis. Porém, esse padrão se torna preocupante quando a abundância de recursos hídricos leva ao crescimento de área plantada, maior demanda por água para irrigação e futura escassez (CLEWS, 2013).

Na área desse trabalho, ficou claro a necessidade de avaliar dados de Pegada Hídrica para uma análise da sustentabilidade da produção de biomassa considerando dados de disponibilidade hídrica, pois os resultados apontam um maior uso dos recursos hídricos comparados a outras culturas comuns na área.

Na análise, considerando a demanda e a disponibilidade hídrica especificamente relacionados ao setor sucroenergético, foi observado que o comprometimento dos recursos hídricos ocorre de forma mais intensa nas localidades rurais onde há cultura da cana-de-açúcar, revelando diferentes graus de comprometimento dentro do município de acordo com a cultura realizada. Isto mostra a necessidade de uma análise específica para cada situação e a importância de análises, não só no nível das bacias hidrográficas, como também de áreas menores de forma mais específica.

Quanto aos indicadores de comprometimento e sustentabilidade dos recursos hídricos, de acordo com a vazão outorgável, apesar dos municípios apresentarem índice considerado “Normal”, este se encontra muito próximo da situação de “Alerta”, confirmando a situação de suscetibilidade dos recursos hídricos frente à cultura da cana-de-açúcar, principalmente se houver expansão da mesma, como indicam vários modelos já estudados (UNICA, 2013).

Todavia, foi importante nesta pesquisa integrar dados dos modelos de expansão de área plantada de cana com dados de Pegada Hídrica, para observar impactos futuros e contribuir para o planejamento do uso dos recursos hídricos. Uma

das principais conclusões do Relatório do Grupo de Trabalho 2 – GT2 do AR5 do IPCC 2014, que afetaram e poderão afetar o Brasil no futuro em decorrência da mudança do clima, destaca o aumento do risco de escassez de abastecimento de água decorrente das reduções de precipitação e do aumento de evapotranspiração (CHAPMAN, et al, 2000).

Cabe ressaltar que a maior parte da produção de cana-de-açúcar é voltada para a produção de biocombustível. No Brasil, os programas para a produção de biocombustíveis são considerados um sucesso mundial pela disponibilidade de terras e condições climáticas favoráveis. No entanto, o estudo de caso apresentado no capítulo 4 aponta os potenciais impactos nos recursos hídricos devido a expansão da cultura.

Se durante algum tempo, o processo de emergência e construção conceitual de sustentabilidade apontava para uma transição, até mesmo para uma ruptura paradigmática, hoje a apropriação do conceito pelo campo político, pela mídia, pela indústria e pelos demais setores para os quais o slogan da sustentabilidade passou a agregar valor (monetário e/ou simbólico) aos produtos, leva-nos a questionar a possibilidade da ruptura. Isso se coloca, de forma emblemática, na discussão atual sobre a questão energética (DUARTE, 2008).

Se por um lado o desenvolvimento sustentável busca conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação do ambiente, tendo por meta a satisfação das necessidades humanas atuais e futuras, por outro, os problemas socioambientais, gerados no bojo do sistema capitalista, dificilmente serão solucionados pela implementação de sua proposta. Por não questionar as relações sociais, capitalistas propõem, no máximo, mudanças em suas relações técnicas (DUARTE, 2008).

De fato, parece haver uma fé quase incontestada no avanço da tecnologia (capaz de otimizar os recursos para produção, reduzir drasticamente o rejeito e a poluição, como forma de preservar o meio ambiente), como se por si fosse o bastante para promover a equidade da distribuição no planeta. Pelo contrário, ela é necessária porém não suficiente (MACHADO, 2002).

Apesar das críticas, o desenvolvimento sustentável permitiu a reunião de desenvolvimentistas e ambientalistas, conseguindo por, sob seu “guarda-chuva”, posições de início politicamente inconciliáveis (AMAZONAS e NOBRE, 2002). Pode-se criticar principalmente o caráter genérico do termo, ao mesmo tempo em que questionam se o desenvolvimento sustentável pode encontrar soluções para duas questões de relevo nesse novo século: problemas ambientais e redução da pobreza. Todavia, seu discurso representa um grande avanço em relação à cultura empresarial típica da década de 1970, mas não se configura numa transformação paradigmática. É somente uma adequação às novas realidades, em conformidade à nova ordem mundial, que não tem um fim em si mesmo. A transição para a sustentabilidade não envolve apenas a questão ambiental, mas questões sociais, econômicas, culturais, tanto objetivas como difusas (CHAPAGAIN, et al, 2007).

Outra questão, segundo Rodrigues Filho (2004), é o fato dos países desenvolvidos terem transferido paulatinamente suas indústrias que requerem o uso intensivo de recursos naturais e energéticos para os países periféricos. De 1975 a 1995, os países desenvolvidos reduziram em cerca de 80% a participação dessas indústrias em suas economias. Ao mesmo tempo, fortalecem-se nos setores de bens e serviços de alto conteúdo tecnológico, intensivos em conhecimento, e que requerem um baixo consumo de recursos naturais e energéticos, portanto, de maior sustentabilidade (CHAPAGAIN, et al., 2009). Num mundo em que a competição está cada vez mais acirrada, o despertar para questões de uma produção e consumo mais limpos e, socioambientalmente responsáveis, está empurrando as empresas para redução de custos. A habilidade de inovar rapidamente é imperativa para a competitividade (ROVERE et al., 2009). As estratégias ambientais se tornaram fontes de vantagem competitiva.

No que se refere às controvérsias no entorno da produção e uso dos biocombustíveis, essa fonte de energia continua a integrar as políticas públicas nos maiores mercados mundiais. No País, a produção do etanol de cana passou a ocupar novamente um espaço central na agenda do governo (GIFIC, 2013). Sua retomada foi defendida, entre outros, pela existência de uma tecnologia de produção em larga escala consolidada, e por ser uma alternativa energética renovável que o Brasil pode ofertar para o mundo.

No entanto, apesar dos avanços, principalmente na fase industrial da produção, diversos desafios persistem. Sua produção pode ser fortemente questionada quanto aos efeitos da utilização de tecnologias convencionais de base agroquímica, da erosão da biodiversidade provocada pela intensificação de monoculturas, pela sobrevida dada ao modal de transporte individual em detrimento de soluções mais sustentáveis, pelos aspectos sociais e trabalhistas de grande relevância, dentre outros (LIMA, 2012).

A crescente preocupação com questões socioambientais já são suficientes para ressaltar a importância de sua produção e consumo de forma responsável. Afinal, a justificativa principal de sua adoção, que reside no argumento da sua superioridade sobre os combustíveis fósseis, no que tange aos impactos sobre o meio ambiente, é entendida como condição necessária, porém não suficiente (RAZUVAEV, 2004).

Para ser importado pela União Europeia, o etanol brasileiro deve possuir uma certificação que garanta o cumprimento de requisitos socioambientais relacionados a desmatamento, mão-de-obra e impactos na produção de alimentos. Dentre os requisitos sociais que merecem destaque, encontra-se o já conhecido impacto da produção dos biocombustíveis (etanol incluso) sobre a alta dos preços dos alimentos (já discutido aqui no sub-item segurança alimentar) (GODOY, 2002). Esta crítica se fundamenta no temor da concorrência por recursos naturais entre a produção de biocombustíveis e de alimentos. Outra exigência do bloco é quanto à garantia de que a produção de etanol não contribua para aumentar o desmatamento da Amazônia (BECKER, 2002).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A liderança brasileira na produção mundial de etanol de cana-de-açúcar foi resultado do investimento de décadas em pesquisa e desenvolvimento. Sua recente expansão ocorre no oeste paulista e na região centro-oeste, onde se verifica que seu cultivo se amplia inclusive sobre áreas de Cerrado ou antes dominadas por outras culturas agrícolas e pastagens.

Apesar da grande importância da produção de biocombustível, nos aspectos relacionados aos impactos ambientais e condições de trabalho, o setor tem um forte objeto de discussões na sociedade, tendo em vista que sua produção se notabilizou como poluidora e predatória.

Pode-se aferir algumas mudanças positivas que podem demonstrar atualmente uma tendência de mudança por força da atuação de uma legislação mais restritiva, e por um conjunto de instrumentos de mercado que visam, de certa maneira, mitigar os impactos advindos de sua produção, numa tentativa de trabalhar na direção da expansão de seus mercados com sustentabilidade e responsabilidade socioambiental.

A adoção de normas voluntárias, como das certificações, também podem ser destacadas como positivas, pois podem garantir algum nível de proteção socioambiental. A certificação ambiental é entendida aqui como um instrumento econômico que tem como objetivo a diferenciação de produtos com vistas a atender o mercado internacional. Em outras palavras, visa demonstrar que uma determinada empresa atua de acordo com certos critérios uniformes em relação ao meio ambiente, estabelecidos numa norma técnica. No entanto, este instrumento está limitado, pois não engloba o Estado, técnicos ligados à proteção do meio ambiente e a sociedade civil na construção dos modelos e nos parâmetros de desenvolvimento sustentável.

O Brasil possui uma legislação pertinente à segurança e saúde da agricultura. No entanto, é fundamental o cumprimento de padrões éticos, obediência

às leis e regulamentos, à promoção do bem-estar e qualidade de vida, como também o cumprimento dos acordos por meio da fiscalização efetiva.

Tem-se como desafio superar a imagem de que o etanol é a solução para a questão energética mundial. O uso de indicadores como a Pegada Hídrica pode auxiliar no tema relacionado à água, no direcionamento de uma produção sustentável, pois oferece a contribuição sobre como a produção da cana-de-açúcar interage com os problemas de escassez e poluição dos recursos hídricos.

Diante das informações por meio do estudo de caso, coletadas em campo, e da análise da Pegada Hídrica, constata-se um alerta no uso dos recursos hídricos, pois, apesar da cana-de-açúcar não demandar tanta água para irrigação, sua produção, por requerer mais água que as culturas anteriores da mesma área, já causa algum impacto na demanda hídrica, pois apresentou uma maior exigência tanto via precipitação (Pegada verde) quanto via irrigação (Pegada azul).

Na análise acerca da “sustentabilidade” da produção de cana-de-açúcar para etanol, os indicadores mostraram situação “normal” nos usos dos recursos hídricos. Essa situação pode mudar se atentarmos ao fato que a cultura está em fase de expansão. As análises dessa expansão devem ser levadas em consideração nos planos de manejo, para impedir uma menor disponibilidade de água nas áreas de Cerrado.

A pesquisa também contribuiu para alertar sobre a necessidade de incorporar, nos planos de uso dos recursos hídricos, os cenários de mudanças climáticas, visto que as mudanças nos ciclos hidrológicos e de temperaturas podem resultar em aumento na pressão sobre os recursos hídricos.

Em suma, as principais considerações do trabalho foram:

- Importância da análise do uso dos recursos hídricos da cana-de-açúcar para que se administre o uso da água;
- Ressaltar a importância do uso de indicadores como a Pegada Hídrica para diversas escalas de análise, para se delimitar o uso da água e a gestão desse recurso, não só na escala das bacias hidrográficas, mas também em escalas menores que possam

levar em conta especificidades locais de demanda e disponibilidade hídrica;

- Importância em considerar a troca de culturas alimentícias por produção de biocombustíveis;
- Atentar para a expansão da produção de cana-de-açúcar para áreas de Cerrado que comprometem a proteção desse bioma;
- Importância da discussão sobre escassez presente e frente às mudanças climáticas, como alerta a possíveis conflitos pelo uso da água;
- Discussão sobre a sustentabilidade da produção de biocombustíveis.

Trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se:

1. Por meio dos resultados desse trabalho, verificar se já existe ou se foram acentuados conflitos pelo uso dos recursos hídricos no Cerrado, após a expansão da cana na área.
2. Analisar se os Planos de Gestão dos Recursos Hídricos e os Comitês de Bacias estão alinhados na discussão que englobe impactos das mudanças climáticas.
3. Avaliar os impactos ambientais decorrentes da produção dos biocombustíveis.
4. Desenvolver um modelo híbrido de gestão ambiental, capaz de captar eficazmente os aspectos ambientais e sociais, e promover uma mudança de comportamento do setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDAYA, M. M.; SANTOS, P. M.; LLAMAS, M. R. **Incorporating the water footprint and virtual water into policy reflections from the Mancha Occidental region.** Spain: Water Resources Management, v.24, p.941-958, 2010.

ALLAN, J. A. **Virtual water:** A strategic resource global solutions to regional deficits. Ground Water, v.36, p.545-546, 1998.

ALLEN R. G.; *et.al.* **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. **Produção mais Limpa e Aspectos Ambientais na Indústria Sucroalcooleira.** In: KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE São Paulo – Brazil – May 20th-22nd – 2009, Acesso em: 02/03/2016. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/4a/3/T.%20R.%20Queiroz%20-%20Resumo%20Exp.pdf> >

AMAZONAS, M. C.; NOBRE, M. (orgs.) **Desenvolvimento Sustentável: a institucionalização de um conceito.** Brasília: Edições IBAMA, 2002.

ANA - Agência Nacional de Águas. **HIDROWEB: Dados Hidrológicos.** Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: set. de 2014.

ANA - Agência Nacional de Águas / Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR). Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba (PRH-Paranaíba), 2013.

ANA - Agência Nacional de Águas. Resolução nº 707, Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga, e dá outras providências, 2004.

ANDRADE, M.C. **Modernização e pobreza: a expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico e social**. São Paulo: Unesp, 1994. 250p.

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. *Anuário da Indústria Automobilística 2013*. São Paulo, 2013.

BACCARIN, J.G. **A desregulamentação e o desempenho do complexo sucroalcooleiro no Brasil**. 2005.291p. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

BAENINGER, R. Regiões Canavieiras. Campinas: Núcleo de Estudos de População –Nepo/Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura- CEPAGRI- NEPA/UNICAMP, 2013.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental: conceitos, modelos e instrumentos**. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

BARROS, V. B.; DOYLE, M. E.; CAMILLONI, I. A. Precipitation Trends in Southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulations. **Theoretical and Applied Climatology**, v.93, n.1-2, p.19-33, 2008

BAZILIAN, M. et al. **Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach**. Energy Policy, v. 39, p. 1–11, out. 2011.

BECKER, B. A (des)ordem mundial, o desenvolvimento sustentável a Amazônia. In: **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. Hucitec: São Paulo, 2002.

BELIK, W. et al. **Protocolo agroambiental Riscos e oportunidades**. Agroanalysis Outubro de 2012. Disponível em:<<http://www.cpa.unicamp.br/alcsens/articles/ArtigoProtocoloAgroambientalAgroanalysis.pdf> >. Acesso em: 16/12/2015.

BERINGER, J. et al. **Biomass burning and resulting emissions in the Northern Territory, Australia**. International Journal of Wildland Fire, 2013.

BERNDES, G. **Water demand for global bioenergy production: trends, risks and opportunities**Energy, 2008.

BITOUN, J. et al. Amazônia e Nordeste: os trópicos brasileiros e o desenvolvimento auto-sustentável. In: **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. Hucitec: São Paulo, 2002.

BNDES; CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável**. Coordenação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 1ª Edição, 2008. Disponível em < <http://www.bioetanoldecana.org/pt/download/bioetanol.pdf> >. Acesso em: setembro 2013.

BOMTEMPO, J. V. **O futuro dos biocombustíveis IV: a posição brasileira** (2010). Grupo de Economia da Energia. Blog Infopetro. Disponível em: <<http://infopetro.wordpress.com/2010/09/06/o-futuro-dos-distintas-estrategias-tas/>>. Acesso em: 27/08/ 2015.

BRAGATO, I. R. ET AL.. **Produção de açúcar álcool vs. Responsabilidade social corporativa: as ações desenvolvidas pelas usinas de cana-de-açúcar frente as externalidades negativas**. In: Gest. Prod., São Carlos, v. 15, n. 1, p. 89-100, jan.-abr. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v15n1/a09v15n1.pdf>>. Acesso em: 14/02/2014.

BRASIL. Decreto 19.717, Obrigatoriedade da adição de álcool à gasolina de procedência estrangeira. Rio de Janeiro, 20.2.1931

BRASIL. Decreto 76.593, Institui o Programa Nacional do Álcool e dá outras Providências. Brasília, 14.10.1975

BRASIL. Decreto 76.593, Institui Política Nacional de Irrigação e dá outras Providências. Brasília, 11.01.2013

BRASIL. Lei 11.097, Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; e dá outras providências. Brasília, 13.01.2005.

BRASIL. Lei nº 9.433/1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, 08.01.1997.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/pt/home>>. Acesso em: janeiro de 2014.

CAMELINI, J. H. **Regiões competitivas do etanol e vulnerabilidade territorial no Brasil: o caso emblemático de Quirinópolis – GO**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, 2011.

CANABRAVA, A.P. História econômica: estudos e pesquisas. São Paulo: UNESP, 2005. 320p.

CANASAT – **Monitoramento da Cana-de-Açúcar via satélite**. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/index.html>>. Acesso em: março de 2013.

CAPUTO, M.M.; BEAUCLAIR. E.G.F.; SILVA, M.A.; PIEDADE, S.M.S. **Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação**. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.1, p.15-23, 2008.

CARVALHO, L. A. V. **Data Mining: a mineração de dados no marketing, medicina, economia, engenharia e administração**. 1. ed. São Paulo: Ética, 2001.

CARDWELL, M. **European Union Agricultural Policy and Practice: The new Issue of Climate Change**. Working paper presented on October 2010 at Departament of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign.

CASTILLO, R. A. Sustentabilidade, desenvolvimento, globalização. In: **O Brasil, a América Latina e o mundo: espacialidades contemporâneas**. Rio de Janeiro: Lamparina: Anpege: Faperj, 2008.

CASTRO, R. A. O. **O setor sucroenergético e sua adequada regulação: sustentabilidade x viabilidade econômica**. Curitiba: Juruá, 2012.

CASTRO, S. S.; ABDALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. **A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás:** elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 30, n. 1, jan./jun, 2010.

CASTRO, S.S., MIZIARA, F. **Expansão da Lavoura de Cana em Goiás e Impactos Ambientais.** In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA. Rio de Janeiro. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sociologia, 2011. v. 1. p. 1.

CENSO AGROPECUÁRIO, 1995 e 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: ><http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em abril/2014.

CGEE – CENTRO DE Gestão DE ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 2.** Campinas: Nipe/Unicamp, 2007.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil** - Brasília, DF : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009. 536 p.: il.; 24.

CHAPAGAIN, A. K., ORR, S. **An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources:** A case of Spanish tomatoes. *Journal of Environmental Management*, v.90, p.1219-1228, 2009.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands.** *Ecological Economics*, v.64, p.109-118, 2007.

CHAPAGAIN, A. K. et al. **The water footprint of cotton consumption:** an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, v.60, p.186-203, 2006.

CHAPMAN, P.; CLINTON, J.; KERBER, R.; KHABAZA, T.; REINARTZ, T.; SHEARER, C.; WIRTH, R. **CRISP-DM 1.0: step-by-step data mining guide**. Illinois: SPSS, 2000. 78p.

CLEWS – Climate, Land, Energy and Water strategies. Disponível em <<http://clews.net/index.html>>. Acesso em junho de 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Disponível em www.conab.gov.br/publicações/indicadores. Acesso em maio/2014

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2012** - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2012.

CORREA, V. H.C. **O desenvolvimento e a expansão recente da produção agropecuária no Centro-oeste**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas –SP :2013

COUTINHO, M.V. **O negócio da água: debatendo experiências recentes de concessão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário a empresas privadas no Brasil**. Cuadernos del CENDES, Caracas, v. 22, n.3, p. 69-88, 2005.

COUTINHO, M.V. **O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema sócio-ambiental**. Ambiente e Sociedade (Campinas), Campinas - SP, v. II, n.5, p. 109-134, 1999.

CRAMER J. **Testing Framework for Sustainable Biomass, Netherlands, 2007**. Disponível em: <http://www.senter-novem.nl/duurzameengie/publicaties/publicatiesbioergie//toetsingskader_voor_duurzame_biomassa.aspS>. Acesso em: setembro de 2013.

CTC - CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Avaliação de Áreas com Potencial para Produção de cana-de-açúcar no Brasil** – Relatório Técnico de Transferência de Tecnologia, Revisão 1, 14p., 2005.

DE LA TORRE UGARTE, D. G. et al. **Expanded ethanol production**: Implications for agriculture, water demand, and water quality. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 11, p. 1586–1596, nov. 2010.

DIETZENBACHER, E.; VELÁZQUEZ, E. **Analysing andalusian virtual water trade in an inpuoutput framework**. *Regional Studies*, v.41, p.185-196, 2007.

DOMINGUEZ-FAUS, R. et al. **The Water Footprint of Biofuels** : A Drink or Drive Issue ? Are We Ready for Fifty Gallons of Water per Mile. *Environmental Science & Technology*, v. 2007, p. 3005–3010, 2009.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. Irrigation and Drainage Paper, 33.

DUARTE, C. G. ; GOMES, F. ; SORIANO, E. ; MALHEIROS, T. F. **Governança e Discussão Ambiental no Setor Sucreenergético**. In: III Workshop Interdisciplinar de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade, 2011, São Paulo. Anais de resumos do III Workshop Interdisciplinar de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade. São Carlos: EESC/FSP/USP, 2011.

EIA - Energy Information Administration. International Energy Statistics database. Disponível em <<http://www.eia.gov/>>. Acesso em agosto de 2014.

ELBEHRI, A. et. al. **Biofuels and the sustainability challenge**: A global assessment of sustainability issues, trends and policies for biofuels and related feedstocks. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013.

ERCIN, A. E.; ALDAYA, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Corporate water footprint accounting and impact assessment**: the case of the water footprint of sugar-containing carbonated beverage. *Water Resources Management*, v.25, p.721-741, 2011.

ESCHRICH, W. Free space invertase, its possible role in phloem unloading. **Bericht Deutschen Botanischen Gesellschaft**, n.93, p. 363-378, 2000.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Climwat 2.0. Roma, 2006

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. CROPWAT Model. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy, 2003

FARGIONE, J.; ET.AL. **Land clearing and the biofuel carbon debt**. Science (New York, N.Y.), v. 319, n. 5867, p. 1235–8, 29 fev. 2008.

FENG, K.; SIU, Y. L.; GUAN, D.; HUBACEK, K. **Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin**, China: A consumption based approach. Applied Geography, v.32, p.691-701, 2011.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M.; FERREIRA, N. C. **Dinâmica agrícola e desmatamentos em áreas de cerrado**: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. Revista Brasileira de Cartografia, v. 61, n. 2, 2009.

FIESP/ICONE - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais. Outlook Brasil 2022 - projeções para o agronegócio – São Paulo: 2012. 132 p.

FIGUEIREDO, C.C. et al. **Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado**. R. Bras. Ci.Solo, 34:907-916, 2010.

FINGERMAN, K. R. et al. **Accounting for the water impacts of ethanol production**. ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS, v. 5, 2010.

FRAITURE, C. et. al. **Biofuels and implications for agricultural water use: blue impacts of green energy**. Water Policy, v. 10, n. S1, p. 67–81, fev. 2008.

FREDERICO, S. **Modernização da Agricultura e Regulação Territorial nos Fronts Agrícolas Brasileiros**. Espaço e Geografia (UnB), v. 11, p. 135-155, 2008.

FRICH, P. et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the century. **Climate Research**, v.19, n.3, p.193-212, jan., 2002.

FRITSCH, U. R. et al. **Direct and indirect land-use competition issues for energy crops and their sustainable production – an overview**. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, v. 4, p. 692–704, 2010.

GALLI, A.; WIEDMANN, T.; ERCIN, E.; KNOBLAUCH, D.; EWING, B.; GILJUM, S. **Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators**: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, v.16, p.100-112, 2012.

GBEP- Global Bioenergy Partnership. The global bioenergy partnership sustainability indicators for bioenergy. 2011

GERBENS-LEENES, W. et al. **The water footprint of bioenergy**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 25, p. 10219–23, 2009.

GERBENS-LEENES, W.; HOEKSTRA, A. Y. **The water footprint of biofuel-based transport**. *Energy Environ. Sci.*, v. 4, p. 2658–2668, 2011.

GIBBS, H. K. et al. **Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics**: the effects of changing yield and technology. *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, v. 3, p. 10, 2008.

GLEICK, P. H. **The changing water paradigm: A look at twenty-first century water resources development**. *Water International*, v.25, p.127-138, 2000.

GODOY, M. M. **Espaços canavieiros regionais e mercado interno**: subsídios para o estudo da distribuição espacial da produção e comércio de derivados da cana-de-açúcar da província de Minas Gerais. Minas Gerais: CEDEPLAR. X Seminário sobre Economia Mineira. 2002.

GOLDEMBERG, J. **The Brazilian biofuels industry**. *Biotechnology for biofuels*, v. 1, n. 1, p. 7, jan. 2008.

GOLDEMBERG, J.; ET.AL. **The sustainability of ethanol production from sugarcane.** Energy Policy, v. 36, n. 6, p. 2086–2097, jun. 2008.

GRIESER, J. *et al.* New LocClim - the Local Climate Estimator of FAO. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 08305, 2006.

GROISMAN, P.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; HASTINGS, E.; PEGRAM, G. **Literature Review for the Applicability of Water Footprints in South Africa**, WRC Report No. 2099/P/11, Water Research Commission, Gezina, South Africa, 2012.

RAHAMAN, M. M.; VARIS, O. Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges. **Sustainability: science, practice, and policy**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 15- 21, 2005.

HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F. TAGIPOUR, A.; KUMAR, K. R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; I, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation.** Journal of Geophysical Research, Washington, v. 111, n. D5, p.1-22, mar., 2006.

HOEKSTRA, A. Y. E CHAPAGAIN, A. K.. Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources, Blackwell Publishing, Oxford , 2008.

HOEKSTRA, A. Y. **How sustainable is Europe's water footprint?** Water and Wastewater International, v.26, p.24-26, 2011.

HOEKSTRA, A. Y. **Human appropriation of natural capital:** A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. Ecological Economics, v.68, p.1963-1974, 2009.

HOEKSTRA, A. Y. **Virtual water trade:** Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. N.12, Delft: UNESCO-IHE, 2003. 239p.

HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The water footprint assessment manual**. 1.ed. London: Water Footprint Network, 2011. 224p.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. **The water footprints of Morocco and the Netherlands**: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. *Ecological Economics*, v.64, p.143-151, 2007.

HOEKSTRA, A. Y.; HUANG, P. Q. **Virtual water trade**: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series. Institute for Water Education. Holanda: UNESCO-IHE, 2002. 66p.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Globalization of water resources**: International virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, v.15, p.45-56, 2005.

HOEKSTRA, A.; CHAPAGAIN, A. K. **Water footprints of nations**: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water and Resource Management*, v.21, p.35-48, 2005.

HOEKSTRA, A.Y., et al. **The water footprint assessment manual: Setting the global standard**, Earthscan, London, UK., 2011.

HOLANDA, S. B. de. (org.) **História Geral da Civilização Brasileira**. Tomo I, 2 vol. São Paulo: DIFEL, 1960.

HOLANDA, S. B. de. **Raízes do Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. J. Olympio, 1981.

HUBACEK, K.; GUAN, D.; BARRETT, J.; WIEDMANN, T. **Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China**: Ecological and Water Footprints. *Journal of Cleaner Production*, v.17, p.1241-1248, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006, Resultados Preliminares, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados Agregados. Disponível em:<http://sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&0=11&i=P>. Acesso em maio/2014.

IEA - International Energy Agency. World Energy Outlook 2012, OECD/IEA, Paris.

IEA– International Energy Agency/ International Renewable Energy Agency. Global Renewable Energy Policies and Measures Database. Disponível em: <<http://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/>>. Acesso em: agosto de 2014.

IPCC- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2012: synthesis report. Summary for policymakers. Geneva, 2012. Disponível em: [.http://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/sir_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/assessment-report/ar4/sir_spm.pdf)>. Acesso em: 22/08/2014.

KING, C. W.; WEBBER, M. E. **Water Intensity of Transportation**. Environmental Science & Technology, v. 42, n. 21, 2008.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. **A conservação do Cerrado Brasileiro**. Megadiversidade. v.1, n.1, p. 147155, 2005.

KOEHLER, A. **Water use in LCA: Managing the planet's freshwater resources**. The International Journal of Life Cycle Assessment, v.13, p.451- 455, 2008.

KOHLHEPP, G.. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. *Estud. av.* [online]. 2010, vol. 24, n.68, pp. 223-253. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142010000100017>>. Acesso em: dezembro 2014

LAPOLA, D. M. et al. **Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 107, n. 8, p. 3388–93, 23 fev. 2010.

LATHUILLIÈRE, M. J. et al. **Water use by terrestrial ecosystems** : temporal variability in rainforest and agricultural contributions to evapotranspiration in Mato Grosso , Brazil. ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS, v. 7, p. 12, 2012.

LIMA, Léo da Rocha; MARCONDES, Aluizio de Abreu. **Álcool carburante; uma estratégia brasileira**. Curitiba: UFPR, 2002. 248p.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira and LEAL, Manoel Régis L. V. O biocombustível no Brasil. Revista Novos Estudos. - CEBRAP ,2007, n.78, pp. 15-21.

LIMA, D. L.L.L. **Estrutura e expansão da agroindústria canavieira no sudoeste goiano: impacto no uso do solo e na estrutura fundiária a partir de 1990**. Tese. Universidade Estadual de Campinas, 2010.

LIN, J. Governing Biofuels : **A Principal-Agent Analysis of the European Union Biofuels Certification Regime and the Clean Development Mechanism**. v. 1, n. September, p. 43–73, 2011.

LUIZ, A. et al. **Plant development and yield of four sugarcane varieties irrigated by a subsurface drip irrigation system in Campinas** , Brazil. v. 15, p. 11261, 2013.
MA, J.; HOEKSTRA, A. Y.; WANG, H.; CHAPAGAIN, A. K.; WANG, D. **Virtual versus real water transfers within China**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, v.361, p.835-842, 2006.

MACEDO Júnior, C. **Agrupamento de modelos de mudanças climáticas e geração de cenários de impactos na agricultura** / Celso Macedo Júnior. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

MACEDO, I. **The Power of Cane Sugar (cane sugar energy: twelve studies on the sugar cane agribusiness and its sustainability)**. São Paulo: UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar), 2005.

MACEDO, M. A. de.; ASSAD, E. D.; CÂMARA, G.; OLIVEIRA, J. C. de; BARBOSA, A. M. **Avaliação de métodos para espacialização de índices de necessidade hídrica das culturas e sua aplicação em zoneamento agrícola**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v.9, n.3, p.581-587, dez., 2001.

MANZATTO, C. V et. al.. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento/Assessoria de Gestão Estratégica. **BRASIL PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO 2011/2012 a 2021/2022**. Brasília, 2012.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Produção e Agroenergia. **Anuário Estatístico da Agroenergia**, 2010.

MAPA.- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011 / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia**, 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI / José A. Marengo – Brasília: MMA, 2007. 2a edição.**

MARIN, F. **Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.17 no.2 Campina Grande Feb. 2013.

MARKEVIČIUS, A. et al. **Trends and sustainability criteria of the production and use of liquid biofuels**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, n. 9, p. 3226–3231, dez. 2010.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment, 2005. **ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: WETLANDS AND WATER Synthesis**. World Resources Institute, Washington, DC.

MEKONNEN, M. M., HOEKSTRA, A. Y. **A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat.** Hydrology and Earth System Sciences, v.14, p.1259- 1276, 2010.

MIN - Ministério da Integração Nacional. **Retrato da irrigação no Brasil.** 15.04.2013 Disponível em: < <http://www.integracao.gov.br/> /> Acesso em: julho de 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Assessoria de gestão estratégica. **Projeções do Agronegócio Mundial e Brasil 2006/07 a 2017/18.** Brasília, DF: MAPA, 2008.

MIYAKE, S. et al. **Land-use and environmental pressures resulting from current and future bioenergy crop expansion** : A review. v. 28, p. 650–658, 2012.

MME/EPE- Ministério de Minas e Energia / Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2021 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2012.

MORAES, A. C. R. **Território e História no Brasil.** São Paulo: Annablume, 2005.

MORAES, M.A.F.D; SHIKIDA, P.F.A. **Agroindústria canavieira no Brasil:** evolução, desenvolvimento e desafios. – São Paulo: Atlas, 2002.

MYERS, N.; MITTERMEYER, R. A.; MITTERMEYER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities.** Nature, 403, 853-858, 2000.

NASSAR, A. M. et al. **Biofuels and land-use changes** : searching for the top model. Focus, p. 224–232, 2011.

OEL, P. R. van; HOEKSTRA, A. Y. **Towards quantification of the water footprint of paper:** A first estimate of its consumptive component. Water Resource Management, v.11, p.9942- 9949, 2012.

OEL, P. R. van; MEKONNEN, M. M.; HOKSTRA, A. Y. **The external water footprint of the Netherlands:** Geographically-explicit quantification and impact assessment. Ecological Economics, v.69, p.82-92, 2009.

OKI, T.; KANAE, S. **Virtual water trade and world water resources**. Water Science and Technology, v.49, p.203-209, 2004.

PEREIRA JR., A. O. ET. AL. **Energy in Brazil: Toward sustainable development?** Energy Policy, v. 36, n. 1, p. 73–83, jan. 2008.

PINTO, H.S., BRUNINI,O.; ZULLO JR.J.; ASSAD, E.D. **Zoneamento de Risco Meteorológicos e Climáticos Para a Agricultura do Estado de São Paulo**. Anais do Workshop Internacional do Agronegócio. CEPEA/ESALQ-USp, DEAS e ANPS. p.333-360. Piracicaba, 2000.

POPE,J.; ANNANDALE, D.; MORRISON-SAUNDERS, A. **Conceptualising sustainable assessment**. Environmental impact assessment review, [s.l.], n. 24, p. 595-616, 2004.

POSTEL, S. **Entering an era of water scarcity: the challenges ahead**. Ecological Applications, v.10, p.941- 948, 2000.

RAZUVAEV, V. N. **Trends in intense precipitation in the climate record**. Journal of Climate, n.18, n.9, p.1326-50, out., 2004.

REES, W. E. **Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out**. Environment and Urbanization, v.4, p.121-130, 1992.

RIBEIRO, N. V. **Expansão Sucroalcooleira no Bioma Cerrado: Tendências, cenários e impactos**. Universidade Federal de Goiás – Instituto de Estudos Sócio-ambientais, 2010. Tese de Doutorado.

RIBEIRO, N.V. (et al.) **Expansão da Cana-de-Açúcar no Bioma Cerrado: Uma análise a partir da modelagem perceptiva de dados cartográficos e orbitais**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 009, INPE, p. 4287-4293.

ROMAGUERA, M.; HOEKSTRA, A. Y.; SU, Z.; KROL, M. S.; SALAMA, M. S. **Potencial of using remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops.** *Journal Remote Sensing*, v.2, p.1177-1196, 2010.

ROMERO, E.R.; SCANDALIARIS, J.; RUFINO, M.; DURÁN, A.; SOTOMAYOR, L.; QUIROGA, V.; MORALES, M. Actualización de las recomendaciones de manejo de glifosato como madurador de la caña de azúcar. **Avance Agroindustrial**, v.21, n.22, p.22-27, 2000.

ROVERE, E.L.L.; OBERLING, D.F.; OBERMAIER, M.; SOLARI, R.; WILLS, W. **Avaliação da Sustentabilidade da Expansão do Etanol da Cana-de-açúcar no Brasil.** Laboratório Interdisciplinar do Meio Ambiente (LIMA), Rio de Janeiro, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Lei n. 11.241, de 19 de setembro 2002. Dispõe sobre eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar. Diário Oficial [do] Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 20 set. 2002.

SCHAFFEL, S. B.; LA ROVERE, E. L. **The quest for eco-social efficiency in biofuels production in Brazil.** *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 1663–1670, 2010.

SEMARH - Secretaria de meio ambiente e dos recursos hídricos, governo de Goiás. manual técnico de outorga. Manual Técnico de Outorga, 1ª versão 2012.

SHIKI, S. **Sistema Agroalimentar nos Cerrados Brasileiros: caminhando para o caos?** In SHIKI, Shigeo; SILVA, Graziano da; ORTEGA, Antônio César (Orgs). *Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade do Cerrado Brasileiro*. Uberlândia: UFU, 1997. p. 135-165.

SHIKLOMANOV, I. A. **Appraisal and assessment of world water resources.** *Water International*, v.25, p.11-32, 2000.

SILVA, A. L. B. O. et; al. **Plant development and yield of four sugarcane varieties irrigated by a subsurface drip irrigation system in Campinas, Brazil.** 2013. Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, 2013.

SIMS, R. E. H. **Bioenergy to mitigate for climate change and meet the needs of society, the economy and the environment.** Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, v. 8, n. 4, p. 349–370, 2003.

SMEETS, E. et al. **The sustainability of Brazilian ethanol—An assessment of the possibilities of certified production.** Biomass and Bioenergy, v. 32, n. 8, p. 781–813, ago. 2008.

SUGARCANE.ORG. Disponível em: <<http://sugarcane.org/>>.

SZMRECSÁNYI, Tamás et al. **Dimensões, riscos e desafios da atual expansão canavieira.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 150p. (Texto para Discussão, n. 32).

SZMRECSÁNYI, Tamás. **Planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975).** São Paulo: Hucitec-Unicamp, 1979.

TÁVORA, F. L. **História e economia dos biocombustíveis no Brasil.** Abr. 2011. Disponível em: <http://www.senado.gov.br/senado/conleg/textos_discussao/NOVOS%20TEXTOS/TD%2089%20-%20Fernando%20Lagares.pdf>. Acesso em: agosto de 2014.

UDOP – **União dos Produtores de Bioenergia. Relação das unidades/destilarias no Brasil.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=unidades>>. Acesso em: junho de 2013.

UE – União Européia, 2008. EP seals climate change package. PARLAMENTO EUROPEU, 17 Dez 2008. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+PDF+V0//EN&language=EN>>. Acesso em outubro de 2013.

UE – União Européia, 2008a. **More Sustainable Energy in Road Transport Targets.** PARLAMENTO EUROPEU, 11 Set 2008. Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/infopress/20080909IPR36658/20080909IPR36658_en.pdf>. Acesso em outubro de 2014.

UNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Protocolo Agroambiental. s/d disponível em < www.unica.com.br>. Acessado em: setembro de 2013.

UNICA – União das Indústrias de Cana-de-Açúcar, São Paulo - Brasil. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>.

UNICA. - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Protocolo Agroambiental. 2º Relatório de Sustentabilidade do setor sucroenergético, 2010. Disponível em <www.unica.com.br>. Acessado em: setembro de 2013.

USDA - Agricultural Projections to 2022. Office of the Chief Economist, World Agricultural Outlook Board, U.S. Department of Agriculture. Prepared by the Interagency Agricultural Projections Committee. Long-term Projections Report OCE-2013-1, 105 pp.

VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 111, n. D5, p.1-22, mar., 2006.

VIEIRA, Z. M. C. L. Metodologia de análise de conflitos na implantação de medidas de gestão de demanda de água. Tese (Doutorado). Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 371 p, 2008.

WACKERNAGEL, M.; MONFREDA, C.; ERB, K. H.; HABERL, H.; SCHULZ, N. B. **Ecological footprint time series of Austria, the Philippines, and South Korea for 1961–1999: Comparing the conventional approach to an actual land area approach.** Land Use Policy, v.21, p.261-269, 2004.

WALTER, A. et al. **Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change**, GHG emissions and socio-economic aspects. *Energy Policy*, v. 39, p. 5703–5716, 2011.

WHO - World Health Organization. "International Program on Chemical Safety, Environmental Health Criteria 5: Nitrates, Nitrites, and N-Nitroso Compounds." 2006.

YANG, H. et al. **Land and water requirements of biofuel and implications for food supply and the environment in China**. *Energy Policy*, v. 37, n. 5, p. 1876–1885, maio. 2009.

YU, Y.; HUBACEK, K.; FENG, K. GUAN, D. **Assessing regional and global water footprints for the UK**. *Ecological Economics*, v.69, p.1140-1147, 2010.

ZANONI, M.; PIVOT, A.; VARGAS, M. C. ; RAYNAUT, C.; LESCURE, J. P; QUENSIÈRE, J. **La recherche en environnement - À propos de quelques pratiques interdisciplinaires**. *Nature Sciences Sociétés, Nanterre*, v. 6, n.1, p. 50-57, 1998

ZEITOUN, M.; ALLAN, J. A.; MOHIELDEEN, Y. **Virtual water 'flows' of the Nile Basin, 1998 e 2004: A first approximation and implications for water security**. *Global Environmental Change*, v.20, p.229-242, 2010.

ZHANG, Z. YANG, H. SHI, M. **Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input–output framework**. *Ecological Economics*, v.70, p.2494-2502, 2011.

ZHAO, X.; CHEN, B.; YANG, Z. F. **National water footprint in an input–output framework-A case study of China 2002**. *Ecological Modeling*, v.220, p.245-253, 2009.

ZULLO JÚNIOR, J. **Riscos Climáticos da Cultura da Cana-de-açúcar. In: Regiões Canavieiras / Rosana Baerninger et al. (org.)**. –Campinas: Núcleo de Estudos de População –Nepo/Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura- CEPAGRI- NEPA/UNICAMP, 2013.