**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as
implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**

Erich Collicchio

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ecologia Aplicada.**

**Piracicaba
2008**

Erich Collicchio
Engenheiro Agrônomo

**Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações
das mudanças climáticas no estado do Tocantins**

Orientador:
Prof. Dr. **HUMBERTO RIBEIRO DA
ROCHA**

**Tese apresentada para obtenção do
título de Doutor em Ecologia
Aplicada.**

**Piracicaba
2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Collicchio, Erich

Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado de Tocantins / Erich Collicchio. - - Piracicaba, 2008.
156 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.
Bibliografia.

1. Agroclimatologia 2. Balanço hídrico 3. Biocombustíveis 4. Cana-de-açúcar 5.
Meio ambiente 6. Mudanças climáticas 7. Tocantins 8. Zoneamento I. Título

CDD 633.61
C699z

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dedico

*Aos meus pais, Anézio e Norien,
ao companheiro e amigo
Julio C. M. Vianna (In memorian),
aos meus filhos,
Thiago, Vitor, Romana e Ághata
e à minha mulher Munique*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS antes de tudo.

A mudança de minha área de atuação e ampliação da escala de trabalho, do mestrado para o doutorado, foi o maior desafio durante minha vivência no curso, que culminou na realização deste trabalho de grande abrangência e composto por diversas áreas do conhecimento.

Logicamente um trabalho multidisciplinar como este é o resultado da colaboração de um grupo de pessoas e instituições, que recebi de forma direta e indireta, no decorrer deste período. Desta maneira venho agradecer...

Ao Governo do Estado do Tocantins, através da Fundação Universidade do Tocantins – UNITINS, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAGRO e Secretaria de Ciência e Tecnologia – SECT;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo auxílio concedido durante o programa de Doutorado;

À Agência Nacional de Água – ANA, em nome da Sra. Andrelina dos Santos e ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pela cessão dos dados climáticos;

Ao prof. Humberto Ribeiro da Rocha do IAG/USP, pela oportunidade, apreço, amizade e orientação neste trabalho;

Aos professores María Victoria Ramos Ballester e Reynaldo Luiz Victória, pelo espaço concedido no Laboratório de Geoprocessamento – CENA/USP, em Piracicaba, pelas sugestões, mas especialmente pela convivência durante esses anos, que culminou na concretização de amizade;

Aos professores Antonio Roberto Pereira (Perinho), Jairo Antonio Mazza e Edgar Gomes Ferreira de Beauclair da ESALQ/USP, ao prof. André Marcondes Andrade Toledo da Universidade Federal do Mato Grosso – UFMT, aos pesquisadores Osvaldo Machado Rodrigues Cabral e Marcos Antônio Vieira Ligo, da Embrapa Meio Ambiente e ao pesquisador Glauco de Souza Rolim do IAC, pelas sugestões ao longo do trabalho;

Aos colegas Daniel de Castro Victoria (pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite), Gean Carlos Silva Matias (doutorando em Solos - ESALQ/USP) e Raphael

Moreira Beirigo (mestrando em Solos - ESALQ/USP), os quais foram essenciais no desenvolvimento deste documento;

Aos colegas tocantinenses Aldo Azevedo (Secretaria de Recursos Hídricos), Denise, Wanja Nóbrega, Kleiber Arantes e Luiz Vieira (SEAGRO), Eduardo Quirino (Secretaria do Planejamento/DZE), Regina Martins (MINERATINS), Otton Nunes (UNITINS) e prof. Leonardo Collier (UFT), pela disponibilização de dados e informações que auxiliaram na elaboração deste trabalho;

A todos os colegas da UNITINS AGRO;

Ao pessoal do Escritório Regional do LBA – TO, Soraya, Dariusz, Rita, Adriano, Anatólio, Fernanda, Kleiton e Paola;

Aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento e Tratamento de Imagens do CENA/USP, André, Alailson, Ana, Carol, Cátia, Daniel, Henrique (Tamagushi), José Mauro, Lucas, Mariana, Rafael (Pira) e Vincent, pelo acolhimento, apoio e amizade;

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP, Carol, Carlos, Dani, Edmar, Eraclito, Fátima, Gabi, Giovana, Ioko, Jadson, Maíra, Michela, Ney, Vânia, Victor, Tatiana, Luis (Urso), Uwe e as funcionárias Neusa, Rosângela, Xanda e a Mazé;

Aos colegas de São Paulo do IAG/USP, Helber, Leuda, Rogério e Jonatan;

Aos professores Luiz Martinelli (Zebu), Plínio de Camargo, Alex Krusche, Jean Ometto, Marcelo Moreira e Célia Regina do CENA/USP;

À Secretaria do Programa de Pós-graduação Interunidades de Ecologia Aplicada, em nome da Sra. Regina Celis Telles de Freitas e aos funcionários da Biblioteca da ESALQ, através das Bibliotecárias, Silvia Maria Zinsly, Eliana Maria Garcia e Maria Cristina Moura Rocha de Andrade, pelo auxílio e sugestões;

Em especial aos novos amigos “piracicamanos” que me foram apresentados em Pira, André Toledo, Daniel Victoria, José Mauro, Alailson Santiago, Rafael Leal, Rafael Rosolém e os professores Sílvio Zocchi e Perinho, pela convivência e apoio recebido durante toda a época em que vivi nesta cidade;

Ao meu filho Thiago, que compartilhou comigo parte importante da minha vida e eu da dele. Agradeço-lhe pelo companheirismo, amizade e compreensão;

À minha família e especialmente à minha mulher Munique Daniela, pela paciência, estímulo e apoio durante estes anos vividos em Piracicaba.

Ciência é isso...

*Quem trabalha com pesquisa tem “algo a mais” nas veias.
Não consegue viver sem ela, pois se a tirarem de seu corpo,
perde a essência de sua vida profissional,
perde aquele motorzinho que às vezes falha,
mas não o larga na mão.
Se confunde com persistência,
que parece sem fim.
Ela é tão forte em nós,
que chegam até
a nos considerar chatos.
Não deve ser fácil conviver com pesquisador.
Mas pesquisa é isso!
Abnegação, comprometimento,
humildade, persistência,
vontade de fazer algo
que se transforme
em benefícios para muitos.
É utilizá-la em favor de quem necessita.
É promover desenvolvimento responsável.*

Erich Collicchio

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	14
1 INTRODUÇÃO.....	16
2 DESENVOLVIMENTO.....	19
2.1 Revisão Bibliográfica	19
2.1.1 A cultura da cana-de-açúcar: situação atual e perspectivas.....	19
2.1.1.1 Panorama geral do negócio sucroalcooleiro	19
2.1.1.2 Cultivo da cana-de-açúcar no Tocantins e possibilidades de expansão	25
2.1.2 Características edafoclimáticas para a cana-de-açúcar	28
2.1.2.1 Ciclo fenológico	28
2.1.2.2 Temperatura	29
2.1.2.3 Necessidades hídricas.....	31
2.1.2.4 Condições edáficas	33
2.1.3 Zoneamento agroclimático	36
2.1.3.1 Conceitos e importância	36
2.1.3.2 Zoneamento agrícola como instrumento de política agrícola	38
2.1.3.3 Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar.....	40
2.1.3.4 Zoneamento agroclimático e as mudanças climáticas.....	42
2.2 Material e Métodos	44
2.2.1 Área de estudo	44
2.2.1.1 Caracterização física do Estado.....	45
2.2.1.2 Condições climáticas do Estado.....	46
2.2.2 Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar.....	46
2.2.3 Zoneamento edafoclimático e ambiental e identificação de regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar	50
2.2.4 Simulação do efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático.....	57

2.3 Resultados e Discussão	61
2.3.1 Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar considerando as condições atuais do clima.....	61
2.3.2 Zoneamento edafoclimático e ambiental e identificação de regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar	72
2.3.2.1 Zoneamento de aptidão edáfica para a cana-de-açúcar	73
2.3.2.2 Alternativas de convivência com as restrições edáficas, através do manejo do solo e da cultura	87
2.3.2.2.1 Manejo químico do solo	88
2.3.2.2.2 Adubação verde e orgânica	90
2.3.2.2.3 Preparo de solo e práticas conservacionistas	92
2.3.2.2.4 Épocas de plantio.....	94
2.3.2.3 Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar	97
2.3.2.4 Potencialidades regionais para produção sucroalcooleira e vantagens competitivas	100
2.3.2.4.1 Uso da terra.....	100
2.3.2.4.2 Infra-estrutura de transporte e energia elétrica	103
2.3.2.4.3 Produção e disponibilidade de insumos agrícolas.....	107
2.3.2.4.4 Apoio técnico e científico local.....	109
2.3.2.4.5 Destilaria padrão	109
2.3.2.4.6 Regiões potenciais para produção de etanol	110
2.3.2.4.7 Aspectos e políticas sócio-ambientais	119
2.3.3 Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar	122
3 CONCLUSÕES.....	137
REFERÊNCIAS	139
ANEXOS	155

RESUMO

Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cultura da cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins

A tendência de expansão do complexo sucroalcooleiro para as regiões Centro-Norte do país, devido ao aumento da demanda pelo etanol, torna relevante a elaboração do zoneamento de aptidão agroclimática para a cultura da cana-de-açúcar para essas regiões, notadamente para o estado do Tocantins. As informações climáticas e edáficas favorecem a determinação de áreas mais aptas ao cultivo e à mecanização. Por outro lado poderá ocorrer a elevação do risco climático nas regiões produtoras devido ao aumento da temperatura do ar, conforme divulgado pelo IPCC (2007). O presente estudo visou elaborar o zoneamento edafoclimático e ambiental para a cultura, utilizando a climatologia atual e identificar possíveis regiões com potencial produtivo no Estado. Além disso, buscou-se simular o impacto das mudanças do clima sobre o zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no Tocantins, considerando os dados gerados pelos modelos GFDL e HadCM₃ e cenários de emissão B₁ e A₁B, para o período de 2021 a 2050. Os resultados mostraram que tanto para as condições climáticas atuais, quanto para projeções dos modelos, não há restrição térmica para o desenvolvimento da cultura, e que para obter boa produtividade com o cultivo da cana-de-açúcar no Estado será necessário, de forma geral, a utilização de irrigação nos períodos de deficiência hídrica. Constatou-se também que, existe potencialidade para a produção da cana-de-açúcar, apesar da predominância da classe de aptidão “restrita”. Foram identificadas três regiões potenciais com condições edafoclimáticas favoráveis e com boa infra-estrutura para produção, localizadas nas regiões sul, sudeste e central do Estado. As mudanças climáticas analisadas indicaram que o Tocantins estará sob fortes restrições hídricas, com grande redução de áreas consideradas climaticamente “aptas” e “marginais”, e aumento das áreas “restritas” (quase a totalidade do Estado) ao cultivo da cana-de-açúcar sob condições de sequeiro.

Palavras-chave: Agroenergia; Etanol; Cana-de-açúcar; Balanço Hídrico; Aptidão Edafoclimática; Aquecimento global

ABSTRACT

Environmental and edapho-climatic zoning for sugarcane and climatic changes implications for Tocantins State

Due to the increase of ethanol demand, the tendency to expansion of the complex sugarcane industry in the Center-North region requires an elaboration of agroclimatic aptitude for sugarcane culture, especially in Tocantins State. The climatic and edaphic informations favor the determination of most suitable areas for cultivation and mechanization. On the other hands, according to IPCC (2007) it may occur an elevation of the climatic risk in the productive regions due to the increase of air temperature. This study aimed to elaborate the environmental and edapho-climatic zoning for sugarcane using the current climate regime, and identify regions of potential productivity in Tocantins State. Furthermore, it was also aimed to simulate the climate change impacts over the agroclimatic sugarcane zoning in Tocantins considering data generated by GFDL and HadCM₃ and scenarios of B₁ e A₁B emissions for the period between 2021 and 2050. Results showed that for both the current climatic conditions and the projected models there is no thermal restrictions for cane development and to obtain good productivity it will be necessary to irrigate the crops during the drought periods. Although the predominance of “restrict” aptitude classes it was noticed the existence of a potential for sugarcane production. Three potential regions (South, Southeast and Central regions) were identified with favorable edapho-climatic conditions and with suitable infrastructure for production. The climate changes analyzed indicated that Tocantins State will go through hidric restrictions due to the reduction of areas considered climatically “apt” and “marginal” and increase of the “restrict” areas for sugarcane cultivation without irrigation regime.

Keywords: Agroenergy; Ethanol; Sugarcane; Water balance; Edapho-climatic aptitude; Global warming

LISTA DE FIGURAS

1	Evolução da produção de cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras (UNICA, 2008).....	20
2	Produção total de etanol no Brasil, a partir da década de 90 (BRASIL, 2007; UNICA, 2008)	21
3	Volume de vendas de veículos leves a álcool e à gasolina (MORCELI, 2006).....	22
4	Matriz de produção da agroenergia brasileira (BRASIL, 2006).....	24
5	Períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar.....	29
6	Distribuição das áreas com solos favoráveis à produção de cana-de-açúcar sob condições climáticas não limitantes.....	34
7	Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil, de acordo com Camargo et al. (1977).....	41
8	Estado do Tocantins e seus confrontantes.....	44
9	Distribuição das estações meteorológicas e pluviométricas no estado do Tocantins e seu entorno.....	47
10	Fluxograma mostrando a metodologia utilizada para realizar o zoneamento agroclimático da cultura da cana-de-açúcar para o Tocantins.....	49
11	Fluxograma mostrando as etapas para identificar as regiões potenciais ao cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins.....	51
12	(a) Áreas de uso legal restrito, controlado e potenciais para conservação ambiental (SEPLAN, 2006); (b) Ambientes originais de floresta e cerrado; (c) Áreas especiais de produção e (d) Áreas com restrições naturais de uso (adaptado do SEPLAN, 2007).....	53
13	Diferenças entre temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação anual (mm.dia^{-1}) do clima atual, simulados pelos modelos GFDL e HadCM ₃ em relação à climatologia média observada para o mesmo período (1961 – 1990).....	58
14	Procedimento de correção dos dados do clima futuro para a elaboração dos zoneamentos agroclimáticos para a cana-de-açúcar, considerando os modelos GFDL e HadCM ₃ para os cenários B ₁ e A ₁ B.....	60
15	(a) Relevo, (b) temperatura do ar média anual ($^{\circ}\text{C}$) e (c) precipitação média anual (mm) no estado do Tocantins.....	62
16	Médias mensais da temperatura e precipitação, no estado do Tocantins.....	63
17	Médias mensais de temperatura média (T _m), temperatura mínima (T _{min}) e precipitação (mm) de três regiões do Tocantins, com classe de aptidão agroclimática “marginal”.....	64
18	Deficiência hídrica anual em mm, no estado do Tocantins.....	65
19	Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no estado do Tocantins...	66

20	Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar e recursos hídricos no estado do Tocantins.....	68
21	Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar considerando os “Pólos de Produção do Alcool Combustível” indicados pela Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins (SEAGRO, 2007a).....	70
22	Áreas disponíveis sem restrições legais ou naturais para possível produção de cana-de-açúcar no Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2007).....	72
23	Classificação dos solos do Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2007).....	74
24	Zoneamento da aptidão edáfica natural ao cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, sendo (a) sem restrições naturais, legais e ambientais quanto ao uso e (b) considerando as restrições.....	86
25	Zoneamento edafoclimático e ambiental ao cultivo mecanizado da cana-de-açúcar no estado do Tocantins.....	99
26	Síntese do uso da terra do Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2007).....	101
27	Rede intermodal de transporte existente e planejada, em 2005 e o sistema energético implantado e projetado para o Estado (adaptado do SEPLAN, 2007).....	104
28	Corredor de Transporte Multimodal Centro-Norte e alternativas atuais e futuras de transporte para a movimentação de produtos agrícolas.....	106
29	Ocorrências e unidades produtoras de insumos agrícolas no estado do Tocantins.....	108
30	Regiões potenciais à produção mecanizada da cana-de-açúcar no Tocantins.....	111
31	Regiões com potencial para produção de cana-de-açúcar: (a) Região-Pólo 1 do Sul e b) Região-Pólo 2 do Sudeste.....	112
32	Região-Pólo 3 Central, com potencial para produção de cana-de-açúcar.....	117
33	Temperatura média anual - Ta (°C) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL_ B ₁ e (c) modelo/cenário GFDL_A ₁ B e precipitação anual - Pre (mm) referente à: (d) climatologia atual; (e) modelo/cenário GFDL_ B ₁ e (f) modelo/cenário GFDL_A ₁ B.....	123
34	Temperatura média anual - Ta (°C) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadCM ₃ _B ₁ e (c) modelo/cenário HadCM ₃ _A ₁ B e precipitação anual - Pre (mm) referente à: (d) climatologia atual; (e) modelo/cenário HadCM ₃ _B ₁ e (f) modelo/cenário HadCM ₃ _A ₁ B.....	124
35	Diferenças das temperaturas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_ B ₁ , (b) GFDL_A ₁ B, (c) HadCM ₃ _B ₁ e (d) HadCM ₃ _A ₁ B (°C), para o período de 2021 a 2050, menos a temperatura média anual da climatologia atual (°C),.....	126
36	Diferenças das precipitações provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_ B ₁ , (b) GFDL_A ₁ B, (c) HadCM ₃ _B ₁ e (d) HadCM ₃ _A ₁ B (mm), para o período de 2021 a 2050, menos a precipitação anual da climatologia atual (mm).....	127

37	Diferenças das deficiências hídricas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_B ₁ , (b) GFDL_A ₁ B, (c) HadCM ₃ _B ₁ e (d) HadCM ₃ _A ₁ B (mm), para o período de 2021 a 2050, menos a deficiência hídrica anual da climatologia atual (mm).....	131
38	Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando os modelos/cenários: (a) GFDL_B ₁ , (b) GFDL_A ₁ B, (c) HadCM ₃ _B ₁ e (d) HadCM ₃ _A ₁ B, para o período de 2021 a 2050.....	133
39	Temperatura média mensal – Ta (°C) e precipitação mensal - Pre (mm) da climatologia atual e dos modelos GFDL e HadCM ₃	156

LISTA DE TABELAS

1	Composição da matriz energética mundial e brasileira.....	23
2	Classificação das zonas de aptidão, de acordo com os parâmetros agroclimáticos da cultura.....	49
3	Classes de declive para fins de mecanização.....	55
4	Critérios para a classificação da aptidão natural dos solos para a cultura da cana-de-açúcar.....	56
5	Classificações atual e antiga das classes de solos identificadas no estado do Tocantins, com as suas respectivas extensões no território.....	73
6	Características das áreas com associação de Plintossolos Pétricos e Háplicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	76
7	Características das áreas com Latossolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	78
8	Características das áreas com Neossolos Quartzarênicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	79
9	Características das áreas com Plintossolos Argilúvicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	80
10	Características das áreas com Argissolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	81
11	Características das áreas com Neossolos Litólicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	82
12	Características das áreas com Gleissolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	83
13	Características das áreas com Cambissolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar.....	85
14	Resumo das classes de aptidão edáfica natural por tipo de solo, com vistas à produção de cana-de-açúcar no Tocantins.....	85
15	Valores médios anuais e amplitude calculados para a temperatura e precipitação, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual (observado).....	122
16	Valores médios calculados para a deficiência hídrica anual mínima, máxima, média e amplitude, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual.....	129
17	Área estimada do estado do Tocantins em percentual, por classe de aptidão climática para cultivo da cana-de-açúcar resultante da simulação dos distintos modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual.....	134

18 Médias das temperaturas médias mensais – Ta (⁰ C) e precipitações mensais - Pre (mm) da climatologia atual e referentes aos modelos GFDL e HadCM ₃	156
--	-----

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem ocorrido uma associação de fatores determinantes que têm despertado o interesse brasileiro e mundial pela agroenergia (BRASIL, 2006). Dentre estes fatores destaca-se a mudança do clima relacionada ao aumento global da concentração dos gases do efeito estufa - GEE, os quais se devem especialmente à mudança do uso da terra e a utilização de combustíveis fósseis (IPCC, 2007). Aliado a isto, as tendências de expressivo aumento do preço do barril de petróleo, associado às estimativas de declínio das reservas até a metade deste século e à instabilidade política nas regiões produtoras (BRASIL, 2006), observa-se a necessidade de incremento da participação de energias alternativas e limpas na matriz energética mundial (BARBARISI et al., 2007).

Estes fatores contribuem fortemente para a promoção do aumento da demanda mundial por biocombustíveis, notadamente o etanol proveniente da cana-de-açúcar, com grandes vantagens comparativas em termos econômicos e ambientais sobre o etanol de milho e de cereais (JANK; RODRIGUES, 2007). De acordo ainda com esses autores, quando comparadas às matérias-primas para produção de etanol substituindo a gasolina, considerando-se a produtividade, o balanço energético e as emissões evitadas de GEE, o etanol proveniente da cana-de-açúcar supera em todos os itens o do milho (Estados Unidos) e da beterraba (Comunidade Européia). Eles afirmam que a sustentabilidade e o aquecimento global são temas sistêmicos que exigem um tratamento estratégico mundial.

O Brasil com sua experiência acumulada de mais de 30 anos, saiu na frente do resto do mundo na produção e no uso do etanol. No início dos anos 2000, desenvolveu-se a tecnologia *flex*, já responsável por quase 90% das vendas de automóveis novos, além de ter sido o primeiro país a adicionar álcool anidro à gasolina (JANK; RODRIGUES, 2007).

Motivado por este cenário, no período de 2002 a 2007, a área colhida de cana-de-açúcar no Brasil cresceu de 5,10 milhões de ha, para 6,16 milhões de ha, ou seja, 21% de acréscimo (FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 2008). A produção de cana-de-açúcar em 2007 foi de 420,5 milhões de toneladas, e estima-se que em 2017 a produção atingirá cerca de 720 milhões de toneladas (BIERHALS; BARROS, 2008).

A produção de etanol brasileiro projetada para 2017 é de 38,6 bilhões de litros representando mais do que o dobro da produção de 2005 (BRASIL, 2006a).

Com o aumento da demanda do etanol brasileiro (mercados interno e externo) prevê-se a expansão da cultura da cana-de-açúcar para as regiões Centro-Oeste, Norte (Tocantins) e Nordeste do Brasil (BARBARISI et al., 2007; CTC, 2007). Contudo, para o bom desempenho da cultura, as condições climáticas devem ser observadas, pois se uma região dispõe de solos favoráveis e tecnologias adequadas, mas apresenta risco climático elevado, pouco colaborarão para atenuar esta vulnerabilidade (ZULLO JUNIOR; ASSAD; PINTO, 2008). Sendo assim, torna-se relevante o zoneamento agroclimático da cultura, que é um instrumento oficial de política pública acoplado ao Programa de Garantia da Atividade Agropecuária - PROAGRO, e que permite regionalizar áreas de maior risco para a cultura, no espaço e no tempo, utilizando-se as redes meteorológicas (ROSSETTI, 2001).

As condições climáticas podem ser consideradas as mais importantes na avaliação da aptidão agrícola, porque praticamente não podem ser modificadas, com exceção da deficiência hídrica, que em algumas situações pode ser atenuada com o uso da irrigação (RANIERI; BARRETO; KLUG, 2007).

As informações climáticas e edáficas favorecem a determinação de áreas mais aptas ao cultivo e à mecanização. Associado a isso, a avaliação das restrições quanto ao uso do solo no que se refere às áreas protegidas por lei, configuram no zoneamento agroambiental da cultura, que considera ainda estrategicamente a infra-estrutura de transporte e energia, assim como a disponibilidade de recursos hídricos, insumos agrícolas e recursos humanos locais.

No entanto poderá ocorrer a elevação do risco climático nas regiões produtoras devido ao aumento da temperatura do ar, conforme divulgado pelo IPCC (2007). Modelos climáticos utilizados nos estudos do IPCC (2007) projetaram aquecimento médio global da superfície do planeta, variando de 1,8^oC a 4^oC até o final do século XXI tomando-se como referência o período de 1980 a 1999.

Esses modelos consideraram ainda que mesmo as concentrações dos GEE e aerossóis permanecendo constantes aos níveis medidos em 2000, provavelmente haverá um incremento médio de 0,6^oC na temperatura média global.

Tais estudos têm gerado preocupações no setor agropecuário e os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre zoneamentos agroclimáticos, considerando estes cenários de aquecimento, têm sido realizados recentemente para as culturas do café em São Paulo (PINTO et al., 2001; ASSAD et al., 2004), arroz, soja, milho e feijão (ASSAD; PINTO; ZULLO JUNIOR, 2007) e cana-de-açúcar em Goiás (BARBARISI et al., 2007) e São Paulo (MARIN et al., 2007).

O levantamento da vulnerabilidade agroambiental do setor sucroalcooleiro em relação à climatologia atual e às mudanças climáticas é estratégico, pois permite determinar o potencial da cultura no Tocantins e realizar o planejamento de médio e longo prazo (ZULLO JUNIOR; ASSAD; PINTO, 2008).

O presente trabalho teve como objetivos: propor o zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando a condição do clima atual e as mudanças climáticas previstas por dois modelos e cenários de emissões, que integram o IPCC (2007), para o período entre 2021 e 2050; elaborar o zoneamento edafoclimático e ambiental, ou zoneamento agroambiental para a cultura, bem como identificar regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado, a partir de características agroclimáticas, edáficas, ambientais, físicas e de infra-estrutura.

Com isso espera-se que este trabalho venha contribuir no fornecimento de subsídios técnicos à formulação de políticas públicas agrícolas e ambientais, bem como orientar futuros investimentos do setor sucroalcooleiro no Estado, para que possam ser implantados ordenadamente e de forma sustentável.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 A cultura da cana-de-açúcar: situação atual e perspectivas

2.1.1.1 Panorama geral do negócio sucroalcooleiro

A cana-de-açúcar tem como origem o sudeste asiático, na região da Nova Guiné e Indonésia (DOORENBOS; KASSAM, 1994; PARANHOS, 1987), sendo que a maior parte das lavouras comerciais estão localizadas entre as latitudes 35⁰ N e 35⁰ S (DOORENBOS; KASSAM, 1994; PLANALSUCAR, 1986; MAGALHÃES, 1987), e em altitudes que variam do nível do mar até 1.000 m de altitude apresentando uma ampla adaptação (PLANALSUCAR, 1986; MAGALHÃES, 1987).

Esta grande amplitude de áreas de cultivo da cana-de-açúcar pelo mundo, de acordo com Figueiredo; Landell e Campana (1995) se deve aos programas de melhoramento genético, que desenvolveram variedades mais resistentes a patógenos e melhor adaptados às diversas condições ambientais.

Os 35 principais países produtores totalizam cerca de 19 milhões de hectares (safra 2005), sendo o Brasil o país com maior área plantada (5,8 milhões de hectares), seguido da Índia (3,6) e China (1,3), e produção comercial global de 1,23 bilhões de toneladas (BRASIL, 2007).

A produção brasileira nesse período foi de 423 milhões de toneladas, representando cerca de 34,35% da produção mundial, com produtividade média de 73 t.ha⁻¹, superior a média mundial que foi de 68,85 t.ha⁻¹ (BRASIL, 2007).

A cultura da cana-de-açúcar tem se expandido fortemente no Brasil por causa de sua importância econômica e nesses últimos anos vive-se uma nova e promissora fase, devido principalmente ao advento da energia renovável. Dentre os fatores que motivaram a expansão da cultura no país estão a valorização do etanol como alternativa ao uso de combustíveis fósseis, preços vantajosos do açúcar no mercado de *commodities*, a utilização e a valorização de subprodutos industriais resultantes da

fabricação do açúcar e do álcool e a alcoolquímica (GOES; MARRA; SOUZA e SILVA, 2008).

Por esse motivo, nos últimos seis anos, a área plantada no Brasil cresceu de 5,10 milhões de hectares, em 2002, para 6,16 milhões de hectares em 2007, ou seja, um acréscimo de 21% da área produtiva total de cana-de-açúcar (BRASIL, 2007, FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO, 2008).

Figura 1 - Evolução da produção de cana-de-açúcar processada pelas usinas brasileiras (UNICA, 2008)

A produção brasileira de cana-de-açúcar moída pelas usinas cresceu 54% nos últimos seis anos, quando passou de 320 milhões de toneladas (safra 2002/2003) para 493,4 milhões de toneladas na safra 2007/2008 (Figura 1).

Quase todos os estados brasileiros produzem cana-de-açúcar, mas o maior produtor é São Paulo, com aproximadamente 60% da produção. A região centro-sul, na safra 2007/08 foi responsável por 87,4% da cana-de-açúcar produzida no país (UNICA, 2008). Para se ter uma visão da dimensão da expansão do negócio sucroalcooleiro no Brasil, apenas a indústria de base Dedini instalada no Estado de São Paulo possui cerca de 92 usinas encomendadas para fabricação, sendo que a empresa com esta quantidade de pedidos encontra-se comprometida por pelo menos 4 anos (DEDINI, 2007).

Com relação ao mercado externo, o complexo sucroalcooleiro foi responsável por 15,7% do total de exportações de produtos do agronegócio realizadas pelo país em 2006, cujo valor global correspondeu a US\$ 7.771.690.404, sendo que o açúcar

participou com 12,5% e o álcool com 3,2% (BRASIL, 2007a). Com relação ao saldo das exportações e importações realizadas no período de abril/2006 a março/2007, o complexo sucroalcooleiro ficou atrás apenas do complexo da soja e de carnes (BRASIL, 2007b).

Aproximadamente 90% da produção de cana-de-açúcar brasileira é destinada ao setor sucroalcooleiro (produção de açúcar e álcool), sendo que na safra 2004/2005 cerca de 54,8% foram transformados em açúcar e 45,2% em álcool (BRASIL, 2006a).

A produção de açúcar também aumentou de forma significativa no país, nos últimos seis anos, partindo de 22,5 milhões t (safra 2002/03), para 30,7 milhões t (safra 2007/08) acumulando um incremento médio de 36,4% (UNICA, 2008). As estimativas para a produção brasileira de açúcar indicam uma taxa média anual de crescimento de 4,23% para os próximos 10 anos (2006/2007 a 2016/2017). Considerando esta taxa, a produção esperada de açúcar em 2016/2017 será de aproximadamente 43,2 milhões t (BRASIL, 2006a).

O crescimento da produção de etanol no mesmo período proporcionalmente foi muito grande (78,6%), sendo que passou de 12,6 bilhões de litros (safra 2002/03), para 22,5 bilhões de litros na safra 2007/08 (UNICA, 2008), conforme pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Produção total de etanol no Brasil, a partir da década de 90 (BRASIL, 2007; UNICA, 2008)

Conforme Goes; Marra e Souza e Silva (2008), a expansão da cana-de-açúcar prevista para os próximos anos está calcada fortemente no incremento da produção e consumo do etanol, para atender ao crescimento do mercado interno impulsionado pela ampliação das vendas dos veículos *flex-fuel* - bicom bustíveis (BRASIL, 2006a), bem como suprir as exportações que deverão aumentar de forma significativa, além da necessidade de reduzir a emissão de gases do efeito estufa e poluentes, por ser considerado uma alternativa energética e renovável (BRASIL, 2006; ORTOLANI, 2006; ROTHKOPF, 2007).

Nesse sentido, a produção de etanol projetada para 2017 é de 38,6 bilhões de litros, ou seja, superior ao dobro da produção observada em 2005. As projeções do consumo interno e das exportações para 2017 alcançam 28,4 e 10,2 bilhões de litros respectivamente (BRASIL, 2006a).

A tendência do aumento real do volume de vendas de carros leves movidos a álcool em relação aos movidos a gasolina C deu-se a partir da fabricação de carros tipo *flex* em 2003 (Figura 3). Em 2005, das 1.631.217 unidades vendidas no país, 895.002 já eram a álcool ou *flex fuel*, ou seja 54,87%, e no período de janeiro a junho de 2006, esse percentual atingiu 73,80% (MORCELI, 2006).

Figura 3 - Volume de vendas de veículos leves a álcool e à gasolina (MORCELI, 2006)

De acordo com o cenário delineado pelo Institute for International Economics (IIE), a demanda projetada de energia no mundo crescerá cerca de 1,7% ao ano, considerando o período de 2000 a 2030, quando atingirá 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo. Caso não ocorram alterações significativas na matriz energética mundial, os combustíveis fósseis corresponderão a aproximadamente 90% deste aumento projetado para 2030 (MUSSA, 2003).

A fonte energética base do mundo refere-se à queima de combustíveis fósseis, cuja participação corresponde a quase 80% do total, sendo 35% de petróleo, 23% de carvão mineral e 21% de gás natural (Tabela 1). Em contrapartida, a matriz energética do Brasil destaca-se pela elevada participação das fontes renováveis, correspondendo à 37%, sendo que 56,6% é proveniente de fontes de carbono fóssil, ou seja, quase 25% a menos quando comparado com o mundo. Nota-se que a biomassa moderna equivale a 23% e com a tendência de expansão da agricultura de energia (biodiesel e etanol), essa proporção tende a crescer de forma significativa (BRASIL, 2006).

Tabela 1 - Composição da matriz energética mundial e brasileira

Fonte	Mundo (%)	Brasil (%)
Petróleo	35,3	43,1
Carvão mineral	23,2	6,0
Gás natural	21,1	7,5
Biomassa tradicional	9,5	8,5
Nuclear	6,5	1,8
Hidroelétrica	2,2	14,0
Biomassa moderna	1,7	23,0
Outras renováveis	0,5	0,1

Fonte: Brasil (2006)

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) lançou o Plano Nacional de Agroenergia (PNA) – 2006/2011, que visa estabelecer diretrizes para as ações públicas e privadas de geração de conhecimento e tecnologias que contribuam para a produção sustentável da agricultura de energia e para o uso racional dessa energia renovável (BRASIL, 2006).

O programa de pesquisa, desenvolvimento e inovação em agroenergia proposto no PNA, é composto por quatro grandes áreas: 1) o etanol, 2) co-geração de energia proveniente da cana-de-açúcar, 3) o biodiesel de fontes vegetais e animais e 4)

biomassa florestal e os resíduos e dejetos agropecuários e agroindustriais. Em cada área estão priorizados os seguintes temas: zoneamento agroecológico, melhoramento genético, estudos sócio-econômicos, estudos de competitividade em sistemas e custos de produção, balanços energéticos dos ciclos de vida das cadeias produtivas do agronegócio, e temas ligados ao Protocolo de Quioto.

O PNA tem como fundamentos desenvolver a agroenergia no país sem incorporar novas áreas de plantio, otimizando o aproveitamento das áreas antropizadas, mantendo a área para produção de alimentos. Além disso, buscará fortalecer a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico às cadeias produtivas da agroenergia e garantir a regionalização do desenvolvimento de forma sustentável criando oportunidades de expansão de emprego e renda, com a participação dos pequenos produtores (BRASIL, 2006).

A matriz de produção da agricultura de energia brasileira proposta pelo PNA está apresentada na Figura 4. Dentre os quatro grupos da matriz de produção, a cadeia produtiva da cana-de-açúcar é considerada a mais competitiva uma vez que se encontra consolidada, inclusive com tecnologias adequadas, o que favorece a sua expansão no país.

Figura 4 - Matriz de produção da agroenergia brasileira (BRASIL, 2006)

2.1.1.2 Cultivo da cana-de-açúcar no Tocantins e possibilidades de expansão

O estado do Tocantins possui uma área total de 27.762.000 ha (277.620 km²), que representa cerca de 3,3 % do território brasileiro e 7,2% da Região Norte. A porção do território tocaninense inserida na Amazônia Legal equivale a aproximadamente 5,4% desta região (SEPLAN, 2005). Aproximadamente 50% da área total do Estado, ou seja, 13.810.000 ha tem vocação para a produção agropecuária. Desta área potencial, cerca de 7.500.000 ha estão ocupados por pastagens e 600.000 ha são atualmente explorados com agricultura. Da área total, quase 1 milhão de hectares são formados por várzeas tropicais com características para a irrigação por subirrigação (SEAGRO, 2007).

O Estado do Tocantins apresenta localização estratégica por estar situado no centro do país servindo de ligação entre as regiões do centro-sul e norte-nordeste favorecendo o escoamento da produção (SEPLAN, 2005). Encontra-se em franca ampliação da ocupação agrícola devido à área disponível, às condições favoráveis de solos, de relevo e recursos hídricos. Somado a isto, investimentos realizados pelo governo estadual em infra-estrutura, como pavimentação de rodovias e ampliação estradas vicinais, energia elétrica e projetos hidro-agrícolas, têm possibilitado a implementação de safras recordes em anos consecutivos (SEAGRO, 2007).

A pujança do agronegócio tocaninense tem provocado o aumento por demanda de tecnologias voltadas aos interesses e necessidades regionais e locais. Os bons resultados da produção e da produtividade da agricultura no Tocantins podem ser atribuídos à pesquisa agrícola e extensão rural desenvolvida pelas instituições estabelecidas no Estado em parceria com instituições de pesquisa de outros estados (COLLICCHIO, 2006).

A agricultura no estado do Tocantins é caracterizada pela predominância de culturas temporárias com plantio na época das águas, sendo que a produção global de grãos em 2007 foi superior a 1.220.000 t, numa área plantada de 517.000 ha. As culturas da soja e do arroz são as de maior expressão e juntas correspondem a 82% da área cultivada e 85% da produção total de grãos do Estado, e isoladamente correspondem a 56% e 29%, respectivamente (SEAGRO, 2007).

Com relação ao plantio da cana-de-açúcar no Tocantins ainda é incipiente, com predomínio de áreas de pequeno cultivo. A quantidade de cana-de-açúcar produzida no Estado em 2005 foi de 161.873 toneladas, representando cerca de apenas 17% do total produzido na Região Norte ficando atrás do Pará e Amazonas, que foram responsáveis por 53% e 25% da produção global, respectivamente. No mesmo ano, a área plantada da cultura no Estado foi de 2.767 hectares, e a produtividade média estadual foi de 58,6 t/ha, sendo inferior às médias da Região Norte (61,4 t/ha), e brasileira que atingiu 74 t/ha (IBGE, 2007). Em 2005, a Região Norte produziu 1.085.211 t de cana-de-açúcar e a produção brasileira atingiu quase 423 milhões de toneladas, representando apenas 0,25% do montante global produzido no país (IBGE, 2007).

Neste ano, a cana-de-açúcar foi cultivada em 55 municípios tocantinenses, embora mais de 90% destes concentram-se praticamente na região centro-sul, sendo que o município de Arraias (região sudeste) foi responsável por 69,5% do total produzido no Estado (IBGE, 2007). Neste município encontra-se instalada e em funcionamento, uma usina de álcool e açúcar do Tocantins, com capacidade de moagem de 3 mil t/dia. Esta usina foi revitalizada em 2005, sendo que na safra de 2006 foram cultivados 4 mil hectares e processadas 250 mil toneladas de cana-de-açúcar (62,5 t/ha), que resultou na produção de cerca de 20 milhões de litros de etanol (VIDAL, 2006).

Na região de Gurupi (sul do Estado) encontra-se em fase de implantação outra usina, que está realizando sua primeira colheita este ano.

O governo do Tocantins, através da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAGRO) e seus órgãos vinculados, está implantando o 'Tocantins Rural', com o propósito de potencializar os fatores de produção e viabilizar novas alternativas, a fim de aperfeiçoar o sistema produtivo agropecuário estadual, por intermédio de uma política estruturante e conjuntural. Vislumbrando a possível tendência de expansão agroenergia no Estado, em especial do cultivo da cana-de-açúcar, este documento contém projeções para 2010 da área a ser plantada com a referida cultura, bem como da produção de etanol (SEAGRO, 2007b).

O documento governamental estabelece ainda a partir de critérios técnicos, 12 regiões do Estado para produção de etanol de cana-de-açúcar, denominadas de Pólos

de Produção do Alcool. A projeção para 2010 é que estes 12 pólos de produção tenham área de plantio equivalente a 210 mil hectares, e produzam cerca de 16,8 milhões toneladas de cana-de-açúcar e 1,34 trilhões de litros de etanol (SEAGRO, 2007b).

Com vistas, as perspectivas de expansão da cultura da cana-de-açúcar no país, o Tocantins possui algumas vantagens comparativas que merecem destaque.

O governo estadual vem realizando investimentos públicos e apoiando investimentos privados em infra-estrutura nesses últimos anos, nos setores de transporte, comunicação, projetos de produção agropecuária, abastecimento de água e eletrificação rural e urbana.

Outras obras de grande envergadura estão previstas para implantação e em andamento, especialmente no setor energético, como a construção de usinas hidrelétricas, cujo potencial energético estimado é de 10.245 MW (SEPLAN, 2004), assim como no setor de transportes como: a Ferrovia Norte-Sul, Hidrovia Tocantins-Araguaia e as plataformas multimodais, todas visando à exportação de produtos agropecuários e minerais, pautados com base na redução do custo unitário de transporte de grandes volumes de carga (COLLICCHIO, 2006).

As características geográficas específicas do Tocantins fazem-no evidenciar como eixo básico de uma rota de trânsito que interliga centros comerciais internos e externos de distribuição comercial, servindo de ligação entre áreas produtoras e consumidoras (ALMEIDA, 2004).

A Ferrovia Norte-Sul, por exemplo, é uma obra de extrema importância para o desenvolvimento nacional, e que consolidará o Tocantins como eixo fundamental de transporte das regiões Norte e Nordeste ao Sudeste e Sul do Brasil. Além disso, ela interligará os produtores ao Porto de Itaqui, em São Luís – MA, e ao Porto de Belém – PA, pontos estratégicos devido à proximidade dos mercados consumidores dos Estados Unidos e da Europa (TOCANTINS, 2007).

Outras vantagens comparativas do Estado são recursos hídricos em abundância em diferentes ambientes (cerrado e várzea), o que oferece condições favoráveis para a diversificação da produção agrícola (COLLICCHIO, 2006), porque o seu território é beneficiado por dois grandes sistemas hidrográficos, o rio Araguaia e o rio Tocantins (SEPLAN, 2005).

Além disso, o governo estadual tem oferecido incentivos fiscais em programas voltados para a indústria, além do fato do Tocantins ser contemplado com linhas de crédito específicas para a região Norte (COLLICCHIO, 2006), o que pode favorecer a implantação do setor sucroalcooleiro no Estado.

2.1.2 Características edafoclimáticas para a cana-de-açúcar

2.1.2.1 Ciclo fenológico

A duração do ciclo fenológico da cana-de-açúcar é bastante variável, sendo de 9 meses até 2 anos no Hawaí, embora o período geralmente varie entre 15 a 16 meses, no Brasil, Cuba, África do Sul e Austrália, quando se trata de cana planta. O cultivo procedente da cana planta pode realizar de 2 a 4 cortes (cana soca), e em alguns casos atingir até 8 cortes (DOORENBOS; KASSAM, 1994). A cana-de-açúcar perfilha abundantemente na fase inicial do desenvolvimento, mas depois de estabelecida, o autosombreamento induz a inibição do perfilhamento e provoca a aceleração do crescimento do colmo principal, até a ocorrência de alguma limitação quanto à disponibilidade de água, de baixas temperaturas ou devido ao florescimento (RODRIGUES, 1995; DOORENBOS; KASSAM, 1994).

As variedades comerciais determinam o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas, a arquitetura da parte aérea da planta e o teor de sacarose, sendo que estes caracteres são influenciados pelas condições climáticas, pelo manejo da cultura, bem como pelas práticas culturais utilizadas (RODRIGUES, 1995).

O acúmulo de matéria seca na parte aérea em cana-de-açúcar, de acordo com Machado (1987), apresenta uma curva sigmóide podendo-se ser dividida em três fases: 1) fase inicial em que o crescimento é lento; 2) fase de crescimento rápido onde 70 a 80% de toda a matéria seca é acumulada e 3) fase final em que o crescimento é novamente lento acumulando cerca de 10% da matéria seca. Esse padrão de crescimento é característico para diversas variedades, locais e ciclos de cultivo (de 9 a

18 meses), uma vez que varia apenas a duração de cada fase, de acordo com o ambiente e características varietais.

A obtenção de uma produtividade mais elevada depende de uma fase vegetativa ampliada (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Segundo Kuyper (1952), citado por Doorenbos e Kassam (1994) os períodos de crescimento da cana-de-açúcar, podem divididos em quatro grandes fases (Figura 5).

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994)

Figura 5 - Períodos de desenvolvimento da cana-de-açúcar

2.1.2.2 Temperatura

A cana-de-açúcar tem um ciclo vegetativo longo sofrendo influências das condições climáticas (ALFONSI et al., 1987; RODRIGUES, 1995; VAREJÃO-SILVA; BARROS, 2001; BUCENE, 2002; WALDHEIM et al., 2006). Para atingir elevada produção de sacarose, a planta precisa encontrar condições de temperatura mais baixas e umidade adequada para permitir o desenvolvimento suficiente durante a fase vegetativa. Na sequência é necessário um período com restrição hídrica moderada e/ou térmica para forçar o repouso vegetativo e conseqüente enriquecimento em sacarose na época do corte (HUMBERT, 1968; ALFONSI et al., 1987; VAREJÃO-SILVA; BARROS, 2001).

A planta apresenta desempenho melhor quando ocorre um período quente e úmido, com alta radiação solar durante a fase de crescimento, seguido de um período seco, ensolarado e mais frio durante o período da maturação e colheita (ALFONSI et al., 1987; DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Alfonsi et al. (1987) e UNICAMP (2005) comentam que a grande extensão do território brasileiro e a variabilidade de condições climáticas proporcionam duas épocas de colheita anuais da cana-de-açúcar, sendo uma na região Nordeste, que se inicia em setembro e estende-se até abril, e outra na região Centro-sul, de junho a dezembro.

O plantio da cana-de-açúcar é realizado por propagação vegetativa normalmente por toletes (parte do colmo), que contêm uma ou mais gemas (densidade de plantio de 12 a 20 gemas/m) que também se desenvolverão para produzir novos colmos, chamados de perfilhos (CASAGRANDE, 1991). As gemas estão no estado latente e, havendo condições favoráveis, elas passam para o estado ativo de crescimento e desenvolvimento devido às mudanças das reservas nutritivas pela atividade de enzimas e reguladores de crescimento (VAN DILLEWIJN, 1952).

O desenvolvimento da cana-de-açúcar está diretamente relacionado com a temperatura ambiente, sendo um dos fatores climáticos mais importantes no contexto da produção (ALFONSI et al., 1987; BISWAS, 1988). A temperatura ótima para o brotamento das gemas da cana cortada varia de 32°C a 38°C, sendo que o crescimento ótimo é atingido com temperaturas médias diárias entre 22°C e 30°C (DOORENBOS; KASSAM, 1994). Para Barbieri; Bacchi e Villa Nova (1979) foi determinado que o ponto ótimo para a brotação é de 32°C, sendo a temperatura base nesta fase de 21°C.

De acordo com Humbert (1968), sempre que a temperatura atinge valores abaixo de 20°C, a taxa de brotação é reduzida, e inferior a 10°C é paralisada. Da mesma forma, temperaturas superiores a 40°C também suprimem a brotação dos toletes. De acordo com Bacchi e Souza (1977), a temperatura basal da cana-de-açúcar para lavouras irrigadas e não irrigadas são, 19°C e 18°C, respectivamente. Ou seja, sob estas condições de manejo e com valores de temperaturas inferiores as mencionadas para cada situação, o crescimento torna-se praticamente nulo. Barbieri; Bacchi e Villa Nova (1979) e PLANALSUCAR (1986) determinaram, em condições de campo, que a temperatura base é de aproximadamente 20°C. Na medida em que a temperatura

média ultrapassa 20°C ocorre o aumento significativo do comprimento, diâmetro e número de internódios dos colmos. O perfilhamento aumenta à medida que a temperatura se eleva, até um máximo aproximado de 30°C (VAN DILLEWIJN, 1952).

Na fase de maturação são desejáveis temperaturas relativamente baixas, que variem entre 10°C a 20°C, clima seco e ensolarado, isso porque tem influência significativa na redução da taxa de crescimento vegetativo e na elevação do teor da sacarose na cana (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

A temperatura máxima que provoca crescimento lento da cultura é acima de 35°C, sendo praticamente nulo quando superior à 38°C (FAUCONIER; BASSEREAU, 1975; BARBIERI; VILLA NOVA, 1977). A partir dos trabalhos mencionados, Casagrande (1991) deduz que a faixa ótima para crescimento da cultura da cana-de-açúcar está entre 20°C e 35°C.

O florescimento da cana-de-açúcar é uma situação indesejável porque transforma os açúcares do colmo em inflorescência prejudicando a produção. A condição de indução ao florescimento da cultura ocorre quando o fotoperíodo estiver entre 12 e 12,5 horas e se a temperatura do ar for menor do que 31°C, ou maior que 18°C. No entanto este efeito é cumulativo, pois é necessário que esta condição permaneça durante um número mínimo de dias (PEREIRA; VILLA NOVA; BARBIERI, 1983). Eles desenvolveram uma equação para fazer previsão da indução da cana-de-açúcar ao florescimento. Para isso, na época de fotoperíodo favorável à indução, deve-se saber o número de dias cuja temperatura mínima foi maior ou igual a 18°C, bem como o número de dias com temperatura máxima menor ou igual a 31°C.

2.1.2.3 Necessidades hídricas

A cana-de-açúcar para obter produtividade máxima, necessita dependendo do clima, que a evapotranspiração máxima da cultura – ET_m, seja de 1.500 a 2.500 mm distribuídos de forma uniforme durante todo o ciclo de desenvolvimento, uma vez que o crescimento vegetativo é diretamente proporcional à água transpirada (DOORENBOS; KASSAM, 1994). De acordo com os mesmos autores existe uma relação entre a redução da produtividade relativa e o déficit de evapotranspiração relativa, para o

período total de crescimento, assim como para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura.

Os efeitos do déficit hídrico dependem de sua intensidade, duração e época de ocorrência, bem como da interação com outros fatores determinantes da expressão da produtividade final (FONTANA et. al., 2001). O déficit hídrico durante as primeiras fases de crescimento (estabelecimento e perfilhamento) tem efeito negativo maior na produtividade do que quando comparado com o déficit hídrico nos últimos períodos de desenvolvimento (formação da colheita e maturação). Isso provoca, na fase inicial, o retardamento da brotação e o perfilhamento, resultando em número menor de perfilhos. Durante o período referente ao alongamento do caule e o início da formação da colheita, o déficit hídrico provoca a redução na taxa de alongamento da cana. Existe relação estreita entre o alongamento da cana durante estes períodos e o uso de água pela planta, sendo assim importante o suprimento adequado neste período de crescimento vigoroso, o que leva a formação de internódios mais longos (DOORENBOS; KASSAN, 1994).

De acordo com Doorenbos e Kassam (1994) e Delgado Rojas (1998), a resposta da cana-de-açúcar à irrigação ou disponibilidade hídrica adequada durante o período vegetativo e o início da formação da colheita é maior do que durante a fase final de formação da colheita, pois a área foliar ativa encontra-se diminuindo, e por consequência ocasiona uma menor capacidade de resposta à luz solar. A irrigação freqüente durante a fase de formação da colheita provoca efeito acelerador sobre a floração, o que gera a redução da produção de açúcar. Por isso, no final desta fase e no período de maturação, os intervalos de irrigação são ampliados, ou então suspendida a irrigação, para que a cultura atinja a maturação reduzindo a taxa de crescimento vegetativo. O procedimento de retirada de água provoca uma desidratação na cana forçando a transformação dos açúcares em sacarose recuperável (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

No que se refere à absorção de água pela cultura, a profundidade de enraizamento tem papel importante. A profundidade da raiz varia com o tipo de solo e a disponibilidade de água ou do regime de irrigação, e pode atingir até 5 m. Entretanto, a zona radicular ativa para a absorção de água e nutrientes limita-se, geralmente, às

camadas superiores (40 a 50 cm), onde cerca de 75% das raízes estão presentes (VAN DILLEWIJN, 1952).

Para a produção de 1 t de cana-de-açúcar no plantio de “cana de ano”, a demanda de evapotranspiração é de 10 a 12 mm de água (DEMATTE, 2004; MACEDO, 2005). Sendo assim, para a produção de 100 t da cana são necessários no mínimo de 1.000 a 1.200 mm de precipitação, descontadas as perdas de água no sistema. Nesse sentido, deve-se destinar variedades de crescimento rápido para ambientes de alta capacidade de fornecimento/armazenamento de água, com valores acima de 1.000 mm por ano e cultivados em solos de boa fertilidade (DEMATTE, 2004).

Logo, o cálculo do balanço hídrico é indispensável, uma vez que é uma ferramenta capaz de monitorar a variação do armazenamento de água no solo tornando-se um importante indicador climatológico da disponibilidade hídrica em uma região. Apresenta várias aplicações que são essenciais, para a agricultura como: a) caracterização e a comparação climática regional, quanto à disponibilidade hídrica média no solo; b) caracterização dos períodos de secas e seus reflexos na redução da produção agrícola; c) caracterização da aptidão hídrica regional para as culturas, visando a realização do zoneamento agroclimático e d) determinação das melhores épocas de semeadura, a fim de indicar as épocas menos sujeitas a restrições hídricas (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

2.1.2.4 Condições edáficas

O conhecimento das características de cada solo é preponderante para avaliar a sua capacidade produtiva (LEPSCH, 1987; KOFFLER; DONZELI, 1987). A cultura da cana-de-açúcar encontra-se estabelecida sobre os mais distintos tipos de solos, muitas vezes com características distantes do desejado (KOFFLER; DONZELI, 1987; DEMATTE, 2004).

De acordo com os mesmos autores, a economicidade da produção agroindustrial da cana-de-açúcar é gradativamente prejudicada à medida que as condições ambientais tornam-se menos favoráveis, mesmo considerando a rusticidade da cultura.

Koffler e Donzeli (1987) classificaram os solos do Brasil quanto à sua aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar, em quatro classes: boa, regular, restrita e inapta. Consideraram as características: profundidade efetiva, textura, relevo, fertilidade, drenagem interna, impedimentos à mecanização e susceptibilidade à erosão. Descartaram as classes “restrita” e “inapta”, sendo as classes de solos, “boa” e “regular” agrupadas, constituindo as áreas em que predominam as condições favoráveis e excluíram as regiões do país onde existem limitações climáticas ao desenvolvimento da cultura.

Com base nestes critérios, os autores elaboraram um mapa de distribuição das áreas do território brasileiro com solos predominantemente favoráveis à cultura sob condições climáticas não limitantes (Figura 6).

Fonte: Koffler e Donzeli (1987)

Figura 6 - Distribuição das áreas com solos favoráveis à produção de cana-de-açúcar sob condições climáticas não limitantes

De acordo com a Figura 6, poucos são os estados onde as condições edáficas são verdadeiramente favoráveis, isto é, sem restrições. As regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte da Norte destacam-se como as mais aptas (KOFFLER; DONZELI, 1987; PASQUALETTO; ZITO, 2000).

Considerando o Tocantins, apenas uma pequena região ao norte do Estado teria áreas com condições favoráveis. Esta região aponta uma faixa estreita que margeia o Rio Araguaia, iniciando próximo ao município de Arapoema, que se dirige para o extremo norte, na região do Bico do Papagaio (englobando os municípios como Esperantina, Augustinópolis, Araguatins, Sampaio), ocorrendo também na direção do município de Tocantinópolis. Baseando-se neste trabalho, as condições edáficas favoráveis para o cultivo da cana-de-açúcar no Tocantins seriam restritas.

Se forem somadas as classes com algum tipo de restrição, mas ainda aptas, este cenário se alteraria, pois a porcentagem de áreas aptas torna-se quase equivalente às inaptas (PASQUALETTO; ZITO, 2000). Entretanto, os próprios autores afirmam que este trabalho tem alto grau de generalização, em função da escala do material básico utilizado, onde regiões consideradas desfavoráveis no mapeamento podem ser favoráveis e vice-versa.

No final da década de 70 e início de 80, os solos predominantes cultivados com cana-de-açúcar no país nos principais estados produtores eram: a) Latossolos (67%) em São Paulo; b) Latossolos (49%) e Argissolos (32%) em Pernambuco; c) Argissolos (55%) e Latossolos (35%) em Alagoas e d) Latossolos, Argissolos e associação dos mesmos (53%) e Gleissolos (38%) no Rio de Janeiro (RIZZO; ORLANDO, 1980).

Atualmente os principais solos cultivados com cana-de-açúcar, especialmente na região Centro-Sul brasileira são: Latossolos, Nitossolos (antiga Terra Roxa Estruturada), Argissolos (solos com gradiente textural), Neossolos (solos arenosos profundos), e solos da região nordestina com predominância dos Latossolos Vermelhos Amarelos e Amarelos e dos Argissolos (DEMATTE, 2004). Cada solo apresenta um potencial de produção próprio para a cana. No entanto, associando também as características do local no qual estão inseridos, pode-se constituir ambientes com potenciais distintos para a produção da cultura. O ambiente de produção é a interação entre planta, solo e clima, associada ao manejo agrícola, cujos resultados são utilizados para as indicações mais favoráveis das variedades. A classificação dos ambientes de produção para a cana-de-açúcar permite ter conhecimento das limitações de práticas agrícolas mais adequadas, visando maximizar a produção e consequentemente, o retorno econômico (DEMATTE, 2004; PRADO, 2005).

2.1.3 Zoneamento agroclimático

2.1.3.1 Conceitos e importância

O conhecimento do ambiente, caracterizado pelo clima e solo, é primordial para o desenvolvimento de uma agricultura produtiva e rentável. Nesse sentido, quanto melhor for o conhecimento do ambiente, mais apto se estará para a escolha das culturas mais adequadas, das melhores épocas de plantio, das melhores variedades, dos sistemas de cultivo mais racionais, a fim de se implantar uma atividade agrícola viável (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; CECÍLIO et al., 2003). As atividades agrícolas que envolvem o manejo do solo, o plantio, a colheita, o transporte e o armazenamento dos produtos são influenciadas pelas condições atmosféricas. Sendo assim, para um planejamento das práticas agrícolas de forma racional torna-se indispensável conhecer e avaliar se as condições climáticas atendem as necessidades da cultura a ser cultivada na região (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; WALDHEIM et al., 2006).

No que se refere ao clima, Pereira; Angelocci e Sentelhas (2002) afirmam que a cultura necessita de condições favoráveis durante todo o seu ciclo vegetativo, ou seja, exige determinados limites de temperatura nas distintas fases vegetativas, disponibilidade hídrica mínima e de um período seco nas fases de maturação e colheita. Portanto, uma cultura será considerada apta para cultivo numa região se forem atendidas suas exigências climáticas.

A definição da aptidão agrícola de uma região considera além do clima, os fatores edáficos, sociais e econômicos, que associados determinam o zoneamento agrícola. Desta forma, o zoneamento agrícola pode ser definido como o somatório das aptidões do clima regional para uma espécie/cultura, do solo regional para práticas agrícolas quanto ao tipo de solo e relevo e da comunidade regional para condução das práticas agrícolas referentes à cultura comercial (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). O zoneamento agrícola constitui uma tarefa de fundamental importância na organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento do setor agropecuário (Cecílio et al., 2003). Refere-se à definição de áreas com condições

semelhantes favoráveis/desfavoráveis ao cultivo de uma espécie de valor econômico, formando um mapa delimitando zonas ou uma tabela de locais indicando as características de cada zona. O somatório das condições edafoclimáticas (sobreposição de mapas) é que definem o possível sucesso/fracasso de um cultivo comercial, sendo específico para uma cultura ou grupo de culturas semelhantes (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Segundo Pereira; Angelocci e Sentelhas (2002), zoneamento agroclimático é a arte e a ciência de escolher a espécie certa para um determinado ambiente, e em geral é o primeiro a se considerar no planejamento da implantação de um empreendimento agropecuário. Isso porque o macroclima de uma região pode ser considerado praticamente invariável e característico no decorrer de algumas décadas. Os mesmos autores apresentam os fundamentos básicos do zoneamento, onde consideram que as plantas integram os estímulos do ambiente e expressam seus efeitos na produção, sendo que este ambiente varia tanto no espaço quanto no tempo, caracterizando-se a agricultura como uma atividade de risco. Sendo assim, deve-se conhecer as exigências climáticas e a fenologia da cultura, ou seja, verificar a relação dos processos biológicos periódicos (brotação, crescimento, maturação, etc.) com o clima, a fim de escolher áreas de menor risco climático para a cultura.

O zoneamento agroclimático depende da espécie, que determina os limites toleráveis dos elementos do clima; gera informação para se minimizar os riscos de produção; oferece uma indicação do manejo necessário; proporciona indicativos para melhoramento genético procurar adaptar as plantas às condições menos favoráveis; serve de instrumento para aplicação de uma política agrícola como incentivos, financiamentos, seguros, e outros (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Para Cecílio et al. (2003), o zoneamento agroclimático consiste essencialmente na delimitação das áreas de aptidão (regiões climaticamente homogêneas) para o cultivo de determinada cultura, na qual estão estabelecidas as condições hídrico-termais ideais para o seu desenvolvimento e produtividade.

Com o zoneamento agroclimático é possível determinar o potencial agrícola de uma região, proporcionar aos produtores rurais a possibilidade de escolha das culturas,

época de semeadura, como também a adoção de técnicas de manejo (WALDHEIM et al., 2006).

Normalmente o zoneamento agroclimático é dividido em três classes de aptidão climática: a) apta, onde os problemas são aqueles normais de um cultivo econômico; b) restrita ou marginal, onde um ou mais fatores precisam ser corrigidos para permitir cultivo econômico; e c) inapta, onde o cultivo econômico é bastante prejudicado com o material genético existente (CAMARGO et al., 1977; AGUIAR, et al., 2001; VAREJÃO-SILVA; BARROS, 2001; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; CECÍLIO et al., 2003; ASSAD et al., 2004; WALDHEIM et al., 2006; BARBARISI et al., 2007).

A utilização de Sistemas de Informações Geográficas – SIG para o estudo de situações complexas tem-se mostrado eficiente, produzindo resultados de utilidade e de boa qualidade. Sendo assim, o uso do SIG para a elaboração de zoneamento agroclimático tem-se revelado uma ferramenta fundamental neste tipo de trabalho, uma vez que pode executar procedimentos diversos a partir de dados básicos e gerar informações georeferenciadas na definição de áreas propícias ao cultivo de determinadas culturas (CECÍLIO et al., 2003).

2.1.3.2 Zoneamento agrícola como instrumento de política agrícola

O Programa de Garantia da Atividade Agropecuária – PROAGRO, administrado pelo Banco Central do Brasil - BACEN foi criado pela lei 5963, de 11 de dezembro de 1973, tendo a sua operacionalização iniciada em 1975, com o objetivo de garantir a atividade dos produtores rurais, quando os custos investidos em seus empreendimentos são prejudicados por fenômenos naturais adversos (CUNHA; ASSAD, 2001). Desde a sua implementação o programa passou por algumas modificações estruturais e operacionais para se manter como um instrumento de política agrícola (ROSSETTI, 2001).

Em sua primeira fase, o PROAGRO configurou-se como um pagador de seguros, pois com abundância de recursos públicos, o programa propunha-se a isentar o produtor de qualquer risco, no entanto funcionou desta forma até o final dos anos 1980 (CUNHA; ASSAD, 2001).

Até meados da década de 1990, o modelo de gestão administrativa e operacional do PROAGRO acumulou uma dívida junto aos produtores rurais superior a R\$ 700 milhões (ROSSETTI, 2001). Cunha e Assad (2001) afirmam que as altas taxas de sinistralidade, coberturas duvidosas e metodologia inadequada, associadas à escassez de recursos públicos, inviabilizaram a continuidade do PROAGRO dentro de sua concepção original. Ao mesmo tempo, as variações climáticas não previstas conferem à ocorrência de adversidades climáticas como o principal fator de risco e de insucesso na atividade agrícola (CUNHA; ASSAD, 2001; FARIAS, et al., 2001).

O relatório sobre securidade agrícola elaborado pelo Ministério do Planejamento (GOPFERT; ROSSETTI; SOUZA, 1993) quantificou a taxa de sinistralidade na agricultura brasileira, mostrando a ocorrência de secas como o principal evento sinistrante (71% dos casos), seguida por chuvas excessivas (22% dos casos), granizo, geada e outros.

A situação do programa começou a modificar-se a partir da implantação do Projeto de Redução de Riscos Climáticos na Agricultura pelo MAPA, em outubro de 1995. Tal fato constituiu-se no primeiro passo para concretização do Zoneamento agrícola no Brasil como um instrumento oficial de política pública acoplado ao PROAGRO, o qual permite regionalizar áreas de maior risco para a agricultura, no espaço e no tempo, utilizando-se as redes de informações meteorológicas e pluviométricas existentes (ROSSETTI, 2001). A partir da utilização do zoneamento agrícola de risco climático, baseando-se na redução de riscos e aumento de produtividade, o PROAGRO passou a implementar uma tabela atuarial diferenciada, resgatando a imagem do programa, por meio da quitação dos débitos anteriores (CUNHA; ASSAD, 2001).

Nesse sentido, o BACEN baixou em 1996 e 1997, resoluções instituindo alíquotas diferenciadas de adesão ao PROAGRO para os produtores rurais que aderissem ao zoneamento agrícola, considerando diferentes culturas em todo o território nacional (ROSSETTI, 2001). A Agroconsult Ltda. é a empresa responsável junto ao MAPA, pelos serviços especializados para a execução do zoneamento agrícola de risco climático a nível nacional, a qual foi vencedora da licitação pública (AGROCONSULT, 2007), sendo que a Embrapa e outras instituições de ensino e

pesquisa tem a função de desenvolver e testar metodologias que identificam as áreas agrícolas de risco (ROSSETTI, 2001).

O acoplamento do PROAGRO ao zoneamento agrícola trouxe benefícios importantes à agricultura brasileira, pois está se transformando em um indutor de uso de tecnologia e de suporte para a tomada de decisões nas ações de seguro agrícola. Entre os principais resultados do programa destacam-se: redução dos riscos climáticos para culturas, e consequentemente aumento de produtividade das lavouras; retorno de capitais aplicados em operações de crédito agrícola; redução das taxas de sinistro, bem como a diminuição do número de indenizações pagas pelo PROAGRO e por seguradoras privadas (CUNHA; ASSAD, 2001; ROSSETTI, 2001).

2.1.3.3 Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar

A implantação em novas áreas, de uma agricultura racional como a cana-de-açúcar torna-se de fundamental relevância a realização do zoneamento da adaptação ecológica. Neste tipo de zoneamento são considerados os dois fatores condicionantes do meio físico: o climático e o edáfico (ALFONSI et al., 1987). Um dos zoneamentos que é considerado de referência no que tange à aptidão climática para a cana-de-açúcar para o Brasil foi elaborado por Camargo et al. (1977), cuja carta de aptidão agroclimática está apresentada na Figura 7.

Com referência nos parâmetros climáticos adotados, Camargo et al. (1977), elaboraram o zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar, considerando seis faixas ou zonas de aptidão. São elas: Faixa A – Apta, com condições térmicas e hídricas satisfatórias ($T_a > 20^{\circ}\text{C}$ e $D_a < 200 \text{ mm}$); Faixa B – Marginal, com certa restrição térmica ($18^{\circ}\text{C} < T_a < 20^{\circ}\text{C}$; $T_7 > 14^{\circ}\text{C}$; $D_a < 200 \text{ mm}$); Faixa C – Marginal, apresenta restrições hídricas, justificando o uso de irrigação suplementar ($T_a > 18^{\circ}\text{C}$ e $200 \text{ mm} < D_a < 400 \text{ mm}$); Faixa D - Marginal a Inapta, para a produção por não apresentar estação de repouso por frio ou por seca ($T_a > 24^{\circ}\text{C}$ e $D_a = 0 \text{ mm}$); Faixa E – Inapta, para a produção de açúcar por deficiência hídrica acentuada ($D_a > 400 \text{ mm}$) e Faixa F – Inapta, por carência térmica ou pela ocorrência de geadas excessivas ($T_a < 18^{\circ}\text{C}$ e ou $T_7 < 14^{\circ}\text{C}$).

Fonte: Alfonsi et al (1987)

Figura 7 - Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no Brasil, de acordo com Camargo et al. (1977)

Observa-se que, de acordo com o referido zoneamento, o estado do Tocantins apresenta três faixas de aptidão: C, E e A, sendo que, mais de 90% do Estado predominam as faixas C e E, que representam áreas marginal e inapta devido a deficiência hídrica. Nesse caso recomenda-se o emprego de irrigação, sendo que na faixa C, deve ser na forma suplementar, e na E com maior frequência. Apenas uma pequena porção do Estado apresenta condições térmicas e hídricas satisfatórias (faixa A), para o cultivo da cana-de-açúcar.

Para delimitação das zonas de aptidão à cana-de-açúcar no Estado de Goiás, Barbarisi et al. (2007) consideraram três classes de deficiência hídrica anual: a) 0 a 40 mm com ausência de período seco na maturação; b) 40 a 300 mm como amplitude ideal ao cultivo e c) superior a 300 mm como limitante hídrica da produtividade, sujeito à irrigação suplementar. Pelo levantamento de dados do IBGE da safra 2006 analisaram

as produtividades e deficiências hídricas de cada município e constataram que a faixa ideal para o cultivo encontra-se entre 40 e 300 mm, com produtividade média de 60 t/ha, considerada pelos autores como o limite mínimo de rentabilidade econômica.

Com o aumento na demanda pelo etanol da cana-de-açúcar prevê-se grande expansão da cultura para as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do país, na busca de solos de boa qualidade e relevo que adequado à mecanização das lavouras (BARBARISI et al., 2007), o que torna relevante a elaboração do zoneamentos agroclimáticos.

Nesse sentido, diversos zoneamentos para a cultura tem sido realizados destacando-se, por exemplo os estados do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Goiás, Região Nordeste e São Paulo (VAREJÃO-SILVA; BARROS, 2001; CECÍLIO et al., 2003; WALDHEIM et al., 2006; BARBARISI et al., 2007; MALUF et. al., 2007; BRUNINI et al., 2008).

2.1.3.4 Zoneamento agroclimático e as mudanças climáticas

De acordo com o quarto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC (2007), as concentrações atmosféricas globais de gases do efeito estufa – GEE, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) aumentaram significativamente em consequência das atividades humanas desde 1750, e atualmente ultrapassam em muito os valores pré-industriais. Os aumentos globais da concentração de CO_2 se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e à mudança no uso da terra. Já os aumentos da concentração de CH_4 e N_2O são devidos principalmente à agricultura.

O CO_2 é o gás de efeito estufa antrópico mais importante, sendo que a sua concentração atmosférica global aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005. A sua concentração na atmosfera em 2005 ultrapassou de forma significativa, a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm), como determinado a partir de testemunhos de gelo. A taxa de aumento da concentração anual de CO_2 foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano), do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas

(média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano para o outro nas taxas de aumento (IPCC, 2007).

Modelos climáticos citados no relatório do IPCC (2007) indicam que o aquecimento global causado pela elevação da concentração de GEE, notadamente o CO₂, tende a provocar o aumento da temperatura média do ar estimado entre 1,8^oC e 4^oC, até o final do século XXI, considerado entre os anos de 2090 e 2099. Consideram também que, mesmo mantendo as concentrações de emissões de gases do ano de 2000 estima-se um aumento de 0,6^oC na temperatura global.

Estas projeções do IPCC tem provocado inquietações no meio técnico-científico ligado ao setor agropecuário, o que tem estimulado a execução de estudos do efeito das mudanças climáticas, considerando estes cenários de emissões, sobre o zoneamento agroclimático de culturas.

Nesse sentido tem sido realizados trabalhos no país, para a cultura do café em São Paulo (PINTO et al., 2001; ASSAD et al., 2004), arroz, soja, milho e feijão (ASSAD; PINTO; ZULLO JUNIOR, 2007) e cana-de-açúcar nos estados de Goiás (BARBARISI et al., 2007) e São Paulo (MARIN et al., 2007).

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o limite político-administrativo do estado do Tocantins localizado na região geo-econômica Norte, com uma área total de 277.620 km².

A situação geográfica do Estado conforme informado pela SEPLAN (2005) é definida pelos seguintes limites geográficos: nas Latitudes 5° 10' 06" S, no extremo norte: rio Tocantins (divisa TO/MA) e 13° 27' 69" S, no extremo sul: Serra das Traíras ou das Palmas (divisa TO/GO) e nas Longitudes 45° 41' 46" W, no extremo leste: APA – Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga (divisa TO/PI/BA) e 50° 44' 33" W, no extremo oeste: Rio Araguaia (divisa TO/MT), como ilustrado na figura a seguir.

Figura 8 – Estado do Tocantins e seus confrontantes

2.2.1.1 Caracterização física do Estado

A caracterização básica do estado do Tocantins, conforme a SEPLAN (2005) é apresentada a seguir de forma sintética:

O relevo caracteriza-se por topografia plana a plana ondulada, com predomínio muito significativo de classe de declividade entre, menor do que 5% a 10%. Com relação à altitude, as cotas variam entre 90 m no município de Esperantina, divisa com o Pará e 1.340 m na Serra das Traíras ou das Palmas, divisa com o estado de Goiás. Existem também unidades morfológicas com relevo suave ondulado ou colinosas, bem como áreas fortemente inclinadas e áreas íngremes, com regiões montanhosas. Grande parte destas unidades estão presentes solos Plintossolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos.

O Estado encontra-se inserido na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, que possui uma área de 967.059 km² (11% do território nacional). Esta região hidrográfica abrange os estados do Tocantins (34,2%), Goiás (26,8%), Pará (20,8%), Maranhão (3,8%), Mato Grosso (14,3%) e o Distrito Federal (0,1%) (ANA, 2007).

O Tocantins apresenta dois sistemas hidrográficos, cujos eixos de drenagem são os rios Tocantins e Araguaia. O divisor de águas corta o Estado no sentido sul-norte, sendo o sistema do rio Araguaia composto de 16 bacias hidrográficas com uma área de 104.990,8 km², correspondendo a 37,7% da área total do Estado e o sistema do rio Tocantins, com 14 bacias apresenta uma área de 173.429,9 km², equivalente a 62,3% do território tocaninense.

Os principais rios que integram os dois sistemas hidrográficos são: Javaés, Formoso, Côco (sistema rio Araguaia), e Paranã, do Sono, Santa Tereza e Manuel Alves Grande (sistema rio Tocantins).

Com relação às regiões fitoecológicas, o Estado apresenta 5 regiões distintas, mas com forte predomínio do Cerrado, que ocupa 244.359,9 km², representando 87,8% da área global do território tocaninense. Os outros tipos de vegetação encontradas são: Floresta Ombrófila Aberta (5,4%), Floresta Ombrófila Densa (4,3%), Floresta Estacional Semidecidual (1,9%) e Floresta Estacional Decidual (0,6%).

2.2.1.2 Condições climáticas do Estado

O estado do Tocantins está sob domínio climático tropical semi-úmido, caracterizado por apresentar uma estação com estiagem aproximada de 4 a 5 meses, e com a ocorrência de chuvas de verão. De acordo com a classificação de Köppen o clima é considerado: Aw – Tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno (SEAGRO, 2007a).

A regionalização climática do estado do Tocantins classificou-o em três grandes ambientes: a) Clima úmido; b) Clima úmido subúmido e c) Clima subúmido seco. O clima úmido corresponde à faixa contígua na parte ocidental do estado, que abrange de sul a norte, com exceção da região do Bico do Papagaio. Já o clima úmido subúmido envolve faixa oriental do estado, somada a região do Bico do Papagaio, e a região restante do estado (porção leste) refere-se ao clima subúmido seco (SEPLAN, 2005).

O caráter do regime de chuvas no Estado se deve quase que exclusivamente aos sistemas regionais de circulação atmosférica. A influência do relevo regional sobre o regime e até mesmo sobre a distribuição espacial da precipitação é de pouca importância (SEPLAN, 2004).

O zoneamento ecológico-econômico realizado pela SEPLAN (2005) indica que a temperatura do ar média anual apresenta uma variação entre 25^o e 29^o C e a precipitação média anual do Estado varia de 1.200 mm a 2.100 mm. As chuvas não são distribuídas de forma equitativa ao longo do ano. Caracteriza-se pela sazonalidade do regime pluviométrico, sendo típico de clima tropical, com acentuada máxima no verão (chuvoso) e mínima no inverno (seco).

2.2.2 Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar

O zoneamento de aptidão climática para a cultura da cana-de-açúcar foi realizado por Camargo et al. (1977) para todo o Brasil (macro-escala). O presente trabalho visou elaborar o zoneamento agroclimático da cultura, para o estado do Tocantins, com maior nível de detalhamento (resolução espacial de 900 m), devido à

expressiva quantidade de dados meteorológicos disponíveis atualmente, utilizando os parâmetros agroclimáticos de Camargo et al. (1977) e Brunini et al. (2007).

Foram usados dados mensais de precipitação e temperatura de 110 estações meteorológicas e pluviométricas, situadas na área de estudo e estados circunvizinhos, compreendidas entre os paralelos 4°30' e 13°30' Sul e meridianos 45°30' e 51°30' Oeste (Figura 9), provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Agência Nacional de Águas - ANA, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins- SEAGRO e Embrapa. Uma parte dos dados de temperatura, indisponíveis em algumas estações, foram obtidos através do programa de estimação do clima local, denominado New-LocClim versão 1.10 da FAO (2005) e descrito por Grieser; Gommers e Bernardi (2006).

A maioria dos dados pluviométricos foram adquiridos do sistema de informações hidrológicas – Hidroweb da ANA, sendo organizados e analisados por intermédio do software Hidro 1.0.9 (ANA, 2005).

Figura 9 – Distribuição das estações meteorológicas e pluviométricas no estado do Tocantins e seu entorno

Para espacialização da temperatura média e da precipitação procedeu-se a interpolação dos valores pelo método “*Spline with tension*”, em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esses dados serviram de base para o cálculo do balanço hídrico climatológico, pelo método de Thornthwaite; Mather (1955), conforme simplificado por Pereira (2005), uma vez que o modelo necessita apenas de dados de precipitação, temperatura média mensal e da Capacidade de Armazenamento Disponível (CAD), que é o máximo de água que o solo pode reter, sendo adotada a $CAD = 100 \text{ mm}$ (CECÍLIO et al, 2003; WALDHEIM et al, 2006; BARBARISI et al., 2007; MARIN et al., 2007).

O modelo considera que, sendo a precipitação superior à evapotranspiração potencial, a evapotranspiração real será igual à potencial e o restante de água será utilizado para recarregar o armazenamento do solo ou convertido em excedente hídrico. Caso a precipitação não seja suficiente para se manter a evapotranspiração real, o modelo retira água armazenada no solo. Porém, esta retirada apresenta resistência, fazendo com que a evapotranspiração real seja inferior à potencial, gerando déficit hídrico. A resistência à retirada de água do solo aumenta, à medida que se diminui a quantidade de água armazenada neste. Já a entrada de água no solo não recebe nenhuma resistência. Maiores detalhes sobre o funcionamento do modelo, bem como suas fórmulas, são apresentados em Pereira (2005).

Para calcular o balanço hídrico utilizou-se um modelo desenvolvido no SIG, por Victoria et al (2007) gerando os mapas mensais de evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), armazenamento (ARM), déficit hídrico anual (Da) e excedente hídrico anual (Ea).

Quanto à exigência térmica da cultura adotou-se a temperatura basal inferior (Tb) de 20°C (DOORENBOS; KASSAM, 1994) e a superior (TB) igual a 38°C (FAUCONIER; BASSEREAU, 1975; BARBIERI; VILLA NOVA, 1977).

A partir dos mapas de temperatura média e deficiência hídrica anual delimitou-se as zonas ou classes de aptidão, para definir as áreas de exploração da cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, classificando-as em: inapta, apta, marginal, restrita ao cultivo (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação das zonas de aptidão, de acordo com os parâmetros agroclimáticos da cultura

Classe de Aptidão	Exigência Hídrica (mm)	Condições
Inapta	$0 < Da \leq 10$	Ausência de período seco necessário para a maturação e colheita
Apta	$10 < Da \leq 250$	Condição hídrica favorável
Marginal	$250 < Da \leq 400$	Restrição hídrica – Apta com irrigação de salvamento ou complementar
Restrita	$Da > 400$	Restrição hídrica acentuada - Apta com irrigação plena (imprescindível)

Nota.: Exigências térmicas da cultura: $T_b = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $T_B = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fonte: Adaptado de Camargo et al. (1977) e Brunini et al. (2008)

O resumo das fases para a elaboração do zoneamento agroclimático da cultura da cana-de-açúcar para o Tocantins, pode ser visualizado na figura a seguir.

Figura 10 – Fluxograma mostrando a metodologia utilizada para realizar o zoneamento agroclimático da cultura da cana-de-açúcar para o Tocantins

2.2.3 Zoneamento edafoclimático e ambiental e identificação de regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar

O estudo do potencial de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins foi fundamentado na análise das condições edafoclimáticas e em consonância com o Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE realizado pelo governo estadual através da Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente – SEPLAN (2005).

O ZEE tem como objetivos principais: apoiar o governo do Estado no processo de formulação de políticas públicas e tomada de decisão; subsidiar a elaboração de planos, programas e projetos de desenvolvimento econômico e social sustentáveis; recomendar áreas para produção, conservação e preservação ambiental considerando a capacidade de suporte das paisagens e ordenar o processo de ocupação das terras do Tocantins (SEPLAN, 2000).

Para tanto, a presente atividade buscou identificar as áreas potenciais mais propícias à implantação e ao desenvolvimento das atividades do setor sucroalcooleiro, de forma ordenada e com o menor risco de degradação ambiental.

Os planos de informação referentes ao uso da terra, classificação dos solos, regiões fitoecológicas, áreas e uso legal restrito e potenciais para conservação ambiental, malha de transporte rodoviário e ferroviário e rede de drenagem do estado do Tocantins, foram obtidos na base de dados geográficos digital georreferenciado da Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE da SEPLAN (2007). Estes dados, além de outros mapas, foram projetados em um sistema de coordenadas geográficas latitude e longitude e Datum South_American_1969, permitindo a análise e sobreposição dos mesmos.

Todas as etapas desenvolvidas com o uso da técnica de geoprocessamento nesta fase do trabalho, como o processamento de imagens de radar, edição e álgebra de mapas, foram realizadas através da operação conjunta com o uso dos programas WinGRASS 6.3.0, ERDAS IMAGINE 9.1 e ArcGIS 9.2 para computadores pessoais, no Laboratório de Geoprocessamento e Tratamento de Imagens do CENA/USP.

A atividade de identificação de regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar obedeceram as etapas conforme o fluxograma apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma mostrando as etapas para identificar as regiões potenciais ao cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins

Como pode ser observado na Figura 11 foram realizadas cinco etapas para identificar as regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado, as quais estão detalhadas na sequência.

Etapa 1: Esta etapa referiu-se à obtenção do mapa de aptidão agroclimática para a cultura, conforme descrito anteriormente no item 2.2.2.

Etapa 2: Elaboração do mapa que mostra as áreas sem restrições legais ou naturais para o cultivo, considerando os mapas: a) áreas de uso legal restrito e potenciais para conservação ambiental e indígenas; b) regiões fitoecológicas; c) áreas especiais de produção e d) áreas com restrições naturais de uso, disponíveis na base de dados da DZE – SEPLAN (2007) e apresentados na figura 12.

Além das unidades de conservação e reservas indígenas existentes, as áreas potenciais à conservação da biodiversidade apontadas pelo Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, conforme Figura 12a, também foram consideradas neste estudo, para evitar futuros conflitos, as quais representam 30,9% do território. Apesar das áreas de proteção ambiental - APAs permitirem atividades econômicas, desde que sejam consideradas ambientalmente sustentáveis, neste documento optou-se por resguardá-las de atividades intensivas. Por exemplo, a APA Ilha do Bananal-Cantão que predomina o uso de média a baixa intensidade para a produção da agricultura semi-extensiva e/ou silvicultura (SEPLAN, 2005), tem como função, de servir como uma zona de amortecimento ao Parque Estadual do Cantão, para proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação humana e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais da região. As regiões fitoecológicas do Estado foram agrupadas em dois ambientes, floresta e cerrado (Figura 12b), que correspondem a 12,2 % e 87,8 %, respectivamente (SEPLAN, 2005). Neste trabalho foi considerado apenas o cultivo da cana-de-açúcar no bioma cerrado, uma vez que existe uma forte pressão externa contrária ao comércio de etanol produzido no bioma Amazônico. Contudo deve-se lembrar que a área de reserva legal para a floresta é de 80%, e do cerrado, acima e abaixo do paralelo 13 são, 35 % e 20 %, respectivamente (SEPLAN, 2005). O entorno da Ilha do Bananal denominado de Vale do Javaés é considerada uma área especial de produção, por estar situado na planície inundável do Araguaia (Figura 12c), sendo que esta área representa cerca de 3,4% do Estado.

Figura 12 – (a) Áreas de uso legal restrito, controlado e potenciais para conservação ambiental (SEPLAN, 2006); (b) Ambientes originais de floresta e cerrado; (c) Áreas especiais de produção e (d) Áreas com restrições naturais de uso (adaptado do SEPLAN, 2007)

Nesta extensa região estão instalados grandes projetos hidroagrícolas constituídos de tabuleiros que ficam sazonalmente alagados para a plantação de arroz irrigado na época de cheia. Na época de seca, os tabuleiros são drenados e utilizados para o cultivo da soja, feijão, melancia, milho, e outras, sendo a irrigação realizada mediante a elevação do lençol freático.

As áreas com predominância de declives fortemente inclinados, de morros e regiões montanhosas (maior que 30%), que correspondem a aproximadamente 6,9% da área do Estado, também foram contabilizadas, pois apresentam restrições naturais ao uso (Figura 12d).

Nesse sentido, para identificação das áreas disponíveis, ou seja, sem restrições legais ao possível cultivo da cana-de-açúcar, foram excluídas as áreas de uso legal restrito, ambientes de floresta original, áreas especiais de produção e áreas com restrições naturais (Figura 12), através do programa SIG.

Etapas 3: Refere-se à geração do mapa de aptidão edáfica natural para o cultivo mecanizado da cana-de-açúcar, o qual foi baseado na análise das características dos solos predominantes no Estado.

Para esta etapa foram utilizados: o mapa de classificação de solos compatível com a escala 1:1.000.000 (Figura 23) que corresponde a uma reinterpretação do RADAMBRASIL feita pela Embrapa (SEPLAN, 2007), 88 perfis do RADAMBRASIL (BRASIL, 1981) e o banco de dados dos perfis de solos do Brasil disponível no site oficial da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, contendo análise físico-química dentre outras informações (COOPER; SPAROVEK; SCHUNG, 2002).

As classes de solo observadas no estado do Tocantins associadas ao meio físico, podem apresentar graus de limitações variados, bem como características favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar.

Nesse sentido, considerou-se alguns critérios para a classificação da aptidão natural dos solos para a cultura, dividindo em três classes: boa, regular e restrita, conforme agrupado por Brunini et al. (2008).

Para gerar o mapa contendo as classes de aptidão edáfica natural, as características dos solos do Estado foram avaliadas quanto aos aspectos de:

a) fertilidade natural; b) profundidade; c) pedregosidade; d) classes de declive para fins de mecanização e e) drenagem interna (adaptado de KOFFLER; DONZELI, 1987).

a) Fertilidade natural - Foi considerada como parâmetro a saturação de bases (V%) que representa o cálculo da condição química do solo, indicando quanto da capacidade de troca de cátions (CTC) é ocupada por cálcio, magnésio, potássio e sódio. Sendo assim foi dividida em: alta ($V\% > 50\%$), média ($30\% < V\% < 50\%$) e baixa ($V\% < 30\%$), conforme adaptado de Dematê (2008);

b) Profundidade do solo - Considerou-se duas condições distintas, a favorável e a desfavorável. A condição favorável de profundidade, refere-se aos solos que não apresentam restrições físicas à livre penetração radicular. Nesta condição foram agrupados os Latossolos, Argissolos, Cambissolos e os Neossolos Quartzarênicos. A condição desfavorável, indica que existe uma grande limitação física ao crescimento das raízes, enquadrando-se os Neossolos Litólicos, Gleissolos, Plintossolos Pétricos, Háplicos e os Plintossolos Argilúvicos (adaptado de KOFFLER; DONZELI, 1987; BRUNINI et al., 2008).

c) Pedregosidade – Refere-se à quantidade de cascalhos presentes no perfil do solo (até a seção de controle), o que dificulta ou mesmo impede a sua mecanização. De acordo com adaptação de Dematê (2008), considerou-se para baixa pedregosidade (menos de 10% do volume do solo) e alta pedregosidade (acima de 10%).

d) Classes de declive para fins de mecanização – Foi realizada uma classificação baseada em Ranieri; Barretto e Klug (2007) e Dematê (2008), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Classes de declive para fins de mecanização

Classes¹	Declive² (%)
Facilmente mecanizado	0 - 5
Mecanizado	5 - 12
Moderadamente mecanizado	12 - 18
Não mecanizado	> 18

¹ Adaptado de Dematê (2008)

² Ranieri; Barretto e Klug (2007)

Para atender esta atividade foi gerado o mapa de classes de declividade a partir de imagens do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), que apresentam resolução espacial de 90m, obtidas do banco de dados digital da U. S. Geological Survey - USGS (2008). Foi feito um mosaico das imagens de radar, e em seguida gerou-se o modelo de elevação digital de elevação do terreno de todo o Estado, e procedeu-se a classificação da declividade.

e) Drenagem interna – Considera-se apenas a capacidade de infiltração de água no solo, sem que ocorra problemas com erosão laminar. Para esta característica foi adotado o mesmo critério utilizado pelo projeto RADAMBRASIL (Brasil, 1981), que classificou-a em boa, moderada, excessiva e deficiente.

A Tabela 4 apresenta resumidamente, a forma para obter as classes de aptidão edáfica do Estado, quanto ao cultivo da cana-de-açúcar, considerando a ocorrência de todas as características elencadas anteriormente.

Tabela 4 – Critérios para a classificação da aptidão natural dos solos para a cultura da cana-de-açúcar

Características	Classes de aptidão edáfica		
	Boa	Regular	Restrita
Fertilidade natural	alta	média	baixa
Profundidade	favorável	favorável	desfavorável
Pedregosidade	baixa	baixa	alta
Classes de declive	facilmente mecanizado ou mecanizado	facilmente mecanizado ou mecanizado	moderadamente ou não mecanizado
Drenagem interna	boa	moderada	excessiva ou deficiente

Fonte: Adaptado de Koffler e Donzeli (1987), Ranieri; Barretto e Klug (2007), Brunini et al (2008); Dematê (2008)

O solo para ser classificado com aptidão boa, deve se enquadrar às condições mostradas na Tabela 4. Caso deixe de atender a pelo menos um desses critérios, passa a ser considerado de aptidão regular ou até mesmo restrita, conforme for a restrição. Para a classe de aptidão ser considerada restrita, basta ter duas ou mais condições desfavoráveis.

Os critérios utilizados para esta classificação não considera o manejo dos solos e da cultura e sim apenas a condição natural do ambiente edáfico.

Etapa 4: Nesta etapa foi gerado o mapa referente ao zoneamento edafoclimático e ambiental para a cultura da cana-de-açúcar, através da sobreposição dos mapas de aptidão climática, de aptidão edáfica e de áreas com limitação de uso natural e restrição legal, denominado de zoneamento agroambiental.

Etapa 5: Associado à elaboração do mapa contendo as áreas favoráveis ao cultivo considerando o clima e o solo, foram realizadas análises para indicar a viabilidade da implementação do empreendimento sucroalcooleiro no Estado. O zoneamento agroambiental foi confrontado com os seguintes aspectos: a intensidade do uso agrícola, disponibilidade de recursos hídricos, infra-estrutura (rede de transporte e energia elétrica), fontes, produção e disponibilidade de insumos agrícolas (calcário e fosfato), tendo como base de dados a SEPLAN (2005) e a Companhia de Mineração do Tocantins – MINERATINS, população regional, apoio institucional técnico-científico e as necessidades mínimas para a instalação de uma destilaria padrão. A partir destas avaliações foram identificadas regiões potenciais à implantação da indústria sucroalcooleira.

2.2.4 Simulação do efeito das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático

Com relação aos possíveis reflexos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar foram utilizados dados de dois modelos climáticos (Atmosphere-Ocean General Circulation Models - AOGCM) que participaram dos estudos do IPCC (2007), considerando dois cenários de emissões.

Utilizou-se os dados de saída dos modelos do Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, (GFDL-CM 2.1), do National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, dos Estados Unidos e do Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM₃), do Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra, por serem discordantes quanto as estimativas de temperatura e especialmente de precipitação (Figura 13).

Fonte: Marengo (2006)

Figura 13 – Diferenças entre temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação anual ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$) do clima atual, simulados pelos modelos GFDL e HadCM₃, em relação à climatologia média observada para o mesmo período (1961 – 1990)

A resolução espacial do modelo GFDL é de $2,5^0$ de longitude e $2,0^0$ de latitude, enquanto que a do HadCM₃ é de $2,75^0$ de latitude e $3,75^0$ de longitude, correspondendo a aproximadamente 278 x 222 km e 300 x 417 km no Equador, respectivamente (MARENGO, 2006; IPCC, 2007a; IPCC, 2007b).

Os dados dos modelos GFDL e HadCM₃ para os dois cenários de emissões considerados neste trabalho: B₁ (cenário de baixa emissão - otimista) e A₁B (cenário intermediário), com projeções do clima para o período entre 2021 e 2050, foram obtidos no GFDL (2005 e 2005a) e Lowe (2005 e 2005a).

Visto que o clima presente simulado pelos modelos, apresentam desvios em relação ao clima observado (1961 – 1990), foi necessário fazer um procedimento de correção com o objetivo de adequar os dados simulados à realidade. Sendo assim, utilizou-se o método conforme adotado por Minguez et al (2004); Salati et al (2007) e descrito esquematicamente na Figura 14.

Inicialmente foram calculados os desvios relativos aos efeitos do aquecimento global, realizando-se a diferença entre os dados simulados de temperatura e precipitação para ambos modelos e cenários futuros e período presente (*baseline* dos modelos). Tal procedimento foi executado por intermédio do programa Grads, que gerou mapas no formato raster, reinterpretando para a resolução de $0,25^0 \times 0,25^0$ (27 x 27 km) contendo os valores das respectivas diferenças.

Utilizando o programa WinGRASS 6.3.0, foi realizado álgebra de mapas dos dados observados (climatologia atual) somando-se aos mapas contendo os desvios e gerando mapas com dados corrigidos de temperatura e precipitação, representando a climatologia futura de cada modelo e cenário.

Finalizada esta etapa foi calculado o balanço hídrico conforme descrito anteriormente e elaborados os mapas do zoneamento agroclimático da cultura, considerando os efeitos previstos por cada um dos dois modelos nos cenários B₁ e A₁B, para o período de 2021 a 2050.

Figura 14 – Procedimento de correção dos dados do clima futuro para a elaboração dos zoneamentos agroclimáticos para a cana-de-açúcar, considerando os modelos GFDL e HadCM₃ para os cenários B₁ e A₁B

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar considerando as condições atuais do clima

Os mapas básicos do relevo, temperatura média do ar e da precipitação anual do estado do Tocantins estão apresentados na Figura 15.

A maioria do território tocaninense apresenta relevo suave, com declividade inferior a 5%, fazendo com que o Estado tenha alta aptidão ao cultivo agrícola mecanizado.

De acordo com o modelo de elevação digital utilizado, a altitude varia de 60 a 1223 m. As regiões com predominância de áreas inclinadas e montanhosas ocorrem ao sul, sudeste e leste do Estado, mas também estendem-se de sudeste para o centro e do centro para o norte (Figura 15a).

Pela Figura 15b, percebe-se um aumento da temperatura nos sentidos leste-oeste, sudeste-centro e do noroeste para o centro do Estado.

A temperatura média anual do Tocantins é de aproximadamente 25,7°C, variando de aproximadamente 23,9°C a 27,5°C, sendo que apresenta uma amplitude térmica próxima de 3,6°C.

Neste cenário, de acordo com Fauconier e Bassereau (1975), Barbieri e Villa Nova (1977) e Doorenbos e Kassam (1994), não haveria restrição com relação à temperatura para o cultivo da cana-de-açúcar no Tocantins.

Com relação à pluviosidade, a precipitação média anual no estado do Tocantins é de aproximadamente 1650 mm, com uma variação aproximada de 1255 a 2152 mm.

Nota-se que as maiores intensidades de chuva ocorrem numa pequena porção à sudeste e em uma área que abrange desde a região noroeste, ao centro e englobando parte da região oeste do Estado. Já as menores precipitações são observadas nas regiões sudeste e nordeste do Tocantins (Figura 15c).

Figura 15 – (a) Relevo, (b) temperatura do ar média anual ($^{\circ}\text{C}$) e (c) precipitação média anual (mm) no estado do Tocantins

De acordo com a Figura 16, os meses que atingem temperaturas médias mais baixas ocorrem em junho e julho ($24,9$ e $24,7^{\circ}\text{C}$), coincidindo com os meses mais secos, e a temperatura mais elevada é registrada em setembro, com $27,1^{\circ}\text{C}$.

Figura 16 – Médias mensais da temperatura e precipitação, no estado do Tocantins

Mais de 90% do total de chuvas acumuladas durante o ano ocorrem normalmente no período de outubro a abril, sendo mais chuvoso no trimestre referente aos meses de janeiro a março, correspondendo a 47% do total anual.

A estação da seca varia de 3 a 6 meses, no entanto considerando precipitações mensais inferiores a 50 mm, o Estado apresenta em média 5 meses de seca, que inicia no mês de maio e finaliza em setembro, retratando bem a sazonalidade (Figura 16).

O mês de janeiro se caracteriza por ser o mais chuvoso (253 mm) e julho o mais seco (3 mm).

De acordo com Van Dillewijn (1952) temperaturas mínimas mensais mais elevadas aumentam a taxa de alongação do colmo, e mínimas mais baixas promovem o aumento do estoque de açúcar. De forma geral esse comportamento pode ser observado em três regiões consideradas com menores restrições ao cultivo da cana-de-açúcar no Tocantins, Araguaína, Palmas e Taguatinga, localizadas ao norte, centro e sudeste do Estado, respectivamente.

Figura 17 – Médias mensais de temperatura média (Tm), temperatura mínima (Tmin) e precipitação (mm) de três regiões do Tocantins, com classe de aptidão agroclimática “marginal”

Percebe-se que temperatura mínima é maior nos meses mais chuvosos e menor na estação da seca (Figura 17). Essa coincidência de temperaturas mínimas mais baixas com a redução das chuvas ocasionando um déficit hídrico sazonal é um fato essencial para a concentração de sacarose de acordo com Humbert (1968); Alfonsi et al. (1987).

Além desse fato, Doorenbos e Kassam (1994); Delgado Rojas (1998) afirmam que a cana-de-açúcar apresenta uma maior resposta à irrigação ou disponibilidade hídrica, na fase inicial de crescimento, que coincide também com o período que ocorrem temperaturas mínimas mensais mais elevadas.

O balanço hídrico permite definir os períodos de deficiência hídrica em que há necessidade de irrigação suplementar e a identificação de períodos de excesso, os quais podem ser aproveitados para o armazenamento superficial da água da chuva (D'ANGIOLELLA; VASCONCELLOS; ROSA, 2005). O déficit hídrico aparece sempre que o solo não conseguir suplementar a precipitação no atendimento da evapotranspiração.

O conhecimento da distribuição espaço-temporal da disponibilidade hídrica estabelece diretrizes para a implementação de políticas de planejamento e execução

para o uso racional da água, e fornece subsídios para a elaboração do zoneamento agrícola de risco climático.

Pela Figura 18 nota-se que a deficiência hídrica anual no Estado variou de cerca de 245 a 587 mm, com uma amplitude de 342 mm. Percebe-se que na região noroeste do Estado foi observada a menor deficiência hídrica, a qual ficou no limite da classe de aptidão favorável ($10 < Da < 250$ mm), ou seja, sem a necessidade de irrigação. Por outro lado, as maiores deficiências hídricas foram verificadas especialmente nas regiões sudoeste, nordeste e extremo norte do Estado.

Figura 18 – Deficiência hídrica anual em mm, no estado do Tocantins

Os valores de deficiência hídrica anual em Tocantins são elevados, quando comparados com o valor de 72 mm de deficiência verificado na região de Ribeirão Preto – SP (SENTELHAS et al, 2008), uma das mais importantes regiões produtoras de cana-de-açúcar do Brasil. A região de Ribeirão Preto é responsável por quase 10% da produção estadual de cana-de-açúcar, e por 6% da produção nacional (IEA, 2007), com

uma produtividade média de 84 t.ha^{-1} (IBGE, 2006). Ressalta-se que, nesta região as lavouras são cultivadas em condições de sequeiro.

Schmidt (2008) mostrou que ocorre uma tendência de queda da produtividade, à medida que ocorre o aumento da deficiência hídrica anual. Tomando-se como referência a deficiência hídrica igual a 250 mm , no estado de São Paulo, percebe-se esta tendência, pois a média de produtividade foi de 86 t.ha^{-1} e 77 t.ha^{-1} , para deficiência hídrica abaixo e acima de 250 mm , respectivamente. O mesmo ocorreu em Goiás, cujas produtividades médias diminuíram de 92 t.ha^{-1} para 79 t.ha^{-1} , a partir do momento que ultrapassou 250 mm de deficiência hídrica. Sendo assim, a influência da necessidade hídrica é o principal fator a ser considerado no zoneamento da cana-de-açúcar no Tocantins. Nesse sentido a configuração do zoneamento de aptidão climática da cana-de-açúcar, mostra a presença de três classes, com extensões distintas, determinadas principalmente pela deficiência hídrica (Figura 19).

Figura 19 – Zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no estado do Tocantins

Como pode ser observado na Figura 19, no estado do Tocantins não foi constatada nenhuma área “inapta” por motivo de ausência de período seco ($0 < Da \leq 10$ mm). Isto é satisfatório, uma vez que a cultura necessita de um período seco para a sua maturação e concentração de sacarose (DOORENBOS; KASSAM, 1994), além de favorecer as atividades no período de colheita e possíveis plantios de inverno, caso tenha possibilidades de irrigar a lavoura nesta fase.

Regiões com condições hídricas satisfatórias (aptas), ou seja, sem necessidade de irrigação para o cultivo ($10 < Da \leq 250$ mm), foi constatada em apenas uma pequena porção da região noroeste do Estado, correspondente a 0,1 %.

Áreas com classe de aptidão “marginal” ($250 < Da \leq 400$ mm), foram determinadas em aproximadamente 41,7 % da área total do Estado. Portanto, nessas áreas, a irrigação suplementar ou irrigação de salvamento (pequena lâmina d’água) torna-se recomendável para o cultivo da cana-de-açúcar. Existe a possibilidade do cultivo da cana-de-açúcar sem o uso de irrigação em regiões que ficaram próximas ao limite da classe considerada “apta” ($Da \sim 250$ mm).

Nestes locais considerados de transição é interessante o desenvolvimento de estudos mais detalhados, pois podem existir condições climáticas e edáficas regionais favoráveis para o cultivo, sem a necessidade do uso de irrigação (suplementar ou de salvamento), sem causar prejuízos significativos de produtividade.

As zonas identificadas com classe de aptidão “restrita”, ou seja, com elevada restrição hídrica ($Da > 400$ mm), estão presentes em aproximadamente 58,2 % da área total do Estado. Nessas áreas, em caso de plantio será imprescindível o uso de irrigação plena para obter ganhos de produtividade.

Diante do observado, o cultivo da cana-de-açúcar no Estado deverá exigir predominantemente com o uso de irrigação suplementar ou de forma plena (mais freqüente), a fim de garantir o seu desenvolvimento vegetativo e de promover o aumento da produtividade da cultura. Entretanto, existe a possibilidade de realizar a irrigação de salvamento, que é realizada nos períodos críticos, de chuvas escassas, com o intuito de garantir a produção. Nesse caso utiliza-se lâminas d’água de irrigação inferiores às de irrigação complementar e plena, e dependendo das condições

edafoclimáticas da região, a lâmina a ser colocada varia em média de 40-50 a 80-120 mm (MATIOLI, 2007; SCHMIDT, 2008)

De acordo com Matioli (2007), a irrigação de salvamento pode ser utilizada para atender dois objetivos principais: a) salvar a soqueira - propiciar condições favoráveis para o aumento da brotação e perfilhamento da soqueira, a fim de evitar falhas e ter um bom estado no canavial. Com isso pode-se aumentar a vida útil do canavial, evitando assim a redução de produtividade e da longevidade. Por exemplo, um canavial com média de 5 cortes sem a irrigação de salvamento poderia reduzir para 3 cortes; b) salvar o plantio de inverno, racionalizando a infra-estrutura da usina, ao estender o período de plantio na época seca e garantir a brotação e crescimento da cultura.

Figura 20 - Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar e recursos hídricos no estado do Tocantins

Ainda de acordo com Matioli (2007), a irrigação de salvamento em locais de deficiências hídricas superiores as observadas no estado de São Paulo, pode proporcionar um ambiente produtivo semelhante às lavouras paulistas de sequeiro.

Estudos realizados em Minas Gerais e Goiás mostraram o efeito vantajoso do uso da irrigação de salvamento na brotação e desenvolvimento de soqueira, com reflexos no aumento da produtividade (SOARES; CARDOSO, 2007).

Matioli (2007) simulou três situações de irrigação em cana-de-açúcar: 1) irrigação de salvamento (100 mm.ano^{-1}); 2) complementar (250 mm.ano^{-1}) e 3) plena (500 mm.ano^{-1}), quanto ao requerimento de água para uma área de 20.000 ha, num período de irrigação de 6 meses por ano. As vazões requeridas para cada uma dos três tipos foram, 4.650, 11.600 e $23.200 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, respectivamente.

Tal simulação vem demonstrar que o gasto com água na condição de salvamento é muito menor do que as demais situações, além dos custos operacionais dos equipamentos e energia serem normalmente menores tornando o custo de produção da lavoura mais barato.

Para atender uma eventual necessidade de irrigação, a hidrografia do Tocantins é formada por dois grandes sistemas hidrográficos, o Rio Araguaia e o Rio Tocantins, representando cerca de 37,7% e 62,3% da área total do Estado, respectivamente (SEPLAN, 2005). Além disso, existem dois reservatórios de usinas hidrelétricas – UHEs, e estão planejadas para construção, mais 6 usinas, cujos reservatórios poderão atender futuras demandas de irrigação da agropecuária e setor agroindustrial.

Apesar da rede hidrográfica do Estado ser considerada abundante (Figura 20), tanto nas áreas de aptidão agroclimática “marginal”, quanto “restrita”, uma questão relevante que merece destaque, refere-se à racionalização do uso dos recursos hídricos, pois além da necessidade de água para irrigação que poderá ser demandada por algumas localidades, a maioria das destilarias, utiliza grande quantidade de água (em média cerca de 3 a 5 m^3 de água por tonelada de cana) na etapa de processamento industrial (ELIA NETO, 2005).

Ressalta-se também que as áreas calculadas em percentual de cada classe de aptidão, são estimativas e brutas, pois não estão exclusas as áreas impossibilitadas ao plantio devido à legislação ambiental, como as áreas de preservação permanente – APP e de reserva legal, reservas indígenas, unidades de conservação federais e estaduais, bem como sistemas hidrográficos, áreas com alta declividade, dentre outros limitantes técnicos e/ou legais.

O governo do estado do Tocantins, através da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAGRO) e seus órgãos vinculados estão implantando o programa 'Tocantins Rural', com o propósito de potencializar os fatores de produção e viabilizar novas alternativas, a fim de aperfeiçoar o sistema produtivo agropecuário estadual. Antevendo a possível tendência de expansão de culturas de energia no Estado, em especial do cultivo da cana-de-açúcar, este documento contém projeções para o ano de 2010 da área a ser plantada com a referida cultura, bem como da produção de etanol (SEAGRO, 2007a). Estabelece ainda, a partir de critérios técnicos, 12 regiões do Estado para produção de álcool de cana-de-açúcar, denominadas de Pólos de Produção do Álcool Combustível (Figura 21). A projeção aponta que estes pólos terão uma área total de plantio equivalente a 210 mil hectares, e deverão produzir cerca de 16,8 milhões toneladas de cana-de-açúcar e 1,34 trilhões de litros de álcool.

Figura 21 – Zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar considerando os “Pólos de Produção do Álcool Combustível” indicados pela Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins (SEAGRO, 2007a)

Observando a Figura 21 é possível notar que 7 municípios-pólo, entre os 12 previstos, distribuem-se na classe de aptidão “marginal”, ou seja, com condições mais favoráveis ao cultivo da cana. Desse total, 4 municípios (Ananás, Arapoema, Colinas e Palmas) estão totalmente inseridos, enquanto parte da área dos outros 3 municípios (Gurupi, Arraias e Mateiros) ocorre também influência da classe “restrita”, em menor proporção em relação à primeira.

Os demais municípios-pólo situam-se na classe com maior deficiência hídrica (“restrita”), sendo que três deles (Campos Lindos, Pedro Afonso e Brejinho de Nazaré) inserem-se totalmente nesta classe, enquanto os municípios de Santa Rosa e Araguaçu estão situados em duas classes, mas com maior predomínio da classe de aptidão “marginal”.

Com base nesses pólos e no zoneamento agroclimático pode-se eleger algumas regiões representativas nas três classes de aptidão, para servirem como unidades de pesquisa, validação de tecnologias e de divulgação dos resultados para as demais regiões do Estado. Em unidades como estas poderão ser desenvolvidos projetos de interesse regional, através de parcerias com instituições de pesquisa, extensão e universidades locais e de fora do Estado com experiência nesta área, a fim de estudar todos os aspectos inerentes à cultura e seus impactos sócio-econômicos e ambientais.

2.3.2 Zoneamento edafoclimático e ambiental e identificação de regiões potenciais para o cultivo da cana-de-açúcar

A Figura 22 mostra de forma geral as áreas disponíveis no Estado (não contabilizadas as áreas de preservação permanente – APPs e reservas legais), sem restrições legais ou naturais para possível cultivo da cana-de-açúcar.

Considerou-se como restrições, as áreas de uso legal restrito e potenciais para conservação ambiental e indígenas, as regiões que originalmente eram floresta, as áreas especiais de produção no Vale do Javaés e as regiões com morros e montanhas, resultante do cruzamento das informações dos mapas da Figura 12.

A área referente ao conjunto destas restrições atinge 47,4% do território tocantinense. Já as áreas potenciais disponíveis para produção no Estado, sem considerar as limitações edafoclimáticas, representam 52,6% do total (146.028 km²).

Figura 22 – Áreas disponíveis sem restrições legais ou naturais para possível produção de cana-de-açúcar no Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2007)

2.3.2.1 Zoneamento de aptidão edáfica para a cana-de-açúcar

As classes de solos identificadas no estado do Tocantins foram reclassificadas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2006) e estão apresentadas na Tabela 5. Para avaliação da área ocupada pelas principais classes de solo, foram agrupados os Latossolos e Argissolos, correspondendo a 22% e 10% respectivamente.

Apesar da ocorrência de todas as subordens dos Plintossolos (Pétricos, Háplicos e Argilúvicos) e no conjunto somarem aproximadamente 34% da área total do Estado, os mesmos não foram agrupados, devido seu comportamento variável quanto às práticas de manejo. Além disso, os Plintossolos Pétricos estão em associação com Plintossolos Háplicos, sendo difícil sua identificação considerando os trabalhos de levantamento de solos no nível exploratório.

Tabela 5 – Classificações atual e antiga das classes de solos identificadas no estado do Tocantins, com as suas respectivas extensões no território

Classificação Atual ¹	Classificação Antiga ²	Área ³ (km ²)	Área (%)
a) Plintossolos Pétricos/Háplicos	Concrecionários	63.297,4	22,8
b) Latossolos	Latossolos	61.354,2	22,1
c) Neossolos Quartzarênicos	Areias quartzosas	52.470,3	18,9
d) Plintossolos Argilúvicos	Laterita hidromórfica	30.815,2	11,1
e) Argissolos	Podzólicos	28.039,7	10,1
f) Neossolos Litólicos	Solos Litólicos	23.320,2	8,4
g) Gleissolos	Hidromórficos gleizado	14.158,6	5,1
h) Cambissolos	Cambissolos	4.164,4	1,5

Notas: ¹ De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006)

² De acordo com Camargo; Klamt e Kauffman (1987)

³ Fonte: SEPLAN (2005)

Considerando apenas as ordens Plintossolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos observa-se que correspondem a 75% da área do Estado.

As ordens de menor expressão são os Gleissolos, Neossolos Litólicos e Cambissolos, sendo que a primeira está relacionada às áreas de várzeas da bacia dos

rios Tocantins e Araguaia, e as duas últimas as áreas de maiores altitudes no Estado, formando solos rasos.

Para desenvolver a atividade canaveira no Tocantins, o conhecimento dos tipos de solos que ocorrem na região é de fundamental importância, tendo em vista que isso define as áreas aptas para essa atividade.

Considerando os níveis de ordem e subordem, as principais classes de solo identificadas no Estado estão apresentadas na Figura 23.

Figura 23 – Classificação dos solos do Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2007)

De acordo com mapa de solos adaptado da SEPLAN (2007), as classes de solo que ocorrem no Estado são: 1) Argissolos Vermelho-Amarelos – PVA, 2) Argissolos Vermelhos – PV, 3) Latossolos Vermelho-Amarelos – LVA, 4) Latossolos Amarelos – LA, 5) Latossolos Vermelhos – LV, 6) Neossolos Quartzarênicos – RQ, 7), Neossolos Litólicos – RL, 8), Cambissolos – C, 9) Gleissolos – G, 10) Plintossolos Pétricos – FF e Plintossolos Háplicos - FX, 11) Plintossolos Argilúvicos – FT.

A seguir estão descritas cada unidade de solo, sua ocorrência no Estado, suas principais características relacionadas com os fatores limitantes ao uso agrícola, uso atual predominante e a classificação da aptidão edáfica natural para a produção de cana-de-açúcar.

a) Associação de Plintossolos Pétricos e Háplicos

Os Plintossolos são solos minerais, que apresentam horizonte plíntico ou litoplíntico ou concrecionário começando nos 40 cm da superfície, ou dentro de 200 cm desde a superfície quando precedidos de horizonte glei, ou imediatamente abaixo dos horizontes A ou E, ou de outro horizonte que apresente cores pálidas, variegadas ou com mosqueados em quantidade abundante (EMBRAPA, 2006; PRADO, 2007). Os Plintossolos são descritos no segundo nível categórico como sendo Pétricos, Argilúvicos e Háplicos. Sendo que no estado do Tocantins, considerando o grau de detalhamento dos trabalhos realizados até o momento, os Plintossolos Pétricos encontram-se em associação com os Plintossolos Háplicos (outros solos com horizonte plíntico que não se enquadram nas classes anteriores). Por definição os Plintossolos Pétricos são solos com horizonte concrecionário ou horizonte litoplíntico (EMBRAPA, 2006).

O horizonte concrecionário é constituído de 50% ou mais, por volume, de material grosseiro com predomínio de petroplintita, do tipo nódulos ou concreções de ferro ou de ferro e alumínio, numa matriz terrosa de textura variada ou matriz de material mais grosseiro, identificado como horizonte Ac, Ec, Bc ou Cc. O horizonte concrecionário para ser diagnóstico deve apresentar no mínimo 30 cm de espessura. Já o horizonte litoplíntico é constituído por petroplintita contínua ou praticamente contínua,

deve ter uma espessura de 10 cm ou mais. Este horizonte pode englobar uma seção do perfil muito fraturada, mas deve existir predomínio de blocos de petroplintita com tamanho mínimo de 20 cm, ou as fendas que aparecem são poucas e separadas umas das outras por 10 cm ou mais. Constitui-se num sério impedimento para penetração das raízes e da água.

Ocorrem em extensão significativa do Estado, correspondendo a 22,8% da sua área com distribuição em todo o território, sob vegetação de cerrado, não sendo comumente encontrado nas regiões sudeste, leste, noroeste e extremo norte (Figura 23). A maior parte destes solos está localizada em relevo cuja declividade é igual ou inferior a 5%, com predominância de áreas com declives suaves, onde a erosão hídrica não deve oferecer problemas, porém em algumas regiões a declividade pode ser superior a 15%, neste caso poderão ocorrer sérios problemas de erosão quando mal manejados (SEPLAN, 2005).

Estes solos são ocupados predominantemente por pastagens plantadas e/ou naturais, que refletem em áreas com atividades de pecuária extensiva e semi-intensiva. Uma pequena porção é também utilizada para cultivo de culturas de ciclo curto e longo (SEPLAN, 2005).

Ocorre o predomínio de baixa intensidade de uso destes solos, sendo que a oeste (entorno da Ilha do Bananal) o seu uso é de média intensidade e ao sul do Estado são utilizados de forma intensiva (Figura 26)

Considerando as características avaliadas, a aptidão edáfica natural desta associação de solos foi classificada como restrita (Tabela 6).

Tabela 6 - Características das áreas com associação de Plintossolos Pétricos e Háplicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Baixa
Profundidade	Desfavorável ¹
Pedregosidade	Alta ²
Classes de declive	Boa
Drenagem interna	Boa
Aptidão edáfica natural	Restrita

¹ Depende da profundidade em que ocorre o horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário

² A associação destes solos, apresenta de forma geral restrições distintas quanto a ocorrência de cascalho na camada arável

b) Latossolos

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura (EMBRAPA, 2006). O horizonte B latossólico é um horizonte mineral subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização. Em geral, é constituído por quantidades variáveis de oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio, minerais de argila 1:1, quartzo e outros minerais mais resistentes ao intemperismo, podendo haver a predominância de quaisquer desses materiais.

Considerando as propriedades físicas destes solos, os mesmos são considerados profundos, apresentando normalmente textura média, argilosa, ou muito argilosa com baixo gradiente textural entre a camada arável (horizonte A) e abaixo dela (horizonte B), e são facilmente mecanizáveis. Devido suas características morfológicas e o relevo em que se encontram, estes solos possuem boa drenagem (PRADO, 2007). Representam grande parte dos solos tropicais, sendo a principal limitação a baixa fertilidade natural associado à elevada acidez, mas que com práticas adequadas de manejo possibilitou a expansão agrícola em áreas de cerrado.

As áreas de Latossolos no Estado correspondem a cerca de 22,1% estando distribuídas de norte a sul do Tocantins (Figura 23). Estes solos são característicos das áreas de vegetação de cerrado, ocupando extensas áreas na região central do Brasil, entretanto, podem ser observados em áreas sob floresta. Em sua maioria estão localizados em relevo cuja declividade é igual ou inferior a 5%, sendo considerando plano e dessa forma com baixo potencial de erodibilidade (SEPLAN, 2005).

O uso destes solos no estado do Tocantins é realizado de forma intensiva (Figura 26) e predominantemente com atividades agropecuárias mais tecnificadas, como a plantação de culturas de ciclos curto e longo. Além disso, são encontradas extensas áreas de pastagens, algumas em estágio de degradação (SEPLAN, 2005).

Esta classe de solo, conforme as características avaliadas foi classificada como sendo de aptidão edáfica natural regular (Tabela 7).

Tabela 7 - Características das áreas com Latossolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Baixa
Profundidade	Favorável
Pedregosidade	Baixa
Classes de declive	Facilmente mecanizado ou mecanizado
Drenagem interna	Boa
Aptidão edáfica natural	Regular

c) Neossolos Quartzarênicos

Os Neossolos são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral, ou por material orgânico com espessura menor que 20 cm, não apresentando qualquer tipo de horizonte diagnóstico (EMBRAPA, 2006).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos com seqüência de horizontes A-C, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade. Apresentam textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico e drenagem excessiva. São essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95 % ou mais de quartzo (EMBRAPA, 2006).

Os valores de matéria orgânica são baixos, mesmo no horizonte A, diminuindo ainda mais no horizonte C (PRADO, 2007).

Ocupam uma área que representa 18,9% do Estado, localizados predominantemente na parte leste (região do Jalapão) e ao centro estendendo-se até a região norte (Bico do Papagaio) praticamente sob vegetação de cerrado. Podem ser encontrados também em menores proporções à noroeste e oeste do Estado (Figura 23).

Estão distribuídos em relevo cuja declividade é igual ou inferior a 5%, com predominância de áreas com declives suaves (SEPLAN, 2005).

Ao contrário dos Latossolos, o uso da terra nestes tipos de solos é de baixa intensidade para produção (Figura 26) predominando a atividade pecuária extensiva e algumas áreas com silvicultura. Além disso, em algumas regiões com este tipo de solo

apresentam limitações de uso, devido à restrição legal por pertencerem a unidades de conservação ambiental, especialmente na região do Jalapão (SEPLAN, 2005).

Com base nas características avaliadas, a aptidão edáfica natural desta classe de solo foi considerada restrita (Tabela 8).

Tabela 8 - Características das áreas com Neossolos Quartzarênicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Baixa
Profundidade	Favorável
Pedregosidade	Baixa
Classes de declive	Facilmente mecanizado ou mecanizado
Drenagem interna	Excessiva
Aptidão edáfica natural	Restrita

d) Plintossolos Argilúvicos

De acordo com a Embrapa (2006) são solos que apresentam horizonte plíntico caracterizado pela presença de plintita em quantidade igual ou superior a 15% (por volume) e espessura de pelo menos 15 cm e caráter argilúvico cujo gradiente textural entre os horizontes A ou E, e B é igual ou maior que 1,4.

Geralmente apresentam textura é franco arenosa ou mais fina. Quando não é maciço, o horizonte plíntico apresenta estrutura em blocos fraca ou moderadamente desenvolvida, ocorrendo também estrutura prismática composta de blocos, sobretudo nos solos com argila de atividade alta. Quando seco, o horizonte plíntico se apresenta compacto, duro a extremamente duro. Quando úmido é firme ou muito firme, podendo ter partes extremamente firmes e quando molhado, a consistência varia de ligeiramente plástica a muito plástica e de ligeiramente pegajosa a muito pegajosa.

O horizonte plíntico se forma em terrenos com lençol freático alto ou que pelo menos apresente restrição temporária à percolação da água, permitindo que o terreno permaneça saturado com água em uma parte do ano e fique sujeito as flutuações do lençol freático.

Representam cerca de 11,1% da área estadual, estando distribuídos principalmente em duas regiões: à oeste, na Ilha do Bananal e seu entorno e à sudeste.

Estes solos estão localizados em relevo cuja declividade é inferior a 5%, em áreas com declives suaves, nos quais na maior parte o escoamento superficial é lento, sujeitos à má drenagem e erodibilidade potencial considerada de muito fraca a fraca (SEPLAN, 2005). Dentro da Ilha do Bananal estes solos apresentam restrições legais quanto ao uso, pois na sua porção sul está instalada a Terra Indígena Parque do Araguaia e ao norte o Parque Nacional do Araguaia. Na parte externa à ilha, estes solos são utilizados para atender atividades de pecuária intensiva, bem como a produção de culturas de ciclo curto e longo, com predomínio de ciclo curto (SEPLAN, 2005).

Na região sudeste estes solos são usados para pecuária intensiva e/ou cultivos de culturas de ciclo curto e longo (SEPLAN, 2005).

Esta classe de solo conforme as características avaliadas, foi classificada como sendo de aptidão edáfica natural restrita (Tabela 9).

Tabela 9 - Características das áreas com Plintossolos Argilúvicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Média
Profundidade	Desfavorável ¹
Pedregosidade	Baixa
Classes de declive	Moderadamente ou não mecanizado ²
Drenagem interna	Deficiente
Aptidão edáfica natural	Restrita

¹ Depende da profundidade em que ocorre o horizonte plântico

² Na condição natural solos localizados a oeste do Estado torna-se restritivo à mecanização, devido à má drenagem por estarem situados em ambiente de várzea

e) Argissolos

Solos minerais, não hidromórficos, com drenagem rápida no horizonte A e lenta no horizonte B. Apresentam alto gradiente textural entre horizontes A e B, com presença de horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou alta, conjugada com saturação por bases baixa (EMBRAPA, 2006; PRADO, 2007). São encontrados em praticamente todo o território, não sendo observados nesta escala, na região centro-oeste do Estado. Ocupam aproximadamente

10,1% da área do Tocantins e estão localizados em regiões fitoecológicas de floresta (noroeste) e de cerrado.

Estes solos localizados à sudeste apresentam declives suaves (inferior a 15%) e baixa erodibilidade potencial. Porém nas demais regiões onde encontram-se distribuídos, o relevo é variável, sendo observado declives entre 5 e 30% e erodibilidade classificada de ligeira a forte (SEPLAN, 2005).

O uso principal da terra nestes tipos de solos refere-se à pecuária mais tecnificada e/ou culturas de ciclo curto e longo (SEPLAN, 2005).

Considerando as características avaliadas, a aptidão edáfica natural destes solos foi classificada como regular (Tabela 10).

Tabela 10 - Características das áreas com Argissolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Baixa
Profundidade	Favorável
Pedregosidade	Baixa
Classes de declive	Facilmente mecanizado ou mecanizado
Drenagem interna	Boa
Aptidão edáfica natural	Regular

f) Neossolos Litólicos

Solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou horizonte C, ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída de fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), que apresentam contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo. Pode ocorrer horizonte B em início de formação, mas que não satisfaça qualquer tipo e horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2006). De acordo com Prado (2007), a principal característica deste tipo de solo é sua reduzida espessura, podendo ser observado presença de horizonte C, logo abaixo da profundidade de 20 cm. Estes solos geralmente estão associados a condições que não favoreceram o processo de intemperismo ou devido à resistência da rocha.

No Estado estes solos ocupam uma área de aproximadamente 8,4 % do território, sendo encontrados de sul a norte. Considerando suas características físicas, principalmente em relação à elevada pedregosidade, estes solos são considerados rasos e encontram-se em áreas fortemente inclinadas e regiões montanhosas, o que dificultam os processos de hidrólise e dissolução da rocha, devido o impedimento físico a drenagem. Desta forma este solo é altamente suscetível à erosão.

As áreas com Neossolos Litólicos devido à elevada limitação natural devem ser destinadas à conservação, não sendo utilizada como área agricultável (SEPLAN, 2005). Nesse sentido, a aptidão edáfica natural destes solos foi considerada como restrita.

Tabela 11 - Características das áreas com Neossolos Litólicos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Baixa
Profundidade	Desfavorável
Pedregosidade	Alta
Classes de declive	Moderadamente ou não mecanizado
Drenagem interna	Boa
Aptidão edáfica natural	Restrita

g) Gleissolos

São solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo do horizonte A ou E, ou mesmo abaixo do horizonte hístico. Não apresenta horizonte vértico ou B textural, tampouco outro tipo de horizonte B diagnóstico acima ou coincidente com o horizonte glei, ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico. Caso ocorra horizonte plântico, deve ocorrer a mais de 200 cm de profundidade desde a superfície (EMBRAPA, 2006; PRADO, 2007).

Em síntese, o horizonte glei é considerado mineral, com espessura mínima de 15 cm, com menos de 15 % de plintita e é saturado com água por influência do lençol freático durante algum período ou o ano todo, a não ser que tenha sido artificialmente

drenado, apresentando evidências de processos de redução, com ou sem segregação de ferro (EMBRAPA, 2006).

As áreas com Gleissolos no Estado são de apenas 5,1 %, sendo distribuídos amplamente pelo território. As maiores áreas com este tipo de solo encontram-se nas regiões centro, sul, extremo norte e principalmente a oeste (Planície do Araguaia).

O relevo que domina nestas áreas apresenta declividade suave ($\leq 5\%$), com potencial de erodibilidade classificada como especial, uma vez que os solos desta classe são imperfeitamente drenados, com nível do lençol freático normalmente elevado e sujeitos a eventuais inundações (SEPLAN, 2005).

Apresentam alta limitação natural para uso, sendo indicadas para áreas de conservação da biodiversidade, a exemplo do Parque Estadual do Cantão (SEPLAN, 2005).

Entretanto, devido às condições favoráveis do relevo e a elevada disponibilidade de água, existem grandes áreas com cultivo de arroz irrigado na Planície do Araguaia ou Vale do Javaés, onde os níveis dos rios se elevam bastante.

Porém, por ser um sistema frágil os riscos de provocar impactos ambientais são muito elevados, o que exige muita atenção no manejo dessas áreas.

Quanto à aptidão edáfica natural dos Gleissolos para a produção da cana-de-açúcar foi considerada restrita (Tabela 12).

Tabela 12 - Características das áreas com Gleissolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Baixa
Profundidade	Desfavorável
Pedregosidade	Baixa
Classes de declive	Facilmente mecanizado ou mecanizado ¹
Drenagem interna	Deficiente
Aptidão edáfica natural	Restrita

¹ Sob condição natural torna-se restritivo à mecanização, devido a má drenagem e eventuais inundações

h) Cambissolos

Solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura, ou horizonte A chernozêmico, quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta. Plintita e petroplintita, horizonte glei e horizonte vértico, se presentes, não satisfazem os requisitos para Plintossolos, Gleissolos e Vertissolos, respectivamente (EMBRAPA, 2006; PRADO, 2007).

Estes solos não são hidromórficos, sendo considerados bem drenados (textura argilosa ou muito argilosa) ou fortemente drenados (textura média). É o tipo de solo com menor ocorrência no Tocantins (1,5% da área) e está localizado predominantemente na região sudeste.

A principal característica deste solo, é que são poucos intemperizados, indicado pela presença de minerais primários.

Assim como os Neossolos Litólicos este solo é considerado pouco desenvolvido, e encontra-se em relevo que varia desde suave ($\leq 5\%$), até em áreas fortemente inclinadas (15-30%), à medida que se aproxima da divisa com o estado da Bahia. Nesse caso, o potencial de erodibilidade varia de moderada a muito forte, tendo em vista, que o relevo acidentado e algumas situações os solos são rasos (SEPLAN, 2005).

As atividades predominantes neste tipo de solo são a pecuária intensiva e o cultivo de culturas de ciclo curto e longo, quando o relevo regional favorece (SEPLAN, 2005).

Devido o baixo grau de intemperismo, estes solos podem ser eutróficos, apresentando uma fertilidade natural média, o que torna uma característica interessante para condução de projetos agrícolas.

Com base nas características avaliadas, a aptidão edáfica natural dos Cambissolos foi classificada como restrita (Tabela 13).

Tabela 13 - Características das áreas com Cambissolos e os fatores limitantes para o cultivo da cana-de-açúcar

Características	Grau de aptidão
Fertilidade natural	Média
Profundidade	Favorável ¹
Pedregosidade	Baixa
Classes de declive	Moderadamente mecanizado ²
Drenagem interna	Boa
Aptidão edáfica natural	Restrita

¹Depende do seu grau de desenvolvimento

²Devido ao relevo onde predominantemente estes solos estão localizados

De acordo com as principais características observadas em cada unidade de solo e os seus respectivos graus de limitações obteve-se as classes de aptidão edáfica natural por tipo de solo para o cultivo da cana-de-açúcar, que estão apresentadas de forma sintética na Tabela 14.

Tabela 14 - Resumo das classes de aptidão edáfica natural por tipo de solo, com vistas à produção de cana-de-açúcar no Tocantins

Tipos de solos	Aptidão edáfica
a) Plintossolos Pétricos/Háplicos	Restrita
b) Latossolos	Regular
c) Neossolos Quartzarênicos	Restrita
d) Plintossolos Argilúvicos	Restrita
e) Argissolos	Regular
f) Neossolos Litólicos	Restrita
g) Gleissolos	Restrita
h) Cambissolos	Restrita

Percebe-se que no Tocantins diante do grau de detalhamento que foi utilizado, não foi constatado nenhum solo com aptidão edáfica natural “boa” para o cultivo da cana-de-açúcar, o que coincidiu com os resultados obtidos por Koffler e Donzeli (1987), ao avaliarem os solos brasileiros para esta cultura.

Por outro lado observa-se que, em cerca de 32,2% da área do Estado, composta por Latossolos e Argissolos foi classificada com aptidão natural “regular”, o que equivale a uma área bruta de aproximadamente 89.393,9 km², ou 8,94 milhões de hectares distribuídos conforme pode ser visualizado pela Figura 24a.

Grande parte destes solos e de alguns outros classificados com aptidão “restrita” poderia ter esta classificação melhorada, através do manejo do solo e da cultura.

Subtraindo-se as limitações naturais e legais para a utilização do solo e as regiões de floresta, a área com aptidão favorável disponível para cultivo da cana-de-açúcar reduziria de 89.390 km² (Figura 24a) para um valor em torno de 56.000 km² (Figura 24b).

A seguir apresenta-se a espacialização da aptidão edáfica natural dos solos do Tocantins, visando seu uso para a produção mecanizada de cana-de-açúcar (Figura 24).

Figura 24 - Zoneamento da aptidão edáfica natural ao cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, sendo (a) sem restrições naturais, legais e ambientais quanto ao uso e (b) considerando as restrições

2.3.2.2 Alternativas de convivência com as restrições edáficas, através do manejo do solo e da cultura

Prado (2005) comenta que para fazer um bom manejo do solo e enquadrá-lo no ambiente de produção para a cana-de-açúcar, deve-se conhecer até o terceiro nível hierárquico da classificação de solos, correspondente ao grande grupo (eutrófico, distrófico, ácrico e alumínico). Afirma que, solos semelhantes podem ocorrer em ambientes de produção contrastantes. Exemplifica que os Argissolos podem pertencer a um ambiente favorável ou desfavorável, pois depende do acúmulo de argila abaixo da camada arável e a profundidade em que o horizonte B textural (Bt) ocorre.

De acordo com Prado (2008), o ambiente de produção é móvel devido ao manejo que é realizado, pois pode-se obter aumentos de produtividade da cultura da cana-de-açúcar, através por exemplo: do uso de irrigação de salvamento ou plena, aplicação de vinhaça, utilização torta de filtro no plantio e adubação química.

Sabe-se também que solos com aptidão regular e dependendo da situação até os considerados restritos, se bem manejados podem ser produtivos, mas requer maior investimento (PRADO, 2005).

Apesar deste trabalho não ter identificado o terceiro nível hierárquico das classes de solos sugere-se algumas práticas de manejo, para os solos agrupados conforme classes de aptidão edáfica observadas na Tabela 14. Neste caso, os solos com aptidão favorável ao manejo foram os Latossolos e Argissolos, enquanto que os Neossolos Quartzarênicos, dependendo das condições especiais de manejo, podem ou não serem utilizados ao cultivo da cana-de-açúcar.

Já os solos pouco profundos (Neossolos Litólicos, Cambissolos e Plintossolos) e hidromórficos (Gleissolos) não serão indicados para o cultivo da cana-de-açúcar. Isto se justifica pelo fato de que estes solos apresentam de forma geral, limitações ao desenvolvimento do sistema radicular. Entretanto, para os Cambissolos e Plintossolos, pode haver grandes variações de profundidade, sendo para os Cambissolos devido ao grau de desenvolvimento do solo, e para os Plintossolos devido a ocorrência dos horizontes plíntico e/ou concrecionário. Neste caso, a recomendação destas áreas para o cultivo da cana-de-açúcar requer estudos mais detalhados.

Para os Gleissolos não será recomendado à cultura da cana-de-açúcar, tendo como grande limitação o excesso de umidade por longo período do ano, o que impediria o desenvolvimento do sistema radicular. Além disso, a maior parte destas áreas encontram-se dentro de unidades de conservação e/ou APP.

Nesse sentido, apresentou-se como possibilidades de manejo dos solos as seguintes práticas: (i) manejo químico do solo, (ii) adubação verde e orgânica, (iii) preparo de solo e práticas conservacionistas e (iv) épocas de plantio.

2.3.2.2.1 Manejo químico do solo

A adubação da cultura da cana-de-açúcar é uma prática indispensável nos solos brasileiros, tendo em vista a baixa fertilidade natural, entretanto os critérios de recomendação de adubação não podem ser generalizados, devido à complexidade de fatores inerentes a esta prática, tais como tipo de solo, clima e de aspectos sócio-econômicos de cada região (van RAIJ et al., 1996).

Além da adubação, o manejo químico dos solos envolve o uso de corretivos que são essenciais à cultura, devido aos tipos de solos encontrados no estado do Tocantins. Nesse sentido, o manejo químico pode ser realizado da seguinte forma:

Latossolos: são solos muito intemperizados, apresentando normalmente baixa CTC, variável capacidade de fixação de fósforo, podendo ocorrer elevada saturação por alumínio trocável em profundidade e baixo pH.

Desta forma, o uso do calcário para correção da acidez é uma prática importante para o aumento da produtividade, tendo como benefícios o aumento do pH do solo; aumento da eficiência no uso de nutrientes pelas culturas; aumento de cálcio e magnésio do solo; diminuição da toxidez de alumínio; aumento da capacidade de retenção de nutrientes pelo solo; aumento da saturação por bases e aumento da atividade microbiana.

Outra prática importante nos Latossolos para o cultivo da cana-de-açúcar é a gessagem, que atua como condicionador de subsuperfície e fonte de cálcio e enxofre ao longo do perfil (DIAS; ROSSETTO, 2006).

O principal benefício desta prática é o maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas, permitindo que haja aproveitamento da água e nutrientes em

maiores profundidades do solo, particularmente importante nos períodos de deficiência hídrica. As perdas de fósforo nestes solos devido ao processo de fixação são muito elevadas, tornando este nutriente o mais limitante à produção agrícola. Desta forma, a aplicação de P_2O_5 localizada ou em área total, deve ser executada considerando-se as distintas texturas e também a forma e fontes de fosfatos disponíveis.

Argissolos: são solos que apresentam gradiente textural, ou seja, maior acúmulo de argila no horizonte subsuperficial. Normalmente estes solos apresentam CTC mais elevada que dos Latossolos, dependendo da sua mineralogia. Porém, quando na região do cerrado, estes também são considerados ácidos, e apresentam elevada capacidade de adsorção de fósforo. Desta forma para estes solos, devem ser realizadas as mesmas práticas de manejo descritas para os Latossolos.

Neossolos Quartzarênicos: por se tratar de um solo muito arenoso, deve ser manejado preferencialmente através de fertilizantes orgânicos, devido à rápida mineralização da matéria orgânica e o baixo teor de argila. Estes solos apresentam baixa CTC, elevado potencial de lixiviação dos nutrientes, além de ser um solo com baixa capacidade de armazenamento de água, secando facilmente logo no início do período seco. Desta forma, estes solos apresentam muitas restrições para o cultivo da cana-de-açúcar.

Caso haja necessidade de cultivar estes solos com cultivares tardias, torna-se obrigatório o uso de irrigação plena, devido ao consumo elevado de água, e deve-se ainda introduzir culturas com elevado aporte de matéria orgânica.

Outro aspecto importante é conhecer o histórico de uso destas áreas. Por exemplo, se anteriormente eram ocupadas por pastagem, isso torna-se vantajoso, porque poderia haver uma melhor estruturação do solo, devido à elevada capacidade das gramíneas em renovar seu sistema radicular e aumentar o teor de matéria orgânica.

Os Neossolos Quartzarênicos, por apresentarem baixo poder tampão e a baixa CTC, são facilmente corrigidos, exigindo doses menores de calcário. Além disso, a capacidade de fixação de fósforo (P) é baixa, incrementando a eficiência agrônômica do P do fertilizante. Com relação à gessagem, constitui-se numa alternativa interessante devido à possibilidade de correção da sub-superfície a curto prazo.

2.3.2.2.2 Adubação verde e orgânica

A utilização de adubação verde por meio de rotação de cultura e adubação orgânica utilizando torta de filtro e vinhaça, são práticas de manejo recomendadas para os Latossolos e Argissolos, inclusive para os Neossolos Quartzarênicos.

A rotação de cultura pode ser definida como o sistema de cultivo alternado em um mesmo local de diferentes espécies, o qual obedece a uma sequência pré-estabelecida e inclui a prática de adubação verde (MASCARENHAS; TANAKA, 1993).

Considerando as características do solo do Tocantins, como o baixo conteúdo de matéria orgânica (BRASIL, 1981), a utilização da adubação verde torna-se uma prática de manejo importante para melhorar as propriedades químicas e físicas destes solos. Esta prática consiste em utilizar plantas em rotação, sucessão ou consorciação com a cultura principal, incorporando-as levemente ao solo ou deixando-as na superfície, tendo como benefício o aumento no teor de matéria orgânica. Sendo utilizada continuamente, protege o solo das chuvas fortes proporcionando diminuição da erosão hídrica e redução do assoreamento de sulco, controle na compactação do solo, o que favorece a infiltração e retenção de água no solo, fornece nitrogênio através da fixação simbiótica e ciclagem de nutrientes, diminui a temperatura do solo, reduz a evaporação, promove mobilização e ciclagem de nutrientes (solubilização de fósforo), diminui a perda de nutrientes, como o nitrogênio, promove a supressão de plantas daninhas, favorece a biologia do solo (minhocas, micorrizas, rhizobium, actinomicetos, fungos decompositores) e provoca a redução da população de nematóides fitoparasitas e patógenos (BOLONHEZI, 2007).

A vinhaça cuja produção varia de 10 a 18 litros para cada litro de etanol produzido (STUPIELLO, 1987; BUZOLIN, 1997), já era sugerida por Almeida (1955), como fertilizante dos solos. Trata-se de um resíduo rico em matéria-orgânica coloidal e em elementos minerais que contribui para elevar o pH do solo, podendo quando aplicado em doses elevadas tornar o solo alcalino. De forma geral, a vinhaça melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos, aumentando a microflora, o que facilita a mineralização do nitrogênio e a implementação da fertilidade, propiciando condições favoráveis para estender o ciclo da cultura da cana-de-açúcar (MARQUES, 2006).

Além da vinhaça outro subproduto muito utilizado no setor canavieiro é a torta de filtro, obtida nos filtros rotativos após extração da sacarose residual da borra. As tortas de filtro apresentam composição variável (teor relativamente elevado de fósforo), dependendo da variedade da cana, do tipo de solo, da maturação da cana e do processo de clarificação do caldo, dentre outros (ALMEIDA, 1944).

De acordo com Penatti e Donzelli, (1991), os principais benefícios da utilização da torta de filtro na cultura da cana-de-açúcar são: a presença de micronutrientes na matéria orgânica; menor lixiviação de nutrientes; aumento da CTC dos solos na região onde a torta foi aplicada; melhoria da capacidade de reter maiores quantidades de água, que podem suprir deficiências hídricas, principalmente na brotação; e propicia melhores condições físico-químicas e microbiológicas para o desenvolvimento da planta.

Martins Filho (2007) comenta que a torta de filtro úmida pode ser aplicada em cana-planta ou nas soqueiras, em área total ($80 - 100 \text{ t.ha}^{-1}$), em pré-plantio, no sulco de plantio ($15 - 30 \text{ t.ha}^{-1}$), ou nas entrelinhas ($40 - 50 \text{ t.ha}^{-1}$)

Nunes Jr; Morelli e Nelli (1988) aplicaram 35 t.ha^{-1} de torta de filtro fresca no sulco de plantio em Neossolos Quartzarênicos, e observaram respostas positivas de produtividade em todos os vinte clones estudados, com um ganho médio de 13,4 %, no decorrer dos 4 cortes analisados.

Avaliando a influência do cultivo contínuo de cana-de-açúcar por até 25 anos nas propriedades químicas de solos argilosos, Da Silva e Ribeiro (1995) observaram que a adição de vinhaça e torta de filtro pode melhorar as características químicas dos solos cultivados em relação ao solo nativo.

Considerando que os solos apresentam baixo teor de matéria orgânica, e que devido às condições climáticas do centro-norte brasileiro, a mesma é rapidamente mineralizada, a utilização de adubação verde, da vinhaça e da torta de filtro, torna-se uma prática de manejo essencial, para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos do estado do Tocantins, a fim de garantir a sustentabilidade agrícola.

2.3.2.2.3 Preparo de solo e práticas conservacionistas

Pode-se considerar do ponto de vista de manejo, os seguintes tipos de preparo do solo são: convencional, o cultivo mínimo e o plantio direto (EMBRAPA, 2003).

O preparo dos Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos poderão ser realizados da seguinte forma:

Latossolos: devido à boa estabilidade dos agregados, pode-se indicar o plantio convencional, pois facilita a operação de abertura dos sulcos de plantio, o que aumenta o rendimento das máquinas, apesar de ainda assim existir o risco de erosão. Devem ser preparados quando o solo estiver friável, desta forma evitando a destruição dos agregados. Em caso de umidade excessiva pode acarretar problemas de movimentação de máquinas no terreno, mesmo que o relevo seja plano, devido à patinação das máquinas, bem como provocar compactação.

Argissolos: por apresentar menor teor de argila na camada superficial, o preparo mecanizado é facilmente executado. Porém devido à presença de uma maior quantidade de argila, no horizonte Bt, torna-o susceptível à erosão, especialmente se ocorrerem chuvas fortes após o preparo do solo e sulcação.

Nos Latossolos e Argissolos em áreas novas de expansão da cultura pode-se trabalhar com o plantio convencional, ou mesmo o cultivo mínimo e na renovação do canavial sugere-se o cultivo mínimo ou plantio direto, devido a grande quantidade de palhada no terreno.

Neossolos Quartzarênicos: devem ser evitadas as operações de aração e gradagem, devido o seu fraco grau de estruturação o que pode acelerar a mineralização da matéria-orgânica, como também favorecer a erosão. Apesar destas desvantagens, o preparo convencional é bastante utilizado na região Centro-sul do país.

Neste tipo de solo, no ano de implantação da cultura indica-se a realização do cultivo mínimo, com o dessecamento dos restos culturais ou pastagem, seguido do sulcação e plantio.

De acordo com Martins Filho (2007), os sistemas reduzidos de preparo (cultivo mínimo) e de plantio direto são os mais indicados para a região Centro-sul do país, podendo incluir o estado do Tocantins. Além da redução da erosão, Bononi e Rosa

(2007), citam mais vantagens do cultivo mínimo em relação ao convencional, como: a possibilidade de plantio em épocas chuvosas, o que pode antecipar a colheita; o uso mais intenso da área de plantio, pois o intervalo entre colheita-plantio é menor; redução do uso de máquinas, implementos e combustíveis e controle de plantas daninhas. Somado a essas vantagens, este tipo de preparo reduz as emissões de gases.

No Tocantins, existe uma área expressiva de Plintossolos e de Cambissolos em menor quantidade, os quais, dependendo da profundidade podem ser manejados. Devido à presença de horizontes compactos, o preparo de solo torna-se dificultado, reduzindo a eficiência das operações, além de desgastar os implementos, como no caso dos Plintossolos.

Considerando os solos com aptidão agrícola para o cultivo de cana-de-açúcar no Estado, algumas práticas conservacionistas devem ser adotadas nestas áreas visando à maximização da relação custo-benefício das operações agrícolas.

Desta forma, considerando o sistema de colheita mecanizada sem queima, nas áreas com Latossolos de textura média e de baixa declividade, a construção de terraços torna-se menos importante. Tendo em vista que a colheita de cana crua deixa um grande volume de palha na superfície do solo, ocasiona uma proteção contra o impacto da gota da chuva, evitando o desprendimento de partículas do solo e com isto reduz a erosão laminar.

Em condição de cana crua, as perdas de solo podem ser reduzidas em três a dez vezes, porém no momento da reforma, ao utilizar o preparo convencional, o solo pode ficar novamente muito vulnerável aos processos erosivos (PROVE; GOOGAN; TRUONG, 1995).

Segundo Dematê (1984), no estado de São Paulo, as perdas com erosão na cultura canavieira considerando o sistema de queima e corte manual, situavam-se em torno de 15 a 29 t.ha⁻¹. Contudo, para os Latossolos as perdas aceitáveis correspondem a cerca de 12 t.ha⁻¹ (MARTINS FILHO, 2007).

Nas áreas com Argissolos e elevado gradiente textural, além de condições de maior declividade em que ocorrem normalmente, deverão adotar as práticas de manejo citadas anteriormente, bem como a implantação de terraços de drenagem, uma vez que mesmo com a cobertura deixada após a colheita da cana, as condições de solo e relevo

favorecem aos processos erosivos provocados pela enxurrada. Entretanto o dimensionamento e locação dos terraços devem ser muito bem planejados, considerando sempre as condições de clima, solo e relevo, bem como o trânsito de máquinas na área.

Práticas mecânicas e vegetativas, aliadas ao sistema de manejo da cultura, poderão ser utilizadas visando reduzir os processos erosivos, sendo ainda interessante à construção de um terraço na variação de solos (Latosolos – Argissolos) para suportar maior vazão em casos de chuvas de grandes intensidades.

Outras práticas conservacionistas como: o plantio da cana em faixa; a alternância da época de plantio, para ter na área cana com diferentes fases de desenvolvimento; e a utilização de variedades do tipo precoce, média e tardia, podem ser adotadas. A manutenção da palhada na superfície do solo, caracteriza-se como uma prática conservacionista, uma vez que reduz as perdas de matéria orgânica e de nutrientes no sedimento erodido. Tal prática contribui para melhorar as características físicas, químicas e biológicas dos solos.

2.3.2.2.4 Épocas de plantio

Após a definição das áreas de expansão e de reforma, tem-se que definir o tipo de plantio que será realizado.

Bononi e Rosa (2007) citam três modalidades: plantio de cana-de-ano ou de “12 meses”, de cana de ano-e-meio ou de “18 meses” e de outono-inverno.

A recomendação da época de plantio da cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins deve ser feita considerando as condições edafoclimáticas locais.

O plantio da cana-de-ano ocorre normalmente entre os meses de setembro a novembro, entretanto, a lavoura fica exposta a uma maior incidência de plantas daninhas e pragas e frequentemente ocorre o assoreamento dos sulcos de plantio ocasionando o atraso da colheita (MARTINS FILHO, 2007). Nesse caso, devem ser destinados solos com menor potencial de erodibilidade (evitar os Argissolos), especialmente a partir de meados de outubro, quando as chuvas ficam mais intensas.

Esta modalidade é a menos utilizada sob o ponto de vista de desenvolvimento da cultura, propiciando menores produtividades agrícolas, uma vez que o efeito da

estiagem que acontece no Estado, de maio a setembro, poderá afetá-la sensivelmente. Toda massa obtida do plantio até o final do verão (100 t.ha^{-1}) sofre o efeito do estresse hídrico e apresenta uma colheita útil de apenas 73 t.ha^{-1} , além da baixa qualidade da matéria prima, com baixíssima umidade e reduzida extração (COLETI; STUPIELLO, 2006). Nesse sentido, para esta modalidade de plantio, recomenda-se o uso de irrigação para finalizar a safra, com colheita prevista a partir de agosto-setembro.

Esta modalidade de plantio representa em média 15% da área de produção (COLETI; STUPIELLO, 2006), e de acordo com Martins Filho (2007), tem sido indicada em casos de necessidade urgente de matéria-prima, por causa de recente instalação ou expansão do setor industrial, ou mesmo por comprometimento da safra devido à ocorrência de adversidade climática.

De acordo com Bononi e Rosa (2007), a modalidade “18 meses” é plantada no período entre janeiro e abril e Coleti e Stupiello (2006) comentam que podem ser distinguidas ainda duas sub-épocas: a) plantio de verão (janeiro e fevereiro), e b) plantio de outono (março e abril).

Para este plantio usar os solos melhores em janeiro e fevereiro e em março e abril realizar o plantio nos solos mais fracos. Contudo, o primeiro plantio é o que representa maior risco de perdas imediatas pelo excesso de chuvas no período, o que pode configurar cenários de assoreamento e erosão, devendo-se evitar os Argissolos. Por esta razão, nesta época de plantio indica-se o sistema de plantio direto (COLETI; STUPIELLO, 2006).

No plantio de verão que ocorre de janeiro a fevereiro é necessário realizar irrigação na fase inicial de desenvolvimento (maio a setembro) e também para a finalização da safra com colheita prevista a partir de agosto do ano subsequente.

A modalidade cana de “18 meses”, é uma boa opção para ser plantada no final do período chuvoso (março e abril). No início do período seco, a cana já estará germinada e poderá ficar em repouso sem o uso de irrigação, até o início do período chuvoso (final de setembro), quando começa a se desenvolver e acumular massa durante toda a estação chuvosa que vai de outubro a maio. A colheita acontecerá a partir de abril-maio, completando um ciclo de 13 a 14 meses, não sendo necessário a

irrigação. Entretanto se desejar prolongar a safra deve-se utilizar irrigação de salvamento ou complementar na época seca.

Mais recentemente, com a fertirrigação e mesmo com a irrigação suplementar uma nova modalidade de plantio vem sendo consolidada, conhecida como plantio de “outono-inverno”, abrangendo os meses de junho, julho, agosto e a primeira quinzena de setembro. Os resultados de ganho de massa nesta modalidade são muito convincentes e sugerem uma revisão de toda tradição de plantio (COLETI; STUPIELLO, 2006).

Nesta modalidade após o plantio é realizado e em seguida a irrigação com pequenas lâminas d’água (salvamento), apenas para iniciar o processo de brotação dos toletes, até que inicie o período das chuvas. Como normalmente não chove nesta época, o plantio nesta época possui a vantagem de evitar o assoreamento do sulco e erosão do terreno.

Nesse sentido, a colheita da cana de “outono-inverno”, deverá acontecer a partir de junho do ano subsequente, com necessidade de irrigação para finalização da safra. Nesse caso, solos com maior capacidade de armazenamento de água, como os Argissolos seriam interessantes para suportar por mais tempo o início da época seca e possivelmente evitar ou reduzir a irrigação.

Rosenfeld e Leme (1984) constataram aumentos de 13 e 16 % na produtividade da cana planta e cana soca, respectivamente, irrigada entre agosto e dezembro. Na região do cerrado de Minas Gerais onde ocorrem períodos severos de deficiência hídrica. Coelho; Barbosa e Maciel (2002) observaram ganhos de produtividade de até 97% com irrigações mensais. Entretanto, essa prática não é comum para cana-de-açúcar por se tratar de áreas extensas de cultivo, requerendo elevados investimentos e grande disponibilidade de água.

Para os Latossolos cujas propriedades físicas devido à estrutura microgranular e textura média condicionam boa drenagem, a capacidade de armazenamento de água é baixa, o que torna a cultura de cana-de-açúcar implantada nestes solos mais vulneráveis a período de estiagens prolongadas. Para o cultivo nestas áreas sem perdas de produtividade devido à falta de água, deve se considerar a época de plantio, ciclo da variedade e implantação de projeto de irrigação.

Diante disso, para os Latossolos e Argissolos pode-se utilizar as três modalidades de plantio, porém para os Argissolos deve-se tomar cuidado ou mesmo evitar as épocas de plantio, de cana-de-ano (setembro a novembro) e de 18 meses (janeiro e fevereiro), devido especialmente a problemas de assoreamento e erosão. Porém, podem ser vantajosos no plantio de 18 meses (março a abril) e de “outono-inverno”, por causa de sua maior disponibilidade de água.

O manejo varietal é outra estratégia muito importante que deve-se levar em conta, pois busca-se a adequação de cada genótipo num ambiente de produção onde se pretende instalar o canavial, a fim de evitar o comprometimento dos potenciais produtivo e qualitativo .

2.3.2.3 Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar

O resultado da sobreposição dos parâmetros agroclimáticos para a cultura, com os edáficos e os ambientais foi a obtenção do zoneamento agroambiental para a cana-de-açúcar no Tocantins (Figura 25).

As regiões que apresentam cor verde clara são aquelas com aptidão edáfica natural favorável à cultura e as com coloração branca representam a aptidão edáfica restrita. Contudo, alguns destes solos classificados como restritos podem ser cultivados, desde que haja a possibilidade de melhorá-los com técnicas de manejo do solo e da cultura, conforme visto no item anterior.

Os solos com melhores classes de aptidão natural ao cultivo da cana-de-açúcar estão localizados predominantemente, nas regiões onde seu uso é mais intensivo (Figuras 24a e 26), sendo a produção agrícola, a atividade predominante, mas também com forte participação da pecuária.

Estes solos ocorrem nas regiões norte, noroeste e sul do Estado, sendo que nesta última região estão localizados numa ampla faixa de leste a oeste, e que estendendo-se também, de sul a norte, coincidentemente ao longo da área de influência da rodovia BR 153 e da ferrovia Norte-Sul. Nesta última região, estão presentes as melhores infra-estruturas, maiores cidades, maiores competências técnicas e científicas e a maior densidade populacional do Estado.

Climaticamente, apenas cerca de 0,1% da área estadual (277,62 km²) localizada à noroeste, não exige irrigação para o cultivo da cana-de-açúcar, no entanto, esta região possui restrição por estar localizada na região fitoecológica de floresta.

No restante do território (99,9%) será necessária a utilização de irrigação para obter boa produtividade, porém a exigência hídrica da cultura será menor nas regiões com a área hachurada de preto, ou seja, com aptidão agroclimática “marginal”, conforme observado na Figura 25.

A área global da zona agroclimática “marginal” corresponde a cerca de 41,7% do território tocantinense, o equivalente a 116.000 km².

Extraindo-se as áreas legalmente protegidas, ambientes de floresta, áreas com restrições naturais de uso e as áreas especiais, as regiões com aptidão edáfica natural regular localizadas nas zonas de aptidão agroclimática “marginal”, reduziriam para aproximadamente 23.750 km² (2,3 milhões de hectares).

A diminuição seria de 79,6%, sem contabilizar as reservas legais e áreas de preservação permanentes – APP. Isso aconteceu porque coincidentemente os solos mais favoráveis estão localizados sob o ambiente de floresta, notadamente na região noroeste do Estado.

Percebe-se que as regiões mais favoráveis ao cultivo (aptidão agroclimática “marginal” e aptidão edáfica regular) e que não encontram impedimentos legais e naturais, são reduzidas, concentrando-se basicamente ao centro e numa faixa que inicia a leste e finaliza a oeste, na porção sul do Estado.

Já nas regiões com aptidão agroclimática “restrita” (58,2%), com área hachurada de azul conforme a Figura 25, a área disponível sem restrições e com solos de boa aptidão ao cultivo da cana-de-açúcar, representam cerca de 32.250 km².

Destaca-se que, a maioria das áreas legalmente restritas ao uso, encontram-se na zona de aptidão agroclimática “restrita” ao cultivo da cultura. O restante destas áreas estão localizadas na zona agroclimática “marginal”, mas quase todas situadas em regiões com aptidão edáfica desfavorável ao cultivo da cana-de-açúcar.

Tal coincidência restritiva à cultura canavieira torna-se vantajoso, no que se refere especialmente à conservação da biodiversidade.

Figura 25 - Zoneamento edafoclimático e ambiental ao cultivo mecanizado da cana-de-açúcar no estado do Tocantins

2.3.2.4 Potencialidades regionais para produção sucroalcooleira e vantagens competitivas

A presente etapa teve como base conceitual para a identificação de regiões potenciais à produção da cana-de-açúcar, o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Para tanto considerou-se as diferentes fitogeografias, os aspectos restritivos legais e ambientais e as classes de aptidão edafoclimáticas, conforme o zoneamento agroambiental para a cultura (Figura 25).

Excluindo-se as áreas de produção especial, com limitação natural para uso e com restrição legal, como as unidades de conservação (implantadas ou potenciais), corredores de biodiversidade e terras indígenas, bem como regiões com ambiente de floresta, os parâmetros utilizados para a indicação das regiões potenciais tidas como favoráveis à implantação de empreendimentos sucroalcooleiros foram principalmente aqueles que apresentaram a classe de aptidão agroclimática “marginal” (apresenta restrição hídrica, mas torna-se apta com uso de irrigação de salvamento ou complementar) e aptidão edáfica natural regular.

Associado a isso, confrontou-se com a intensidade e tipo do uso da terra, infraestrutura (sistema de transporte e energia elétrica), recursos hídricos, distância das unidades produtoras de insumos agrícolas do Estado e sua disponibilidade, população da região, apoio institucional técnico-científico e a quantidade mínima de terras para a instalação de uma destilaria padrão.

Nesse sentido espera-se que os possíveis empreendimentos do setor que venham ser instalados no Estado utilizem tecnologias para o aumento da produtividade e da eficiência industrial, mas ao mesmo tempo reduzam a pressão sobre os recursos naturais, melhorem a situação econômica e social local e valorizem a identidade tocantinense nas suas particularidades regionais.

2.3.2.4.1 Uso da terra

A SEPLAN (2005) classificou de forma sintética as terras do Estado em cinco tipos de zonas de uso da terra, sendo: três zonas de diferentes intensidades de produção (uso intensivo, média e baixa intensidade), uma zona de produção especial e

uma zona crítica de uso legal restrito, controlado e de alta limitação natural para produção, conforme descrito a seguir (Figura 26).

Figura 26 – Síntese do uso da terra do Tocantins (adaptado da SEPLAN, 2007)

As áreas de uso intensivo para a produção perfazem o total de 107.423 km², correspondendo a cerca de 38,7% da área total do Estado. As terras pertencentes a esta categoria equivalem àquelas destinadas ao aproveitamento com fins agrícolas (culturas de ciclos curto e longo) e de pecuária (pastagem plantada), apesar desta atividade ser menos intensiva que as culturas agrícolas.

Desse total, 63% destas áreas são destinadas à agricultura e o restante à pecuária mais tecnificada, sendo que as áreas para fins agrícolas ocupam

aproximadamente 15.757 km² (14,7%), em ambiente de floresta ombrófila e estacional, e o restante (48,3%) está localizado no cerrado.

Já as atividades de pecuária desenvolvidas em ambiente de floresta correspondem a 8%, e no cerrado ocupam cerca de 29%. Nesse sentido, as atividades agropecuárias mais tecnificadas são desenvolvidas predominantemente no cerrado (77,3%).

As áreas de uso de média intensidade para produção apresentam aproximadamente 14.291 km² (5,1% da área total do Estado), e estão localizadas na porção oeste do Tocantins. As terras pertencentes a esta categoria estão distribuídas na região de cerrado, sendo destinadas preferencialmente ao aproveitamento pecuário, através de pastagem plantada ou natural, bem como atividades relacionadas à silvicultura.

As áreas classificadas de uso de baixa intensidade para produção correspondem a 31,8% da área total do Estado (88.141 km²), e também estão distribuídas na região de cerrado. Apresentam de forma geral, aptidão para a silvicultura e pastagem natural.

As terras pertencentes à categoria de áreas especiais de produção estão localizadas em região de cerrado, totalizando 9.228,2 km² (3,4% do território tocantinense). Apresentam aptidão para pastagem plantada e lavoura (culturas de ciclos curto e longo) com limitações moderadas à fortes para produção sustentada, pois quase sempre exige alta aplicação de capital para superar fatores como o excesso de água e deficiência de nutrientes, uma vez que há o predomínio de várzeas, cujas áreas estão sujeitas à inundações estacionais.

A zona crítica de uso legal restrito, controlado e de alta limitação natural para produção englobam duas categorias: as áreas críticas e as áreas de uso legal restrito, controlado e potenciais para conservação ambiental.

Com relação à primeira categoria as terras não apresentam aptidão agropecuária, devido as suas fortes limitações naturais (tipos de solos e áreas muito declivosas), sendo indicadas para conservação e preservação ambiental. Entretanto em alguns locais é possível a utilização destas áreas para florestamento e fruticultura tropical com práticas conservacionistas, ambas com elevada aplicação de capital.

A segunda categoria que compreende as áreas de uso legal restrito e controlado e áreas potenciais para conservação ambiental, refere-se às áreas indígenas, reservas extrativistas e as unidades de conservação. Estas últimas são compostas por parques nacionais e estaduais, áreas de proteção ambiental, estação ecológica, corredores ecológicos e monumento natural, além de áreas representativas potenciais para a conservação da biodiversidade (Figura 12a).

Em diversas localidades das regiões noroeste, central, sudeste e sul do Estado apresentam declives mais acentuados ($> 15\%$), sendo estas terras consideradas marginais para o cultivo da cultura, uma vez que a mecanização é dificultada ou impedida (RANIERI; BARRETTO; KLUG, 2007).

No entanto, a maioria do território do Tocantins (85 a 90%) apresenta declividade entre 0 a 15%, de acordo com o modelo de elevação digital utilizado e SEPLAN (2005). Isto faz com que o Estado seja considerado de alta aptidão agrícola e para o cultivo da cana-de-açúcar, uma vez que o relevo favorece à mecanização.

2.3.2.4.2 Infra-estrutura de transporte e energia elétrica

O sistema de transportes do Tocantins apresenta como modalidades, o rodoviário, hidroviário e ferroviário em implantação.

Caixeta-Filho (2001) afirma que um setor de transportes competitivo é fundamental para o crescimento econômico e para aumentar a eficiência da movimentação de cargas agrícolas são necessárias estratégias de integração para modais de transportes.

No sentido leste-oeste, a interligação do Tocantins com outros estados do país se dá pelas rodovias BR-235 e BR-242. A BR-235 faz ligação entre o sul do Pará e o norte do Mato Grosso, passando pelo centro do Estado, e o sistema rodoviário do Nordeste, através do sul do Maranhão e Piauí. A BR-242 faz outra importante ligação entre a planície do Araguaia (produtora de grãos), a região sudeste do Tocantins e os mercados da Bahia e Nordeste brasileiro (ALMEIDA, 2004).

A Figura 27 ilustra a rede intermodal de transporte existente e planejada para o Estado.

Figura 27 – Rede intermodal de transporte existente e planejada, em 2005 e o sistema energético implantado e projetado para o Estado (adaptado do SEPLAN, 2007)

A extensão total da rede rodoviária do Tocantins em 2006 representava 14.008 km. Desse total, 1.940 km (13,8%) são de jurisdição federal e 12.068 km (86,2%) estadual, com 71% e 40% asfaltadas, respectivamente (TOCANTINS, 2006).

No que se refere à navegação interior, o Estado ainda depende da consolidação da hidrovía Tocantins-Araguaia, a qual é importante para a captação e destino de insumos e para o escoamento dos produtos agrícolas tocantinenses e dos demais estados circunvizinhos. Isso pode ser observado com a movimentação de cargas em parte desta hidrovía realizada entre 1998 e 2000 originadas dos portos de Água Boa –

MT (soja) e Couto Magalhães – TO (calcário), com destino à Xambioá – TO e à região de São Felix do Araguaia - MT, respectivamente (ALMEIDA, 2004).

Com relação à ferrovia que é fundamental na consolidação do sistema de transporte intermodal, encontra-se em construção a ferrovia Norte-Sul, com extensão de 497 km dentro do Estado e que atualmente está pronta até o município tocantinense de Araguaína. O Programa de Aceleração do Crescimento – PAC infra-estrutura liberou este ano, recursos para obras da ferrovia referente ao trecho: Palmas – TO a Anápolis – GO (TOCANTINS, 2007; BRASIL, 2007c).

Pela Figura 28, observa-se que no sentido norte, a ferrovia Norte-Sul possibilitará a ligação com a ferrovia Carajás (892 km) e a partir daí com o Porto de Itaqui no Maranhão, ou com a hidrovía Tocantins (eclusa em Tucuruí) até o Porto em Belém no Pará favorecendo a comunicação com o mercado externo. Já no sentido sul a ferrovia atingirá a cidade de Anápolis – GO interligando aos mercados do Centro-Sul do País (ALMEIDA, 2004; BRASIL, 2007c).

Estudos importantes que deverão gerar reflexos positivos no estado do Tocantins encontram-se em andamento pelo governo federal e referem-se a implantação de duas novas ferrovias se conectando à ferrovia Norte-Sul que são: a) Conexão Transnordestina/Norte-Sul que ligará Estreito - MA a Eliseu Martins – PI e b) Ferrovia de Integração Oeste-Leste que interligará a ferrovia Norte-Sul em Alvorada –TO a Ilhéus – BA (BRASIL, 2007c).

Diversos projetos de melhoria da infra-estrutura de transportes na Amazônia Legal estão em andamento, dentre eles o Corredor de Transporte Multimodal Centro-Norte, com destino final ao Porto de Itaqui, sendo que o Tocantins encontra-se numa posição estratégica por propiciar a interligação dos distintos modais hidro-rodoviário (Figura 28). Este corredor é composto por dois eixos: a) rio Araguaia (até Xambioá -TO) – sistema rodoviário (Xambioá -TO à Estreito - MA) – ferrovia Norte-Sul – ferrovia Carajás e b) rio Tocantins – ferrovia Norte-Sul – ferrovia Carajás (COSTA; CAIXETA-FILHO; ARIMA, 2001).

Figura 28 – Corredor de Transporte Multimodal Centro-Norte e alternativas atuais e futuras de transporte para a movimentação de produtos agrícolas

Caixeta-Filho (2001a) comenta que os modais não tradicionais como o ferroviário e o hidroviário, são mais eficientes para a movimentação de cargas e produtos agrícolas considerando longas distâncias, uma vez que o transporte rodoviário seria recomendado para distâncias menores do que 500 km, o ferroviário entre 500 e 1.200 km e o hidroviário, para distâncias superiores a 1200 km.

A consolidação do sistema de transportes multimodal beneficiará de forma significativa o Tocantins, devido à movimentação de insumos para as regiões de produção e produtos acabados para as áreas de consumo do Estado, país e do exterior. Além da melhoria das condições de escoamento da produção agrícola e barateamento do frete, esses empreendimentos poderão intensificar as atividades

produtivas no Estado, além da incorporação de novas áreas destinadas à produção, inclusive do setor sucroalcooleiro.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é o potencial energético das bacias do Araguaia e Tocantins (Figura 27). Estima-se que este potencial no Estado seja de 10.245 MW, sendo que tem-se atualmente usinas hidrelétricas em operação gerando em conjunto 1.417 MW e cerca de 14 usinas projetadas, as quais gerarão em torno de 6.435 MW. Além disso, encontra-se em andamento a construção de 6 pequenas centrais hidrelétricas – PCH (102 MW) e duas grandes obras: as UHEs de São Salvador e Estreito, que após concluídas produzirão juntas o equivalente a 1.330 MW (SEPLAN, 2005).

O Tocantins é favorecido também pela Linha de Transmissão - LT Norte-Sul com fluxo de 1.200 MW que interliga o sistema de geração e distribuição de energia das regiões Norte e Sudeste do país (SEPLAN, 2005). Além dela, a obra de implantação da LT Norte-Sul III ligando Marabá-PA a Serra da Mesa – GO foi recentemente concluída com recursos do PAC infra-estrutura (BRASIL, 2007c). Visando a melhoria do bem-estar da população rural, aumento da produção e desenvolvimento da agroindústria tem sido implantado redes com linhas de transmissão de 13,8 kV e 34,5 kV por todo o território (SEPLAN, 2004).

2.3.2.4.3 Produção e disponibilidade de insumos agrícolas

A ocorrência de rochas carbonáticas que são base para a produção de calcário utilizado na correção de solos para cultivo agrícola, apresenta uma ampla distribuição no Estado e foram constatadas em 28 municípios. Desse total, em 12 municípios funcionam 17 unidades produtoras de calcário, sendo que a maior concentração delas estão localizadas na região sudeste (11 unidades) e o restante nas regiões sudoeste, centro-oeste e noroeste do Estado, com duas unidades em cada (MARTINS, 2008), conforme pode ser visualizado na Figura 29.

Figura 29 – Ocorrências e unidades produtoras de insumos agrícolas no estado do Tocantins

A capacidade instalada para produção de calcário é de cerca de 2,5 milhões de t.ano⁻¹ e aproximadamente 70% da produção no Tocantins é destinada a outros mercados, especialmente para a Bahia (MARTINS, 2008).

Outro insumo agrícola essencial à agricultura produzido no Estado é o fosfato obtido em Arraias (região sudeste), cuja produção anual é de 24 mil t, sendo 80% vendido para Goiás (MARTINS, 2008).

A produção destes insumos agrícolas no próprio Estado colaboram para desonerar o custo de produção dos cultivos, inclusive da cana-de-açúcar, devido ao valor do frete, caso sejam provenientes de outras localidades do país.

2.3.2.4.4 Apoio técnico e científico local

No Tocantins existem organizações públicas e privadas que executam e/ou apóiam atividades de pesquisa agropecuária e desenvolvimento rural. De acordo com Collicchio (2006a), em 2005 a quantidade de pesquisadores com atuação nessas áreas era de 174 profissionais, os quais pertenciam a um conjunto de 4 universidades e uma organização de pesquisa. Nesse arranjo institucional voltado à C&T agropecuária estão presentes organizações de pesquisa e de extensão rural, escolas agrotécnicas, e universidades que oferecem cursos de graduação, de especialização e de mestrado em diversas áreas do conhecimento e em áreas específicas às ciências agrárias e meio ambiente. Tais cursos poderão apoiar o setor sucroalcooleiro localmente, através da realização de pesquisas, validação de tecnologias e realização de cursos técnicos específicos voltados para capacitação da mão-de-obra e formação de gestores. Além disso, os empreendimentos canavieiros poderão oferecer estágios e futuros empregos aos alunos de graduação destas universidades e técnicos das escolas tecnológicas.

A maioria destas instituições possuem atuação em vários municípios do Estado, por estarem localizadas fisicamente por meio de suas sedes e/ou unidades descentralizadas, ou através de parcerias, mostrando a capilaridade deste conjunto de organizações.

2.3.2.4.5 Destilaria padrão

Para a instalação física de uma destilaria padrão visando a produção de etanol, além de estudos mais detalhados na região de interesse é necessário que tenha uma área agrícola que disponha de 30.000 a 35.000 ha, computada 20% de reserva legal,. Este tamanho de área é fundamental para que a produção prevista de cana-de-açúcar alimente a destilaria durante pelo menos 167 dias úteis no ano safra, que refere-se ao seu período médio de operação.

A capacidade média de moagem anual atinge cerca de 2.004.000 t de colmos (TC), para isso a moagem diária deve ser de cerca de 12.000 TC. Considerando o rendimento industrial para a produção de etanol de 80 litros por TC, uma destilaria padrão tem capacidade de produzir 960.000 l.dia⁻¹ e cerca de 160 milhões de litros numa safra (UNICAMP, 2005; ROSSEL, 2007).

2.3.2.4.6 Regiões potenciais para produção de etanol

Para realizar a indicação das regiões potenciais para produção da cana-de-açúcar considerou-se apenas onde já existe uso agropecuário, não sendo necessário a incorporação de novas áreas ao processo produtivo, a fim de evitar desmatamento. Salienta-se que essas regiões, não estarão isentas da necessidade de irrigação (salvamento ou suplementar), mas comparavelmente utilizarão menor quantidade de água em relação às áreas cuja aptidão agroclimática é “restrita”.

Regiões com aptidão edáfica favorável e agroclimática “restrita”, não foram indicadas para cultivo neste trabalho, devido à necessidade de irrigação plena (grande demanda por recursos hídricos), apesar de poder existir regiões que se comportem sem esta necessidade preemente.

Por outro lado, a região noroeste que possui o ambiente mais favorável ao cultivo da cana-de-açúcar evitou-se indicá-la como área potencial de produção, porque está localizada na região fitogeográfica de floresta, mesmo que atualmente encontra-se desmatada. Esta região apresenta aptidão edáfica natural regular, uma vez que concentram-se solos Argissolos e Latossolos, que se bem manejados favorecem ao cultivo, além de ser a única região do Estado que apresenta aptidão agroclimática “apta” para seu cultivo, ou seja, sem necessidade do uso de irrigação. Este princípio de precaução pode evitar futuras pressões do mercado externo e políticas ambientais que visam proteger o bioma Amazônico de atividades agropastoris e especialmente monocultivo.

Outras duas regiões do Tocantins foram desconsideradas neste trabalho, mesmo com possibilidades de cultivo, devido as fragilidades ambientais e grande concentração de áreas legalmente protegidas, como a região do Jalapão (leste) e o Bico do Papagaio (noroeste-norte), este por ter um zoneamento de aptidão agrícola específico, numa escala mais detalhada, além da presença do ambiente de floresta e de áreas legalmente protegidas. Sendo assim foram indicadas três regiões com potencial à instalação de empreendimentos sucroalcooleiros, que são: 1) Sul, 2) Sudeste e 3) Central, conforme Figura 30.

Figura 30 – Regiões potenciais à produção mecanizada da cana-de-açúcar no Tocantins

(a)

(b)

Figura 31 – Regiões com potencial para produção de cana-de-açúcar: (a) Região-Pólo 1 do Sul e b) Região-Pólo 2 do Sudeste

A região 1 – Sul apresentada na Figura 31a, engloba parcial e especialmente os municípios de Gurupi, Dueré, Aliança do Tocantins, Peixe e São Valério da Natividade, com uma área estimada de 6.500 km² e uma população aproximada de 95.132 habitantes em 2004, que representava 12% da população do Tocantins, sendo que Gurupi é a terceira cidade mais populosa do Estado, com 69.727 habitantes (SEPLAN, 2005).

Possui cerca de 4.750 km² de solos com aptidão edáfica regular (favorável), sendo que há o domínio dos Latossolos (Latosolos Vermelho-Amarelos e Latossolos-Amarelos), os quais estão distribuídos por toda a região, com exceção nas porções oeste e leste, onde ocorrem maior predomínio da associação de Plintossolos Pétricos e Háplicos. Em menor proporção são encontrados Argissolos (porção leste), Neossolos Litólicos (no município de Gurupi e porção leste) e Gleissolos nas áreas de baixada dos afluentes e no rio Tocantins. O uso das áreas para aproveitamento para fins agrícolas (maioria) e de pecuária nesta região é considerado pela SEPLAN (2005) como intensivo, demonstrando a sua aptidão natural e a vocação regional para produção (Figura 26).

A região é servida por uma conservada e bem distribuída malha rodoviária asfaltada e estradas vicinais, o que pode favorecer ao tráfego dos caminhões do tipo “Romeu e Julieta”, treminhão (capacidade de 35 t) ou rodotrem (capacidade de 50 t), comumente utilizado pelo setor sucroalcooleiro. Dois tipos de modais, cortam a região de norte a sul, a rodovia BR 153 que margeia a cidade de Gurupi e a ferrovia Norte-Sul, cujo trajeto está previsto para passar a aproximadamente 50 km à leste de Gurupi. Sua posição estratégica poderá tornar a região fortemente produtora de grãos e etanol, e ao mesmo tempo ser um tronco de interligação para viabilizar o escoamento da produção de toda a região sul do Estado.

Apresenta boa disponibilidade de energia elétrica e de recursos hídricos para atender a irrigação e a parte industrial, especialmente com a existência dos reservatórios das usinas hidrelétricas na área de abrangência. Esta região engloba as bacias hidrográficas do Rio Formoso (sistema hidrográfico do Rio Araguaia), do Rio Santo Antônio, Rio Crixás e Rio Tocantins, as quais pertencem ao sistema hidrográfico do Rio Tocantins.

Quanto à disponibilidade de calcário, esta região notadamente Gurupi fica posicionada próxima de quatro municípios produtores deste insumo agrícola, Formoso do Araguaia (80 km), Lagoa da Confusão (120 km), Natividade (200 km) e Palmeirópolis (240 km). Já o fosfato poderá ser obtido apenas no município de Arraias, onde está situada a única jazida do Estado.

Com relação ao aspecto técnico e científico local, a região é privilegiada pela presença de instituições públicas e privadas de consultoria e extensão rural, de escolas agrotécnicas e de universidades. Dentre as escolas técnicas destaca-se a Fundação Bradesco localizada em Formoso do Araguaia e o Colégio Agrícola de Natividade, que são instituições tradicionais e formadoras de técnicos para atuarem no setor produtivo. Em Gurupi estão instaladas duas instituições de ensino superior que podem apoiar futuros empreendimentos sucroalcooleiros, como a Universidade Federal do Tocantins – UFT que possui cursos na área de Ciências Agrárias, como Agronomia e Engenharia Florestal e a Universidade Regional de Gurupi – UNIRG, que dispõe de cursos em diversas áreas do conhecimento.

Esta região, caso necessite apresenta a possibilidade de expansão da área de cultivo, para o leste e sul do Estado. Contudo, existem algumas restrições com relação ao uso do solo devido à presença de relevo acidentado com declives superiores a 30% e geralmente associados a solos Neossolos Litólicos que ocorrem em algumas regiões dos municípios de Gurupi e de São Valério da Natividade. Além disso, há áreas com restrições legais de uso, que são as APAs Foz do Rio Santa Teresa e a Lago Peixe/Angical, localizadas à leste de Gurupi.

Lembrando que uma destilaria padrão precisa de uma área agrícola de 30 a 35 mil hectares, já incluso 20% de reserva legal (UNICAMP, 2005), Como no Tocantins a área de reserva legal corresponde a 35% (SEPLAN, 2005), seria necessário uma área total entre 35 mil e 40 mil ha, respectivamente. Sendo assim, nesta região supondo não haver outras restrições e apenas para efeito de cálculo, se for utilizada toda a área favorável existente, poderia comportar fisicamente cerca de 11 destilarias, com capacidade média de produção estimada de 1,7 milhões de m³ de etanol por safra.

A região 2 – Sudeste apresentada na Figura 31b, possui uma área estimada de 7.000 km² englobando de forma parcial ou total os municípios de Natividade, Almas,

Porto Alegre do Tocantins, Dianópolis, Conceição do Tocantins e Taipas do Tocantins, que apresentam no conjunto uma população total em 2004, de 43.551 habitantes (3,4% do Estado), sendo o município de Dianópolis o mais populoso, com 16.537 pessoas (SEPLAN, 2005).

A aptidão edáfica natural predominante é regular, com uma área aproximada de 6.200 km², portanto favorável ao cultivo, desde que se utilize o manejo adequado dos solos, o que confirma o uso intensivo destas áreas para fins agropecuários (Figura 26). Há uma grande ocorrência em quase a totalidade da região de Argissolos Vermelho-Amarelos. Manchas de Latossolos Vermelho-Amarelos e Vermelhos e associação de Plintossolos Pétricos e Háplicos também ocorrem na região. Solos com restrição à produção como os Neossolos Litólicos são encontrados no entorno de quase toda a região, onde estão associados normalmente a relevos acidentados, com declividade superior a 15%.

Possui uma malha rodoviária asfaltada recente e de boa qualidade, que circunda toda a região interligando as divisas de Goiás e Bahia. Apesar de ficar localizada fora do eixo da rodovia Belém-Brasília e da ferrovia Norte-Sul, a instalação de empreendimentos sucroalcooleiros associados ao recém-implantado projeto hidroagrícola Manuel Alves poderão induzir ao crescimento regional. Além disso, está projetada a construção da ferrovia da Integração Oeste-Leste que interligará a ferrovia Norte-Sul ao litoral baiano passando por esta região (Figura 28).

Apresenta boa disponibilidade de recursos hídricos, com destaque para a bacia do rio Manuel Alves, cuja área chega a quase 14,8 mil km² (SEPLAN, 2005) e a rede de energia elétrica regional encontra-se em expansão.

A região encontra-se localizada onde tem a maior concentração de jazidas e unidades produtoras de calcário do Tocantins (Figura 29), totalizando 11 indústrias para produção deste insumo e uma jazida de fosfato. Esta disponibilidade regional favorece a redução do valor do frete e consequentemente a diminuição do custo de produção da cultura.

Ao contrário da região 1, o apoio técnico-científico local é menor, mas estão presentes na região o órgão oficial de extensão rural (Ruraltins) e o Colégio Agrícola de Natividade, os quais poderão colaborar com o desenvolvimento da cultura e do setor

sucroalcooleiro, através de parcerias com outras instituições de pesquisa não presentes localmente, como o órgão estadual de pesquisa agropecuária, a UNITINS AGRO.

A expansão da área de produção nesta região tende a ter mais dificuldade, devido a barreiras naturais existentes, áreas de uso legal restrito e regiões com maiores deficiências hídricas, sendo que há possibilidade de expansão para oeste. Observa-se que ao norte existem restrições quanto à presença da APA Serra da Mombuca (área potencial para conservação) e áreas com maiores deficiências hídricas. Ao sul as restrições são a presença de barreiras naturais (morros e serras) com declives superiores a 15%, áreas com condição climática desfavorável e aptidão edáfica natural restrita. À leste a ocorrência de serras e a APA Rio Palmeiras (área potencial para conservação), também limitam a expansão da cultura. Na porção oeste apesar da existência de morros e serras há possibilidade da expansão da produção em regiões planas.

Fazendo uma suposição semelhante à região 2, nesta região poderia funcionar até 15 destilarias padrões, com capacidade média de produção de 2,4 milhões de m³ de etanol por safra.

A região 3 – Central (Figura 32) apresenta uma área aproximada de 12.000 km² envolvendo parcial ou totalmente os municípios de Paraíso do Tocantins, Barrolândia, Monte Santo, Miracema do Tocantins, Porto Nacional, Lajeado, Palmas, Aparecida do Rio Negro e Monte do Carmo, com uma população regional em 2004 de cerca de 318.426 habitantes, correspondendo a 25% da população estadual (SEPLAN, 2005).

A aptidão edáfica natural nesta região é parcialmente favorável com a ocorrência predominante de Latossolos, mas com presença em grande proporção de associação de Plintossolos Pétricos e Háplicos, os quais dependendo da situação podem ser manejados e adequados ao cultivo. São encontrados também Neossolos Quartzarêncos e Neossolos Litólicos em menor quantidade.

A área ocupada por solos com classe de aptidão favorável ao cultivo da cana-de-açúcar corresponde a 3.700 km².

Nesta região o uso da terra para produção acontece em uma parte de forma intensiva e em outra com baixa intensidade, mas com predomínio da primeira (Figura 26).

Figura 32 – Região-Pólo 3 Central, com potencial para produção de cana-de-açúcar

Quanto à infra-estrutura, a região central apresenta fácil acesso rodoviário, com boa distribuição de sua malha, tanto asfaltada quanto as estradas vicinais.

Esta região será beneficiada pela proximidade de três tipos de modais, a rodovia BR 153 (60 km à oeste da capital), ferrovia Norte-Sul (aproximadamente à 25 km à oeste de Palmas) e hidrovia Tocantins-Araguaia (cerca de 50 km ao norte de Palmas).

A plataforma intermodal de Palmas projetada para funcionar integrando os transportes rodo, ferro, hidro e aeroviário será instalado ao sul da capital, as margens do reservatório da UHE Luis Eduardo Magalhães e próxima ao aeroporto de Palmas.

Depois que começar o seu funcionamento será um dos mais importantes centros de estocagem, distribuição e de serviços da região Norte do país.

Além disso, a região possui boa disponibilidade de energia elétrica e de recursos hídricos, para uso na irrigação e indústria, notadamente a presença do reservatório da UHE Luís Eduardo Magalhães. Cinco bacias hidrográficas atendem esta região, que são: a bacia do Rio Tocantins (maior área), do Ribeirão dos Mangues, do Rio das Balsas, do Rio do Sono e do Rio do Côco, sendo que esta última pertence ao sistema hidrográfico do Rio Araguaia (SEPLAN, 2005).

Com relação à disponibilidade de calcário, num raio máximo de 250 km encontram-se instaladas 5 unidades produtoras que poderiam fornecer este insumo à região e quanto ao fosfato, a única indústria encontra-se localizada no sudeste do Estado (Figura 29).

Uma questão muito favorável nesta região é a presença de instituições públicas e privadas que atuam em ciência e tecnologia – C&T agropecuária e meio ambiente. Apenas em Palmas encontram-se instaladas as sedes das organizações oficiais de pesquisa (UNITINS AGRO) e extensão (Ruraltins), Escola Técnica Federal, Embrapa e cinco universidades que oferecem cursos de graduação em Agronomia, Agronegócio, Administração, Engenharia Ambiental, Engenharia Agrícola, Engenharia de Alimentos, dentre outros e de pós-graduação em Agroenergia e Meio Ambiente. Além disso existe o Centro Agrotecnológico de Palmas, espaço onde são realizadas pesquisas e validações de tecnologias em agropecuária, sob a forma de parceria com diversas instituições, e que poderá colaborar com as atividades sucroalcooleiras, inclusive na capacitação de recursos humanos.

No entanto há algumas restrições quanto ao uso do solo devido à presença de barreiras naturais e restrições legais ao cultivo, como a serra do Carmo e áreas de proteção ambiental instaladas nas proximidades de Palmas e a serra do Estrondo perto de Paraíso do Tocantins. Ao norte, leste e sul desta região observa-se condições de aptidão climática menos favoráveis, caracterizadas pela elevada deficiência hídrica. Existem amplas áreas planas propícias ao cultivo, situadas ao sul de Palmas, a partir da margem esquerda do rio Tocantins seguindo para o sentido oeste e a leste da serra do Carmo.

Diante dos aspectos analisados, esta região não havendo outros impedimentos poderia funcionar 9 destilarias padrões, com potencial total médio de produção de aproximadamente 1,4 milhões de m³ de etanol por safra.

Considerando as três regiões potenciais, juntas teriam a capacidade de abrigar até cerca de 35 usinas padrões, correspondendo a 3 *clusters*, pois de acordo com a UNICAMP (2005), um *cluster* refere-se a 15 usinas, com uma área aproximada de 525.000 hectares. Já a área total com aptidão favorável à atividade canavieira destas regiões, corresponderia a 14.650 km², ou 1,46 milhões de hectares (cerca de 5,3% do Estado), onde poderiam ser produzidos cerca de 4,7 milhões de m³ de etanol.

Ressalta-se que estes cálculos são suposições, apenas para estimar a quantidade máxima de usinas que os solos favoráveis existentes nestas regiões poderiam suportar em área. Nesse sentido, não indica-se a implantação de toda a área disponível com monocultivo, devido a existência de outras atividades agropecuárias, além do fato de demandar muita água para o cultivo da cana-de-açúcar nestas regiões.

2.3.2.4.7 Aspectos e políticas sócio-ambientais

Ressalta-se que este estudo é exploratório, uma vez que trabalhou-se com unidades de solos até o segundo nível hierárquico (sub-ordens) e numa escala de 1:1.000.000. Portanto necessita-se ajustar a escala de trabalho para melhorar a caracterização, grau de detalhamento e precisão, de quais locais dentro das regiões potenciais indicadas poderão ser melhores produtoras de cana-de-açúcar. Sendo assim indica-se obter o máximo de dados climáticos locais, detalhar melhor o relevo, caracterizar as bacias hidrográficas para conhecer a disponibilidade real de água para atender aos usos agrícolas e industrial, realizar levantamentos de solo na área de interesse para subsidiar na elaboração de planos de manejo direcionados para cada tipo de solo. Após a seleção das regiões potenciais indica-se iniciar pesquisas de campo referentes à avaliação do comportamento de variedades de cana-de-açúcar e estudos fitotécnicos, conforme recomendado por Ranieri; Barretto e Klug (2007).

Em estados pertencentes à Amazônia Legal e fora do bioma Amazônico, mas com potencial para produção de cana-de-açúcar, baseado num zoneamento agroclimático para a cultura, recomenda-se a formulação de políticas públicas

agroambientais específicas para o setor sucroalcooleiro, com o objetivo de atenuar ou evitar problemas ambientais e sociais semelhantes aos ocorridos em estados tradicionalmente produtores, conforme descrito por Martinelli e Filoso (2008).

Dentro destas políticas, a oficialização de zoneamentos agroclimáticos e ambientais, ou zoneamentos agroambientais, pelos governos estaduais é condição obrigatória para evitar que a expansão ocorra em regiões inadequadas sujeitas à prejuízos na produção e tornando vulneráveis a economia local e o meio ambiente.

O zoneamento agroambiental favorece a execução do planejamento agrícola e do meio ambiente do governo, uma vez que se novos empreendimentos cumprirem todas as responsabilidades para seu funcionamento poderão usufruir de benefícios específicos, como possíveis financiamentos públicos, incentivos fiscais, apoio à infraestrutura e apoio técnico-científico, de forma direcionada em regiões consideradas pólo pelo governo, evitando assim pulverização da aplicação de recursos públicos.

Outro ponto que merece destaque refere-se à certificação do etanol produzido de forma sustentável nesses estados, dentro de um contexto da elaboração e execução de planos de adequação sócio-ambiental – PSA das unidades produtivas, que deveria ser exigido pelos governos estaduais. Esses planos contemplariam medidas obrigatórias como o cumprimento integral das legislações específicas referentes às reservas legais e APP, destinação adequada de embalagens de agrotóxicos, tratamento de efluentes, reutilização racional de resíduos industriais, outorga e uso racional da água, assim como, melhoria da eficiência energética, redução de emissões, uso de tecnologias sustentáveis e menor pressão sobre os recursos naturais. Adicionalmente estes estados poderiam formular políticas preventivas e de mitigação antevendo problemas ambientais e sociais através da obrigatoriedade da colheita mecanizada na totalidade das áreas de produção com declividade até 12%, dispensando a queima. Esta medida reduziria sensivelmente as emissões de gases na atmosfera (N_2O , NO_x , CO e CH_4), problemas respiratórios, gasto excessivo com água na fase industrial, além de favorecer a uma maior cobertura do solo e melhor qualidade tecnológica da cana crua (LIMA, et al. 2001; MACEDO, 2001). Diminuiria também grandes migrações de cortadores de cana com contrato temporário (safristas), bem como a transferência de problemas sociais dos estados de origem destes trabalhadores para as regiões potencialmente

produtivas, conforme comentado por Novaes e Alves (2007). A UNICA (2007) estima que a colheita mecanizada no país represente em torno de 50% e o Brasil emprega entre 800 mil a 1 milhão de trabalhadores rurais no corte da cana, porém as novas vagas a serem criadas pela colheita mecanizada são estimadas em cerca de 30 mil. O Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro Paulista, assinado em 04/06/2007 (UNICA, 2008a), cujas indústrias tomarão medidas para eliminar a queima em 2014 e 2017, respectivamente, para as áreas consideradas mecanizáveis e não mecanizáveis e o Projeto de Lei 1712/07 em tramitação na Câmara Federal, que prevê o fim da colheita manual no país, até 2020 em terrenos com declividade máxima de 12% (ALVES; LARCHER, 2008) corroboram para o cenário da mecanização para o setor.

É inegável que a expansão da cana-de-açúcar segundo Jendiroba (2007) pode trazer impactos positivos, como o aumento e fortalecimento da economia da região, geração de empregos e renda para a população, aumento do nível tecnológico regional e cogeração de energia elétrica. No entanto, os estados sem tradição neste setor, como o Tocantins, deveriam autorizar novos empreendimentos sob a condição do uso da colheita mecanizada, a fim de evitar problemas sócio-ambientais futuros.

O PSA deveria contemplar a contratação de recursos humanos especializados e trabalhadores rurais da região ou do Estado, com contratos predominantemente não temporários, a fim de privilegiar o desenvolvimento local, através do aumento da empregabilidade, renda e fortalecimento do mercado regional. A parceria do Estado, município e empresa poderia estimular a capacitação de recursos humanos da região, através de pesquisas, cursos e treinamentos para desenvolvimento profissional específicos para o setor sucroalcooleiro.

O presente estudo pode servir como referencial preliminar para a escolha e localização de futuros projetos sucroalcooleiros no estado do Tocantins. Contudo, para a implementação de projetos desta magnitude recomenda-se a realização de estudos mais detalhados nas áreas consideradas potenciais para o empreendimento, conforme comentado anteriormente, bem como buscar informações junto aos órgãos estaduais responsáveis pela formulação e execução das políticas públicas em agropecuária e de meio ambiente.

2.3.3 Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar

De acordo com a Tabela 15, a temperatura anual média da climatologia atual ($25,7^{\circ}\text{C}$) aumentou para ambos os modelos e cenários, sendo que o maior incremento constatado foi no HadCM₃_A₁B, cuja temperatura atingiu $27,7^{\circ}\text{C}$, e a menor foi obtido no HadCM₃_B₁, com $27,2^{\circ}\text{C}$. Quanto à amplitude de cada classe analisada de modelos/cenários, que mostra a dispersão entre os menores e maiores valores de temperatura espacializados, observa-se que houve pouca diferença entre elas, com um pequeno acréscimo (0,4), com exceção do HadCM₃_A₁B, que houve uma redução (0,6).

Ao contrário do ocorrido com a temperatura registrou-se uma redução da precipitação média anual do clima local (1676 mm), para os dois cenários de ambos os modelos. O HadCM₃_B₁ com 1480 mm, foi o que mais diminuiu, correspondendo a uma redução média de 12%. A amplitude das classes para este parâmetro foi variada, mas com tendência de aumento (exceção do HadCM₃_B₁), mostrando a variação dos dados.

As variações espaciais da temperatura e precipitação da climatologia atual e de ambos modelos/cenários podem ser visualizadas nas Figuras 33 e 34.

Tabela 15 – Valores médios anuais e amplitude calculados para a temperatura e precipitação, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas em relação ao clima na condição atual (observado)

Modelos/ Cenários	Temperatura anual - Ta ($^{\circ}\text{C}$)		Precipitação anual – Pre (mm)	
	Ta média	Amplitude	Pre média	Amplitude
Clima Atual	25,7	3,6	1676	897
GFDL_B ₁	27,4	4,0	1615	1269
GFDL_A ₁ B	27,5	4,0	1543	1074
HadCM ₃ _B ₁	27,2	4,0	1480	797
HadCM ₃ _A ₁ B	27,7	3,0	1542	967

Notas: I - Médias do aumento da Ta média em relação ao clima atual:

a) modelos: GFDL = $+1,7^{\circ}\text{C}$ e HadCM₃ = $+1,8^{\circ}\text{C}$; b) cenários: B₁ = $+1,6^{\circ}\text{C}$ e A₁B = $+1,9^{\circ}\text{C}$

II - Médias da diferença da Pre média em relação ao clima atual:

a) modelos: GFDL = -6% e HadCM₃ = -10%; b) cenários: B₁ = -8% e A₁B = -8%

Figura 33 – Temperatura média anual - T_a ($^{\circ}\text{C}$) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário GFDL_B₁ e (c) modelo/cenário GFDL_A₁B e precipitação anual - Pre (mm) referente à: (d) climatologia atual; (e) modelo/cenário GFDL_B₁ e (f) modelo/cenário GFDL_A₁B

Figura 34 – Temperatura média anual - T_a ($^{\circ}\text{C}$) referente à: (a) climatologia atual; (b) modelo/cenário HadCM₃_B₁ e (c) modelo/cenário HadCM₃_A₁B e precipitação anual - Pre (mm) referente à: (d) climatologia atual; (e) modelo/cenário HadCM₃_B₁ e (f) modelo/cenário HadCM₃_A₁B

Comparando as médias dos resultados dos modelos (Tabela 15), destaca-se que em relação à climatologia atual, houve um incremento semelhante quanto à temperatura do ar e um decréscimo da precipitação anual em ambos, mas com maior viés negativo quanto à precipitação gerada pelo modelo HadCM₃, concordando com o apresentado por Marengo (2006).

A temperatura média mensal foram semelhantes numericamente para ambos os modelos, mas a precipitação gerada pelo modelo HadCM₃ foi ligeiramente menor do que a climatologia atual e o GFDL, conforme pode ser visualizado na Tabela 18 e na Figura 39.

Percebe-se que para o modelo GFDL houve um incremento médio de 1,7⁰C em relação ao clima atual e praticamente não mostrou diferença entre cenários B₁ (+1,7⁰C) e A₁B (+1,8⁰C), cujas temperaturas médias foram 27,4⁰C e 27,5⁰C, respectivamente. No entanto, nota-se a diferença no total anual de precipitação entre os cenários B₁ e A₁B, com 1615 mm e 1543 mm, respectivamente e com média do modelo de 1579 mm.

Em relação ao clima atual houve uma redução na média da precipitação de aproximadamente 6%, sendo que a diminuição média observada no cenário B₁, foi de 4% e no cenário A₁B, foi o dobro.

Considerando o modelo HadCM₃, nota-se que o aumento médio da temperatura anual em relação à do clima atual, foi de 1,8⁰C, semelhante à média do modelo GFDL (1,7⁰C). Contudo, nesse caso existe diferença quanto à magnitude entre os cenários B₁ e A₁B, de 0,5⁰C, os quais apresentaram Ta média de 27,2⁰C (acrécimo de 1,5⁰C) e 27,7⁰C (acrécimo de 2,0⁰C), respectivamente (Tabela 15).

Também ocorreu diferença entre os totais anuais de precipitação para os dois cenários, sendo observado 1480 mm em B₁ e 1542 mm em A₁B. A média do modelo HadCM₃ foi de 1511 mm, sendo inferior a do GFDL, em 68 mm, correspondendo a uma redução de 4%, da precipitação no ano, do GFDL para o HadCM₃.

Visualizando-se apenas as médias dos cenários dos dois modelos, depreende-se que houve um acréscimo de 1,6⁰C e 1,9⁰C, para os respectivos cenários B₁ e A₁B. Já para a precipitação anual média verificou-se uma redução de 8% das chuvas anuais para ambos os cenários.

Figura 35 – Diferenças das temperaturas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_B₁, (b) GFDL_A₁B, (c) HadCM₃_B₁ e (d) HadCM₃_A₁B (°C), para o período de 2021 a 2050, menos a temperatura média anual da climatologia atual (°C)

Figura 36 – Diferenças das precipitações provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_B₁, (b) GFDL_A₁B, (c) HadCM₃_B₁ e (d) HadCM₃_A₁B (mm), para o período de 2021 a 2050, menos a precipitação anual da climatologia atual (mm)

As Figuras 35 e 36 mostram as diferenças da temperatura média e precipitação anual da climatologia atual, menos as temperaturas e precipitações provenientes das projeções dos modelos/cenários estudados.

No GFDL_ B₁ observa-se um incremento da temperatura média anual em todo o Estado, com ênfase numa faixa diagonal estendendo-se no sentido sudoeste-nordeste. No GFDL_A₁B verifica-se a expansão desta faixa de aquecimento tendendo para o sul-sudeste do Tocantins.

Com relação ao HadCM₃_B₁ nota-se também um incremento da temperatura média em todo o território, bem como maior aquecimento numa faixa diagonal, à semelhança do GFDL_ B₁, porém com menor área. No HadCM₃_A₁B esta faixa de aquecimento estende-se significativamente em largura, tanto para o nordeste quanto para o sul-sudeste do Estado, além de aumentar ainda mais a temperatura na região do Bico do Papagaio.

Constata-se a presença de anomalias de chuva nas projeções de todos os modelos/cenários, quando comparados com a climatologia atual, conforme pode ser visualizado na Figura 35.

No GFDL_B₁ percebe-se redução de chuvas acentuada na região nordeste, com influências na porção central e contrastando com estas regiões nota-se um aumento das chuvas tanto no extremo norte quanto na região sudeste do Estado.

As anomalias de precipitação observadas no GFDL_A₁B são maiores do que a do modelo/cenário anterior, uma vez que foi registrada um declínio forte de chuvas numa ampla faixa com que se estende na diagonal no sentido sul-nordeste do Estado, sendo esta redução mais intensa na porção leste e nordeste. Ao mesmo tempo constatou-se acréscimos de precipitação nas regiões noroeste, norte e sudeste, mas numericamente inferiores a do GFDL_B₁.

No HadCM₃_B₁ ocorreu redução da precipitação em todo o território com maior intensidade na região sudoeste, onde se localiza a Ilha do Bananal. Já no HadCM₃_A₁B registrou-se também redução da precipitação tendendo da parte central até o extremo norte (região mais afetada), mas detectou-se aumento gradual das chuvas, do centro para o sul do Estado.

Ressalta-se que esses incrementos na temperatura simulados pelos modelos/cenários são projeções para ocorrer daqui há aproximadamente 30 anos, o que são significativos, quando comparados com o aumento médio da temperatura global no século XX registrada em $0,6^{\circ}\text{C}$ (MARENGO, 2006; IPCC, 2007).

Analizando a temperatura média do ar anual, mesmo com os resultados do modelo/cenário mais desfavorável (HadCM₃_A₁B), cujo acréscimo foi de 2°C , em que a temperatura média anual atingiria $27,7^{\circ}\text{C}$, não haveria restrição térmica ao cultivo da cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins. Isso porque as maiores temperaturas médias não atingiriam mais de 38°C (temperatura basal superior - TB), situação em que o crescimento da cultura é praticamente nulo (FAUCONIER; BASSEREAU, 1975; BARBIERI; VILLA NOVA, 1977).

Com referência a deficiência hídrica anual, pode ser observado na Tabela 16, que a Da mínima, que é o menor valor de Da obtido em um local do estado do Tocantins, passou de 245 mm (clima atual), para 404 mm, no cenário HadCM₃_B₁, gerando um incremento de cerca de 65%. De forma similar, a Da máxima também aumentou de forma expressiva (61%), passando de 587 para 946 mm (GFDL_B₁). A Da média calculada para o cenário de clima atual foi de 411 mm, no entanto para o cenário HadCM₃_B₁, esse valor atingiu a média de 617 mm chegando a aumentar em 50%.

Tabela 16 – Valores médios calculados para a deficiência hídrica anual mínima, máxima, média e amplitude, considerando os modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Deficiência hídrica anual - Da (mm)			
	Da mínima	Da máxima	Da média	Amplitude
Clima Atual	245	587	411	342
GFDL_B ₁	284	946	555	662
GFDL_A ₁ B	324	887	600	563
HadCM ₃ _B ₁	404	819	617	415
HadCM ₃ _A ₁ B	285	927	609	642

Notas: I - Médias da Da média:

a) modelos: GFDL = 577 mm e HadCM₃ = 613 mm e b) cenários: B1 = 586 mm e A₁B = 604 mm

II - Médias do aumento da Da média em relação ao clima atual:

a) modelos: GFDL = +40% e HadCM₃ = +49% e b) cenários: B1 = +42% e A₁B = +47%

Espacialmente pode ser percebida a distribuição dos valores correspondentes as diferenças de Da da climatologia atual menos as Da de cada modelo/cenário, como mostra a Figura 37

De modo geral visualiza-se um incremento da Da para todos os modelos/cenários, mas com variações de intensidade regionais.

No GFDL_B₁ detectou-se um aumento expressivo da Da na região nordeste, mas em contraponto obteve-se reduções da Da no extremo norte e no sudeste do Estado.

Considerando o mesmo modelo, mas para o cenário A₁B, nota-se que a Da aumentou significativamente em área, ocupando uma faixa ampla que se estende da região sul até a nordeste e leste do Estado. Porém constata-se neste cenário reduções da Da nas mesmas regiões observadas no cenário B₁, acrescida da região nordeste.

Quanto ao HadCM₃_B₁ não observou-se redução de Da, no entanto o aumento da Da ocorreu fortemente na região sudoeste do Tocantins, contrastando com o modelo GFDL para o mesmo cenário em relação à localização, cujo aumento da Da ocorreu fortemente na região nordeste.

No HadCM₃_A₁B pode ser notado que houve incremento da Da nas regiões oeste, nordeste e extremo norte do Estado, com maior pronunciamento nesta última. Percebe-se também uma redução da Da na porção sul do território.

Confrontando com o GFDL para este mesmo cenário nota-se também que as elevações da Da para cada modelo responderam de forma diferente, sendo que o GFDL mostrou uma tendência de aumento numa faixa diagonal correspondendo ao sentido sul-nordeste, enquanto que o HadCM₃ apresentou uma tendência de incremento gradativo da região centro-leste, até ficar mais intenso no norte do Estado, a partir aproximadamente do paralelo 10, além de aumentar também a Da na parte oeste do Tocantins.

Figura 37 – Diferenças das deficiências hídricas provenientes dos modelos/cenários: (a) GFDL_B₁, (b) GFDL_A₁B, (c) HadCM₃_B₁ e (d) HadCM₃_A₁B (mm), para o período de 2021 a 2050, menos a deficiência hídrica anual da climatologia atual (mm)

O aumento da temperatura anual verificado em ambos os modelos e cenários, associado às alterações dos totais de precipitação anual em relação ao clima atual, provocou reflexos nos balanços hídricos, gerando um aumento na deficiência hídrica anual média de cada cenário e na média dos modelos, conforme esperado e também observado por Barbarisi et al (2007), uma vez que implicou na elevação proporcional nas taxas de evapotranspiração.

Tal fato pode ser visualizado na Tabela 16, que mostra a Da média dos modelos GFDL (577 mm) e HadCM₃ (613 mm), correspondendo aos respectivos incrementos de 40% e 49% sobre a Da média do clima atual, assim como os aumentos da Da média de 42% para o cenário B₁ e de 47% para A₁B.

Resultados concordantes foram obtidos por Salati et al (2007), ao calcularem balanços hídricos para cenário de baixa emissão (B₂), para o mesmo período e utilizando os dados dos mesmos modelos deste trabalho, para a Amazônia. Constataram também que na média, o modelo HadCM₃ para este cenário apresentou maior deficiência hídrica anual do que o GFDL.

Comparando a situação climática atual com os resultados das simulações dos modelos e cenários: GFDL_B₁, GFDL_A₁B, HadCM₃_B₁ e HadCM₃_A₁B, sobre o zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar, observa-se que houve uma mudança extrema com relação à aptidão da cultura dentro do Estado (Figura 38).

Mesmo com o modelo/cenário mais otimista (GFDL_B₁), já constata-se uma acentuada alteração no delineamento do zoneamento agroclimático para a cana-de-açúcar no Estado, ocorrendo redução das áreas com possibilidades de cultivo da cultura com irrigação de salvamento ou suplementar (classe de aptidão “marginal”), deslocando-as para as regiões noroeste e no extremo sudeste do Tocantins (Figura 38a), ampliando a área de aptidão climática “restrita” para aproximadamente 96% (Tabela 17).

Considerando o modelo/cenário GFDL_A₁B, a Da apresentaria uma variação de 324 a 887 mm, sendo assim, áreas com aptidão “marginal” passariam para “restrita”, fazendo com que praticamente todo o Estado necessitasse de irrigação plena (98,3%), com exceção da região noroeste e pequena porção no sudeste (1,7% da área) que continuaria sendo classificada como aptidão “marginal” (Figura 38c).

Figura 38 - Zoneamento agroclimático para a cultura da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando os modelos/cenários: (a) GFDL_B1, (b) GFDL_A1B, (c) HadCM3_B1 e (d) HadCM3_A1B, para o período de 2021 a 2050

Nesse sentido, dentro do mesmo modelo (GFDL) e cenários distintos registra-se que houve um decréscimo da área da classe “marginal” de 4% em B₁, para 1,7% em A₁B.

O modelo/cenário HadCM₃_B₁ causaria um impacto mais severo sobre o zoneamento, uma vez que a totalidade do Estado teria restrição climática para o cultivo de sequeiro da cana-de-açúcar, devido à elevada deficiência hídrica anual, uma vez que a Da mínima seria de 404 mm e a máxima atingiria 819 mm.

Na situação HadCM₃_A₁B verifica-se uma pequena área representando 2% do total, localizada na porção sul-sudeste do Estado, com classe de aptidão “marginal”. Esse pequeno aumento da área restrita em relação ao HadCM₃_B₁ provavelmente aconteceu porque a Da mínima calculada em A₁B foi inferior (285 mm) e a Da média também foi menor.

Para este fato percebe-se também que do cenário B₁ para A₁B houve um deslocamento da “mancha” de Da mais acentuada da região sudoeste-sul para a nordeste-norte do Estado (Figuras 37c e 37d). Isso devido possivelmente ao incremento da temperatura média anual nas regiões centro-norte do Estado, conforme observado nas Figuras 35c e 35d, associado à redução das chuvas na porção nordeste-norte e aumento da pluviosidade em toda região sul do Tocantins (Figuras 36c e 36d).

Tabela 17 – Área estimada do estado do Tocantins em percentual, por classe de aptidão climática para cultivo da cana-de-açúcar resultante da simulação dos distintos modelos e cenários de mudanças climáticas, em relação ao clima na condição atual

Modelos/ Cenários	Área do Estado por classe de aptidão climática ¹ (%)		
	Apta	Marginal	Restrita
Clima Atual	0,1	41,7	58,2
GFDL_B ₁	0,0	4,0	96,0
GFDL_A ₁ B	0,0	1,7	98,3
HadCM ₃ _B ₁	0,0	0,0	100,0
HadCM ₃ _A ₁ B	0,0	2,0	98,0

¹ Área aproximada estimada pelo SIG

Com referência apenas aos efeitos dos cenários entre os modelos sobre o zoneamento agroclimático da cultura, observa-se pelas Figuras 38a e 38b que para o cenário B₁ com dados do GFDL, o zoneamento apresentou duas classes de aptidão climática: “marginal” (4%) e “restrita” (96%) e referente ao HadCM₃ já não se constatou áreas com aptidão “marginal”, sendo que todo o Estado necessitaria de irrigação freqüente.

Analisando a Tabela 15 nota-se que a temperatura média anual de ambos os modelos são similares, porém a precipitação média anual do modelo HadCM₃ decresceu em relação ao GFDL, em cerca de 135 mm (Tabela 16). Isso provavelmente refletiu no cálculo do balanço hídrico, gerando uma Da média no GFDL (555 mm) menor que a do HadCM₃ (617 mm), cuja Da mínima neste cenário correspondeu a 404 mm, enquadrando-se de forma direta na classe de aptidão “restrita”.

Para o cenário A₁B, em ambos os modelos o zoneamento apresentou duas classes de aptidão climática: “marginal” e “restrita”, cujas áreas médias percentuais calculadas foram semelhantes, sendo 1,7% e 2,0% para os modelos GFDL e HadCM₃, respectivamente (Tabela 17). Entretanto as áreas da classe “marginal” provenientes dos distintos modelos se diferenciaram quanto à localização no Estado (Figuras 38b e 38d).

A temperatura média anual de ambos os modelos se assemelham, com diferença entre elas de apenas 0,2^oC, o mesmo acontecendo para a precipitação anual e deficiência hídrica anual, embora as amplitudes do último parâmetro sejam distintas (Tabelas 15 e 16).

No caso do modelo GFDL a ocorrência da classe de aptidão climática “marginal” ocorreu na parte noroeste do Estado, em duas regiões descontínuas, e numa pequena porção à sudeste (Figuras 38b e 38d), isso porque foi detectada maior quantidade de chuva e temperatura mais amena nesses locais (Figuras 34 e 35), refletindo nos valores de Da variando de 370 a 400 mm.

Fato semelhante aconteceu para o modelo HadCM₃, cuja área com classe de aptidão “marginal” limitou-se à região sul-sudeste do Estado.

Quando realizado a comparação entre modelos, ambos indicaram uma tendência de aumento significativo da deficiência hídrica anual, o que contribuiu de forma

fundamental para aumentar a área da classe de aptidão “restrita”, do cenário B₁ para A₁B.

Ao analisar os modelos sob o mesmo cenário percebe-se discordância quanto ao cenário B₁, uma vez que o HadCM₃ projetou resultados mais pessimistas, mas no cenário A₁B ambos foram coincidentes.

Apesar das diferenças entre os modelos analisados neste trabalho, permite afirmar que haverá um agravamento do efeito da deficiência hídrica para todos os cenários futuros, reduzindo significativamente as regiões de aptidão consideradas “apta” e “marginal”. Isso colocaria praticamente todo o Estado na condição de aptidão “restrita” para o cultivo da cana-de-açúcar, a não ser que fosse irrigado.

Sendo assim, as regiões com necessidade de irrigação plena aumentariam consideravelmente em relação a suplementar, e a possível expansão do setor sucroalcooleiro para o Tocantins dependerá de irrigação para obter o máximo de produtividade.

Contudo, o uso de irrigação plena poderia onerar o custo de produção, associado ao fato que o elevado consumo de água devido ao aumento da deficiência hídrica do solo, poderia causar problemas de disponibilidade de água em algumas regiões, ou mesmo não ser concedida a outorga de uso dos recursos hídricos para este fim.

Nesse sentido, os dados simulados pelos modelos para o período de 2021 a 2050 e considerando as atuais tecnologias aplicadas, apontam para um potencial de inviabilização do cultivo da cana-de-açúcar no Estado, em condições de sequeiro ou até mesmo irrigado dependendo da região em foco.

3 CONCLUSÕES

Este trabalho investigou a aptidão edafoclimática para o cultivo da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, e sugeriu que não haverá restrição térmica para o seu cultivo, tanto sob as condições climáticas atuais, quanto para o conjunto de cenários climáticos futuros analisados. No entanto, devido às elevadas deficiências hídricas observadas, para que a cultura tenha um desenvolvimento adequado e obtenha boa produtividade, será necessário de forma geral, utilizar irrigação de salvamento, suplementar ou plena, na estação da seca.

Com a tendência de expansão do setor canavieiro para o centro-norte do país, o zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar poderá auxiliar nas seguintes áreas: a) iniciativa de empreendedores do setor sucroalcooleiro que pretendem investir no Tocantins escolherem a localização mais adequada à instalação do empreendimento; b) subsídios aos estudos científicos da cultura da cana-de-açúcar e seus impactos ambientais, sociais e econômicos; c) na escolha de áreas consideradas favoráveis à implementação de unidades de pesquisa para desenvolvimento e validação de tecnologias e d) o governo nas esferas federal, estadual e municipal, a traçar políticas públicas agroambientais específicas e prospectivas, de forma a induzir a expansão ordenada e sustentável, uma vez que o Estado faz parte da Amazônia Legal.

A partir do panorama geral do Estado obtido, com relação à aptidão edafoclimática e ambiental para a cultura da cana-de-açúcar, identificou-se três regiões potenciais ao seu cultivo, localizadas nas regiões sul, sudeste e central do Tocantins, com áreas suficientemente extensas para cobrir demandas regionais. Esta indicação alinha-se com uma tendência de não estimular a expansão descontrolada da cultura onde, por exemplo, poderia haver competição de terras para plantio de grãos, ou até mesmo exclusivamente pela água na mesma região. Contudo, será necessário um estudo mais profundo para levar em conta as particularidades locais que não puderam ser contempladas devido à escala de trabalho utilizada.

As simulações dos balanços hídricos realizadas para o estado do Tocantins, considerando os cenários de mudanças climáticas, mostraram um aumento significativo da deficiência hídrica, reduzindo as regiões de aptidão agroclimática “marginal” (apta

com irrigação de salvamento ou suplementar). Ou seja, as regiões que utilizam irrigação plena aumentarão em relação à de salvamento e suplementar, apontando em direção à inviabilização do cultivo da cana-de-açúcar no Estado.

Em regiões climaticamente “restritas” e/ou “marginais”, onde a produção de alimentos poderá ser mantida com o uso da irrigação e estando a cana-de-açúcar presente, esta poderá vir a competir por água.

As regiões potenciais ao cultivo da cana-de-açúcar poderão mostrar-se vulneráveis frente às mudanças do clima, ou mesmo serem deslocadas para outras localidades, conforme o cenário, caso não haja medidas adaptativas. Além disso, prevê-se uma redução expressiva da área de produção nas regiões potencialmente favoráveis. Devido à interdependência do setor agropecuário, com a sociedade e com outros setores (econômico, social e ambiental), estas mudanças poderiam provocar um colapso nestas regiões e nos empreendimentos sucroalcooleiros, uma vez que os investimentos para sua implantação são elevados e suas mudanças para outros locais são onerosos ou impraticáveis.

Particularmente, as simulações deste trabalho buscaram horizontes prognósticos próximos do presente, ou seja, a partir dos próximos 15 anos de planejamento (2021 até 2050). Assim as previsões deste estudo sugerem reforçar o alerta para a necessidade de tomada de decisões antecipadas, a fim de atenuar os possíveis impactos futuros.

Dentre diversas medidas que poderão ser tomadas para enfrentamento das mudanças climáticas, pesquisas agronômicas nas áreas de biotecnologia e melhoramento genético poderão dar uma valiosa contribuição, como por exemplo: o desenvolvimento de materiais genéticos tolerantes às altas temperaturas e à deficiência hídrica, e que visem a potencialização do efeito benéfico das elevadas concentrações de CO₂ na atmosfera.

Em algumas regiões produtoras mais vulneráveis, as mudanças tecnológicas poderão atenuar os efeitos negativos das mudanças climáticas.

Portanto há a necessidade de análises e estudos mais aprofundados sobre o tema, o que implica na ampliação de investimentos em pesquisas e no desenvolvimento de tecnologias apropriadas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. de J.N.; NETO, N.C.de S.; BRAGA, C.C.; BRITO, J.I.B.; VENTURA SILVA, E.D.; VAREJÃO SILVA, M.A.; COSTA, C.A.R.; LIMA, J.B. de. Zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro (*Anarcadium occidentale* L.) na região nordeste do Brasil e no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p. 557-563, 2001.

AGROCONSULT. **Institucional**. Disponível em: <<http://www.agroconsult.agr.br>>. Acesso em 11 jul. 2007.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.1. p. 42-55.

ALMEIDA, J.R. As tortas das usinas de açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.24, n.2, p. 91-93, ago.1944.

ALMEIDA, J.R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v.46, n.2, p.72-77, 1955.

ALMEIDA, A. de. **Hidrovia Tocantins-Araguaia: importância e impactos econômicos, sociais e ambientais segundo a percepção dos agentes econômicos locais**. 2004. 155p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ALVES, V.; LARCHER, M. **Projeto da Câmara propõe que colheita mecanizada de cana deva ser obrigatória**. 18 jan. 2008. Disponível em: <<http://www.agrosoft.org.br/agropag/28805.htm>>. Acesso em: 12 out. 2008.

ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. **Software Hidro 1.0.9**. 2005. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?>>>. Acesso em: 20 abr. 2007.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Divisão hidrográfica nacional: região hidrográfica do Tocantins-Araguaia**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaC.asp>>. Acesso em: 26 maio 2007.

ASSAD, E.A.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A.M. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, nov. 2004.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J. Impacts of global warmin in the brazilian agroclimatic risk zoning. In: DIAS, P.L. da S.; RIBEIRO, W.C.; NUNES, L.H. **A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America**. São Paulo: IEA/USP, 2007. p.175 – 182.

BACCHI, O.O.S.; SOUZA, J.A.G.C. **Minimum threshold temperature for sugar cane growth**. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., 1977 São Paulo. **Proceedings ...** São Paulo, 1977, v.2, p. 1733-1741.

BARBARISI, B.F.; MARIN, F.R.; ASSAD, E.A.; BARBARISI, B.F.; PILAU, F.G.; PACHECO, L.R.F. Efeito da mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007. Aracaju . **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.

BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N.A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. Araras: Planalsucar, 1977. p.1-22.

BARBIERI, V.; BACCHI, O.O.S.; VILLA NOVA, N.A. Análise do fator temperatura média do ar no desenvolvimento da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1., 1979. Mossoró. **Anais...** Mossoró: SBA, 1979. p. 6-8.

BIERHALS, J.D.; BARROS, F.R.T. Previsão de ganho com álcool, mas não em 2008. **Agrianual 2008**, São Paulo, 2008. p.235-239.

BISWAS, B.C. Effects of climatic factors on sugar-cane. In: _____. **Agroclimatology of the sugar-cane crop**. Geneva: WNO, 1988. chap 3, p. 24-36.

BOLONHEZI, D. Uso de adubos verdes na renovação de canavial. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. de S. (Org.). **Expansão e renovação do canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap. 9, p. 159-174.

BONONI, M.M.; ROSA, R.F.da. Planejamento agrícola. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. de S. (Org.). **Expansão e renovação do canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap. 2, p. 19-36.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SC.22 Tocantins**: geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 524 p. (Levantamento dos recursos naturais, 22)

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura brasileira em números**: Anuário 2003. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 05 abr. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano nacional de agroenergia, 2006 - 2011**. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agronegócio brasileiro: desempenho do comércio exterior**. 2.ed. Brasília: MAPA/SRIA/DPIA/CGOE, 2006a. 116p. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 09 abr. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balanço comercial da cana-de-açúcar e agroenergia**. 2007. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 27 jul. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA. **Participação dos principais produtos na exportação**. 2007a. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 08 abr. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Relações Internacionais do Agronegócio. **Balança comercial do agronegócio**: Março/2007b. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 09 abr. 2007.

BRASIL. **Programa de aceleração do crescimento, 2007 - 2010**: 2007c. Disponível em: <http://www.agenciabrasil.gov.br/media/arquivos/2007/01/22/pac_internet.pdf>. Acesso em: 18 set. 2008.

BRUNINI, O; PRADO, H. do; LANDELL, M.G.A.; CARVALHO, J.P. de; BRUNINI, A.; MORAIS, J.F.L. de. **Zoneamento de culturas bioenergéticas no Estado de São Paulo: aptidão edafoclimática da cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2008. 31p. 1 CD-ROM.

BUCENE, L.C. **Mineração de dados climáticos para a previsão de geada e deficiência hídrica para as culturas do café e da cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa, 2002. 41 p. (Documentos/Embrapa Informática Agropecuária, 20).

BUZOLIN, P.R.S. **Efeitos da palha residual da colheita mecanização, associada a fontes de potássio e doses de nitrogênio, no solo e nas socas de cana-de-açúcar**. 1997. 98p. Dissertação (Mestrado em solos) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1997.

CAIXETA-FILHO, J.V. Introdução: a competitividade do transporte no agribusiness brasileiro. In: CAIXETA-FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. cap. 1, p.11-20.

CAIXETA-FILHO, J.V. Especificidade das modalidades de transporte para a movimentação de produtos agrícolas. In: CAIXETA-FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001a. cap. 3, p.11-20.

CAMARGO; A.P. de; ALFONSI; R.R.; PINTO, S.H.; CHIARINI, J.V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas de cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 4., **Anais...** São Paulo: Ed. USP, 1977. p. 89-105.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, n.1, p.11-33, jan/abr. 1987.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CECÍLIO, R.A.; MEDEIROS, S. de S.; DANTAS NETO, F.S.; SOUZA, J.A.A. de; SOARES, A.A. de. Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas do café, cana-de-açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SENSORAMENTO REMOTO, 9., 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2003. p. 39-45.

COELHO, M.B.; BARBOSA, M.H.P.; MACIEL, M.L. Manejo da irrigação na cana-de-açúcar na cana soca no cerrado de Minas Gerais, In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002. Recife .. **Anais...** Recife: STAB, 2002. p.591-598

COLETI, J.T.; STUPIELLO, J.J. Plantio da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; SENE PINTO, A. de; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M de (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. cap. 10, p. 139-153.

COLLICCHIO, E. A estruturação da OEPA no Tocantins. In:_____. **Organização Estadual de Pesquisa Agropecuária**: um instrumento de apoio ao desenvolvimento rural sustentável do Tocantins. Palmas: UNITINS, 2006. cap. 3, p. 87-130.

COLLICCHIO, E. A rede estadual de ciência e tecnologia agropecuária e desenvolvimento rural, como mecanismo promotor de parcerias. In:_____. **Organização Estadual de Pesquisa Agropecuária**: um instrumento de apoio ao desenvolvimento rural sustentável do Tocantins. Palmas: UNITINS, 2006a. cap. 5, p. 169-189.

COOPER, M.; SPAROVEK, G.; SCHUNG, E. A national soil profile database developed for Brazil: description and suggested applications. In: DEUTSCHER TROPENTAG 2002. **Book of Abstracts...** Witzzenhausen, 2002. p.240.

COSTA, F.G.; CAIXETA-FILHO, J.V.; ARIMA, E. Influência do transporte no uso da terra: o caso da logística de movimentação de grãos e insumos na Amazônia Legal. In: CAIXETA-FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. (Org.). **Transporte e logística em sistemas agroindustriais**. São Paulo: Atlas, 2001. cap. 2, p.21-39.

CUNHA, G.R. da; ASSAD, E.D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.377-385, 2001.

CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. **Novas fronteiras podem dobrar produção de cana.** 07 mar 2007. Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/>>. Acesso em: 25 jul. 2007.

DA SILVA, M.S.L.; RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades químicas dos solos argilosos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 389-394, 1995.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V.L.D.; ROSA, J.W.C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005. p. 83-90.

DEDINI. **Dedini açúcar e etanol.** Disponível em: <<http://www.dedini.com.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2007.

DELGADO ROJAS, J.S. **Modelo agrometeorológico para estimativa dos efeitos de deficiência hídrica na produtividade agroindustrial da cana-de-açúcar.** 1998. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

DEMATÊ, J.L.I. Cultivo mínimo. **Álcool e Açúcar.** Supl. Esp., São Paulo, p.32-42, 1984.

DEMATÊ, J.L.I. Manejo e conservação de solos, na cultura da cana. **Visão Agrícola**, Piracicaba, p.8-17, jan/jun 2004.

DEMATÊ, J.A. Sistema de avaliação do uso da terra. In: _____. **Caracterização e espacialização do meio físico, como base para o planejamento do uso da terra.** Piracicaba: ESALQ, cap. 3, p.117-169. 2008. Apostila.

DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; SENE PINTO, A. de; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M de (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: CP2, 2006. cap.8, p. 107-119.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33)

ELIA NETO, A. Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar. In: MACEDO, I. de C. (Org.). **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: ÚNICA, 2005. cap. 5.3, p. 104-110.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Algodão. **Sistemas de Produção**, 3. jan./2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/manejodesolo.htm>> Acesso em: 20 out. 2008.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.embrapa.br/noticias/banco_de_noticias/2007/janeiro/foldernoticia.2007-01-08.6783822109/noticia.2007-01-12.0346870086/>. Acesso em: 20 fev. 2007.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.415-421, 2001.

FAO. **New LocClim 1.10**: local climate estimator, Roma, outubro 2005. Disponível em: <ftp://ext-ftp.fao.org/SD/SDR/Agromet/New_LocClim/>. Acesso em: 25 out. 2007.

FAUCONIER, R.; BASSEREAU, D. **La cña de azucar**. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.

FIGUEIREDO, P.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. **Cana-de-açúcar**. 6.ed. Campinas: IAC, 1995. IAC. 1 CD-ROM.(Boletim 200)

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Mercado e perspectivas: cana-de-açúcar. In: _____. **Agrianual 2008**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, p.252 – 264.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; LAUSCHNER, M.H.; MELLO, R.W. de. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 399-403, mar. 2001.

GFDL. **IPCC DDC AR4 GFDL- CM2.1 SRESB1 run1**. 2005. Disponível em: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui?Compact.jsp?acronym= GFDL-CM2.1_SRESB1_1> Acesso em: 29 nov. 2007.

GFDL. **IPCC DDC AR4 GFDL- CM2.1 SRESA1B run1**. 2005a. Disponível em: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui?Compact.jsp?acronym= GFDL-CM2.1_SRESA1B_1> Acesso em: 29 nov. 2007.

GOES, T.; MARRA, R.; SOUZA e SILVA, G. Setor sucroalcooleiro no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n.2, p. 39-51, abr./jun. 2008.

GOPFERT, H.; ROSSETTI, L.A.; SOUZA, J. **Eventos generalizados e seguridad agrícola**. Brasília: IPEA/Ministério do Planejamento, 1993. 78 p.

GRIESER, J; GOMMES, R.; BERNARDI, M. New LocClim: the local climate estimator of FAO. **Geophysical Research Abstracts**, Katlenburg-Lindau, v.8, p. 8305, 2006.

HUMBERT, R.P. **The growing of sugarcane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 779p.

IBGE. **Produção agrícola municipal anual 2005 – Estado do Tocantins**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/producao_agricola/>. Acesso em: 09 maio 2007.

IBGE. **Produtividade da cana-de-açúcar 2006**. 2006
Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 31 mar. 2008.

IEA – Instituto de Economia Agrícola. Cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 1, n. 3, março 2007. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/>>. Acesso em: 01 ago. 2007.

IPCC. **IPCC WG1 Fourth assessment Report**. Paris, 2007. 21p.

IPCC. The IPCC data distribution centre. **IPCC 4th assessment report 2007: model GFDL-CM2_1**. 2007a. Disponível em: <http://www.ipcc-data.org/ar4/model-GFDL-CM2_1.html>. Acesso em: 29 nov. 2007.

IPCC. The IPCC data distribution centre. **IPCC 4th assessment report 2007: model UKMO-HADCM3**. 2007b. Disponível em: <<http://www.ipcc-data.org/ar4/model-UKMO-HADCM3.html>>. Acesso em: 29 nov. 2007.

JANK, M.S.; RODRIGUES, L. Dinâmica e agenda do setor sucroalcooleiro na próxima década. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n.4, p.86-96, out/dez 2007.

JENDIROBA, E. A expansão da cana-de-açúcar e as questões ambientais. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. de S. (Org.). **Expansão e renovação do canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap.3, p. 37-52.

KOFFLER, F.N.; DONZELI, P.L. Avaliação dos solos brasileiros para a cultura da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 1. p.19-41.

LEPSCH, I. Influência dos fatores edáficos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Coord.). **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: POTAFÓS, 1987. p. 83-98.

LIMA, M.A. de; BOEIRA, R.C.; CASTRO, V.L.S.S.; LIGO, M.A.V.; CABRAL, O.M.R.; VIEIRA, R.F.; LUIZ, A.J.B. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de atividades agrícolas no Brasil. In: LIMA, M.A. de; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.169-189.

LOWE. **IPCC DDC AR4 UKMO-HadCM3 SRESB1 run1**. 2005. Disponível em: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui?Compact.jsp?acronym=UKMO-HadCM3SRESB1_1>. Acesso em: 29 nov. 2007.

LOWE. **IPCC DDC AR4 UKMO-HadCM3 SRESA1B run1**. 2005a. Disponível em: <http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui?Compact.jsp?acronym=UKMO-HadCM3SRESA1B_1>. Acesso em: 29 nov. 2007.

MACEDO, I. de C. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa: uso de resíduos da cana-de-açúcar como fonte de energia – situação atual, tecnologias, legislação e cenários. In: LIMA, M.A. de; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.191-199.

MACHADO, E.C. Fisiologia da produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.) **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.1, p. 56-87.

MAGALHÃES, A.C.N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Coord.) **Ecofisiologia da produção**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.113-118.

MALUF, J.R.T.; WESTPHALEN, S.L.; MATZENAUER, R.; MALUF, D.E. Zoneamento agroclimático da para cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul, visando a produção de açúcar e álcool. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007 Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.

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. Brasília: MMA, 2006. 212 p.

MARIN, F.R.; ASSAD, E.A.; BARBARISI, B.F.; PILAU, F.G.; PACHECO, L.R.F.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H.S. Efeito da mudanças climáticas sobre a aptidão climática para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 15., 2007. Aracaju. **Anais...** Aracaju: SBA, 2007.

MARQUES, M.O. Aspectos técnicos e legais da produção transporte e aplicação vinhaça. In: SEGATO, S.V.; SENE PINTO, A. de; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M de (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. cap. 23, p. 368-375.

MARTINELLI, L.A.; FILOSO, S. Expansion of sugarcane ethanol production in Brazil: environmental and social challenges. **Ecological Applications**, New York, v.18, n.4, p. 885-898, 2008.

MARTINS, R. **Informações calcário Tocantins** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <ecollicchio@gmail.com> em 1 set. 2008.

MARTINS FILHO, M.V Manejo e conservação do solo em áreas de expansão e renovação de canavial. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. de S. (Org.). **Expansão e renovação do canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap.4, p. 53-68.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R. Rotação de culturas. In: WUTKE.E.B.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. (Ed.). **I Curso sobre adubação verde no Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1993. p. 71-86 (Documentos IAC, 35).

MATIOLI, C.S. **Irrigação de cana-de-açúcar**: viabilidade técnica e econômica. Piracicaba, 2007. 23 slides, color.

MINGUEZ, M.I.; RUIZ-RAMOS, M.; DÍAZ-AMBRONA, C.H.; QUEMADA, M. Productivity in agricultural systems under climate change scenarios. evaluation and adaptation. **Journal de Physique**, Paris, v.4, n. 121, p.269-281, 2004.

MONTEITH, J.L. The quest for balance in crop modeling. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, p.695-697, 1996.

MORCELLI, P. Futuro para o etanol brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, n.3, p. 19-27, jul./ago. 2006.

MUSSA, M. **A global growth rebound**: how strong for how long? Institute for International Economics, v. 9, sept. 2003. Disponível em: <www.iie.com>. Acesso em: 25 ago. 2005.

NOVAES, J.R.; ALVES, F. **Migrantes**: trabalho e trabalhadores no complexo agroindustrial canavieiro (os heróis do agronegócio brasileiro). São Carlos: EdUFSCar, 2007. 314 p.

NUNES, J.R.; MORELLI, J.L.; NELLI, E.J. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar na presença de torta de filtro e de mamona. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, n. 41, p. 3-12, 1988.

ORTOLANI, M.C. de A. Perspectivas para o setor sucroalcooleiro brasileiro. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A. de SENE; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. de (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006, cap. 27. p.407-415.

PARANHOS, S.B. (Coord.) **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1. 431 p.

PASQUALETTO; A.; ZITO, R.K. **Impactos ambientais da monocultura da cana-de-açúcar**. Goiânia: UFG, 2000. 82 p.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B.P.; MIRANDA, M.A.C. et. al. Teste de modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade potencial da cultura da soja de ciclo precoce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1983. Campinas **Anais...** Campinas, 1983, p.11-17.

PENATTI, C.P.; DONZELLI, J.L. **Uso da torta de filtro em cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1991. 7 p.

PEREIRA, A.R. Simplificado o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.311-313, 2005.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; BARBIERI, V. Condicionamento climático da indução ao florescimento em cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v.3, n.2, p.1-34, 1983.

PINTO, H.S.; ASSAD, E.A.; ZULLO JUNIOR, J.; BRUNINI, O.; EVANGELISTA, B.A. **Impacto do aumento da temperatura no zoneamento climático do café nos estados de São Paulo e Goiás: avaliação dos cenários do IPCC**. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA - CBAgro, 2001. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/prod_cc/trabalhos-em-anais-de-eventos/cbagro2001>. Acesso em: 10 abr. 2008.

PLANALSUCAR. **Cultura da cana-de-açúcar**: manual de orientação. Piracicaba: IAA, 1986. 56 p. Mimeografado.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil. In: Potafós. **Encarte do Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 110, p. 12-17, jun. 2005.

PRADO, H. **Pedologia fácil**: aplicações na agricultura. Piracicaba, 2007. 105 p.

PRADO, H. **Solos semelhantes em ambientes de produção contrastantes**. In: SEMINÁRIO AMBICANA, 3., 2008. Ribeirão Preto: IAC, 2008. 35 slides, color. 03. jun. 2008

PROVE, B.G.; GOOGAN, V.J.; TRUONG, P.N.V. Nature and magnitude of soil erosion in sugarcane land on the wet tropical coast of north-eastern. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 35, p. 641-649, 1995.

RANIERI, S.B.L.; BARRETTO, A.G.O.P.; KLUG, I.L.F. Potencial de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para o estado do Maranhão. In: Pólo Nacional de Biocombustíveis. **Estudo comparativo do potencial de produção de etanol no Maranhão: vantagens competitivas e comparativas**. Piracicaba: ESALQ, 2007. cap.1, p. 1-69.

RIZZO, L.T.B.; ORLANDO, F.J. Estimativa de distribuição da cultura de cana-de-açúcar nos solos do Estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 5, p. 37-44, 1980.

RODRIGUES, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: UNESP, 1995. 99p. Mimeografado.

ROSENFELD, U.; LEME, R.J.A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão estudos de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo. **Anais...** Piracicaba: Stab, 1984. p. 77-84.

ROSSEL, C.E.V. **Tecnologias de conversão de biomassa em etanol: hidrólise de celulose**. Campinas: MCT, 2007. 25 slides, color.

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e seguridade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p. 386-399, 2001.

ROTHKOPF, G. Global competitive outlook. In: _____. **A blueprint for green energy in the américas: strategic analysis of opportunities for Brazil**. BIIRD, 2007, chap 2. p.21-53.

ROTHKOPF, G. Brazil: pilar II – capacity expansion. In: _____. **A blueprint for green energy in the américas: strategic analysis of opportunities for Brazil**. BIIRD, 2007a, chap 4. p. 507-542.

SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. **Tendências das variações climáticas para o Brasil no século XX e balanços hídricos para cenários climáticos para o século XXI**: relatório 4. Rio de Janeiro: MMA, 2007. 182 p.

SCHMIDT, M. **Irrigação complementar em cana-de-açúcar e sistemas de irrigação mecanizados**: pivot rebocável e lineares. Piracicaba: ESALQ, 2008. 70 slides, color. In: SIMPÓSIO DE IRRIGAÇÃO E MECANIZAÇÃO EM CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 2008. Piracicaba.

SEAGRO. Secretaria da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento do Tocantins. **Agricultura**. Disponível em: <<http://www.to.gov.br/seagro/conteudo.php?id=36>>. Acesso em: 17 maio 2007.

SEAGRO. Secretaria da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento do Tocantins. **Climatologia**. Disponível em: <<http://www.to.gov.br/seagro/conteudo.php?id=8>>. Acesso em: 07 jun. 2007a.

SEAGRO. Secretaria da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento do Tocantins. **Tocantins rural**: 2007/2010. Palmas: SEAGRO, 2007b. 60p.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; ALFONSI, R.R.; CARAMORI, P.H.; SWART, S. **BHBrasil**: balanços hídricos climatológicos de 500 localidades brasileiras. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/nurma.html>>. Acesso em: 15 abr. 2008.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Uma indicação de potencial de uso das terras do Tocantins**. DIAS, R.R. (org). Palmas, 2000. 14 p.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Pesquisas e Informação. Aspectos físicos. In: _____. **Anuário estatístico do Estado do Tocantins**: 1997/2003. Palmas: SEPLAN, 2004. p.21-28.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico. **Atlas do Tocantins:** subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN, 2005. 54p.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Tocantins:** quadro de áreas de uso legal restrito e potenciais para conservação ambiental. Palmas, 2006. 14 p.

SEPLAN. Secretaria Planejamento e Meio Ambiente do Tocantins. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). **Base de dados geográficos do Tocantins.** Palmas, 2007. CD-ROM (atualização de arquivos em escala 1:1000.000 do atlas digital do Tocantins – base de dados geográficos).

SOARES, R.A.B., CARDOSO, H.R. Irrigação de salvamento em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; SENE PINTO, A. de (Ed.). **Expansão e renovação de canavial.** Piracicaba: CP2, 2007. cap.17, p. 281-293.

STUPIELLO, J.P. A cana-de-açúcar como matéria prima. In: PARANHOS, S.R. (Coord.). **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. São Paulo: Fundação Cargill, 1987. v.2, p. 761-804.

TOCANTINS. Secretaria de Infra-estrutura. **Rede rodoviária do estado do Tocantins.** 2006. Disponível em: <<http://www.seinf.to.gov.br>> Acesso em: 15 set. 2008.

TOCANTINS. Governo do estado. Portal Cidadão. **Ferrovia Norte-Sul.** 2007. Disponível em: <<http://www.portaldocidadao.to.gov.br/Ferrovia-Norte-Sul>>. Acesso em: 16 abr. 2007.

THORTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104p.

UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Imprensa.** 2007 Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 10 set. 2007.

UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Produção de cana-de-açúcar e etanol do Brasil.** Disponível em: < <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 10 out. 2008.

UNICA, União da Indústria de Cana-de-açúcar. **Sócio-ambiental: Protocolo agroambiental**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>> Acesso em: 20 out. 2008a.

UNICAMP, Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – NIPE. **Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo**. Campinas: UNICAMP, 2005. 320 p. (Relatório final)

USGS. Seamless Data Distribution. **Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM**, Disponível em: <<http://seamless.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

van DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371 p.

van RAIJ, B.; CATARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 280p. (Boletim 100).

VAREJÃO-SILVA, M.A.; BARROS, A.H.C. **Zoneamento de aptidão do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos**. Recife, 2001. Disponível em: <<http://www.itep.br/meteorologia/lamepe/zoneamento>>. Acesso em: 02 maio 2007.

VICTORIA, D. de C.; SANTIAGO, A.V.; BALLESTER, M.V.R.; PEREIRA, A.R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E. Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. **Earth Interactions**, Madison, v.11, n.5, p. 1-21, 2007.

VIDAL, R. Tocantins desperta como eldorado sucroalcooleiro. **SECOM**, Palmas, 27 maio 2006. Disponível em: <<http://www.to.gov.br/secom/>>. Acesso em: 02 abr. 2007.

ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Alterações devem deslocar culturas agrícolas. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n.74, p. 72-77, jul. 2008.

WALDHEIM, P.V. CARVALHO, V.S.B.; CORREA, E.; FRANÇA, J.R. de A. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 28-41, 2006.

ANEXOS

Tabela 18 – Médias das temperaturas médias mensais – Ta ($^{\circ}\text{C}$) e precipitações mensais - Pre (mm) da climatologia atual e referentes aos modelos GFDL e HadCM₃

Meses	Ta Atual	Ta GFDL	Ta HadCM ₃	Pre Atual	Pre GFDL	Pre HadCM ₃
J	25,3	27,1	27,1	278	265	260
F	25,4	27,2	27,1	253	241	236
M	25,5	27,2	27,2	265	254	247
A	25,8	27,6	27,6	157	146	142
M	25,7	27,4	27,4	46	37	33
J	24,9	26,6	26,6	6	9	5
J	24,7	26,5	26,5	4	9	0
A	26,1	27,8	27,8	8	6	0
S	27,1	28,8	28,9	47	36	31,5
O	26,5	28,2	28,2	139	126	120
N	26,0	27,7	27,7	206	196	189
D	25,5	27,3	27,3	267	255	249
Média/Total	25,7	27,4	27,5	1676	1579	1511

Figura 39 – Temperatura média mensal – Ta ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação mensal - Pre (mm) da climatologia atual e dos modelos GFDL e HadCM₃