



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA**

**JULIO CESAR VADO ESPINOZA**

**PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS MUNICÍPIOS DE ABAETETUBA E  
ULIANÓPOLIS: ASPECTOS CLIMATICOS, SOCIOECONÔMICOS E  
AMBIENTAIS**

**Belém – PA**

**2016**

JULIO CESAR VADO ESPINOZA

**PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS MUNICÍPIOS DE ABAETETUBA E  
ULIANÓPOLIS: ASPECTOS CLIMÁTICOS, SOCIOECONÔMICOS E  
AMBIENTAIS**

Disertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA–Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi.

Área de Concentração: Física do clima

Orientador: Dr. Edson Paulino da Rocha

Co-orientadora: Dra. Márcia Aparecida da Silva Pimentel

**Belém**

**2016**

**JULIO CÉSAR VADO ESPINOZA**

**PRODUÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS MUNICÍPIOS DE ABAETETUBA E  
ULIANÓPOLIS: ASPECTOS CLIMÁTICOS, SOCIOECONÔMICOS E  
AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com o Museu Paraense Emílio Goeldi e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Área em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 05 / 02 / 2016

Banca Examinadora:



Orientador

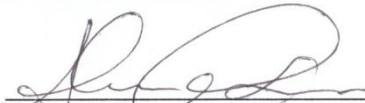
Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha  
Doutor em Meteorologia  
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Adriano Marlisom Leão de Sousa  
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental  
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dra. Regina Célia dos Santos Alvalá  
Doutora em Meteorologia  
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de  
Desastres Naturais



Prof. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima  
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico  
Úmido  
Universidade Federal do Pará

`A minha amada avó Delfina Espinoza (*In memoriam*) e aos meus filhos Cesarito e Alexander, que me fortalecem com sua eterna alegria.

## **AGRADECIMENTO**

Aos meus pais, pelo apoio e presença constante em todos os momentos decisivos da minha vida.

Pela oportunidade, ao Programa de Alianças para a Educação e a Capacitação (PAEC), criado pela Organização dos Estados Americanos (OEA) em parceria com o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB).

Aos meus orientadores Profs. Drs. Edson Rocha e Márcia Pimentel, pelo convívio agradável e luzes de um conhecimento fundamentado no senso de humanidade.

À Professora Dra. Iracilda Sampaio da Pro-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP) da Universidade Federal do Pará, agradeço sinceramente pela receptividade e apoio que tem dedicado aos discentes estrangeiros.

À Profa. Dra. Aline Meiguins por compartilhar seus conhecimentos e orientações para melhoria desta pesquisa.

À Profa. Msc. Roselene Garcia, pela idealização e inestimável apoio no desenvolvimento deste trabalho.

À minha querida namorada Med. Vet. Andrea Aguiar pela eterna paciência na revisão da transição da língua de Cervantes para a língua Portuguesa e demais revisões.

Por fim, a todos os demais que estiveram direta ou indiretamente envolvidos na realização deste trabalho.

"Y no comprendía porque se preocupaban del otro mundo de un modo tan espantoso y solemne, cuando era tan agradable vivir en este".

**León Tolstoi.**

## RESUMO

Na última década, o aumento mundial na demanda por açúcar para produção de alimentos e fontes de energia renováveis tem impactado a cadeia produtiva e pressionando as áreas com potencial agrícola para plantio de cana de açúcar. O governo Brasileiro por meio do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento elaborou o Zoneamento Agroecológico da Cana de açúcar – ZAE (EMBRAPA, 2009) para a produção de etanol e açúcar, excluindo entre outras áreas ao estado do Pará por se encontrar no Bioma Amazônia. Atrelado a este contexto existe a polêmica de se tratar de monocultivo que pressupõe práticas de desmatamento, das quais também derivam impactos sobre a atmosfera, recursos hídricos e solo. Diante do contraste de produzir e proteger o meio ambiente se faz relevante o aprofundamento de estudos científicos para suporte técnico e fundamentação de alternativas para implantação ou expansão do cultivo associadas ao mapeamento de áreas já consolidadas. O presente estudo teve como objetivo analisar a produção de cana de açúcar nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis, levando em consideração aspectos climáticos; socioeconômicos e ambientais. Para os aspectos climáticos foram usados (para ambos municípios) os dados climatológicos fornecidos pelo INMET de um período de trinta anos (1984-2013). Os resultados apontaram que ambos os municípios apresentam aptidão climática para o cultivo da cana de açúcar, com a ressalva de que para o município de Ulianópolis esse cultivo é dependente de irrigação, que eleva os custos de produção e causa maior pressão sobre as águas subterrâneas. No que se referem aos aspectos socioeconômicos e ambientais foram utilizados métodos distintos para os municípios estudados. Para o município de Abaetetuba, os aspectos socioeconômicos foram avaliados à luz da conjuntura da época do auge do cultivo nesse município (1970). Os resultados apontaram que atividade representou importante vetor de geração de emprego e renda para a população local. Ambientalmente, os indicadores avaliados mostraram a baixa vulnerabilidade aos contaminantes derivados do cultivo da cana, que pode ser explicada pelas características intrínsecas dos aquíferos e propriedades do solo da região. Quanto ao uso do solo, os resultados evidenciaram existência de áreas degradadas para o ano de 2012 associadas à atividade pecuária em sua maior parte. Para o município de Ulianópolis foi aplicada a ferramenta Barômetro da Sustentabilidade, definindo-se desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (WCED, 1987). Constatou-se que este município situa-se em uma faixa intermediária de sustentabilidade, sendo os indicadores de maior vulnerabilidade o desflorestamento, exploração das águas subterrâneas e focos de calor/km<sup>2</sup>. Embora o presente estudo tenha proposto uma série de indicadores ambientais e socioeconômicos de relevância, outras pesquisas devem ser realizadas, dada a importância da cana de açúcar para o desenvolvimento de energias alternativas na região. Cabe mencionar também que sob a ótica do ambiente institucional vigente (de crédito, regulação, ambiental, etc.) norteado pelo ZAE, novos empreendimentos canavieiros poderiam ser incentivados em áreas degradadas no Bioma Amazônia.

**Palavras-Chave:** Cana de açúcar. Produção. Indicadores de Sustentabilidade. Clima.

## ABSTRACT

In the last decade, the global increase in demand for sugar for food production and renewable energy sources has impacted the production chain and pressing areas with agricultural potential for sugarcane plantation. The Brazilian government through the Ministry of Agriculture Livestock and Supply developed the Agro-Ecological Zoning of Sugar Cane - ZAE (EMBRAPA, 2009) for the production of ethanol and sugar, excluding among other areas the state of Para for been located in the Amazon Biome. Coupled to this context there is the controversy of whether monoculture which requires deforestation practices, which also derive impacts on the atmosphere, water and soil. Before the contrast to produce and protect the environment is relevant deepening of scientific studies for technical support and justification of alternatives for deployment or expansion of cultivation associated with the mapping of areas already consolidated. This study aimed to analyze the production of sugar cane in the city of Abaetetuba and Ulianópolis, taking into account climatic aspects; socioeconomic and environmental. For climate aspects were used (for both municipalities) climatological data provided by INMET a period of thirty years (1984-2013). The results showed that both municipalities have climatic suitability for the cultivation of sugar cane, with the proviso that for the city of Ulianópolis this crop is dependent on irrigation, which increases production costs and causes increased pressure on groundwater. As refer to socioeconomic and environmental aspects were used different methods for the studied municipalities. For the city of Abaetetuba, the socioeconomic aspects were evaluated in light of the situation on the time of cultivation of height in this city (1970). The results showed that activity represented an important vector to generate employment and income for the local population. Environmentally, the assessed indicators showed low vulnerability to contaminants derived from sugarcane cultivation, which can be explained by the intrinsic characteristics of the aquifer and soil properties in the area. As for the land use, the results showed the existence of degraded areas for the year 2012 related to livestock activity mostly. To the municipality of Ulianópolis was applied to Barometer tool of sustainability, defining sustainable development as that which meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs (WCED, 1987). It was found that this city is located in an intermediate range of sustainability, and the increased vulnerability indicators deforestation, exploitation of groundwater and hotspots per km<sup>2</sup>. Although this study has proposed a number of environmental and socio-economic indicators of relevance, further research should be carried out, given the importance of sugar cane for the development of alternative energy in the region. It is also worth mentioning that from the perspective of the institutional environment (credit, regulatory, environmental, etc.) guided by ZAE, new sugarcane enterprises could be encouraged in degraded areas in the Amazon Biome.

**Keywords:** Sugar cane. Production. Sustainability Indicators. Climate



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Evolução da produção e área colhida de cana-de-açúcar no Brasil (2000 - 2013)...	17
Figura 2- Uso de alguns cultivos alimentícios no mundo .....	18
Figura 3- Macro e Microlocalização dos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis.....	29
Figura 4- Metodologia GOD para determinação da vulnerabilidade das águas subterrânea. ..	45
Figura 5-Escala de desempenho do Barômetro de sustentabilidade (EBS).....	48
Figura 6- EDM do IDS focos de calor.....	49
Figura 7- EDM do IDS desflorestamento.....	49
Figura 8- EDM do IDS vulnerabilidade das águas subterrâneas.....	50
Figura 9- EDM do IDS vulnerabilidade das águas subterrâneas exploração das águas subterrâneas para irrigação. ....	50
Figura 10- EDM do IDS acesso a AP e SB. ....	51
Figura 11- EDM do IDS IDHM .....	51
Figura 12- EDM do IDS da taxa de mortalidade infantil .....	52
Figura 13- EDM do IDS IDEB.....	52
Figura 14- EDM do IDS da produtividade .....	52
Figura 15- EDM do IDS PIB per capita. ....	53
Figura 16- EDM do IDS do índice de Gini .....	54
Figura 17- Visualização da interpolação da EBS. ....	54
Figura 18- Balanço Hídrico de cultura para o Município de Abaetetuba.....	56
Figura 19- Balanço Hídrico de cultura para o Município de Ulianópolis. ....	62
Figura 20- Evolução da população no município de Abaetetuba para o período de 1950 - 1996. ....	69
Figura 21- Empregos diretos na Agricultura e na indústria o no município de Abaetetuba para o período de 1950 – 1975. ....	70
Figura 22- Evolução da produção de cana de açúcar no município de Abaetetuba para o período de 1950 - 1999.....	71
Figura 23- Evolução da área colhida de cana de açúcar no município de Abaetetuba para o período de 1950 - 1999.....	72
Figura 24- Localização dos poços e cobertura de solo em Abaetetuba.....	74
Figura 25- Distribuição do uso de solo em Abaetetuba.....	75
Figura 26- Evolução do desmatamento no município de Abaetetuba no período de 2002-2012 .....	76
Figura 27- Posição do município de Ulianópolis no BS .....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Coeficientes de cultura ( $K_c$ ) para a cana-de-açúcar em suas diferentes fases de desenvolvimento.....	31
Tabela 2- Evapotranspiração potencial diária ( $ET_T$ , $\text{mm dia}^{-1}$ ), em função das temperaturas médias anual ( $T_a$ ) e mensal ( $T_m$ ).....	32
Tabela 3- Fator de Correção ( $Cor$ ) da evapotranspiração em função do fotoperíodo e do número de dias do mês.....	33
Tabela 4- Valores de $K_Y$ para diferentes culturas agrícolas.....	36
Tabela 5- Estimativa do custo de implantação de 1 ha de cana de açúcar.....	38
Tabela 6- Dados da amostra de poços utilizados no município de Ulianópolis, para determinar a altura de sucção $h_s$ .....	41
Tabela 7- Descrição dos indicadores utilizados no município de Abaetetuba.....	42
Tabela 8- Indicadores de sustentabilidade selecionados.....	47
Tabela 9- Resultado do balanço hídrico de cultura para o município de Abaetetuba.....	55
Tabela 10- Dados usados para estimar a produtividade da cana-de-açúcar no município de Abaetetuba.....	58
Tabela 11- Resultados da estimativa da produtividade da cana-de-açúcar no município de Abaetetuba.....	58
Tabela 12- Balanço hídrico para controle de irrigação, para o período de 1984 - 2013, no município de Abaetetuba.....	60
Tabela 13- Resultado do balanço hídrico de cultura para o município de Ulianópolis.....	61
Tabela 14- Dados usados para estimar a produtividade da cana-de-açúcar no município de Ulianópolis.....	63
Tabela 15: Resultados da estimativa da produtividade da cana de açúcar no município de Ulianópolis.....	64
Tabela 16- Balanço hídrico para controle de irrigação para o período de 1984 - 2013.....	65
Tabela 17- Crescimento populacional rural e urbano no período 1950 - 1996.....	68
Tabela 18- Empregos diretos na agricultura e na indústria no município de Abaetetuba para o período 1950 - 1975.....	70
Tabela 19- Produção, área colhida e produtividade da cultura de cana de açúcar no município de Abaetetuba no período 1950 - 1999.....	71
Tabela 20- Vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Abaetetuba.....	73
Tabela 21- Uso de solo no município de Abaetetuba, 2012.....	75
Tabela 22- Normalização dos índices na EDM para EBS.....	77

## LISTA DE SIMBOLOS

AFD.....	Água Facilmente Disponível
CAD.....	Capacidade de água disponível
BS.....	Barômetro da Sustentabilidade
C.I.....	Custo de irrigação por hectare
C.I <sub>p</sub> .....	Custos de implantação de cana-de-açúcar por hectare
C.P <sub>c</sub> .....	Custo por hectare do sistema pivô central
C <sub>IAF</sub> .....	Coefficiente de correção de índice de área foliar
C.E <sub>b</sub> .....	Custo da energia elétrica por bombeamento
C <sub>MOD</sub> .....	Custo fixo de mão-de-obra direta
C <sub>C</sub> .....	Coefficiente para a parte colhida
C <sub>COL</sub> .....	Coefficiente de correção para a parte colhida
Cor.....	Fator de Correção da evapotranspiração
C <sub>R</sub> .....	Coefficiente de correção para a respiração
cT <sub>c</sub> .....	Correção devido a temperaturarelativa ao período sem nuvens
cT <sub>n</sub> .....	Correção devido a temperaturarelativa ao período nublado
EBS.....	Escala do Barômetro de sustentabilidade
ET <sub>o</sub> .....	Evapotranspiração de referência
ETP.....	Evapotranspiração potencial
ET <sub>c</sub> .....	Evapotranspiração de cultura
ET <sub>T</sub> .....	Evapotranspiração potencial diária
IAF.....	Índice de Área Folhar
H.....	Altura manométrica
N.....	Fotoperíodo
n.....	Número de horas de brilho solar
ND.....	Número de dias do ciclo da cultura
K <sub>Y</sub> .....	Fator de resposta da cultura
K <sub>c</sub> .....	Coefficiente de cultura
P.....	Potência do equipamento de bombeamento
p.....	Fração determinada experimentalmente e depende do tipo de cultura e dos estádios fenológicos
γ.....	Peso específico da água
η.....	Eficiência da motobomba
PP <sub>F</sub> .....	Produtividade potencial final
PP <sub>R</sub> .....	Produtividade potencial da cultura
PPB <sub>p</sub> .....	Produção bruta de matéria secade uma cultura padrão
PPB <sub>n</sub> .....	Componente devido ao período nublado
PPB <sub>c</sub> .....	Componente devido ao período de céu claro
Q <sub>o</sub> .....	Irradiância solar global extraterrestre
T.....	Temperatura média do ar
Tr.....	Tarifa horo-sazonal verde

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Aspectos gerais da cana de açúcar e o seu cultivo no Brasil .....</b>	<b>16</b>
2.1.1	Morfologia da cana-de-açúcar .....	18
2.1.1.1	Raízes e rizomas .....	19
2.1.1.2	Colmo .....	19
2.1.1.3	Nódio e Internódio .....	19
2.1.1.4	Inflorescência .....	20
2.1.2	Eco fisiologia da cana de açúcar .....	20
<b>2.2</b>	<b>Aspectos climáticos .....</b>	<b>22</b>
2.2.1	Fatores ecológicos e crescimento da cana-de-açúcar .....	22
2.2.2	Radiação solar .....	22
2.2.3	Temperatura do ar .....	22
2.2.4	Concentração de CO <sub>2</sub> na atmosfera .....	22
2.2.5	Necessidades hídricas da cana-de-açúcar .....	23
2.2.6	Solos .....	23
2.2.7	Possíveis impactos da mudança climática na cultura de cana-de-açúcar .....	24
2.2.8	Balanco hídrico de cultivos e produtividade .....	24
2.2.9	Estimação do balanço hídrico para controle de irrigação .....	25
<b>2.3</b>	<b>Aspectos socioeconômicos .....</b>	<b>25</b>
2.3.1	Sustentabilidade.....	25
2.3.2	Avaliação de indicadores socioeconômicos e ambientais: o caso de Abaetetuba .....	26
2.3.3	Barômetro de sustentabilidade: o caso do município de Ulianópolis.....	26
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Geral .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Áreas de estudos.....</b>	<b>28</b>
4.1.1	Dados climáticos.....	30
4.1.2	Estimativa do balanço hídrico da cultura. ....	30
4.1.3	Estimativa da produtividade potencial da cana-de-açúcar .....	33
4.1.3.1	Determinação da Produção Bruta de Matéria Seca (PPB <sub>p</sub> ) .....	34
4.1.3.2	Determinação dos fatores de correção cTn e cTc .....	34
4.1.3.3	Determinação do coeficiente de índice de área foliar C <sub>IAF</sub> .....	35
4.1.3.4	Determinação de coeficiente de respiração C <sub>R</sub> .....	35
4.1.3.5	Determinação de coeficiente para a parte colhida C <sub>C</sub> .....	35
4.1.3.6	Estimativa da produtividade real em função da deficiência hídrica .....	36
4.1.4	Estimação do balanço hídrico para controle de irrigação. ....	36
4.1.5	Estimação de custos de irrigação com sistema pivô central. ....	37
<b>4.2</b>	<b>Aspectos Socioeconômicos e ambientais .....</b>	<b>42</b>

4.2.1	Abaetetuba.....	42
4.2.2	Ulianópolis.....	46
4.2.2.1	Definição dos limites da EDM dos IDS do Bem-estar ecológico.....	48
4.2.2.2	Definição dos limites da EDM dos IDS do Bem-estar humano.....	51
4.2.2.3	Estandardização da Escala de desempenho municipal (EDM) com a Escala do Barômetro de sustentabilidade (EBS).....	54

## **5 RESULTADOS..... 55**

### **5.1 Aptidão climática do município de Abaetetuba.....55**

5.1.1	Balanço hídrico de cultura.....	55
5.1.2	Estimativa da produtividade de cana-de-açúcar.....	57
5.1.3	Estimativa da produtividade em função da deficiência hídrica no município de Abaetetuba.....	59
5.1.4	Estimativa do balanço hídrico para controle de irrigação.....	59
5.1.5	Estimativa dos custos de irrigação com sistema pivô central.....	60

### **5.2 Aptidão climática do município de Ulianópolis.....61**

5.2.1	Balanço hídrico de cultura.....	61
5.2.2	Estimativa da produtividade de cana de açúcar.....	63
5.2.3	Estimativa da produtividade em função da deficiência hídrica no município de Ulianópolis.....	64
5.2.4	Estimativa do balanço hídrico para controle de irrigação.....	64
5.2.5	Estimativa dos custos de irrigação com sistema pivô central.....	66
5.2.5.1	Custos de implantação por hectare (C.Ip).....	66
5.2.5.2	Custo de adução da água - energia elétrica (C.E <sub>b</sub> ).....	66

### **5.3 Resultados socioeconômicos.....68**

5.3.1	Município de Abaetetuba.....	68
5.3.1.1	Indicador da dimensão social.....	68
5.3.1.2	Indicadores da dimensão econômica.....	69
5.3.1.3	Indicadores da dimensão ambiental.....	72
5.3.2	Município de Ulianópolis.....	77

## **6 CONCLUSÕES..... 81**

## **REFERENCIAS..... 82**

## **ANEXO - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL 1961 - 1990. TEMPERATURA MÉDIA COMPENSADA (°C)..... 87**

## 1 INTRODUÇÃO

Mundialmente, o cultivo da cana de açúcar tem experimentado um forte crescimento nas últimas décadas, chegando a produzir 174,9 milhões de toneladas em 2014 (CONAB, 2014). No Brasil esta atividade se destacou a partir do ano 2000. Em ambos os casos o aumento na produção tem sido em resposta à crescente demanda pelo açúcar no consumo de alimentos e como matéria-prima para produção de etanol (CONTINI *et al.*, 2006).

Ocorre que o aumento dessa produção, necessitou estar associado ao incremento de conhecimento para otimizar os processos que compõem esta atividade e adequação às diretrizes do setor. Conseqüentemente, evitar impactos econômicos e socioambientais negativos, inclusive os que podem ser produzidos nas culturas pela mudança climática.

O governo Brasileiro por meio do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento elaborou o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar – ZAE (EMBRAPA, 2009) para a produção de etanol e açúcar. Foram excluídas 10 (dez) áreas que atingem os estados do Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima, Pará e Amapá, como também partes do território dos Estados do Mato Grosso, Maranhão, Tocantins e de Goiás. Deste modo ficou vedada a implantação de novos empreendimentos relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar a partir do ano 2009.

Diante do contraste de produzir e proteger o meio ambiente se faz relevante o aprofundamento de estudos científicos para suporte técnico e fundamentação de alternativas para implantação ou expansão do cultivo atreladas ao mapeamento de áreas já consolidadas.

No estado do Pará o plantio da cana de açúcar é bastante antigo. Bates (1921) em sua viagem pelo rio Tocantins em 1848, fez referência à existência de grandes engenhos na zona de Moju para a produção de cachaça. Entre os municípios com maior existência de plantio de cana de açúcar desde o final da época da borracha até a década de 1960, estavam Igarapé-Miri e Abaetetuba.

Nesses municípios chegou a existir em torno de 60 engenhos, fato que lhes caracterizou como um dos principais pólos econômicos da região do Baixo Tocantins (OLIVEIRA, 1991). Vale ressaltar que por estarem localizados em solos de várzea alta eram beneficiados pelas inundações das marés dos rios, ao aproveitarem os nutrientes carregados pelos sedimentos e o aporte da umidade, no período mais seco.

Na década de 1970 a atividade canieira nestes municípios apresentou um forte declínio ocasionado por crises na relação patrão-trabalhador, sendo que para o ano de 1987, restavam somente 16 engenhos (IDESP, 1991).

Atualmente, a maior produção de cana no estado de Pará concentra-se no município de Ulianópolis, localizado no sudeste Paraense, na microrregião de Paragominas. A usina PAGRISA é a maior produtora (responsável por 95% da produção do estado), chegando a plantar uma área de 11.600 ha em áreas já consolidadas e produzir no ano de 2011 a quantidade de 679,922 t de açúcar. No que se refere à capacidade de produção de etanol, a empresa produz cerca de 300.000 l d<sup>-1</sup>(SEDAP, 2011; PAGRISA, 2015).

Entretanto, a questão do plantio de cana de açúcar no Bioma Amazônia é polêmica por se tratar de monocultura associada ao pressuposto da prática de desmatamento, de onde também derivam impactos sobre a atmosfera, recursos hídricos e solo.

O presente estudo teve como objetivo analisar a produção de cana de açúcar nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis, levando em consideração aspectos climáticos, socioeconômicos e ambientais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Aspectos gerais da cana de açúcar e o seu cultivo no Brasil**

A cana-de-açúcar é uma planta nativa das regiões tropicais e seu cultivo se estende aos dois hemisférios. O desenvolvimento desta cultura depende de vários fatores tais como a radiação solar, a temperatura, as precipitações, o fotoperíodo, assim como das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Este último, quando assimilado pela planta e com auxílio da água e radiação solar, é reduzido a carboidrato no processo fotossintético para a produção de biomassa. O ciclo fotossintético da planta é o C<sub>4</sub>, porém ela apresenta uma alta eficiência em captação de energia radiante e na sua conversão de energia química (CARVALHO, 2009).

Segundo dados da FAO (2013), é cultivada principalmente para fornecimento de matéria prima extraída a partir do seu caldo para produção de álcool, fermento e derivados para a indústria química. Seu cultivo tem experimentado um forte crescimento chegando a produzir mundialmente 1.7 bilhões de toneladas no ano 2011.

Esta cultura foi trazida para o Brasil em 1532 por Martin Alfonso de Sousa, a partir de quando passou a ter uma importância significativa para o país (CESNICK e MIOCQUE, 2004). No período do 1939-1949 as exportações da cana de açúcar experimentaram um declínio e a indústria canavieira sofreu os impactos derivados da segunda guerra mundial, associados aos riscos de transporte marítimo (guerra submarina) (SZMRECSÁNYI, 1991).

A crise do petróleo, a emergência de novas fontes de energia e a busca por opções com menores emissões de gases de efeito estufa, tendo em vista a questão das mudanças climáticas, tem proporcionado destaque em função das reais possibilidades do etanol se firmar no mercado de energia renovável.

A produção açucareira em conjunto com a produção de energia limpa usando etanol e a geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar, captaram grandes investimentos na última década para o setor. De acordo com o MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a produção de etanol no Brasil aumentou de 15.808.184 para 25.780.404 milhões de m<sup>3</sup> no período 2006 - 2010 representando um 63% de crescimento.

Vale lembrar que nesse contexto o Brasil implementou nos anos 80 programas voltados para a produção de cana-de-açúcar (Proálcool) para o abastecimento da frota automobilística nacional. Esta revolução na cadeia produtiva da cana teve como fundamento a



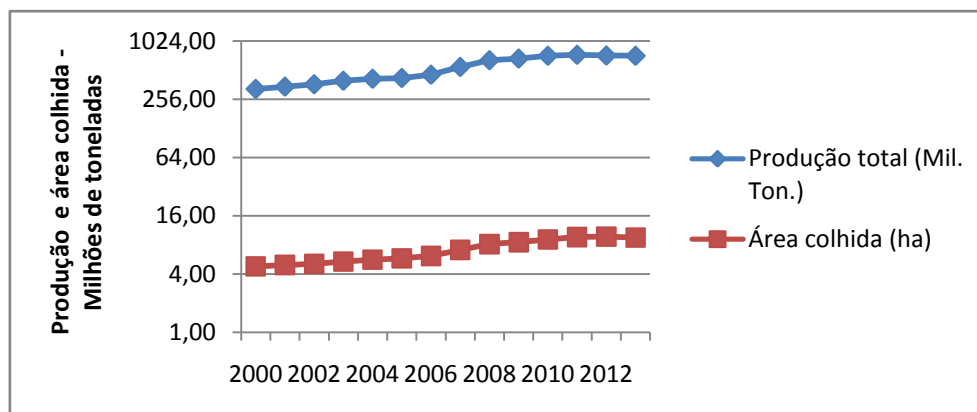
sólida base científica construída desde os anos 60, a exemplo de programas de pesquisa do Copersucar e do Planalsucar.

Projeções oficiais da demanda por açúcar e etanol brasileiros indicam a necessidade de implantação de quase 130 usinas até 2020 – 2021, assim, as unidades processadoras de cana-de-açúcar, além de produzirem açúcar, passaram a produzir etanol e bioeletricidade (VALENTE *et al.*, 2012).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor da cultura de cana de açúcar do mundo seguido pela Índia e China. Mais de 50% do açúcar comercializado mundialmente é fornecido pelo Brasil, onde se cultiva cana em todas as regiões, embora o Estado de São Paulo seja responsável pela produção de mais de 50% desta cultura (CONAB, 2014).

De acordo com dados do IBGE, no período de 2000 - 2013 a produção de cana-de-açúcar no Brasil aumentou de 326.12 para 716.77 milhões de toneladas, representando 220% de crescimento produtivo. Igualmente, neste mesmo período, a área colhida passou de 4.8 para 9.5 milhões de hectares correspondentes a 98% de aumento (Figura 1).

Figura 1-Evolução da produção e área colhida de cana-de-açúcar no Brasil (2000 - 2013)

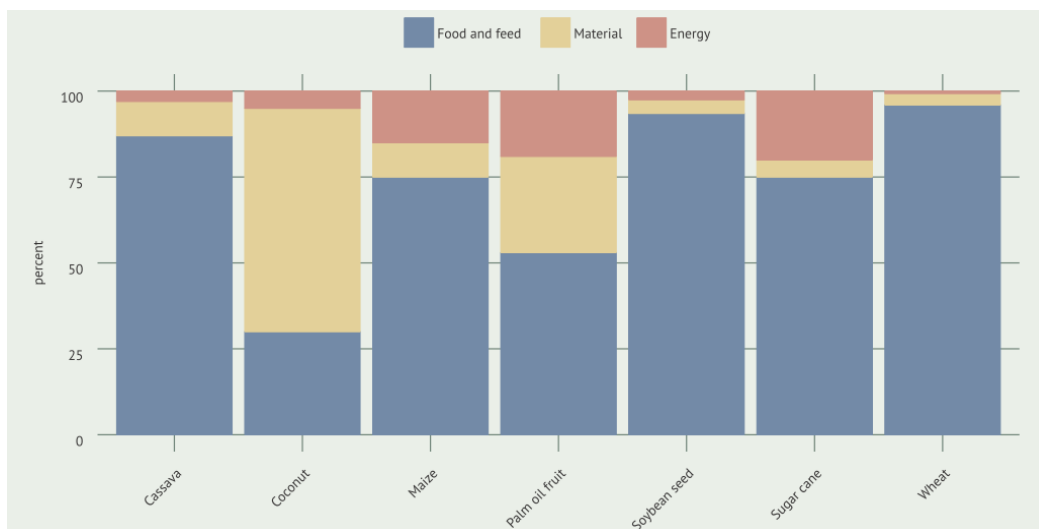


Fonte: IBGE (2013)

Este aumento na produção tem ocorrido em resposta à crescente demanda pela cana de açúcar no consumo de alimentos e como matéria-prima para produção de etanol. De acordo com a

Figura 2, em nível mundial, 75% da produção dessa cana-de-açúcar é usada para alimentos, 20% para energia e 5% como material (FAO, 2013).

**Figura 2-** Usode alguns cultivos alimentíciosno mundo



Fonte: FAO Statistical Yearbook(2013).

Por outro lado, existe a necessidade de estudos edafoclimáticos como ferramentas para contribuir na solução de problemas sobre a escolha dos lugares para cultivar ou selecionar os tipos de cultura adequados em função da área geográfica. Isto porque é crescente o aumento das pressões sobre os recursos naturais advindas do aumento populacional, destruição das florestas, a poluição do ar e água, práticas agrícolas inadequadas, as quais tem em seu cerne demanda crescente por alimentos, energia e matéria prima em escala mundial.

Assim, é preciso reconhecer que mesmo a agricultura tenha se desenvolvido muito tempo antes do nascimento da ciência da climatologia, certamente a falta de um conhecimento detalhado das relações da planta com o clima tem prejudicado o planejamento ótimo para uso da terra em escalas maiores.

A pesquisa climatológica pode ser aplicada na compreensão de necessidades de irrigação de uma cultura ou as temperaturas que favorecem tanto o crescimento quanto o desenvolvimento das plantas, época de aplicação de fertilizantes, etc. Sobretudo, porque o Brasil é uma das potências agrícolas industriais do mundo, sendo, portanto, pertinentes as pesquisas que relacionem os aspectos climáticos com a produção de culturas no território (MOTA, 1975).

### 2.1.1 Morfologia da cana-de-açúcar

A canadeaçúcar é uma gramínea perene que se desenvolve em touceiras, sendo sua a fase a inicial de crescimento o período em que esta perfilha de forma intensa (RODRIGUES, 1995). Possui uma parte aérea que é formada por colmos, folhas e inflorescências, e uma parte subterrânea constituída por raízes e rizomas (CESNIK e MIOCQUE, 2004).

#### **2.1.1.1 Raízes e rizomas**

A cana-de-açúcar apresenta um sistema de raízes fasciculado, podendo atingir até 4 m de profundidade sendo que 85% da concentração delas se encontra nos primeiros 50 cm e 60% entre os primeiros 20-30 cm de profundidade. O desenvolvimento do seu sistema radicular influencia algumas das características da planta tais como: a resistência à seca, eficiência na absorção dos nutrientes do solo, tolerância ao ataque de pragas do solo, capacidade de germinação e/ou brotação, porte (ereto ou decumbente) e tolerância à movimentação de máquinas (VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

Os rizomas são compostos por nós, internós e gemas, sendo estas responsáveis pelo aparecimento dos perfilhos formados na touceira. Os rizomas rebrotam após a colheita, dando origem às novas touceiras.

#### **2.1.1.2 Colmo**

O colmo é a parte da planta situada acima do solo, sendo formado por sucessões de inter-nós. É responsável pela sustentação das folhas, além de funcionar como reservatório onde ocorre o acúmulo de sacarose. Cesnik e MIOCQUE (2004) descrevem que o porte dos colmos pode se apresentar como: ereto, semi-ereto ou decumbente, cujo comportamento pode variar com a idade da planta. Carvalho (2009) relata que a taxa de acúmulo de sacarose aumenta quando a planta tem uma taxa de crescimento menor, o que coincide com o período de restrição climática que induz a maturação.

#### **2.1.1.3 Nó e Internó**

O nó engloba a gema que é formada por reentrâncias e um poro germinativo que ao germinar emite um broto, dando origem a um novo colmo; o anel de crescimento localizado na base do internó; a cicatriz foliar que se apresenta como um anel seco de tecido marrom e a zona radicular que abriga a gema.

Internódio, é a parte do colmo situado entre dois nódios. Pode ter forma cilíndrica, em carretel, conoidal, obconoidal e barril. Nestes se concentra a sacarose, cuja produção é influenciada pelas condições ambientais existentes.

#### **2.1.1.4 Inflorescência**

A inflorescência é uma panícula aberta, podendo ser chamada de bandeira ou flecha. As flores muito pequenas se agrupam em panículas e são rodeadas por longas fibras sedosas (SILVA; SILVA, 2012). O cultivo da cana-de-açúcar quando atinge a inflorescência experimenta um processo chamado de isoporização do colmo o que pode torná-lo mais fibroso e diminuir a quantidade de sacarose. Consequentemente, pode diminuir a produtividade, significando em prejuízo para o produtor por alterações negativas no pagamento de cana pelo teor de sacarose. Por esse motivo, na prática comercial são utilizados maturadores para iniciar a colheita quando o florescimento inicia.

#### **2.1.2 Eco fisiologia da cana de açúcar**

Comercialmente a cana de açúcar se propaga por meio da germinação de suas gemas. A gema formará a parte aérea da planta e os primórdios radiculares darão origem às raízes. O crescimento e desenvolvimento das plantas são dois conceitos distintos, o primeiro refere-se a um aumento em peso o volume de certo órgão da planta de toda ela dentro de um intervalo de tempo ou em toda sua vida. Pode ser medido em termos de aumento de comprimento de um ramo ou o aumento de peso (MOTA, 1975).

Entretanto, segundo este autor, o desenvolvimento encontra-se relacionado com o aparecimento de uma fase ou séries de fases durante o ciclo vital da planta. Ou seja, que o desenvolvimento da planta está relacionado com a morfologia e fenologia da mesma.

Esta cultura pode apresentar dois ciclos que são determinados em função do sistema de cultivo e da época de plantio: de 12 meses (cana-de-açúcar de ano) ou de 18 meses (cana-de-açúcar de ano e meio). A cana-de-açúcar oriunda da muda, e que receberá o primeiro corte em 12 meses (precoce) ou 18 meses (tardia), é denominada de cana-de-açúcar-planta (ESALQ, 2006)

Após o corte da cana-planta, ocorre a rebrota e se inicia um novo ciclo denominado de cana-soca. A cultura é dependente das condições climáticas em todo seu período de vida, sendo que na fase vegetativa (necessidade de produção de sacarose) é necessário que existam temperaturas e umidades adequadas, seguido de um período com restrição hídrica para forçar

o repouso vegetativo e estimular o enriquecimento em sacarose na época de corte (ESALQ,2006).

Portanto, a precipitação deve ser abundante durante o período de crescimento vegetativo da planta, para depois ser reduzido no período de maturação. Por esse motivo o déficit hídrico é um parâmetro utilizado para considerar a aptidão das terras para o cultivo da cana-de-açúcar.

De acordo a ESALQ (2006) déficits hídricos anuais de 200mm calculados com o método de Thornthwaite&Mather definem o limite acima do qual existe deficiência hídrica e é recomendável o uso de irrigação. Por outro lado, déficits anuais equivalentes a zero indicam regiões com ausência de estação seca o que prejudica a maturação e colheita. Assim, déficit hídrico acima de 400mm indica o limite acima do qual o cultivo sem irrigação é inviável.

Outro fator muito importante no desenvolvimento do cultivo é a temperatura. Geralmente o crescimento vegetativo é nulo (temperaturas basais), com temperaturas em torno de 21 °C e acima dos 34 °C. Além disso, o desenvolvimento da cana-de-açúcar poderá ser influenciado por fatores como umidade de solo, nutrientes minerais, luminosidade ligada diretamente ao processo fotossintético cuja fonte de energia é a radiação solar. Além disso, o longo ciclo de crescimento da planta resulta em produções elevadas de matéria seca. A cultura apresenta quatro estádios fenológicos diferentes:

**Estádio 1**- Brotação e emergência dos brotos ou colmos primários (estabelecimento). A brotação inicia-se após 7 a 10 dias do plantio e dura 30 a 35 dias, em média;

**Estádio 2** - Perfilhamento e estabelecimento da cultura: vai da emergência dos brotos ao final do perfilhamento. Fase em que a população de perfilhos associada ao início do acúmulo de sacarose nos colmos determina a produtividade futura da cultura. Esta fase inicia-se ao redor dos 40 dias após o plantio (DAP) e pode até 120 dias;

**Estádio 3** - Grande crescimento: fase que vai do final do perfilhamento até antes da intensa atividade de acúmulo de sacarose. Esta fase inicia-se por volta dos 120 DAP e duram 270 dias, normalmente;

**Estádio 4**—

Maturação: fase caracterizada pela concentração intensa de sacarose nos colmos, e é quando a qualidade da matéria-prima (colmos industrializáveis) é determinada. Inicia-se 270 DAP e pode durar até três meses. Silva, Silva (2012) apresenta as etapas do crescimento da cana-de-açúcar.

## **2.2 Aspectos climáticos**

### **2.2.1 Fatores ecológicos e crescimento da cana-de-açúcar**

Mota (1975) expressa que o meio compreende todas as forças externas e substâncias que afetam o crescimento da planta, assumindo-se que o meio natural é dinâmico e as intensidades de seus fatores variaram em função da hora, dia e extensão do ano. Logo, estas relações apresentam complexidades difíceis serem compreendidas.

O crescimento da cana de açúcar depende das condições ambientais no qual se desenvolve, sendo que normalmente as lavouras para extração de açúcar são mais exigentes em clima. Dada a necessidade da produção de sacarose, a planta precisa de condições térmicas e hídricas adequadas no período vegetativo. De acordo com Marchiori (2006) o ambiente ideal é onde a irrigação ou precipitações são bem distribuídas durante o ano, seguido de um período relativamente seco antes da colheita com bastante luminosidade durante toda a estação, já que existe uma correlação entre a incidência luminosa e a produção.

### **2.2.2 Radiação solar**

Mota (1975) expõe que na ausência de fatores limitantes como déficit hídrico, nutrientes e minerais, existirá uma relação entre a radiação solar e fotossínteses.

### **2.2.3 Temperatura do ar**

A temperatura é um dos principais fatores que controlam o crescimento e distribuição das plantas, sendo que muitos processos fisiológicos das plantas superiores ocorrem entre temperaturas de 0 a 40 °C. O processo fotossintético apresenta uma faixa subótima, ótima e um decréscimo geralmente abaixo de 35 °C.

Outro aspecto de importância é o fato de que a respiração tem sua taxa dobrada com um aumento de 10 °C na temperatura. De acordo com Cesnik (2004) a temperatura de ar para a germinação da cana de açúcar situasse em torno de 27 °C. Por outro lado, o sistema radicular se desenvolverá de forma reduzida em temperaturas inferiores aos 12 °C. Para o sistema aéreo da planta a temperatura deverá ser acima aos 15 °C.

### **2.2.4 Concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera**

Gouvêa (2008) relata que as concentrações de CO<sub>2</sub> afetam positivamente os processos biológicos da planta em situações de maiores concentrações de CO<sub>2</sub>, o que traz benefícios para crescimento e produtividade da cultura.

A cana de açúcar por ser uma planta de metabolismo fotossintético C<sub>4</sub> (assim chamada porque os primeiros produtos da fotossíntese tem quatro átomos de carbono por molécula) é muito eficiente na conversão de energia radiante em energia química com taxas fotossintéticas calculadas em até 100 mg de CO<sub>2</sub> fixado por dm<sup>2</sup> de área foliar por hora. As plantas C<sub>4</sub> absorvem CO<sub>2</sub> com os estômatos mais fechados, reduzindo assim as perdas de água (RODRIGUES, 1995).

### 2.2.5 Necessidades hídricas da cana-de-açúcar

A água é muito importante para as plantas sendo o maior constituinte fisiologicamente ativo. Funciona como um reagente nos processos fotossintéticos e hidrólise, tal como a digestão de amido. Por outro lado, atua como solvente para sais, açúcar e outros solutos, sendo é necessária para a transpiração.

O processo fotossintético diminui muito depois de reduzir 30% da água contida nas folhas e geralmente cessa quando a perda é de 60% (MOTA, 1975). Balbino (2011) afirma que a água é o principal elemento climático responsável pela variabilidade de produtividade da cultura. A necessidade por água da planta é muito forte, pelo fato de que esta representa 70% da planta e 30% representa a matéria seca.

A cana de açúcar apresenta uma capacidade em absorver água pelas folhas maior de que qualquer outra gramínea. Porém, são as raízes que absorvem maior quantidade de água. Rodrigues (1995) comenta que a cana planta consome o máximo de 4.5 mm d<sup>-1</sup>, um consumo mínimo de 2.3 mm d<sup>-1</sup> e médio de 3.3 mm d<sup>-1</sup>, já a cana soca 4.4 mm d<sup>-1</sup>, 2.2 mm d<sup>-1</sup>, 3.2 mm d<sup>-1</sup> respectivamente.

### 2.2.6 Solos

A umidade do solo proporciona absorção dos nutrientes fundamentais para o desenvolvimento das plantas. Outros atributos importantes a serem considerados são a profundidade efetiva e textura dos solos assim como boa aeração e drenagem (BALBINO, 2011; MARCHIORI, 2006).

De acordo com o Relatório do ESALQ (2006), a região leste do estado do Pará possui Latossolos e Argissolos. Na zona centro-sul são encontrados Argissolos associados ao relevo de declividade acentuada, predominando os Argissolos vermelho-amarelos distróficos

(correspondente aos Podzólicos Vermelho-Amarelos), que ocorrem em associações com Argissolos, Nitossolos, Neossolos, Cambissolos, Latossolos e Plintossolos, em sua maioria distróficos. Estes solos, em geral, fornecem condições favoráveis ao desenvolvimento da cana-de-açúcar, principalmente em áreas com déficit hídrico elevado, pois são capazes de reter água no perfil, amenizando os efeitos da seca prolongada.

### 2.2.7 Possíveis impactos da mudança climática na cultura de cana-de-açúcar

Atualmente o aumento das concentrações dos gases de efeito estufa afetam a grande maioria dos setores das atividades humanas, assim como os ecossistemas, gerando graves impactos nos setores da saúde humana, agricultura, águas superficiais e subterrâneas. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), para o caso da Amazônia, haverá neste século um aumento da temperatura, porém ainda não existe um consenso geral entre os modelos de predição no comportamento futuro das precipitações (CÂNDIDO *et al.*, 2007).

No estado do Pará, as temperaturas médias resultaram em 25,9 °C de acordo com as normais climatológicas do Brasil 1961 - 1990 apresentadas pelo INMET. Assim aumentos neste valor, assumindo-se o cenário das temperaturas aumentarem, o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar não sofreria um impacto pelo fato de que, de forma geral, a cultura não apresenta queda expressiva na taxa de crescimento em temperaturas que oscilem entre os 20 °C e 34 °C (MONTEIRO, 2009).

Quanto ao regime das precipitações, considerando que ainda não se tem uma ideia clara das predições resultantes do processo das mudanças climáticas, os efeitos nessa cultura dependerão do aumento ou diminuição das chuvas, pelo fato das fases fenológicas da cana implicarem em consumos de água diferenciados em cada etapa de seu desenvolvimento.

### 2.2.8 Balanço hídrico de cultivos e produtividade

Com o balanço hídrico de cultura se estima o armazenamento de água no solo tomando em conta as necessidades da cultura e suas distintas fases fenológicas, já que a superfície transpirante ou a área folhear varia com a idade da planta.

A produtividade dependerá da energia disponível, assim como a outras variáveis, tais como a temperatura, fotoperíodo, etc. A planta começa ganhando biomassa com a fotossíntese ao se reduzir o CO<sub>2</sub> em carboidrato.



### 2.2.9 Estimação do balanço hídrico para controle de irrigação

As necessidades por água das culturas são atendidas através do processo de irrigação o qual minimiza as adversidades meteorológicas, sendo ainda mais importante naquelas regiões onde ocorrem secas regularmente. Com o objetivo de estimar a quantidade de água a ser fornecida à cultura faz-se necessário calcular corretamente a evapotranspiração. Na realização do balanço hídrico para controle de irrigação é necessário conhecer vários aspectos importantes, tais como: a fenologia da cultura, a demanda hídrica assim como a física do solo.

## 2.3 Aspectos socioeconômicos

### 2.3.1 Sustentabilidade

O Brasil apresenta condições climáticas e geográficas privilegiadas para as práticas agrícolas, fato que atribui à agricultura papel importante para a economia e o agronegócio nacional, pois permite produzir açúcar, etanol e energia elétrica. Associada à agricultura familiar, ou de grande porte, além de gerar emprego, alimenta a população, gera renda e responde por boa parte da balança comercial brasileira (GOLDEMBERG, 2007).

O termo desenvolvimento sustentável passou a ser utilizado a partir do relatório Brundtland no ano de 1987, considerando os aspectos ambientais de desenvolvimento abrangendo uma perspectiva política e socioeconômica (REDCLIFT, 2005).

Sarandón (2000) faz um apontamento muito interessante em relação à sustentabilidade na agricultura, ao se referir à falsa ilusão de riqueza, pelo fato desta atividade degradar os recursos naturais, poluindo o ar, os corpos de água e destruindo os nutrientes do solo com o único objetivo de maximizar a lucratividade. Ostrom (2009) analisando o conceito de sustentabilidade defende que ele deve incluir os objetivos socioeconômicos e ambientais, os quais se desenvolvem usualmente em escalas de tempo e espaços diferentes.

Sarandón (2002), comenta que se pensarmos em diferentes conceitos e terminologias usadas pelas distintas disciplinas científicas para descrever os sistemas sócioecológicos, chegaremos a enfoques muitas vezes reducionistas, pois priorizam apenas o seu objeto de estudo, fazendo com que a sustentabilidade seja muito difícil de ser alcançada. Assim, acredita-se que não exista de fato ferramentas efetivas que possam medir a sustentabilidade, entendida como um conceito abstrato, como exemplo, nos sistemas agrícolas.

Para chegar à compreensão da sustentabilidade de um sistema, faz-se necessário a elaboração de valores que simplifiquem a complexidade do conceito, sendo estes valores, portanto chamados de indicadores. De acordo com o Boletim de Tierras y Aguas de la FAO

(2001) ao utilizar indicadores é possível avaliar as mudanças, os aspectos negativos e positivos gerados pelos sistemas agrícolas e que impactam na sociedade e no ambiente. No caso da agricultura, alguns dos parâmetros que devem ser medidos relacionam-se com a qualidade do solo, corpos de água, uso de fertilizantes, dentre outros.

De acordo com Achkar (2005) os indicadores podem ser definidos como variáveis que representam a outra variável ou um conjunto de variáveis em um modelo simplificado do sistema em estudo. A seleção dos indicadores usados no presente trabalho ocorreu após a análise do documento Indicadores de Desenvolvimento Sustentável apresentado pelo IBGE (2008). Foram selecionados aqueles direta ou indiretamente relacionados com a cultura da cana-de-açúcar e seus impactos nas dimensões social, econômica e ambiental no município de Ulianópolis

### 2.3.2 Avaliação de indicadores socioeconômicos e ambientais: o caso de Abaetetuba

Com o propósito de avaliar a sustentabilidade do cultivo da cana-de-açúcar no município de Abaetetuba, foram avaliados indicadores socioeconômicos da época auge em que existia a atividade canavieira, assim como indicadores ambientais atuais.

### 2.3.3 Barômetro de sustentabilidade: o caso do município de Ulianópolis

Para avaliar a sustentabilidade do cultivo da cana-de-açúcar neste município, utilizou-se a metodologia do Barômetro de sustentabilidade (BS). Trata-se de método desenvolvido pelo pesquisador Prescott-Allen, com o aval da International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) e do International Development Research Center (IDRC) (GUJIT, 2001).

É uma ferramenta que se auxilia de indicadores, podendo se aplicar em diferentes escalas espaciais e temporais, combinando os diferentes indicadores escolhidos para se obter a situação referente à sustentabilidade ambiental e socioeconômica de um determinado território.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Geral**

Analisar os aspectos climatológicos e a sustentabilidade da produção da cana-de-açúcar nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis, ambos localizados no estado do Pará.

#### **3.2 Específicos**

- Analisar o balanço hídrico de cultivo, no período de 1984 a 2013 nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis.

- Estimar a produtividade potencial da cana-de-açúcar em função da deficiência hídrica nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis.

- Calcular o balanço hídrico para controle de irrigação e os custos associados, usando o sistema pivô central.

- Avaliar indicadores socioeconômicos e ambientais da atividade canavieira da cana-de-açúcar, nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Áreas de estudos

O município de Abaetetuba pertence à mesorregião do Nordeste Paraense e à Microrregião de Cametá. Esta área foi escolhida pelo fato de ter sido uma região que apresentou uma forte atividade agrícola de cana de açúcar historicamente associada à produção de aguardente (cachaça). Abaetetuba apresenta uma área de unidade territorial de 1.610,408 Km<sup>2</sup>. Encontra-se localizado às coordenadas 01° 43' 05" S e 48° 52' 57" W e os limites do município são os seguintes: ao Norte pelo Rio Pará e município de Barcarena; a Leste pelo município de Moju; ao Sul pelo municípios de Igarapé-Miri e Moju; a Oeste pelos municípios de Igarapé-Miri, Limoeiro do Ajuru e Muaná.

Segundo a classificação de Köppen, o clima no município de Abaetetuba é do tipo Am, que corresponde à categoria de super úmido. Apresenta altas temperaturas e precipitações abundantes. O município é caracterizado por solos hidromórficos na calha amazônica, região das ilhas e estuário do Tocantins. Fora desta área predominam latossolos amarelos distróficos, textura média, associado ao Podzol Hidromórfico e solos Concrecionários Lateríticos Indiscriminados distróficos, textura indiscriminada, em relevo plano.

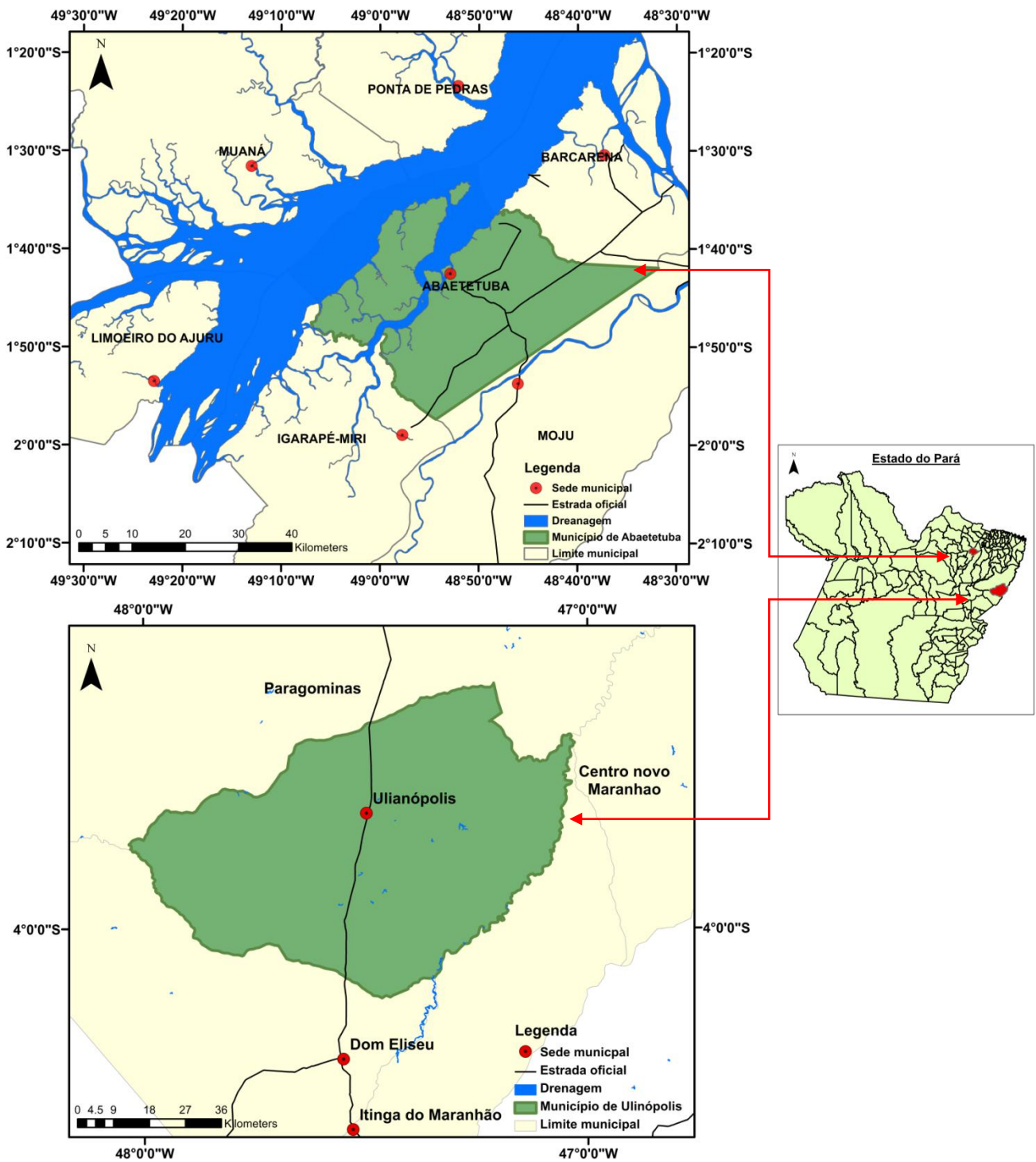
O município de Ulianópolis é pertencente à mesorregião do sudeste Paraense e à microrregião de Paragominas. Esta área foi escolhida por vir apresentando um aumento na produção da cana de açúcar.

De acordo com dados do IBGE (2010) Ulianópolis foi responsável por cerca de 95% da produção Paraense. Neste município existe um empreendimento da agroindústria do setor sucroalcooleiro, para produção do açúcar cristal e de etanol (álcool anidro, utilizado na mistura com a gasolina e álcool hidratado, usado diretamente nos veículos Flex).

Ulianópolis apresenta uma área de unidade territorial de 5.088,46 km<sup>2</sup>. Encontra-se localizado nas coordenadas 3° 45' 32" S, 47° 29' 26" W, sendo que os limites do município são os seguintes: ao norte Paragominas, ao sul Don Eliseu e ao leste Estado do Maranhão.

Possui um clima Tropical úmido de monção, tipo Am (Classificação de Köppen), temperatura média anual oscilando entre 26° a 27°C - Máxima de 33°C, e mínima de 22° a 23°C. O período chuvoso no município abrange o período de novembro até abril (100 a 125 dias de chuva), com índice pluviométrico variando de 2.250 a 2.500 mm. De acordo com ESALQ (2006), o tipo de solo predominante é o vermelho-amarelo. A Figura 3 apresenta a macro e microlocalização dos municípios em estudo.

Figura 3- Macro e Microlocalização dos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis.



Fonte:Elaborado pelo autor, a partir da base vetorial IBGE

#### 4.1.1 Dados climáticos.

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo foram: Precipitação Total (mm); Temperatura do ar e horas de brilho solar os quais foram empregados para calcular o balanço hidrológico normal e de cultivo usando a simplificação do método de Thornthwaite (1948) adaptado por Camargo (1962), para assim determinar a aptidão climática das zonas a serem estudadas.

Para o município de Abaetetuba os dados meteorológicos mensais referentes ao período 1984 - 2013 foram obtidos da estação meteorológica BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET): Belém - Pará (OMM: 82191), localizada nas coordenadas: -1.43 latitude, -48.43 longitude.

Esta estação é representativa das condições climáticas do município de Abaetetuba pois de acordo com a Organização Mundial da Meteorologia (OMM), cada estação em serviço deverá efetuar medições representativas do estado atmosférico de uma ampla zona (2.000 - 10.000 km<sup>2</sup>) ou raios de (25 - 57 km), para topografias homogêneas.

Ressalta-se que o município de Abaetetuba está a uma distância média em linha reta de 50 km em relação a estação usada recomendada pela OMM, o que atesta a validade dos dados a serem utilizados.

No caso do município de Ulianópolis os dados de precipitações foram obtidos da estação meteorológica do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA - Agencia Nacional de Aguas: Estação Gurupizinho, Código da estação: 347001 localizada nas coordenadas: -3.73 latitude, -47.48 longitude. Porém a estação em referência só fornece dados de precipitações, assim os dados de temperatura e horas de brilho solar foram obtidas da estação Marabá código OMM: 82562 localizada nas coordenadas: -5,36 latitude, -49,13 longitude.

Considerando-se que devido ao fato que no clima equatorial as diferenças das temperaturas mínimas e máximas médias mensais observadas não variam muito, os dados desta estação foram representativos do município de Ulianópolis.

#### 4.1.2 Estimativa do balanço hídrico da cultura.

Para a elaboração do balanço hídrico da cultura foi empregado o método de Thornthwaite e Mather (1955) descrito por Pereira (2007). Com este método calculam-se as estimativas da evapotranspiração real da cultura ETR, a deficiência hídrica DEF, o excedente hídrico EXCe o armazenamento de água no solo ARM. O modelo usa como dados de entrada a capacidade disponível de água no solo (CAD em mm), sendo que o presente trabalho

adotou um valor CAD de 100 mm recomendado pelo estudo realizado pelo ESALQ (2006), assim como os dados chuva P e a evapotranspiração de cultura ETc. A Evapotranspiração de cultivo ETc foi estimada através da equação 1.

$$ETc = Kc ETP \quad (1)$$

O coeficiente de cultura (Kc) varia com as distintas fases fenológicas e é função do Índice de Área Folhear (IAF). O Coeficientes de cultura (Kc) para a cana-de-açúcar em suas diferentes fases de desenvolvimento é sendo, descrito na Tabela 1.

**Tabela 1- Coeficientes de cultura (Kc) para a cana-de-açúcar em suas diferentes fases de desenvolvimento**

Cultura	Fases de Desenvolvimento da Cultura				
	Estabelecimento	Desenv. Veget.	Florescimento	Frutificação	Maturação
Cana-de-açúcar	0,4 - 0,5	0,7 - 1,0	1,0 - 1,3	0,75 - 0,8	0,5 - 0,6

Fonte: Adaptado de Pereira, 2007

A Evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada usando a simplificação do método de Thornthwaite (1948) adaptado por Camargo (1962) e descrito por Pereira (2007), este modelo faz uso de uma tabela com valores de Evapotranspiração Potencial Diária ( $ET_T$ , mm  $d^{-1}$ ) calculados em função das temperaturas média anual ( $T_a$ ) e mensal ( $T_m$ ), apresentada na Tabela 2. Para se calcular os valores de Evapotranspiração potencial diária ( $ET_T$ , mm  $dia^{-1}$ ), selecionou-se a temperatura média anual ( $T_a$ ), na primeira linha horizontal e a respectiva temperatura mensal ( $T_m$ ), contida na primeira coluna.

**Tabela 2-Evapotranspiração potencial diária ( $ET_T$ , mm dia<sup>-1</sup>), em função das temperaturas médias anual ( $T_a$ ) e mensal ( $T_m$ )**

(T <sub>m</sub> ) °C	Temperatura média anual(T <sub>a</sub> ,°C)												
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
14	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4
15	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6
16	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8
17	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9
18	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1
19	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5	1,4
20	3,0	3,0	2,8	2,8	2,8	2,6	2,5	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,7
21	3,3	3,2	3,1	3,0	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1
22	3,5	3,4	3,3	3,3	3,2	3,1	3,1	3,0	2,9	2,7	2,6	2,5	2,4
23	3,7	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8
24	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	3,3	3,2
25	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,7
26	4,4	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Para  $T_m$  ou  $T_d \geq 26,0$  °C, a  $ET_T$  (mm dia<sup>-1</sup>) é:

T <sub>m</sub> ou T <sub>d</sub>	Temperatura média anual(T <sub>a</sub> ,°C)									
	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,4	5,6	5,8	5,9	6,0	6,1
,5	4,5	4,8	5,1	5,3	5,5	5,7	5,8	6,0	6,1	6,1

Fonte: Pereira (2007)

De acordo com Pereira (2007), a escolha de um método para a estimativa da evapotranspiração depende de uma série de fatores, entre os quais podem se mencionados os seguintes: a) disponibilidade de dados metrológicos, já que sem os dados obtidos por estações não será possível a aplicação de modelos matemáticos complexos que demandem grande quantidade de variáveis; b) a escala de tempo requerida (mensal, diária) para a análise, pois o método Thornthwaite e de Camargo, estimam bem a ETP na escala mensal que foi a escala utilizada no presente estudo.

Os métodos empíricos precisam conhecer as condições climáticas para as quais foram desenvolvidos pelo fato de que normalmente esses métodos não podem ser aplicados universalmente. Desse modo, métodos como os de Thornthwaite e de Camargo aplicam-se a regiões de clima úmido, tais como as apresentadas nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis.

Assim, na Tabela 2, obtém-se  $ET_T = ET_P / 30$ . Portanto, há necessidade de se multiplicar o valor de  $ET_T$  por 30 para se chegar ao valor de ETP mensal. Em seguida,



multiplicar por um fator de Correção (Cor) da evapotranspiração que é função do fotoperíodo e do número de dias do mês. Estes valores de correção são apresentados na Tabela 3, onde na primeira coluna se encontram as latitudes Sul e na primeira linha cada um dos meses do ano. Assim a equação 2 representa o valor da Evapotranspiração potencial mensal (ETP).

$$ETP = 30 ET_T \text{Cor} \quad (2)$$

**Tabela 3- Fator de Correção (Cor) da evapotranspiração em função do fotoperíodo e do número de dias do mês**

Lat S	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DEZ
0	1,04	0,94	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04	1,04	1,01	1,04	1,01	1,04
5	1,06	0,95	1,04	1,00	1,02	0,99	1,02	1,03	1,00	1,05	1,03	1,06
10	1,08	0,97	1,05	0,99	1,01	0,96	1,00	1,01	1,00	1,06	1,05	1,10
15	1,12	0,98	1,05	0,98	0,98	0,94	0,97	1,00	1,00	1,07	1,07	1,12
20	1,14	1,00	1,05	0,97	0,96	0,91	0,95	0,99	1,00	1,08	1,09	1,15
22	1,14	1,00	1,05	0,97	0,95	0,90	0,94	0,99	1,00	1,09	1,10	1,16
23	1,15	1,00	1,05	0,97	0,95	0,89	0,94	0,98	1,00	1,09	1,10	1,17
24	1,16	1,01	1,05	0,96	0,94	0,89	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,17
25	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,88	0,93	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
26	1,17	1,01	1,05	0,96	0,94	0,87	0,92	0,98	1,00	1,10	1,11	1,18
27	1,18	1,02	1,05	0,96	0,93	0,87	0,92	0,97	1,00	1,11	1,12	1,19
28	1,19	1,02	1,06	0,95	0,93	0,86	0,91	0,97	1,00	1,11	1,13	1,20
29	1,19	1,03	1,06	0,95	0,92	0,86	0,90	0,96	1,00	1,12	1,13	1,20
30	1,20	1,03	1,06	0,95	0,92	0,85	0,90	0,96	1,00	1,12	1,14	1,21
31	1,20	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,96	1,00	1,12	1,14	1,22
32	1,21	1,03	1,06	0,95	0,91	0,84	0,89	0,95	1,00	1,12	1,15	1,23

Fonte: Pereira(2007)

#### 4.1.3 Estimativa da produtividade potencial da cana-de-açúcar

Com o objetivo de estimar a produtividade potencial foi usado o método da Zona Agroecológica (Modelo FAO) apresentado por Doorembos e Kassan (1994) e descrito por Pereira (2007). O citado modelo é desenvolvido sob o pressuposto de que não existem limitações de água e nutrientes, nem a ocorrência de pragas e moléstias ao mesmo tempo, entendendo que se trata de uma variedade altamente produtiva e adaptada ao ambiente em estudo. A equação 3 é proposta para calcular a produtividade potencial da cultura.

$$PP_R = PP_{B_P} * C_{IAF} * C_R * C_C * ND \quad [Kg \text{ ha}^{-1}] \quad (3)$$

Onde:

PP<sub>B<sub>P</sub></sub>: Produção bruta de matéria seca de uma cultura padrão [Kg MS ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>];

C<sub>IAF</sub>: Coeficiente de correção de índice de área foliar;

$C_R$ : Coeficiente de correção para a respiração;  
 $C_{COL}$ : Coeficiente de correção para a parte colhida;  
 $ND$ : Número de dias do ciclo da cultura.

#### 4.1.3.1 Determinação da Produção Bruta de Matéria Seca (PPB<sub>P</sub>)

Esta é a produtividade bruta de matéria seca levando em consideração a presença ou ausência de nuvens, pois estas alteram a quantidade de radiação solar incidente o que altera a eficiência de aproveitamento da energia radiante das folhas. Portanto, existem diferenças dos valores de PPB<sub>P</sub> na presença ou ausência de nuvens.

APPB<sub>P</sub> foi calculada matematicamente através da equação 3.1. Alógica desta expressão está baseada no fato de que geralmente durante o dia ocorre nebulosidade. Assim aPPB<sub>n</sub> representa o componente devido ao período nublado e PPB<sub>c</sub> o componente devido ao período de céu claro.

$$PPB_P = PPB_n + PPB_C [\text{Kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}] \quad (3.1)$$

As expressões PPB<sub>n</sub> e PPB<sub>C</sub> são calculadas a traves das equações 3.1.1 e 3.1.2 (Pereira, 2007).

$$PPB_n = (31,7 + 0,219 Q_O) cT_n (1 - n/N) \quad [\text{Kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}] \quad (3.1.1)$$

$$PPB_C = (107,2 + 0,36 Q_O) cT_c (n/N) \quad [\text{Kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}] \quad (3.1.2)$$

Onde:

$Q_O$ : Irradiância solar global extraterrestre [ $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ ];

$cT_n$ : Correção devido a temperatura (para cada tipo de cultura) relativa ao período nublado;

$cT_c$ : Correção devido a temperatura (para cada tipo de cultura) relativa ao período sem nuvens;

$n$ : Número de horas de brilho solar;

$N$ : Fotoperíodo

#### 4.1.3.2 Determinação dos fatores de correção $cT_n$ e $cT_c$

A produção bruta de matéria seca varia com a espécie, pelos tipos de mecanismo de fixação de carbono e com a temperatura ambiente em função de sua adaptação climática. Com o objetivo de calcular os fatores de correções relativas ao período nublado ( $cT_n$ ) e período sem nuvens ( $cT_c$ ), seguiu-se a metodologia descrita por Pereira (2007), a qual apresenta os polinômios com os quais facilita interpolar os fatores que originalmente eram dados em tabelas com valores discretos de temperatura a intervalos de 5 °C.

Para  $T \geq 16.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$$cT_n = -1,064 + 0,173 T - 0,0029 T^2 \quad (3.1.1.1)$$

$$cT_c = -4,16 + 0,4325 T - 0,00725 T^2 \quad (3.2.1.1)$$

#### 4.1.3.3 Determinação do coeficiente de índice de área foliar $C_{IAF}$

Para a cultura hipotética padrão Pereira (2007), considera  $IAF = 5$ , isto com cobertura total do terreno e máxima captação de radiação solar. Porém, em uma cultura real  $IAF$  varia em todo o ciclo de desenvolvimento da planta. Portanto, foi preciso atribuir uma correção, que varia em função do  $IAF$  máximo atingido durante o plantio, o valor de  $C_{IAF}$  é dado por a equação 3.2.

$$C_{IAF} = 0,0093 + 0,185 IAF - 0,0175 IAF^2 \quad (IAF \geq 5, C_{IAF} = 0,5) \quad (3.2)$$

#### 4.1.3.4 Determinação de coeficiente de respiração $C_R$

Parte dos carboidratos é consumida durante a fotossíntese e parte na manutenção dos tecidos da planta. Este consumo depende em grande medida da temperatura ambiente, sendo que existe uma relação direta entre a temperatura e respiração. Portanto, foi necessário utilizar um coeficiente de correção para a respiração o qual é dado por:

$$C_R = 0,5 \text{ para } T \geq 20 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.3)$$

Sendo  $T$  a temperatura média durante o ciclo considerado, quanto maior for esta maior será a perda respiratória e menor será o valor de  $C_R$ .

#### 4.1.3.5 Determinação de coeficiente para a parte colhida $C_C$

Em geral uma parte da matéria seca total é colhida, seja na forma de grão, fibra, etc.  $C_C$  apresenta a relação entre a matéria seca comercial e o rendimento obtido. Pereira (2007) comenta que para a cana-de-açúcar  $C_C$ , está na faixa entre 0.70 - 0.80 e um teor de umidade  $U\% = 80$ . O valor de  $PP_R$  (matéria seca da parte colhida) deve ser acrescentado com a unidade residual ( $U\%$ ), chegando assim ao valor da produtividade potencial final  $PP_F$ , aplicou-se a seguinte relação:

$$PP_F = PP_R / (1 - 0,01 U\%) \quad (3.4)$$

#### 4.1.3.6 Estimativa da produtividade real em função da deficiência hídrica

A deficiência hídrica tem um efeito muito importante nos aspectos tanto fisiológicos quanto morfológicos da planta, sendo o fechamento parcial ou total dos estômatos em função desta deficiência, reduzindo assim o processo da fotossíntese que afeta o crescimento do cultivo e, conseqüentemente, diminui a produtividade da cultura.

No cálculo da produtividade potencial (Equação 3.4) não é considerada a deficiência hídrica (a qual fica caracterizada sempre que a evapotranspiração real ETR for menor que a evapotranspiração da cultura ETc). Assim toda vez que a relação  $ETR/ETc < 1$  há deficiência hídrica. E quanto menor for essa relação, maior a deficiência e seu efeito sobre a produtividade.

Assim, é necessário estimar a quebra de produtividade em condições de déficit hídrico a través da estimativa da produtividade real PR. Para o cálculo da produtividade real PR, foi usado o modelo FAO proposto por Doorembose e Kassam (1994) e descrito por Pereira (2007). Neste modelo relaciona-se a queda relativa de rendimento  $(1-PR/PP_F)$  com o déficit relativo de evapotranspiração  $(1-ETR/ETc)$ . Introduzindo o fator corretivo  $K_Y$  exposto na Tabela 4, denominado fator de resposta da cultura, este é interpretado como a sensibilidade ao estresse hídrico em cada fase de desenvolvimento da cultura. Assim a equação que relaciona a  $ETR/ETc$ ,  $PP_F$  e  $K_Y$  é a seguinte:

$$PR = [1 - K_Y (1 - ETR/ETc)] \quad (4)$$

**Tabela 4- Valores de  $K_Y$  para diferentes culturas agrícolas**

Cultura	Desenvolvimento vegetativo	Floração	Frutificação	Maturação	Ciclo Total
Cana-de-açúcar	0,75	-	0,50	0,10	1,20

Fonte: Pereira (2007)

#### 4.1.4 Estimação do balanço hídrico para controle de irrigação.

Para estimar o balanço hídrico para controle de irrigação foi utilizada uma adaptação do balanço hídrico climatológico normal sequencial. Para o município de Abaetetuba, iniciou-se o balanço hídrico para controle de irrigação no mês de junho assumindo que a semeadura é realizada em janeiro, considerando que nesta zona a prática da atividade canavieira era de corte o ano todo, isto devido à ausência de temperaturas baixas e falta de estiagem (fatores que estimulam a fase de crescimento vegetativo) (LENA, 1991).

No caso do município de Ulianópolis a safra é iniciada no mês de junho até novembro (PAGRISA, 2015). Assim, a semeadura é feita no mês de dezembro e o cálculo do balanço hídrico para controle de irrigação iniciou-se seis meses depois, ou seja, no mês de maio. Considera-se para ambos os municípios uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 50 mm. A evapotranspiração de cultivo (ET<sub>c</sub>) foi estimada através da seguinte expressão:

$$ET_c = K_c \cdot E_{to} \quad (5)$$

Onde K<sub>c</sub> é o coeficiente de cultura e E<sub>to</sub> é a Evapotranspiração de referência (mm). Para calcular a E<sub>to</sub> foi utilizado o método de Camargo (1971):

$$E_{to} = 0,01 \cdot Q_o \cdot T \cdot ND \quad (6)$$

Onde Q<sub>o</sub> é a irradiância solar extraterrestre (mm) de evaporação equivalente por dia, T é a temperatura média do ar (°C) e ND é o número de dias considerados. A Água Facilmente Disponível (AFD) foi calculada com a seguinte expressão:

$$AFD = p \cdot CAD \quad (7)$$

Onde:

$p$  = Fração determinada experimentalmente e depende do tipo de cultura e dos estádios fenológicos.

CAD = Capacidade de água disponível

#### 4.1.5 Estimação de custos de irrigação com sistema pivô central.

Para a estimação do custo de irrigação por hectare (R\$ ha<sup>-1</sup>), foi usada a seguinte expressão:

$$C.I = C.I_p + C.E_b + C.P_c + C_{MOD} \quad (8)$$

Onde:

(C.I<sub>p</sub>): Custos de implantação de cana-de-açúcar por hectare;

(C.E<sub>b</sub>): Custo da energia elétrica por bombeamento;

(C.P<sub>c</sub>): Custo por hectare do sistema pivô central depreciado com o método da linha reta considerando uma vida útil do sistema de 20 anos;

(C<sub>MOD</sub>): Custo fixo de mão-de-obra direta. Neste último, tomou-se com base de cálculo três pessoas para operar o sistema pivô central e uma para a operação da motobomba, todos

recebendo um salário mínimo mensal de 788,00 R\$ (IPEADATA, 2015). Os custos de implantação por hectare (C.Ip) da cana-de-açúcar são apresentados na Tabela 5.

Estes custos foram considerados como variáveis por dependerem da escala de produção (CONAB, 2010) e foram considerados iguais para ambos os municípios, em razão de estarem na mesma zona de influência econômica.

**Tabela 5-Estimativa do custo de implantação de 1 ha de cana de açúcar**

Discriminação	Und.	Qtd	Valor (R\$)	
			Unit.	Total
<b>I.- Insumos</b>				
Estacas de cana	Ton.	15,00	66,00	990,00
Adubo químico NPK	l	0,60	1.212,00	727,20
Adubação foliar	l	322,40	0,60	193,44
Defensivos (fungicidas/inseticida)	l	0,60	138,40	83,04
Herbicida desecante/pós-emergente (folha estreita/larga)	l	1,40	46,53	65,14
<b>Sub – Total</b>				<b>2.058,82</b>
<b>II. Serviços</b>				
Aração (grade aradora)	h/tp <sup>1</sup>	1,00	80	80,00
Nivelamento (grade niveladora)	h/tp	0,80	80	64,00
Aplicação mecanizada de herbicida (tratorizada 2 X)	h/tp	0,40	80	32,00
Plantio e adubação (plantadeira/adubadeira)	h/tp	1,00	80	80,00
Aplicação de inseticida e fungicida (tratorizada 4 X)	h/tp	0,80	80	64,00
Transporte interno trator 65 cv + carreta 4 toneladas	h/tp	1,00	80	80
Colheita mecanizada	h/tp	1,00	180	180
<b>Sub – Total</b>				<b>580,00</b>
<b>Total</b>				<b>2.638,82</b>

Fonte: Banco da Amazônia(2015)

O custo da energia elétrica por bombeamento (C.E<sub>b</sub>) resulta da multiplicação da tarifa (Tr) vezes a potência do equipamento de bombeamento (P) vezes o tempo de bombeamento (T<sub>b</sub>) ou seja:

$$C.E_b = Tr P T_b \quad (9)$$

A tarifa utilizada foi a correspondente ao Grupo A, tarifa horo-sazonal verde para unidades com carga instalada superior a 50kW e inferior a 2,500 kW atendido em tensão inferior 69 kV sendo a tarifa igual a 14,23 R\$ kW<sup>-1</sup> (REDE CELPA, 2015; MORETTI, 2001). Os cálculos de faturamento elétrico não consideram irrigações feitas no horário ponta sendo este das 17:00h e 22:00h. A potência do equipamento de bombeamento foi calculada usando a expressão (A. NETTO et al., 1970):

<sup>1</sup>tp = Trator pneu

$$P = \frac{\gamma QH}{75\eta} \quad (10)$$

Onde:

P: potência do equipamento de bombeamento, HP;

$\gamma$ : peso específico da água igual a 1.000 kg m<sup>-3</sup>;

Q: vazão bombeada pelo sistema hidráulico em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> e obtida do balanço hídrico para controle de irrigação. Foi considerado um tempo de bombeamento igual a 20 h d<sup>-1</sup>;

H: altura manométrica (m) a qual é composta por a soma da altura geométrica ( $h_g$ ) mais as perdas de cargas totais ( $f$ ), das quais foram consideradas em 5% da altura geométrica.

A altura geométrica ( $h_g$ ) é calculada a partir da soma da altura de sucção ( $h_s$ ) e a altura de recalque ( $h_r$ ).

A altura de sucção ( $h_s$ ) foi obtida a partir da média da diferença do nível dinâmico (N.D) e nível estático (N.E) do manto freático de uma amostra de 18 poços que tivessem as informações requeridas e localizados no município de Ulianópolis e apresentados na

Tabela 6(SIAGAS, 2015). Altura de recalque ( $h_r$ ), é a pressão de trabalho do sistema pivô central a qual, de acordo com estudos realizados por Rodriguez e Correa (2005), resultou de 10,5 m, para pivô central modelo S2 AF 3000-15 diâmetro 5 9/15" e comprimento total de 336,3 m de fabricação brasileira. Assim, a altura manométrica foi calculada com a seguinte expressão:

$$H = h_g + f \quad (11)$$

$$f = 5\% \cdot h_g \quad (12)$$

$$h_g = h_s + h_r \quad (13)$$

$$\eta \text{-eficiência da motobomba, considerou-se de 80\%} \quad (14)$$



**Tabela 6-Dados da amostra de poços utilizados no município de Ulianópolis, para determinar a altura de sucção  $h_s$**

Projeto	Lat.	Lon.	Uso água	N. din. - m (N.D)	N. est. - m (N.E)	Altura de sucção - m (hs)
PAGAS-SIAGAS	-3° 33' 6.8394"	-47° 6' 14.76"	Abast. urbano	24	20	4
PAGAS-SIAGAS	-3° 34' 31.7994"	-47° 8' 33.7194"	Abast. urbano	102	96	6
PAGAS-SIAGAS	-3° 35' 7.08"	-47° 15' 54.72"	Abast. urbano	108	102	6
PAGAS-SIAGAS	-3° 34' 55.1994"	-47° 11' 2.3994"	Abast. urbano	37	24	13
Pagrisa-Pará Pastoril e Agrícola S/A	-3° 24' 57.24"	-47° 27' 16.92"	Abast. ind.	23	15	8
Pagrisa Pará Pastoril e Agrícola S/A	-3° 24' 55.0794"	-47° 27' 21.2394"	Abast. ind.	28	16	12
Pagrisa Pará Pastoril e Agrícola S/A	-3° 24' 43.1994"	-47° 27' 53.64"	Abast. ind.	22	13	9
Pagrisa Pará Pastoril e Agrícola S/A	-3° 24' 52.56"	-47° 27' 39.5994"	Abast. ind.	20	12	8
PAGAS-SIAGAS	-4° 2' 5.2794"	-47° 19' 25.6794"	Abast. domést./animal	136	110	26
PAGAS-SIAGAS	-3° 24' 41.4"	-47° 27' 52.5594"	Abast. ind.	29.25	3.23	26.02
PAGAS-SIAGAS	-3° 25' 59.5194"	-47° 15' 6.8394"	Abast. domést.	6.84	4.27	2.57
PAGAS-SIAGAS	-3° 26' 36.9594"	-47° 17' 35.88"	Abast. múltiplo	35	32	3
-	-3° 27' 8.6394"	-47° 17' 44.8794"	Abast. múltiplo	20	13.4	6.6
-	-3° 26' 0.2394"	-47° 1' 12.3594"	Abast. ind.	6	2.5	3.5
-	-3° 27' 11.88"	-47° 18' 15.12"	Abast. múltiplo	11.2	9.6	1.6
PAGAS-SIAGAS	-3° 26' 33.36"	-47° 17' 35.5194"	Abast. múltiplo	22	12	10
-	-3° 27' 14.4"	-47° 17' 59.9994"	Abastecimento industrial	10	8	2
<b>Média (m)</b>						<b>8.30</b>

Fonte: SIAGAS (2015)

A composição dos custos para o sistema de pivô central por hectare (C.Pc) para áreas menores de 12 hectares para o mês de janeiro ano 1997, foi obtida a partir de dados apresentados por Moretti (2001), sendo que o custo do sistema pivô completo (motobomba,

adutora e cabos elétrico) foi igual a 2.926,36 R\$ ha<sup>-1</sup>. Estes custos foram atualizados para o mês de janeiro do ano 2015, baseando-se no índice geral de preços (IGP-DI) fazendo uso de ferramentas financeiras disponibilizadas pelo Banco Central do Brasil, resultando em um custo de 12.062,98 R\$ ha<sup>-1</sup>.

## 4.2 Aspectos Socioeconômicos e ambientais

### 4.2.1 Abaetetuba

Foram analisados indicadores nas dimensões social, econômica e ambiental de acordo com a Tabela 7.

**Tabela 7- Descrição dos indicadores utilizados no município de Abaetetuba**

<b>Dimensão</b>	<b>Indicador</b>	<b>Critério</b>	<b>Fonte de avaliação</b>	<b>Escala temporal</b>
<b><u>Social</u></b>				
Mostra a evolução populacional urbana e rural	1.- População urbana e rural	Expressado como percentual da população urbana e rural	IBGE	1950-1996
<b><u>Econômica</u></b>				
Empregos relacionados a atividade canaveira.	1.- Número de empregos ligados a atividade agrícola	Evolução do aumento e declínio de empregos diretos na agricultura e industria	Oliveira, 1991	1950 - 1975
Resulta da evolução da produção e as áreas destinadas para o cultivo da cana.	2.- Produtividade	Evolução da produtividade no tempo	IPEA-DATA	1950 - 1999
<b><u>Ambiental</u></b>				
Refere-se as vulnerabilidades dos corpos subterrâneos de água e mudanças dos recursos naturais	1.-Vulnerabilidade das águas subterrâneas por cargas contaminantes	Índices associados as características de formação e litológicas dos aquíferos	PAHO - CEPIS, CPRM	1990 - 2013
	2.- Uso de solo e desmatamento	Tipo de uso de solo e evolução do desmatamento	Projeto Terraclass 2012, IDESP 2012	2002 - 2012

Fonte: elaborado pelo autor

Os indicadores usados para o município de Abaetetuba abrangem temáticas tais como as seguintes.

a-) Indicadores na dimensão social

- População urbana e rural.

b-) Indicadores na dimensão econômica

- Empregos diretos na agricultura e na indústria: Usando-se como referência o trabalho de Lena (1991) para os anos 1950, 1960 e 1970.
- Produtividade: Resultando de dividir a Produção do município e a área colhida.

Pelo fato de não se ter informações estatísticas oficiais relativas à produção de cana de açúcar, estimou-se a produção nos anos de 1950, 1960 e 1970. Para tal efeito foi usado o trabalho realizado por Oliveira (1991) intitulado “Amazônia: a fronteira agrícola 20 anos depois”. Já a partir do ano 1973 até 1987 foram usados dados do IBGE.

c-) Indicadores da dimensão ambiental

- Vulnerabilidade das águas subterrâneas:

A intensificação das atividades humanas produz cada vez mais poluentes, sendo os aquíferos afetados na sua vulnerabilidade pela contaminação derivada da agricultura extensiva.

O conceito de vulnerabilidade de aquíferos é usado para descrever o grau de sensibilidade que estes podem ser afetados na sua qualidade físico-química por uma carga contaminante. A vulnerabilidade está relacionada com a instabilidade dos poluentes na zona saturada e a capacidade atenuante da capa do solo onde se produzem intercâmbios tanto físicos quanto químicos com a carga poluente (FOSTER; HIRATA, 1998).

Estes pesquisadores destacam que todos os aquíferos são vulneráveis às cargas contaminantes ao longo do tempo, porém pode-se pensar naqueles cujas características tanto da sua conformação quanto litológicas sejam mais facilmente acessíveis para cargas poluentes como mais vulneráveis quando comparados com aquíferos mais difíceis de serem poluídos por suas características próprias.

Assim, o presente trabalho analisou o indicador de vulnerabilidade do aquífero do município de Abaetetuba, supondo uma forte atividade agrícola e o uso de agrotóxicos associados ao controle de pragas.

Para tal efeito, foram utilizadas informações de 26 poços que tivessem as informações requeridas para a análise e localizados dentro do território do município de

Abaetetuba. Os dados foram coletados do Sistema de Informação de Águas subterrâneas - SIAGAS da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM.

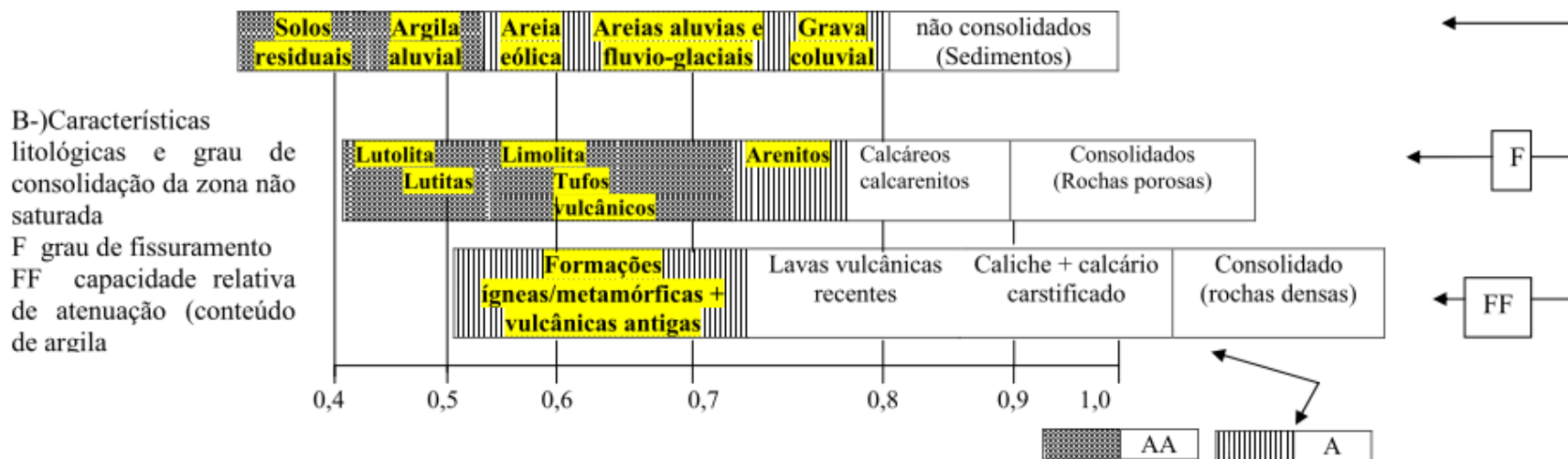
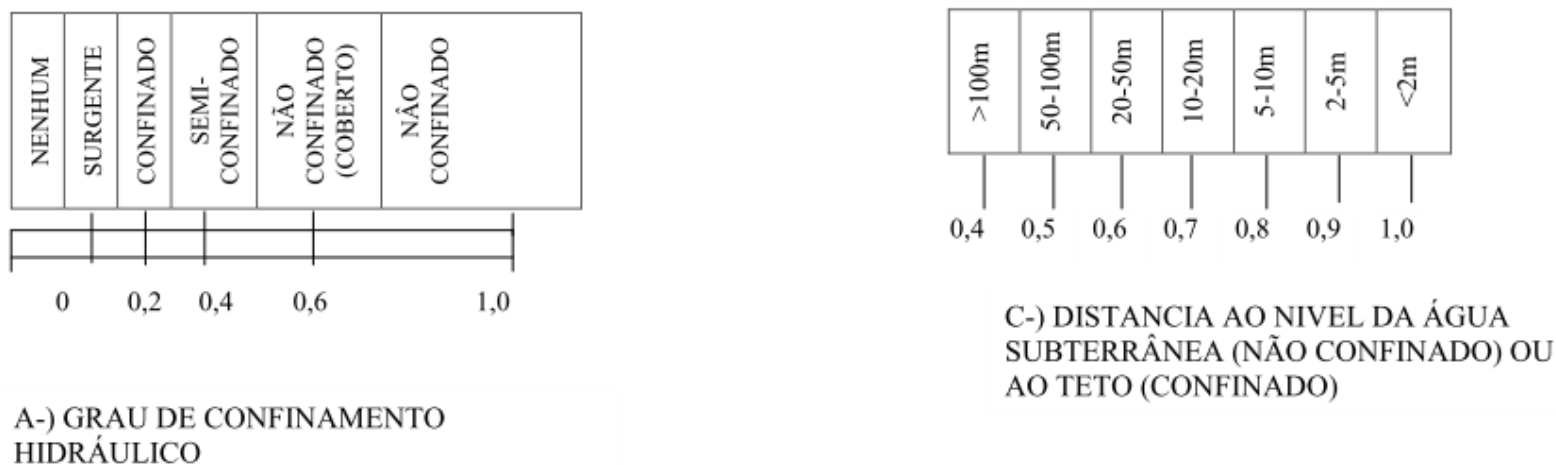
A medição da vulnerabilidade baseou-se na metodologia GOD apresentado por Foster e Hirata (1988), cujo conceito considerado foi de que se pode determinar a vulnerabilidade fazendo uso de três tipos de componentes do aquífero e cuja informação geralmente é relativamente fácil de acessar, as quais são: G - Groundwateroccurrence (grau de confinamento do aquífero); O - Overall aquiferclass (consolidação da zona não saturada); D - Depthtogramwaterorstrike (profundidade do nível freático).

A vulnerabilidade do aquífero é o resultado do produto dos índices associados aos componentes já descritos. Assim, para o primeiro componente (G) atribuem-se índices que variam de 0 - 1. Este componente avalia o grau de dificuldade da carga contaminante para alcançar o aquífero em função das características de conformação deste.

Para o segundo componente (O) relacionado com as características litológicas e a capacidade da camada não saturada de agir como uma barreira natural contra as cargas contaminantes, foram utilizados índices entre 0,4 - 1,0.

No caso do terceiro componente (D), o mesmo está relacionado com a inacessibilidade do aquífero devido à sua profundidade, foi avaliado com índice de valores entre 0,4 - 1,0. O valor resultante da multiplicação dos componentes variará entre 0,0 (sendo uma vulnerabilidade desprezível) e 1,0 (onde a vulnerabilidade será extrema). Posteriormente, com os resultados desses índices foi gerado um mapa de vulnerabilidade usando o programa Arcgis 10.0. Na Figura 4 apresenta-se a referida metodologia.

Figura 4- Metodologia GOD para determinação da vulnerabilidade das águas subterrâneas.



Fonte: Adaptado de Foster e Hirata (1988)

- Uso do solo e desmatamento:

A terra ao ser o principal input para as atividades agropecuárias, deve ser administrada de forma eficiente para que alcance níveis ótimos de produção e produtividade. No estado do Pará, a agricultura e a pecuária são consideradas, historicamente, como as formas mais importantes de ocupação.

De acordo com o IBGE (2013) foram classificados, para o estado, os seguintes usos da terra: Áreas antrópicas não agrícolas(incluindo aqui a pastagem), Áreas antrópicas agrícolas, Áreas de vegetação natural e Águas; e outras áreas. Contabilizam-se no estado para áreas antrópicas agrícolas 237.957,88 km<sup>2</sup> dos quais 4.778.61 km<sup>2</sup> correspondem ao sudeste Paraense.

Assim, no presente trabalho foi analisado o indicador uso de solo e desmatamento utilizando dados do projeto terraclass 2012, assim como dados do IDESP (2012).

#### 4.2.2 Ulianópolis

Com o propósito de avaliar a sustentabilidade do cultivo da cana, foi selecionada uma série de indicadores nas dimensões ambientais e socioeconômicas. O critério de escolha baseou-se na sensibilidade destes indicadores aos impactos do cultivo da cultura em estudo; à melhor disponibilidade destes e a observância ao conceito multidisciplinar que envolve esta atividade agrícola.

Os indicadores selecionados provêm de fontes secundárias tais como, a Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA, 2015); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015); Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2015), dentre outros, conforme aTabela 8.

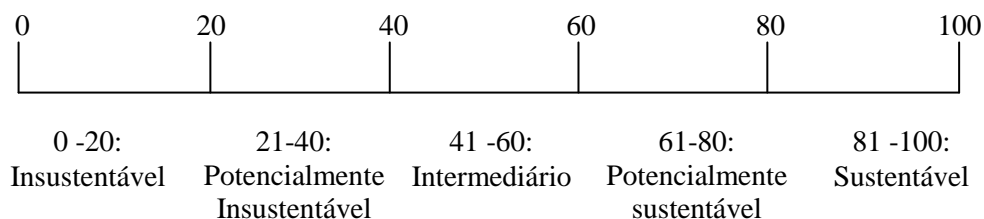
**Tabela 8- Indicadores de sustentabilidade selecionados**

<b>Dimensões</b>	<b>Tema</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Fonte</b>
<i>Ambiental</i>	Atmosfera	Focos de calor por cada 1.000 km <sup>-2</sup>	INPE
Refere-se a vulnerabilidade da atmosfera; terra e águas subterrâneas	Terra	Desflorestamento (%)	FAPESPA
	Água	Vulnerabilidade das águas subterrâneas por cargas contaminantes (adimensional)	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del
		Exploração das águas subterrâneas para irrigação (mm)	Ambiente-CEPIS Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM
		Acesso a sistema de abastecimento de água (AP) potável encanada e saneamento básico (SB) - (%) Sanitários	Agência Nacional de Águas-ANA
			Atlas de desenvolvimento humano (PNUD)
<i>Social</i>	Desenvolvimento	IDHM (adimensional)	PNUD
Abrange a cobertura de serviços e desenvolvimento humano	Saúde	Taxa de mortalidade infantil(%o)	FAPESPA
	Educação	Índice de desenvolvimento educacional IDEB (adimensional)	FAPESPA
	Produção	Produtividade (R\$ ha <sup>-1</sup> )	IBGE
<i>Econômica</i>	Trabalho e renda	PIB per capita (US\$)	PNUD
		Índice de Gini(adimensional)	FAPESPA
Considera a evolução do crescimento econômico da população do município			

Fonte: elaborado pelo autor

O Barômetro da Sustentabilidade (BS) define-se através de uma escala própria (Escala do Barômetro de sustentabilidade - EBS), a qual consta de um eixo "X" referente ao Bem-estar ecológico (IDS ambientais) e o eixo "Y" chamado de Bem-estar humano (IDS socioeconômicos). Ambos os eixos estão divididos em intervalos fixos de 20 unidades, iniciando em 0 (condições insustentáveis) até 100 (condições sustentáveis). Cada setor da EBS, é classificada como mostrado na Figura 5.

Figura 5-Escala de desempenho do Barômetro de sustentabilidade (EBS)



Fonte:Kronemberger(2008)

Por outro lado, os IDS foram definidos por meio da Escala de Desempenho Municipal (EDM). A EDM é dividida em 5 intervalos (em analogia a EBS) os quais definem as condições dos indicadores que variam de insustentável a sustentável.

Para definição dos limites dos intervalos, foram utilizados valores de referência nacionais e internacionais com base na literatura especializada, tais como: a legislação do setor, acordos internacionais, metas globais, assim como conhecimento técnico dos autores. Portanto, foram escolhidos um total de 11 indicadores dos quais 5 (cinco) são ambientais; 3 (três) sociais e 3 (três) econômicos.

#### 4.2.2.1 Definição dos limites da EDM dos IDS do Bem-estar ecológico.

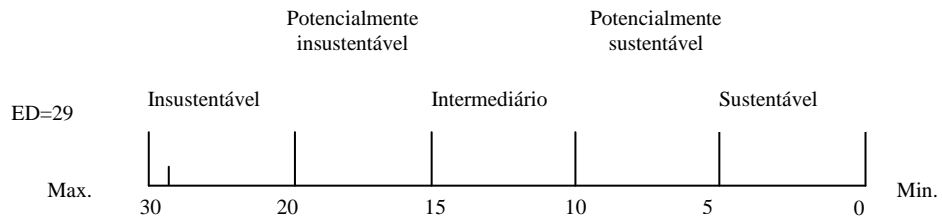
Os Indicadores de Sustentabilidade ambientais utilizados foram: a. Focos de calor  $\text{km}^{-2}$ ; b. Porcentagem de desflorestamento; c. Vulnerabilidade das águas subterrâneas por cargas contaminantes; d. Exploração das águas subterrâneas para irrigação; e. O acesso a sistema e abastecimento de água potável (AP) e saneamento básico (SB). Os IDS sociais a serem analisados foram: f. Índice de Desenvolvimento Humano Municipal- IDHM; g. Taxa de mortalidade infantil; h. Índice de desenvolvimento Educacional-IDEB. Finalmente os IDS econômicos foram: i. Produtividade em  $\text{R}\$ \text{ha}^{-1}$ ; PIB per capita (US\$); j. Índice de Gini.

##### 4.2.2.1.1 Focos de calor em cada 1000 $\text{km}^{-2}$

Foi utilizada a média de número de focos de calor nos estados da Amazônia Legal em cada 1000  $\text{km}^{-2}$  durante o período de 2009-2013. O resultado do valor mínimo foi de 5 focos de calor/1.000  $\text{km}^{-2}$ , sendo esse mínimo encontrado no estado do Amazonas. Considerou-se como limite de sustentabilidade esse resultado e como limite máximo, o critério foi calcular a média dos Estados que apresentavam mais de 15 focos de calor em cada 1000  $\text{km}^{-2}$  (Pará; Acre; Mato Grosso; Rondônia e Tocantins), resultando em 29 focos de calor em cada 1000  $\text{km}^{-2}$ . A Figura 6 apresenta a EDM do IDS em referência.



Figura 6- EDM do IDS focos de calor

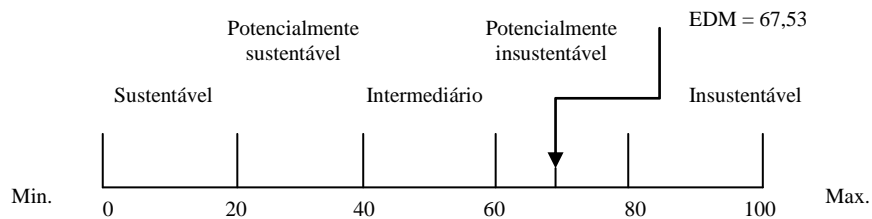


Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.2.2.1.2 Desflorestamento (%)

Para definir o limite inferior, considerou-se o novo Código Florestal no que tange o uso da terra na Amazônia Legal onde somente pode ser desmatado 20% das áreas de propriedades rurais. Os demais intervalos definiram-se aumentando cada 20% até chegar à 80%, sendo o desflorestamento insustentável a partir de esta porcentagem. A Figura 7 apresenta a EDM do IDS em referencia.

Figura 7- EDM do IDS desflorestamento



Fonte: elaborado pelo autor

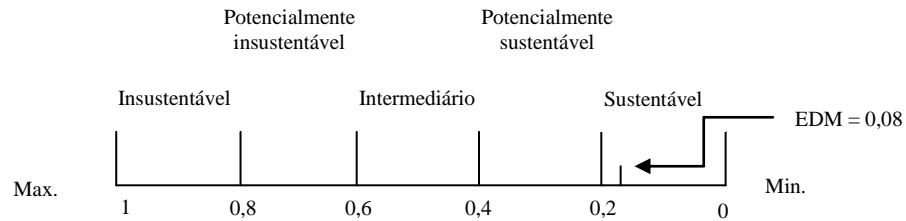
#### 4.2.2.1.3 Vulnerabilidade das águas subterrâneas por cargas contaminantes (adimensional)

Utilizou-se a metodologia GOD. G - Groundwater occurrence (grau de confinamento do aquífero); O - Overall aquifer class (consolidação da zona não saturada); D - Depth to groundwater strike (profundidade do nível freático).

Para tal efeito foram calculadas as médias das informações de 32 poços localizados dentro de território do município de Ulianópolis. Os dados foram coletados do Sistema de Informação de Águas subterrâneas - SIAGAS da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM. De acordo com Foster e Hirata (1988), o índice 0 indica uma vulnerabilidade desprezível e 1 uma vulnerabilidade extrema.

Para o limite inferior sustentável considerou-se de 0.20. O limite superior a partir do qual este indicador resulta insustentável foi considerado de 0.8. A Figura 8 apresenta a EDM do IDS em referência.

Figura 8- EDM do IDS vulnerabilidade das águas subterrâneas.



Fonte: elaborado pelo autor

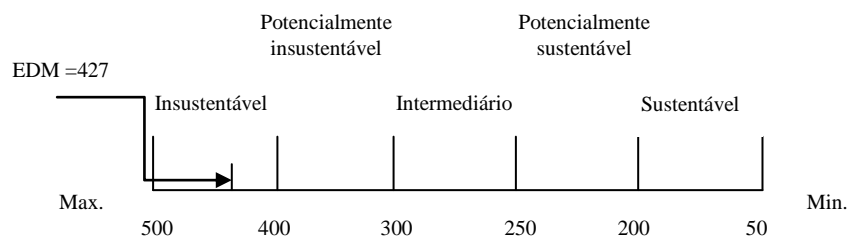
#### 4.2.2.1.4 Exploração das águas subterrâneas para irrigação (mm).

Objetivando estimar a intensidade de exploração das águas subterrâneas destinadas a irrigação, foi estimado o balanço hídrico para a cultura da canadeaçúcar do município de Ulianópolis para 30 anos (1984-2013), utilizando dados de precipitações da estação meteorológica do Sistema de Informações Hidrológicas da ANA - Agência Nacional de Águas, localizada às coordenadas: -1.43 latitude, -48.43 longitude.

Ao analisar os resultados, observa-se que para uma capacidade de água disponível-CAD= 100 mm existe um déficit de 427 mm. Alfonsi (1987) expressa que um déficit de 200 mm calculado com o método de Thornthwaite e Mather (1955) pode se considerar a região com deficiência hídrica e déficit maiores de 400 mm o cultivo sem irrigação é inviável, resultando na necessidade de uma intensa exploração das águas subterrâneas.

O limite inferior onde o IDS é sustentável foi definido até 200 mm e como limite máximo 500 mm. A Figura 9 apresenta a EDM do IDS.

Figura 9-EDM do IDS vulnerabilidade das águas subterrâneas exploração das águas subterrâneas para irrigação.

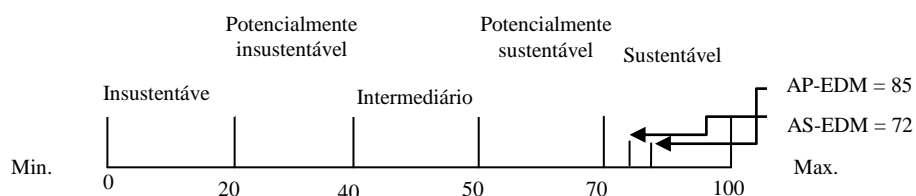


Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.2.2.1.5 Acesso a sistema de abastecimento de água (AP) potável encanada e saneamento básico (SB) - (%).

Expressado como percentual da população que goza de AP e SB no ano 2010. Considerou-se uma porcentagem maior ou igual que 70% para AP e SB como limite de sustentabilidade. A Figura 10 apresenta a EDM do IDS em referência.

Figura 10- EDM do IDS acesso a AP e SB.



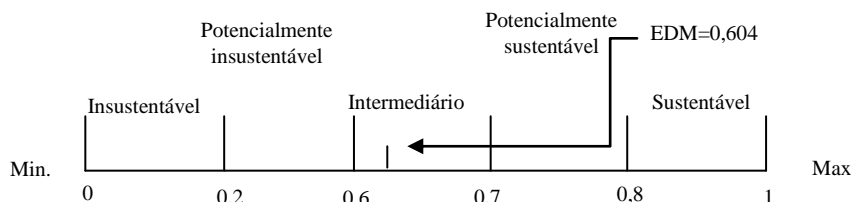
Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.2.2.2 Definição dos limites da EDM dos IDS do Bem-estar humano.

##### 4.2.2.2.1 IDHM (adimensional).

O IDHM é um número que varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 (um), maior o desenvolvimento humano de um município. Assim as faixas para determinar a sustentabilidade do município utilizando-se do IDHM de 2010 foram: valores de IDHM entre 0 e 0,49 considera-se insustentáveis; entre 0,5 a 0,59 pouco sustentáveis, 0,6 a 0,69 médio sustentáveis, 0,7 a 0,79 alta sustentabilidade e finalmente de 0,8 a 1 sustentabilidades muito altas. A Figura 11 apresenta a EDM do IDS em referência.

Figura 11- EDM do IDS IDHM

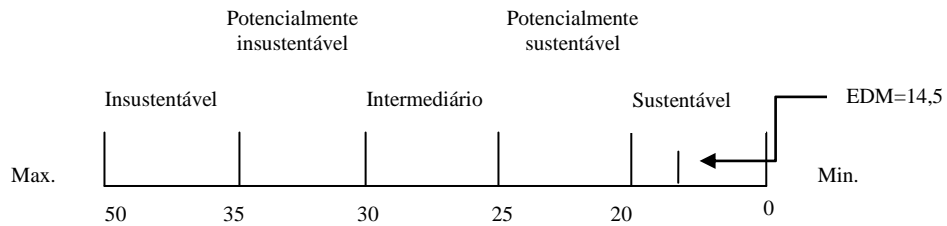


Fonte: elaborado pelo autor

##### 4.2.2.2.2 Taxa de mortalidade infantil (‰)

Foi utilizada a média do período (2009-2013). Para estabelecer os limites usou-se o critério da OMS quem define como taxa baixa (abaixo de 20 por mil) e taxa alta (acima de 50 por mil). A Figura 12 apresenta a EDM do IDS em referência.

Figura 12- EDM do IDS da taxa de mortalidade infantil

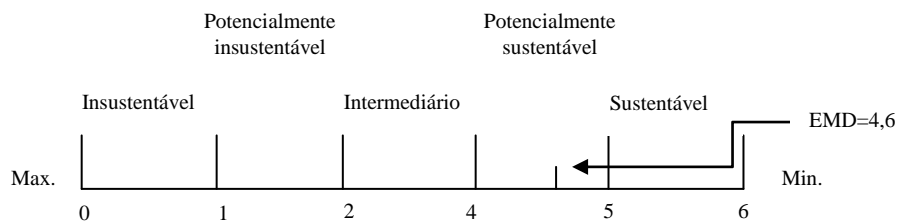


Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.2.2.2.3 Índice de desenvolvimento educacional (IDEB).

O Índice de desenvolvimento educacional (IDEB), expressa a qualidade da educação envolvendo o fluxo escolar e o desempenho nas avaliações (INEP,2015), sendo a meta para o Brasil de 6 (rede pública e privada). Foi proposto aumentar os intervalos cada 1 (um) ponto considerado como insustentável, e sustentável igual ou acima de 5 (cinco). A Figura 13 apresenta a EDM do IDS em referência.

Figura 13- EDM do IDS IDEB

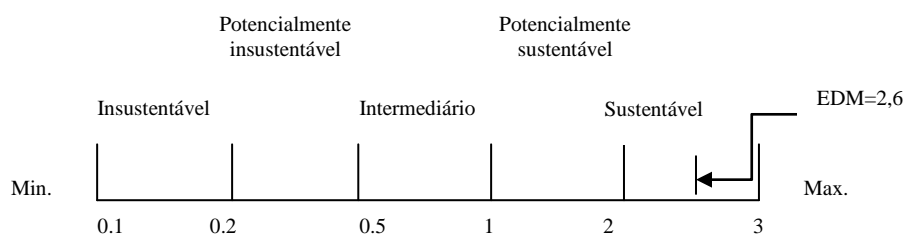


Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.2.2.2.4 Produtividade (R\$ ha<sup>-1</sup>)

Utilizando a média do período 2000-2010 dos valores da produção da cana (R\$) e logo divididos pela área plantada (ha), obtém-se a produtividade média ( $PM_{cana}$ ), a qual é comparada com a produtividade média combinada ( $PM_{comb}$ ) das principais culturas do município (arroz, milho e soja). Assim, os limites inferior e superior foram estabelecidos a partir da relação  $PM_{cana}/PM_{comb}$  considerando resultados menores de 1 ou menos como insustentável e maiores de 2 como sustentáveis. A Figura 14 apresenta a EDM do IDS em referência.

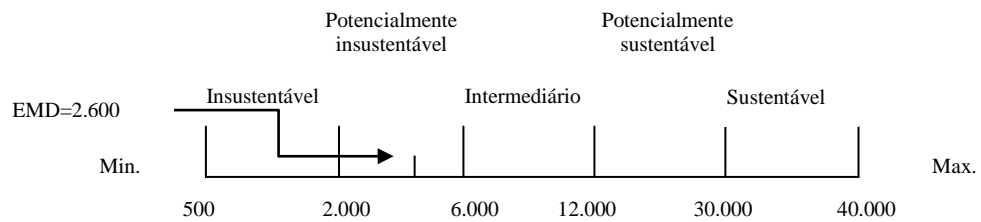
Figura 14- EDM do IDS da produtividade



#### 4.2.2.2.5 PIB per capita (US\$).

Considerou-se insustentável PIB per capita abaixo de US\$ 2,000 (África Subsaariana) com baixo desenvolvimento humano e valores acima de US\$40,000 (Estados Unidos) com alto desenvolvimento humano. Para países emergentes considerou-se valores entre US\$6,000 e 12,000. Considerou-se o PIB per capita do município correspondente ao ano de 2012. A Figura 15 apresenta a EDM do IDS em referência.

Figura 15- EDM do IDS PIB per capita.

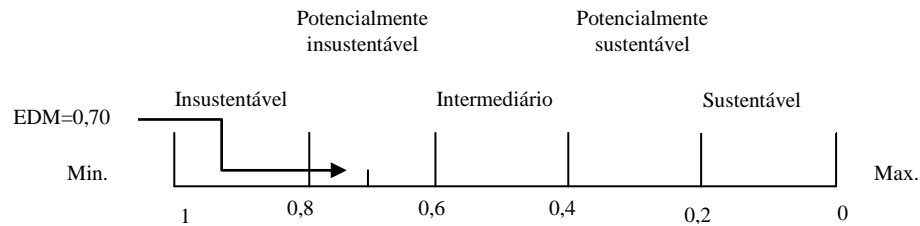


Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.2.2.2.6 Índice de Gini (adimensional).

Este indicador representa a desigualdade na distribuição da renda, onde 0 (zero) é a perfeita igualdade e 1(um) desigualdade máxima. Considerou-se valores menores ou iguais a 0.2 como sustentáveis e valores maiores ou iguais a 0.8 como insustentáveis. A Figura 16 apresenta a EDM do IDS do índice de Gini.

Figura 16- EDM do IDS do índice de Gini

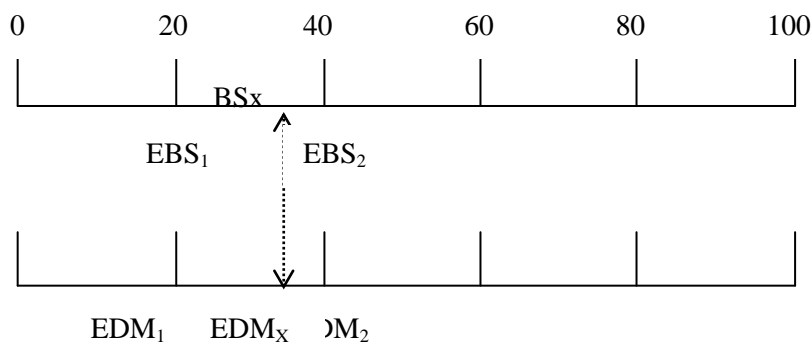


Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.2.3 Estandarização da Escala de desempenho municipal (EDM) com a Escala do Barômetro de sustentabilidade (EBS).

De acordo com Kronemberger (2008), a metodologia do BS necessita que as escalas da EDM estejam em correspondência com os intervalos de EBS, a qual define as condições de insustentabilidade ou de sustentabilidade (Figura 17). Isto é feito através de interpolação linear simples mostrada na Equação 1.

Figura 17- Visualização da interpolação da EBS.



Fonte: Adaptado de Kronemberger (2008)

$$BS_x = \left( \frac{(EDM_1 - EDM_x)(EBS_1 - EBS_2)}{(EDM_1 - EDM_2)} (-1) \right) + EBS_1 \quad (1)$$

Onde:

- 1 = Limite anterior do intervalo que contém X;
- 2= Limite posterior do intervalo que contém X

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Aptidão climática do município de Abaetetuba

#### 5.1.1 Balanço hídrico de cultura

Os cálculos realizados do balanço hídrico de cultura baseados nos valores médios mensais de 30 anos (1984 - 2013), mostram que o município de Abaetetuba apresentou uma evapotranspiração de cultura de 1.357,00 mm e uma evapotranspiração real de 1.329,00 mm.

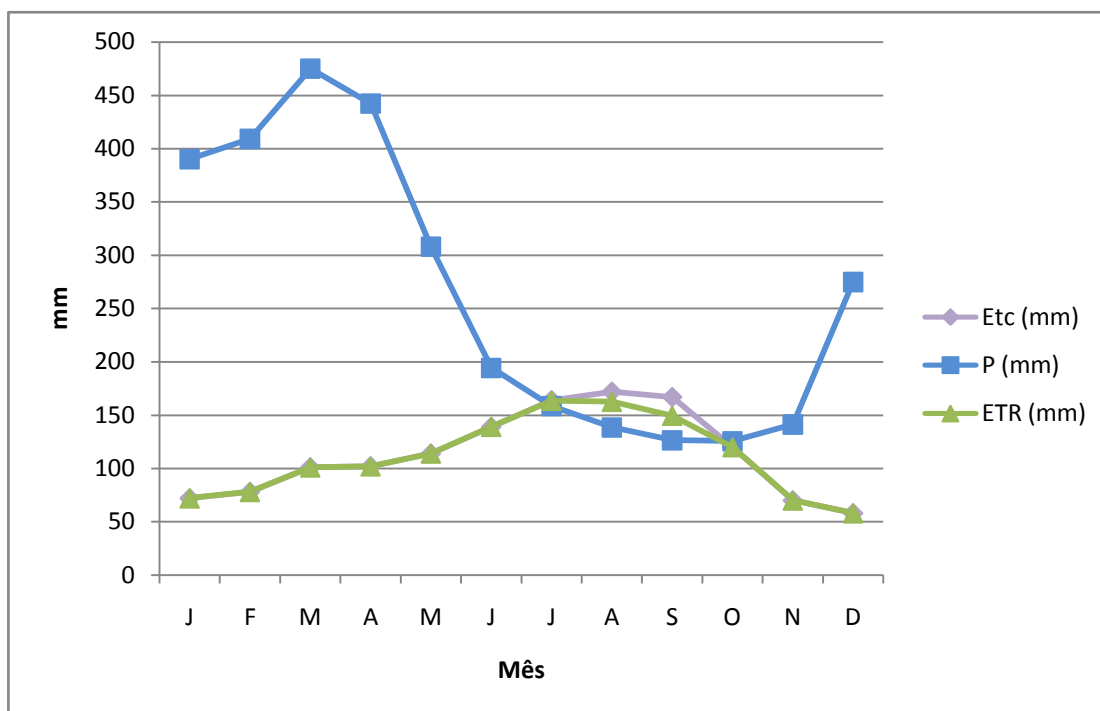
O balanço hídrico resultou em uma deficiência hídrica anual de 28,00 mm e um excedente hídrico de 1.854,00 mm (Tabela 9 e Figura 18). Observa-se que há um excedente hídrico desde o mês de janeiro até maio, podendo chegar a 1.612,00 mm. A partir do mês de julho até setembro ocorre o déficit hídrico igual a 28,00 mm. Nos meses de novembro e dezembro novamente há um excedente hídrico igual a 242,00 mm.

**Tabela 9-Resultado do balanço hídrico de cultura para o município de Abaetetuba**

Mês	ETP	Kc	Etc (mm)	P (mm)	P-Etc	NEG ACU	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
J	144	0,5	72	390	318	0	100	0	72	0	318
F	130	0,6	78	409	331	0	100	0	78	0	331
M	144	0,7	101	475	374	0	100	0	101	0	374
A	145	0,7	102	442	340	0	100	0	102	0	340
M	143	0,8	114	308	194	0	100	0	114	0	194
J	139	1	139	194	55	0	100	0	139	0	55
J	149	1,1	164	158	-6	-6	95	-5	163	1	0
A	143	1,2	172	138	-34	-34	71	-24	162	10	0
S	139	1,2	167	126	-41	-74	48	-23	149	18	0
O	150	0,8	120	126	6	-62	54	6	120	0	0
N	140	0,5	70	141	71	0	100	46	70	0	25
D	144	0,4	58	275	217	0	100	0	58	0	217
<b>Ano</b>	<b>1.710,00</b>		<b>1.357</b>	<b>3.184</b>	<b>1.827</b>			<b>0</b>	<b>1.329</b>	<b>28</b>	<b>1.854</b>

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 18-Balanco Hídrico de cultura para o Município de Abaetetuba.



Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados apresentados na Tabela 9 estão em consonância com pesquisas realizadas por de Albuquerque *et al.* (2010) onde foi analisada a climatologia, variabilidade e tendências das precipitações no período de 1978-2008 nas mesorregiões no estado do Pará, fundamentadas no banco de dados do projeto Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará (RPCH). Este trabalho concluiu que os maiores índices pluviométricos estão concentrados na mesorregião de Marajó, metropolitana e nordeste Paraense, com precipitações anuais superiores aos 2500 mm.

Igualmente, de acordo com a pesquisa em referência, em geral a época chuvosa inicia em dezembro durando de cinco a seis meses, apontando o mês de março como o período que apresenta maior índice pluviométrico. Este comportamento pode ser observado na Figura 18.

No presente trabalho foi de 3.184,00 mm ano<sup>-1</sup> no período 1984 – 2013. É importante apontar que de acordo com o autores em referência, os maiores índices de precipitação foram registrados em 1985 (um ano depois de iniciar a série de dados adotadas no presente trabalho), nas mesorregiões de Marajó, Nordeste e Metropolitana de Belém, sendo que a mesorregião Metropolitana de Belém apresenta os maiores valores de precipitação da série de dados.

Por outro lado, utilizando a ferramenta Banco de dados climáticos do Brasil fornecidos pela EMBRAPA, para a realização do balanço hídrico para Belém no



período 1972 - 1990, encontrou-se uma precipitação média anual de 2.891 mm, um excedente hídrico de 1.365 mm, um déficit de 8 mm, uma evapotranspiração potencial de 1.534 mm. Ressalta-se que estes valores são menores dos encontrados no presente trabalho e esta diferença pode ser explicada pelo maior índice de precipitação no período 1984 - 2013.

Quanto ao consumo de água ( $\text{mm d}^{-1}$ ), os resultados obtidos para o município de Abaetetuba (1.87  $\text{mm d}^{-1}$  mínimo; 3.71  $\text{mm d}^{-1}$  médio e 5.56  $\text{mm d}^{-1}$  máximo) estão de acordo com os valores médios descritos por Monteiro et al. (2009), os quais descrevem que no Brasil os consumos mínimos, médios e máximos são de 0,5; 2,5 e 6  $\text{mm d}^{-1}$ , respectivamente.

### **5.1.2 Estimativa da produtividade de cana-de-açúcar.**

Para estimar da produtividade da cana de açúcar no município de Abaetetuba foram utilizados os dados de temperatura média mensal, horas de insolação para o período de 1984 - 2013, considerando um ciclo de cultivo 365 dias e um Índice de Área Folhar (IAF) de 5.

A Tabela 10 apresenta os dados de entrada para a elaboração dos cálculos e a Tabela 11 mostra a estimativa de produtividade obtida a qual foi de 51.622  $\text{kg ha}^{-1}$ .

**Tabela 10-Dados usados para estimar a produtividade da cana-de-açúcar no município de Abaetetuba**

Mês						Conceito
<input checked="" type="checkbox"/> Janeiro	<input checked="" type="checkbox"/> Fevereiro	<input checked="" type="checkbox"/> Março	<input checked="" type="checkbox"/> Abril	<input checked="" type="checkbox"/> Maio	<input checked="" type="checkbox"/> Junho	Mês
31	28	31	30	31	30	d/Mês
896,05	923,98	928,45	892,20	854,68	801,50	Q <sub>o</sub> /Mês
27.777,55	25.871,30	28.781,95	26.766,00	26.494,93	24.045,00	Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês
76,10	70,88	78,85	73,33	72,59	65,88	(Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês)/d <sub>ciclo</sub>
26,12	26,97	27,17	27,36	27,79	27,62	T <sub>media</sub> (°C)
132,10	104,09	112,45	132,15	187,78	229,11	Brilho solar <sub>mês</sub> - n (h)
4,26	3,72	3,63	4,41	6,06	7,64	Brilho solar <sub>dia</sub> - n (h)
12,07	12,07	12,00	11,93	11,93	11,93	Fotoperíodo - N (h)
						Duração relativa
0,35	0,31	0,30	0,37	0,51	0,64	insolação n/N
<input checked="" type="checkbox"/> Julho	<input checked="" type="checkbox"/> Agosto	<input checked="" type="checkbox"/> Setembro	<input checked="" type="checkbox"/> Outubro	<input checked="" type="checkbox"/> Novembro	<input checked="" type="checkbox"/> Dezembro	Mês
31	31	30	31	30	31	d/Mês
811,95	856,58	901,83	927,08	884,60	884,50	Q <sub>o</sub> /Mês
25.170,45	26.553,83	27.054,75	28.739,33	26.538,00	27.419,50	Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês
68,96	72,75	74,12	78,74	72,71	75,12	(Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês)/d <sub>ciclo</sub>
27,72	28,06	28,13	27,98	28,15	27,82	T <sub>media</sub> (°C)
249,55	266,30	245,23	235,33	195,14	163,79	Brilho solar <sub>mês</sub> - n (h)
8,05	8,59	8,17	7,59	6,50	5,28	Brilho solar <sub>dia</sub> - n (h)
11,93	11,93	12,00	12,00	12,07	12,07	Fotoperíodo - N (h)
						Duração relativa
0,67	0,72	0,68	0,63	0,54	0,44	insolação n/N

Fonte: elaborado pelo autor

**Tabela 11- Resultados da estimativa da produtividade da cana-de-açúcar no município de Abaetetuba**

Expreção	Resultados	Unidades
Q <sub>o</sub>	880,03	[cal cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]
cTn	1,50	
cTc	2,25	
PPB <sub>n</sub>	163,81	[Kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]
PPB <sub>C</sub>	490,95	[Kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]
PPB <sub>P</sub>	654,77	[Kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]
C <sub>IAF</sub>	0,50	
C <sub>R</sub>	0,50	
C <sub>C</sub>	0,8	
PP <sub>R</sub>	47.492	(Kg ha <sup>-1</sup> )
PP <sub>F</sub>	51.622	(Kg ha <sup>-1</sup> )

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados do cálculo da produtividade são coincidentes com estudos de Lena (1991), que relatam que durante o auge da cana-de-açúcar em Abaetetuba no período 1960 - 1975 o sistema agroindustrial daquela época experimentou uma expansão, sendo que o responsável por esse aumento foi a implantação de variedades de cana de maior rendimento, o que proporcionou incrementos de produtividade de 25 tn ha<sup>-1</sup> para 40 tn ha<sup>-1</sup>.

Durante a pesquisa de Lena, que recebeu auxílio do Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropicó Úmido (CEPATU) da EMBRAPA, foi realizado experimento em Abaetetuba com cultivo de treze variedades de cana trazidas de Pernambuco. Os resultados apontaram que depois de um ano de experimento, todas as variedades se mostraram adaptadas às condições de várzea, sem sintomas de pragas e doenças, assim como bom desenvolvimento vegetativo. Pelo menos quatro variedades apresentaram teores de açúcar comparáveis as de São Paulo, que para o ano de 1992 foi de 77 Tn ha<sup>-1</sup>.

#### 5.1.3 Estimativa da produtividade em função da deficiência hídrica no município de Abaetetuba

Com o propósito de estimar a produtividade em função da deficiência hídrica foi usado o modelo FAO proposto por DooremboseKassam (1994) e descrito por Pereira (2007). Neste modelo relaciona-se a queda relativa de rendimento ( $1 - PR/PP_F$ ) com o déficit relativo de evapotranspiração( $1 - ETR/ET_c$ ). Os resultados obtidos foram descritos nas Tabela 11 e Tabela 9, respectivamente.

Além disso, é introduzindo o fator corretivo  $K_Y$  denominado fator de resposta de cultura e que se interpreta como a sensibilidade ao estresse hídrico em cada fase de desenvolvimento da cultura. De acordo com os cálculos realizados o valor da produtividade com déficit hídrico foi de 48.901 kg ha<sup>-1</sup> o que representaria uma quebra de 5,56 % na produtividade.

#### 5.1.4 Estimativa do balanço hídrico para controle de irrigação.

Na Tabela 12 apresenta-se o balanço hídrico para controle de irrigação para o município de Abaetetuba. Iniciou-se o cálculo no mês de maio com um CAD igual a 50 mm. Os resultados mostraram que não há necessidade de irrigação nesse no município.

**Tabela 12- Balanço hídrico para controle de irrigação, para o período de 1984 - 2013, no município de Abaetetuba**

<b>Período</b>	<b>Qo (mm d<sup>-1</sup>)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Eto (mm)</b>	<b>Kc</b>	<b>Etc (mm)</b>	<b>P (mm)</b>	<b>I (mm)</b>	<b>AFDi (mm)</b>	<b>AFDf (mm)</b>
26 - 31/5	...	...	...	...	...	...	...	100	100
1 - 5/6	13,29	26,66	17,7	1	17,71	34,01	...	50,0	50,0
6 - 10/6	13,29	26,69	17,7	1,01	17,91	34,00	...	50,0	66,1
11 - 15/6	13,29	26,60	17,7	1,02	18,02	35,73	...	66,1	83,8
16 - 20/6	13,29	26,57	17,7	1,03	18,18	38,15	...	83,8	100,0
21 - 25/6	13,29	26,56	17,6	1,04	18,35	29,03	...	100,0	100,0
26 - 30/6	13,29	26,67	17,7	1,05	18,60	23,36	...	100,0	100,0
1 - 5/7	13,41	26,41	17,7	1,1	19,49	33,60	...	100,0	100,0
... <sup>2</sup>	...	...	...	...	...	...	...	...	...
26 - 31/7	13,41	26,50	21,3	1,15	24,53	25,85	...	100,0	100,0
1 - 5/8	14,14	26,61	18,8	1,2	22,58	21,24	...	100,0	98,7
6 - 10/8	14,14	26,70	18,9	1,2	22,66	26,26	...	98,7	100,0
11 - 15/8	14,14	26,73	18,9	1,2	22,68	21,08	...	100,0	98,4
16 - 20/8	14,14	26,84	19,0	1,2	22,78	17,02	...	98,4	92,6
21 - 25/8	14,14	26,97	19,1	1,2	22,89	24,05	...	92,6	93,8
26 - 31/8	14,14	26,84	22,8	1,2	27,33	28,78	...	93,8	95,3
1 - 5/9	14,87	26,86	20,0	1,2	23,97	21,02	...	95,3	92,3
6 - 10/9	14,87	26,90	20,0	1,2	24,00	16,22	...	92,3	84,5
11 - 15/9	14,87	26,94	20,0	1,15	23,04	20,68	...	84,5	82,2
16 - 20/9	14,87	26,98	20,1	1,1	22,07	21,02	...	82,2	81,1
21 - 25/9	14,87	27,05	20,1	1,05	21,12	18,95	...	81,1	79,0
26 - 30/9	14,87	26,89	20,0	1	19,99	28,51	...	79,0	87,5
1 - 5/10	14,93	26,95	20,1	0,95	19,11	20,43	...	87,5	88,8
6 - 10/10	14,93	27,07	20,2	0,9	18,19	21,90	...	88,8	92,5
11 - 15/10	14,93	27,09	20,2	0,85	17,19	23,00	...	92,5	98,3
16 - 20/10	14,93	27,11	20,2	0,84	17,00	19,97	...	98,3	100,0
26 - 31/10	...	...	...	...	...	...	...	100	100

Fonte: elaborado pelo autor

#### 5.1.5 Estimativa dos custos de irrigação com sistema pivô central.

Tendo em vista que no município de Abaetetuba não se faz necessária a prática de irrigação, só se considerou o custo de implantação por hectare (C.Ip), ou seja, R\$-2.632,82 ha<sup>-1</sup>.

<sup>2</sup> ...Pentadas com AFDi e AFDf igual a 100 mm

## 5.2 Aptidão climática do município de Ulianópolis.

### 5.2.1 Balanço hídrico de cultura

Os cálculos realizados para o balanço hídrico de cultura com base nos valores médios mensais de 30 anos (1984 - 2013), mostram que o município de Ulianópolis apresentou uma evapotranspiração de cultura de 1.441,00 mm e uma evapotranspiração real de 1.014,00 mm.

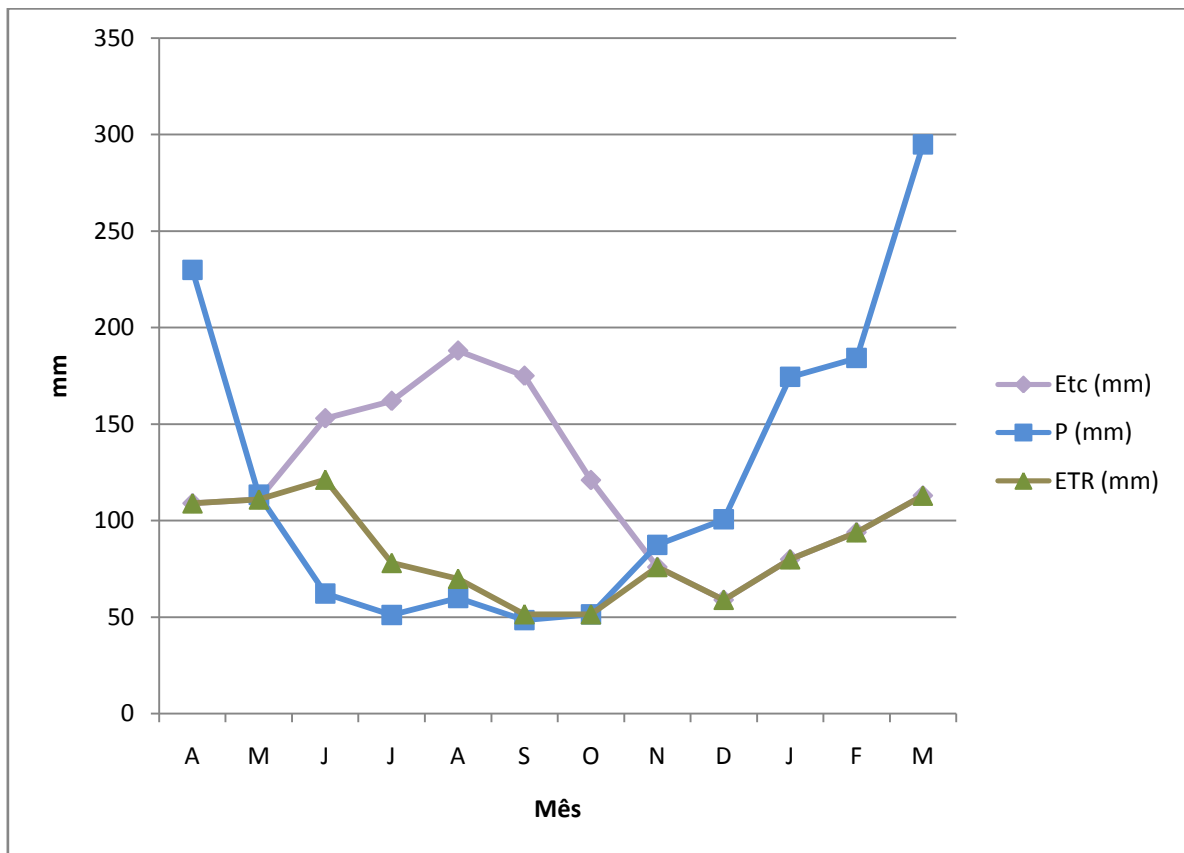
Portanto, resultou em uma deficiência hídrica anual de 427,00 mm e um excedente hídrico de 444,00 mm (Tabela 13 e Figura 19). Também se observou que há um excedente hídrico de abril e maio 123,00 mm e nos meses de janeiro, fevereiro e março, podendo chegar a 321,00 mm. A partir de mês de junho até setembro ocorre o déficit hídrico igual a 427,00 mm.

**Tabela 13- Resultado do balanço hídrico de cultura para o município de Ulianópolis**

Mês	ETP	Kc	Etc (mm)	P (mm)	P-Etc	NEG ACU	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
A	155	0.7	109	230	121	0	100	0	109	0	121
M	139	0.8	111	113	2	0	100	0	111	0	2
J	153	1	153	62	-91	-88	41	-59	121	32	0
J	147	1.1	162	51	-111	-199	14	-27	78	84	0
A	157	1.2	188	60	-128	-327	4	-10	70	118	0
S	146	1.2	175	49	-126	-454	1	-3	52	123	0
O	151	0.8	121	51	-70	-523	1	0	51	70	0
N	152	0.5	76	87	11	2	12	11	76	0	0
D	147	0.4	59	101	42	4	54	42	59	0	0
J	160	0.5	80	174	94	5	100	46	80	0	49
F	157	0.6	94	184	90	0	100	0	94	0	90
M	161	0.7	113	295	182	0	100	0	113	0	182
<b>Ano</b>	<b>1825</b>		<b>1.441</b>	<b>1.458</b>	<b>17</b>			<b>0</b>	<b>1.014</b>	<b>427</b>	<b>444</b>

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 19- Balanço Hídrico de cultura para o Município de Ulianópolis.



Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados apresentados na Tabela 13 estão em ratificação pesquisas realizadas por de Albuquerque *et al.* (2010), onde foi analisada a climatologia, variabilidade e tendências das precipitações no período de 1978-2008 nas mesorregiões no estado do Pará, utilizando banco de dados do projeto Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará (RPCH). De acordo com a citada pesquisa, em geral, a época chuvosa inicia em dezembro durando de cinco a seis meses, apontando o mês de março como o período que apresenta maior índice pluviométrico. Este comportamento pode ser observado na Figura 19.

O déficit hídrico calculado para o município de Ulianópolis está em conformidade com os resultados do estudo da ESALQ (2006), que apontam para a zona leste do Pará a predominância de déficit hídrico de mais de 400 mm ano<sup>-1</sup>, fazendo-se necessária a irrigação para o desenvolvimento da cana de açúcar.

Tal como já foi dito, devido à inexistência de dados de temperatura para o município de Ulianópolis, para o cálculo do balanço hídrico foram utilizados os dados de precipitações de estação da ANA em operação neste município, assim como as temperaturas médias da estação de INMET localizada no município de Marabá. Porém, examinando o

anexo apresentado, relativo às normais climatológicas do Brasil para o período 1961 - 1990(consulta onlinevia INMET), podem ser observadas temperaturas muito similares para ambos os municípios. Assim,sob estas condições, os resultadosobtidos deveriam simular com bastante precisão as condições climáticas no Ulianópolis.

### 5.2.2 Estimativa da produtividade de cana deaçúcar

Para estimar a produtividade da canadeaçúcar no município de Ulianópolis foram utilizados os dados de temperatura média mensal, horas de insolação para o período de 1984 - 2013, considerando um ciclo de cultivo 365 dias e um Índice de Área Folhar (IAF) de 5. ATabela 14apresenta os dados de entrada para a elaboração dos cálculos e a Tabela 15 mostra a estimativa de produtividade obtida, a qual foi de51,741,00 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 14- Dados usados para estimar a produtividade da cana-de-açúcar no município de Ulianópolis**

Mês						Conceito
<input checked="" type="checkbox"/> Janeiro 31	<input checked="" type="checkbox"/> Fevereiro 28	<input checked="" type="checkbox"/> Março 31	<input checked="" type="checkbox"/> Abril 30	<input checked="" type="checkbox"/> Maio 31	<input checked="" type="checkbox"/> Junho 30	Mês d/Mês
916,53	935,63	929,00	881,38	835,34	778,75	Q <sub>o</sub> /Mês
28.412,28	26.197,50	28.799,00	26.441,25	25.895,46	23.362,50	Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês
77,84	71,77	78,90	72,44	70,95	64,01	(Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês)/d <sub>ciclo</sub>
26,54	26,39	26,51	26,91	27,57	27,65	T <sub>media</sub> (°C)
142,40	102,10	122,05	131,60	184,32	230,67	Brilho solar <sub>mês</sub> - n (h)
4,59	3,65	3,94	4,39	5,95	7,69	Brilho solar <sub>dia</sub> - n (h)
12,19	12,10	12,00	11,90	11,81	11,81	Fotoperíodo - N (h)
0,38	0,30	0,33	0,37	0,50	0,65	Duração relativa insolação n/N
<input checked="" type="checkbox"/> Julho 31	<input checked="" type="checkbox"/> Agosto 31	<input checked="" type="checkbox"/> Setembro 30	<input checked="" type="checkbox"/> Outubro 31	<input checked="" type="checkbox"/> Novembro 30	<input checked="" type="checkbox"/> Dezembro 31	Mês d/Mês
789,75	840,93	896,69	933,31	901,08	906,39	Q <sub>o</sub> /Mês
24.482,25	26.068,68	26.900,63	28.932,69	27.032,25	28.098,01	Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês
67,07	71,42	73,70	79,27	74,06	76,98	(Q <sub>o</sub> /Mês*d/Mês)/d <sub>ciclo</sub>
27,98	28,45	28,62	28,16	27,47	26,88	T <sub>media</sub> (°C)
253,84	273,40	256,96	229,17	183,82	168,97	Brilho solar <sub>mês</sub> - n (h)
8,19	8,82	8,57	7,39	6,13	5,45	Brilho solar <sub>dia</sub> - n (h)
11,81	11,90	12,00	12,09	12,19	12,19	Fotoperíodo - N (h)
0,69	0,74	0,71	0,61	0,50	0,45	Duração relativa insolação n/N

Fonte: elaborado pelo autor

**Tabela 15: Resultados da estimativa da produtividade da canadeaçúcar no município de Ulianópolis**

Expreção	Resultados	Unidades
$Q_0$	878,42	[cal cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]
$cT_n$	1,50	
$cT_c$	2,25	
$PPB_n$	161,30	[Kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]
$PPB_c$	494,99	[Kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]
$PPB_p =$	656,28	[Kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ]
$C_{IAF} =$	0,50	
$C_R =$	0,50	
$C_C =$	0,8	
$PP_R =$	47.602	(Kg ha <sup>-1</sup> )
$PP_F =$	51.741	(Kg ha <sup>-1</sup> )

Fonte: elaborado pelo autor

### 5.2.3 Estimativa da produtividade em função da deficiência hídrica no município de Ulianópolis.

Com o propósito de estimar a produtividade em função da deficiência hídrica foi usado o modelo FAO proposto por DooremboseKassam (1994) e descrito por Pereira (2007), onde se relaciona a queda relativa de rendimento ( $1 - PR/PP_F$ ) com o déficit relativo de evapotranspiração ( $1 - ETR/ET_c$ ), além de se introduzir o fator corretivo  $K_Y$  denominado fator de resposta de cultura e que se interpreta como a sensibilidade ao estresse hídrico em cada fase de desenvolvimento da cultura.

De acordo com os cálculos realizados o valor da produtividade com déficit hídrico será de 27.363,79 kg ha<sup>-1</sup> o que representaria uma quebra de 52.89% ou sejamais da metade na produtividade. Os resultados obtidos já foram descritos na Tabela 13 supramencionada.

### 5.2.4 Estimativa do balanço hídrico para controle de irrigação.

A Tabela 16 apresenta o resultado do balanço hídrico para controle de irrigação. Observou-se que a cultura precisa de uma lâmina fixa de água igual de 25 mm. O período de irrigação inicia no mês de julho finalizando no mês de novembro. As necessidades de irrigação estão assim distribuídas: 100 mm no mês de julho, 75 mm no mês de agosto, 100 mm no mês de setembro, 50 mm no mês de outubro e finalmente no mês de novembro 25 mm.



**Tabela 16-Balanco hídrico para controle de irrigação para o período de 1984 - 2013****(Continua)**

<b>Período</b>	<b>Qo</b> (mm d <sup>-1</sup> )	<b>T</b> (°C)	<b>Eto</b> (mm)	<b>Kc</b>	<b>Etc</b> (mm)	<b>P</b> (mm)	<b>I</b> (mm)	<b>AFDi</b> (mm)	<b>AFDf</b> (mm)
1 - 5/5	13,52	27,20	18,4	0,8	14,71	36,98		50,0	50,0
6 - 10/5	13,52	27,46	18,6	0,81	15,04	26,87		50,0	61,8
11 - 15/5	13,52	27,68	18,7	0,82	15,34	8,39		61,8	54,9
16 - 20/5	13,52	27,79	18,8	0,83	15,59	17,50		54,9	56,8
21 - 25/5	13,52	27,59	18,6	0,84	15,66	15,16		56,8	56,3
26 - 31/5	13,52	27,69	22,5	0,85	19,09	8,50		56,3	45,7
1 - 5/6	12,92	27,59	17,8	1	17,82	11,32		45,7	39,2
6 - 10/6	12,92	27,63	17,8	1,01	18,03	8,59		39,2	29,8
11 - 15/6	12,92	27,82	18,0	1,02	18,33	6,63		29,8	18,1
16 - 20/6	12,92	27,72	17,9	1,03	18,44	10,43		18,1	10,1
21 - 25/6	12,92	27,60	17,8	1,04	18,54	17,15		10,1	8,7
26 - 30/6	12,92	27,53	17,8	1,05	18,67	8,19		8,7	0,0
1 - 5/7	13,09	27,96	18,3	1,1	20,13	8,45	25	25,0	13,3
6 - 10/7	13,09	27,93	18,3	1,11	20,29	10,90	25	38,3	28,9
11 - 15/7	13,09	28,02	18,3	1,12	20,54	10,35		28,9	18,7
16 - 20/7	13,09	27,83	18,2	1,13	20,58	10,76		18,7	8,9
21 - 25/7	13,09	28,05	18,4	1,14	20,93	6,62	25	33,9	19,6
26 - 31/7	13,09	28,09	22,1	1,15	25,37	4,04	25	44,6	23,3
1 - 5/8	13,92	28,15	19,6	1,2	23,51	7,02		23,3	6,8
6 - 10/8	13,92	28,47	19,8	1,2	23,77	4,23	25	31,8	12,2
11 - 15/8	13,92	28,25	19,7	1,2	23,59	11,14	25	37,2	24,8
16 - 20/8	13,92	28,48	19,8	1,2	23,78	10,62		24,8	11,6
21 - 25/8	13,92	28,76	20,0	1,2	24,01	7,52	25	36,6	20,1
26 - 31/8	13,92	28,60	23,9	1,2	28,66	19,37		20,1	10,9
1 - 5/9	14,77	28,62	21,1	1,2	25,37	10,56	25	35,9	21,0
6 - 10/9	14,77	28,65	21,2	1,15	24,34	6,49		21,0	3,2
11 - 15/9	14,77	28,86	21,3	1,1	23,45	6,72	25	28,2	11,5
16 - 20/9	14,77	28,70	21,2	1,05	22,26	10,92		11,5	0,1
21 - 25/9	14,77	28,66	21,2	1	21,17	8,61	25	25,1	12,6
26 - 30/9	14,77	28,22	20,8	0,95	19,80	5,24	25	37,6	23,0
1 - 5/10	15,03	28,29	21,3	0,9	19,13	8,10		23,0	12,0
6 - 10/10	15,03	28,32	21,3	0,85	18,09	5,43	25	37,0	24,3
11 - 15/10	15,03	28,36	21,3	0,84	17,90	3,96		24,3	10,4
16 - 20/10	15,03	28,04	21,1	0,83	17,48	13,51		10,4	6,4
21 - 25/10	15,03	28,17	21,2	0,82	17,35	5,85	25	31,4	19,9
26 - 31/10	15,03	27,79	25,1	0,8	20,05	14,62		19,9	14,5
1 - 5/11	14,86	27,80	20,65	0,75	15,49	11,50		14,5	10,5
6 - 10/11	14,86	27,72	20,59	0,7	14,41	5,43	25	35,5	26,5
11 - 15/11	14,86	27,59	20,49	0,65	13,32	12,38		26,5	25,6

**Tabela 16-Balanço hídrico para controle de irrigação para o período de 1984 - 2013****(Conclusão)**

<b>Período</b>	<b>Qo</b> (mm d <sup>-1</sup> )	<b>T</b> (°C)	<b>Eto</b> (mm)	<b>Kc</b>	<b>Etc</b> (mm)	<b>P</b> (mm)	<b>I</b> (mm)	<b>AFDi</b> (mm)	<b>AFDf</b> (mm)
16 - 20/11	14,86	27,36	20,32	0,6	12,19	12,00		25,6	25,4
21 - 25/11	14,86	27,20	20,20	0,55	11,11	17,86		25,4	32,1
26 - 30/11	14,86	27,16	20,17	0,5	10,09	28,29		32,1	50,3

Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.2.5 Estimativa dos custos de irrigação com sistema pivô central.

No município de Ulianópolis, pelo fato de existir a necessidade de irrigar (por um total de 70 dias), além dos custos de implantação por hectare (C.Ip ) foram calculados os custos de adução de água - uso de energia elétrica (C.E<sub>b</sub>) e o custo por hectare do sistema pivô central (C.Pc).

#### 5.2.5.1 Custos de implantação por hectare (C.Ip )

O custo de implantação por hectare resultou ser de R\$-2.632,82 ha<sup>-1</sup> (Dados fornecidos pelo Banco da Amazônia).

#### 5.2.5.2 Custo de adução da água -energia elétrica (C.E<sub>b</sub>)

Vazão (Q):

A vazão bombeada pelo sistema hidráulico (Q) foi obtida a partir da lâmina d'água para irrigação. Ou seja, os 25 mm (Tabela 16) divididos pelos 5 dias (balanço pântada). Os resultados apontaram a necessidade de irrigação de 5,00 mmd<sup>-1</sup>, o que equivale a 50 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>, assumindo-se que o equipamento de bombeamento trabalhará 20 h d<sup>-1</sup> e resulta em uma vazão de 2,50 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Logo, o total de água a ser extraído será de 50 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> X 70 d (3,500 m<sup>3</sup>).

Altura manométrica (H):

A altura manométrica (H) resulta da soma da altura sucção (h<sub>s</sub>) 8,30 m e a altura de recalque (h<sub>r</sub>) 10,5 m, sendo as perdas iguais a 5% desse resultado. Assim a altura manométrica é igual a 19,74 m.

Potência do equipamento de bombeamento:

A potência requerida do equipamento de bombeamento resultou ser de 55,55 kW. Assim, o custo da energia elétrica ( $C.E_b$ ) foi de:  $14,23 \text{ R}\$\text{kW}^{-1} \times 55,55 \text{ kW} \times 20 \text{ hd}^{-1} \times 70 \text{ d}$ . Ou seja, de  $1.106.667,10 \text{ R}\$ \text{ha}^{-1}$ .

-Custo por hectare do sistema pivô central depreciado ( $C.Pc$ ):

O custo por hectare resultou ser de  $603,15 \text{ R}\$ \text{ha}^{-1}$ .

- O custo de mão de obra direta ( $C_{MOD}$ ) foi de  $105,06 \text{ R}\$ \text{ha}^{-1}$ .

Finalmente, o custo o cultivo da cana de açúcar no município de Ulianópolis resultou da soma dos custos de implantação por hectare ( $C.Ip$ )  $-2.632,82 \text{ R}\$ \text{ha}^{-1}$ , mais o custo da energia elétrica ( $C.E_b$ ), o custo por hectare do sistema pivô central depreciado em 20 anos e o custo mão de obra direta ( $C_{MOD}$ ). Portanto, o resultado analítico foi de:  $(\text{R}\$1.106.667,10 \text{ ha}^{-1} / 3,500 \text{ m}^3) + \text{R}\$603,15 \text{ ha}^{-1} + \text{R}\$105,06 \text{ ha}^{-1}) = \text{R}\$1.024,40 \text{ ha}^{-1}$  ou seja  $\text{R}\$3.657,22$ .

Ressalta-se que os resultados dos custos de bombeio elétrico são consistentes com pesquisa realizada pelo Rocha *et al.* (1998). Nela foi utilizado o programa Adutora versão 2,0 para calcular o custo de água aduzido para zonas irrigadas de oito cidades Brasileiras (Barreiras - BA; Petrolina - PE; Matão - SP; Patos de Minas - MG; Campina Grande - PB; Catalão - GO; Três Lagoas - MS e Sobral - CE. Como resultado dessa pesquisa, a cidade de Petrolina obteve um custo para motores elétricos de  $\text{R}\$270,00$ . Este valor ao ser atualizado para valor presente usando a correção IGP-M (FGV) disponibilizado pelo Banco Central Brasileiro (período 1998 – 2015), resultou em  $\text{R}\$1,042,18$ , valor este, muito próximo ao obtido no presente estudo.

As variáveis climatológicas estudadas no período de 30 anos (1984-2013) evidenciaram que a sazonalidade climática é fator determinante para o custo de produção da cana de açúcar nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis, ambos com aptidão para o cultivo em referencia. Para o município de Abaetetuba, em razão da alta pluviosidade anual, recomendam-se a seleção de variedades de cultivo com capacidade adaptativa para elevada pluviosidade, o que torna possível a mitigação de riscos de safra e eventuais insucessos da atividade.

Estes dados corroboram estudos já realizados por Lena (1991), os quais sinalizaram as altas pluviosidades e adaptações da cultura de cana-de-açúcar no município de Abaetetuba,

o que tornou possível a implantação de Indústria do setor na década de 1950 para produção de cachaça e açúcar.

Importa mencionar que para se cultivar canadeaçúcar no município de Ulianópolis é imprescindível a utilização de técnicas de irrigação. Entretanto, o emprego desta tecnologia, além da exploração do manto aquífero, pode implicar na elevação dos custos de produção em aproximadamente 40% vezes mais se comparado ao cultivo no município de Abaetetuba.

### 5.3 Resultados socioeconômicos

#### 5.3.1 Município de Abaetetuba

##### 5.3.1.1 Indicador da dimensão social

##### 5.3.1.1.1 População urbana e rural:

Na Tabela 17 e Figura 20 estão apresentadas a evolução populacional urbana e rural do município de Abaetetuba. Observa-se que o município está formado em sua grande totalidade de população urbana alcançando no ano de 1996 uma porcentagem de 60% da população total.

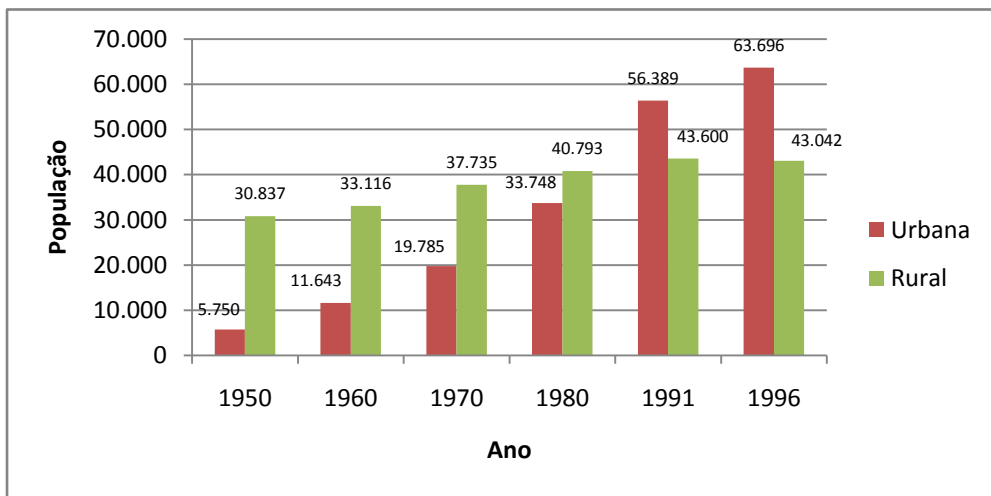
Vale mencionar que ao analisar o crescimento é notável como a população urbana aumentou de 5.750 para 11.643 pessoas no período de 1950 a 1960, correspondendo a um incremento de 202,49% em dez anos. No que tange a população rural, nesse mesmo período, a mesma aumentou de 30.837 para 33.116 pessoas, que representou um crescimento de 7,39%.

**Tabela 17- Crescimento populacional rural e urbano no período 1950 - 1996**

Ano	População		Total	Porcentagem		Δ Crecimiento entre períodos	
	Urbana	Rural		Urbana	Rural	Urbana	Rural
1950	5.750	30.837	36.587	16%	84%	-	-
1960	11.643	33.116	44.759	26%	74%	202,49%	7,39%
1970	19.785	37.735	57.520	34%	66%	70%	13,95%
1980	33.748	40.793	74.541	45%	55%	71%	8,10%
1991	56.389	43.600	99.989	56%	44%	67%	6,88%
1996	63.696	43.042	106.738	60%	40%	13%	-1,28%

Fonte: Adaptado do IBGE, Censo Demográfico.

Figura 20- Evolução da população no município de Abaetetuba para o período de 1950 - 1996.



Fonte. Elaborado pelo autor

### 5.3.1.2 Indicadores da dimensão econômica

#### 5.3.1.2.1 Evolução de empregos ligados à atividade agrícola:

Na Tabela 18 e Figura 21 estão apresentadas a evolução de empregos diretos para os anos 1950, 1960 e 1975. Pode-se observar que no ano 1975 existiam 379 empregos diretos, dos quais 73% eram ligados à atividades de agricultura e 27% à indústria. De forma análoga, também se observa para o ano 1975 que existiam 3.710 empregos indiretos, dos quais 92% estavam ligados à agricultura e 8% à indústria.

Nesse contexto temporal, a população de Abaetetuba apresentava, em média, uma população rural de 60% o que garantia mão de obra disponível para a atividade canavieira no município. Este fato é sugestivo do evidente o impacto da atividade canavieira na dinâmica econômica municipal àquela época.

**Tabela 18- Empregos diretos na agricultura e na indústria no município de Abaetetuba para o período 1950 - 1975**

Ano	Empregos diretos		Total	% Participação	
	Agricultura <sup>(1)</sup>	Industria <sup>(2)</sup>		Agricultura	Industria
1950	275,00	104,00	379,00	73%	27%
1960	775,00	205,00	980,00	79%	21%
1975	3.400,00	310,00	3.710,00	92%	8%

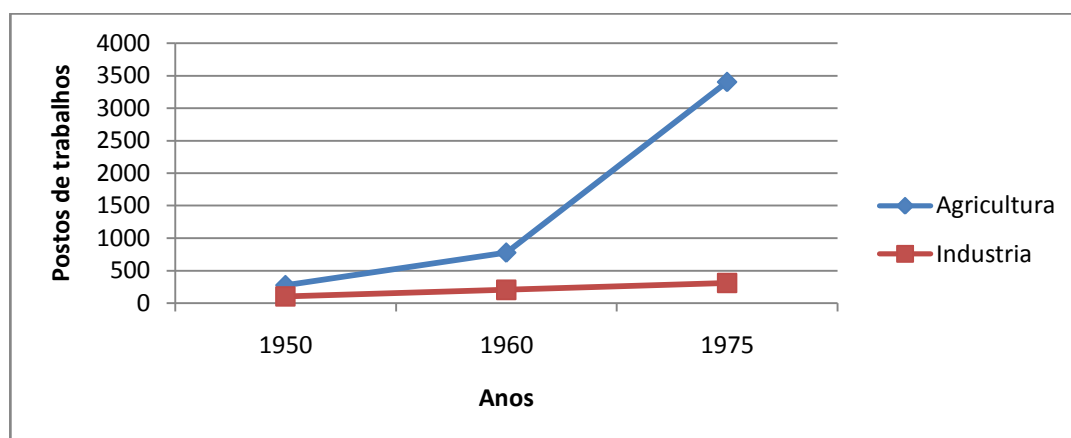
Fonte: Adaptado de IBGE e Oliveira (1991)

Nota:

(1): De acordo com Oliveira (1991) para os anos 1950 e 1960 1 emprego por cada 3hectareas e para o ano de 1975 1 emprego para 2.5 hectareas.

(2): De acordo com Oliveira (1991) em Abaetetuba existiam para o ano de 1950, 2 engenhos médios e 12 pequenos, para 1960 existiam 10 engenhos médios e 15 pequenos, já para o ano de 1975 existiam 5 engenhos grandes, 17 médios e 10 pequenos. Oliveira (1991) pesquiso que um engenho grande gerava 14 empregos/ano, um médio 10 empregos/ano e um pequeno 7 empregos/ano.

**Figura 21-Empregos diretos na Agricultura e na indústria o no município de Abaetetuba para o período de 1950 – 1975.**



Fonte: Elaborado pelo autor

#### 5.3.1.2.2 Produtividade:

Na Tabela 19 e Figura 22 e 23 pode ser observado um crescimento tanto na produção quanto a área colhida, sendo o ano de maior produção 1975 (255.000 Tn). Depois de este ano a produção declina rapidamente até chegar a 8.000 Tn no ano de 1999.

A maior área colhida ocorreu no ano de 1973 (9.500 ha) diminuindo até 200 ha no ano de 1999. Referente à produtividade observou-se que, em média, a produtividade estava na faixa de 34,5 Tn ha<sup>-1</sup>, sendo que no ano de 1977 foi o de maior produtividade (55,00 Tn ha<sup>-1</sup>).

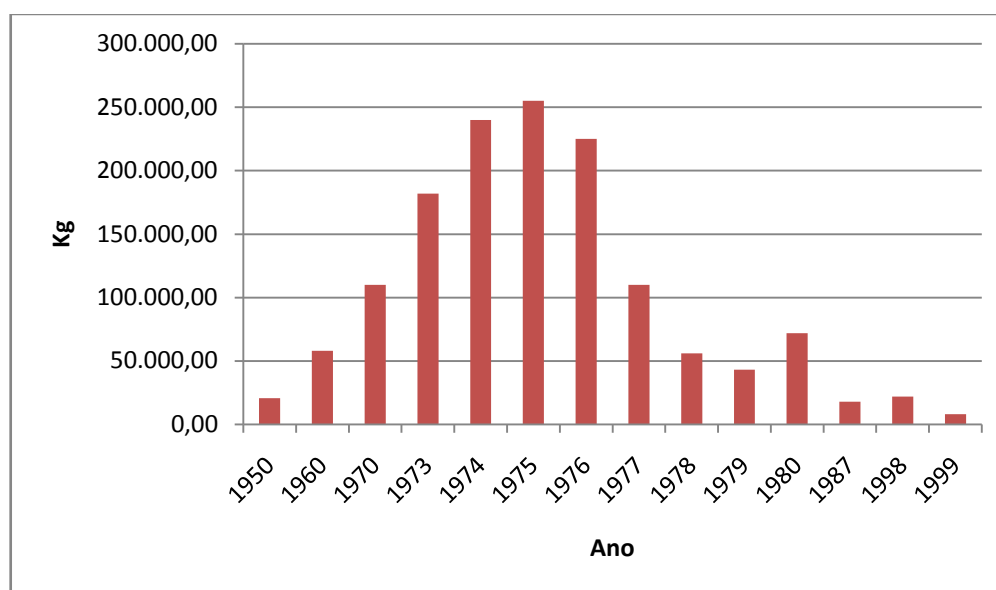
**Tabela 19- Produção, área colhida e produtividade da cultura de cana de açúcar no município de Abaetetuba no período 1950 - 1999**

Ano	Produção (Kg)	Área colhida <sup>(1)</sup> (ha)	Produtividade <sup>(1)</sup> (Tn/ha)
1950	20.625,00	825	25
1960	58.125,00	2.325	25
1970	110.000,00	2.750	40
1973	182.000	9.500	19
1974	240.000	8.000	30
1975	255.000	8.500	30
1976	225.000	8.500	26
1977	110.000	2.000	55
1978	56.000	1.400	40
1979	43.062	1.349	32
1980	72.000	1.800	40
1987	18.000	450	40
1998	22.000	550	40
1999	8.000	200	40
<b>Val. Max</b>	255.000,00	9.500,00	55,00
<b>Val. Min</b>	8.000,00	200,00	19,16
<b>Média</b>	101.415,14	3.439,21	34,47
<b>Total</b>	1.419.812,00	48.149,00	-

Fonte: Oliveira(1991); IBGE, 1950-1999

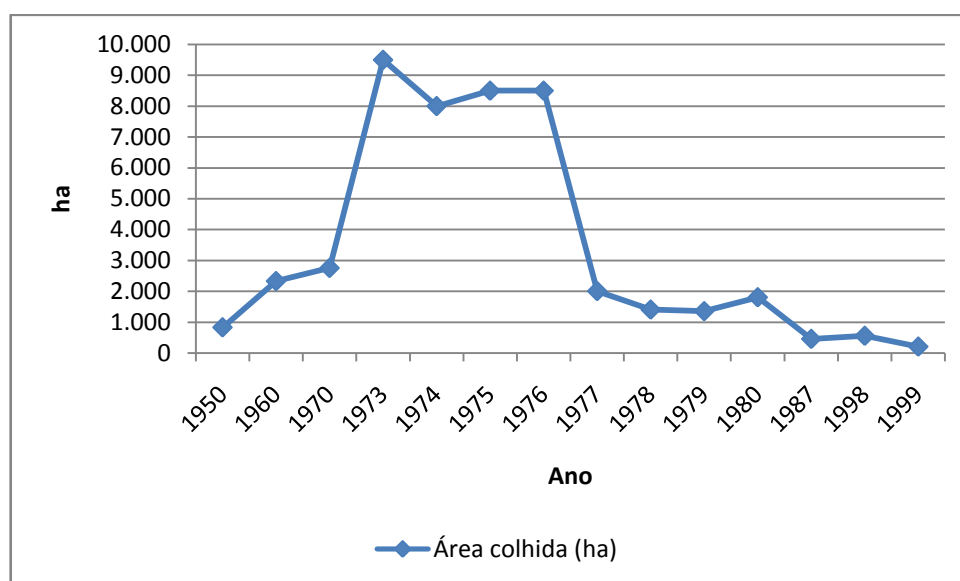
Nota: (1) Considerou-se a área colhida a partir da pesquisa de Oliveira (1991), quem determinou uma produtividade de 25 Tn/ha para 1950 e 40 Tn/ha para 1975

Figura 22-Evolução da produção de cana de açúcar no município de Abaetetuba para o período de 1950 - 1999.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 23- Evolução da área colhida de cana de açúcar no município de Abaetetuba para o período de 1950 - 1999.



Fonte: Elaborado pelo autor (base de dados IBGE, 1950-1999)

### 5.3.1.3 Indicadores da dimensão ambiental

#### 5.3.1.3.1 Vulnerabilidade das águas subterrâneas:

A Tabela 20 apresenta as características, localização, assim como as formações geológicas dos poços analisados, juntamente com os índices para cada componente da metodologia GOD e resultados das classes de vulnerabilidade calculada. Observou-se que a vulnerabilidade das águas subterrâneas no território municipal encontra-se entre baixa ( $0,25 <$ ) e média (entre  $0,26$  e  $0,75$ ). Isto é resultado dos seguintes fatores: aquíferos do tipo confinado, semi-livre e livre; as características da zona não saturada e pelas variações da profundidade do nível estático dos aquíferos.

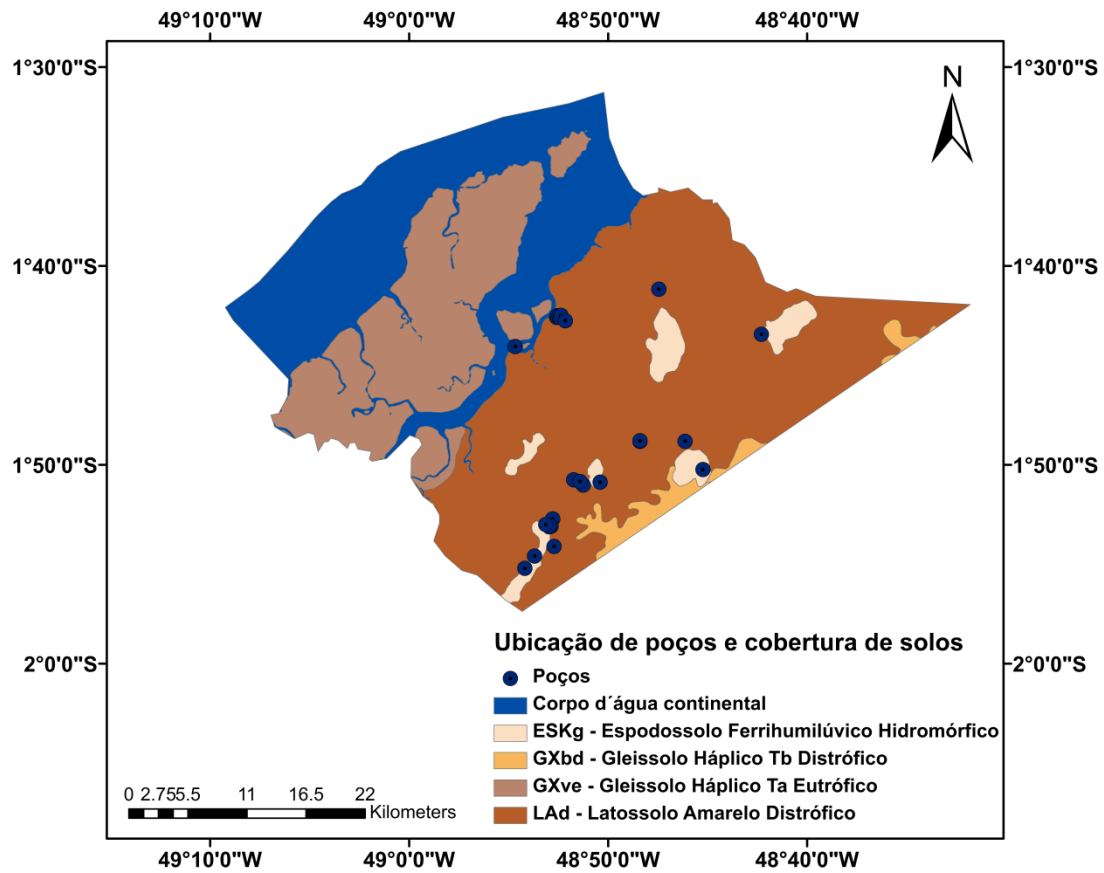


**Tabela 20- Vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Abaetetuba**

Lat.	Long.	Nível Estático (m)	Condição	Tipo formação	Índices dos componentes			Índ. de vuln.	Classe de vuln.
					G	O	D		
-1° 43' 11.9994"	-48° 42' 36"	6,5	Semi-Livre	Formação barreiras	0,6	0,55	0,8	0,26	Media
	-48° 54' 35.9994"	4	Semi-Livre	Pleistoceno	0,6	0,7	0,9	0,38	Media
-1° 48' 36"	-48° 48' 36"	3,8	Livre	Aluviões	1	0,55	0,9	0,50	Media
-1° 52' 47.9994"	-48° 52' 48"	3,4	Livre	Aluviões	1	0,55	0,9	0,50	Media
-1° 54' 35.9994"	-48° 53' 59.9994"	2,4	Livre	Aluviões	1	0,7	0,9	0,63	Alta
-1° 55' 11.9994"	-48° 53' 59.9994"	2,25	Livre	Aluviões	1	0,7	0,9	0,63	Alta
-1° 51' 0"	-48° 50' 24"	2,03	Livre	Formação barreiras	1	0,7	0,9	0,63	Alta
-1° 48' 36"	-48° 46' 12"	2	Livre	Aluviões	1	0,55	0,9	0,50	Media
-1° 42' 35.9994"	-48° 52' 48"	11,05	Confinado	Grupo Barreiras	0,2	0,55	0,7	0,1	Baixa
-1° 42' 35.9994"	-48° 52' 11.9994"	10,31	Confinado	Grupo Barreiras	0,2	0,55	0,7	0,1	Baixa
-1° 50' 24"	-48° 45' 0"	12	Livre	Formação barreiras	1	0,7	0,7	0,5	Media
-1° 51' 0"	-48° 51' 35.9994"	7	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,8	0,4	Media
-1° 51' 0"	-48° 51' 0"	7,4	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,8	0,4	Media
-1° 53' 59.9994"	-48° 52' 48"	5	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,9	0,5	Media
-1° 52' 47.9994"	-48° 52' 48"	3,8	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,9	0,5	Media
-1° 53' 23.9994"	-48° 52' 48"	6	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,8	0,4	Media
-1° 52' 47.9994"	-48° 52' 48"	5,5	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,8	0,4	Media
	-48° 53' 24"	4,9	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,9	0,5	Media
-1° 42' 35.9994"	-48° 52' 11.9994"	3,34	Confinado	Grupo Barreiras	0,2	0,55	0,9	0,1	Baixa
-1° 51' 0"	-48° 51' 35.9994"	3	Confinado	Grupo Barreiras	0,2	0,55	0,9	0,1	Baixa
-1° 41' 23.9994"	-48° 47' 23.9994"	4,5	Livre	Formação barreiras	1	0,55	0,9	0,5	Media

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24- Localização dos poços e cobertura de solo em Abaetetuba



Fonte: Elaboração pelo autor, base vetorial IBGE

#### 5.3.1.3.2 Uso de solo e desmatamento:

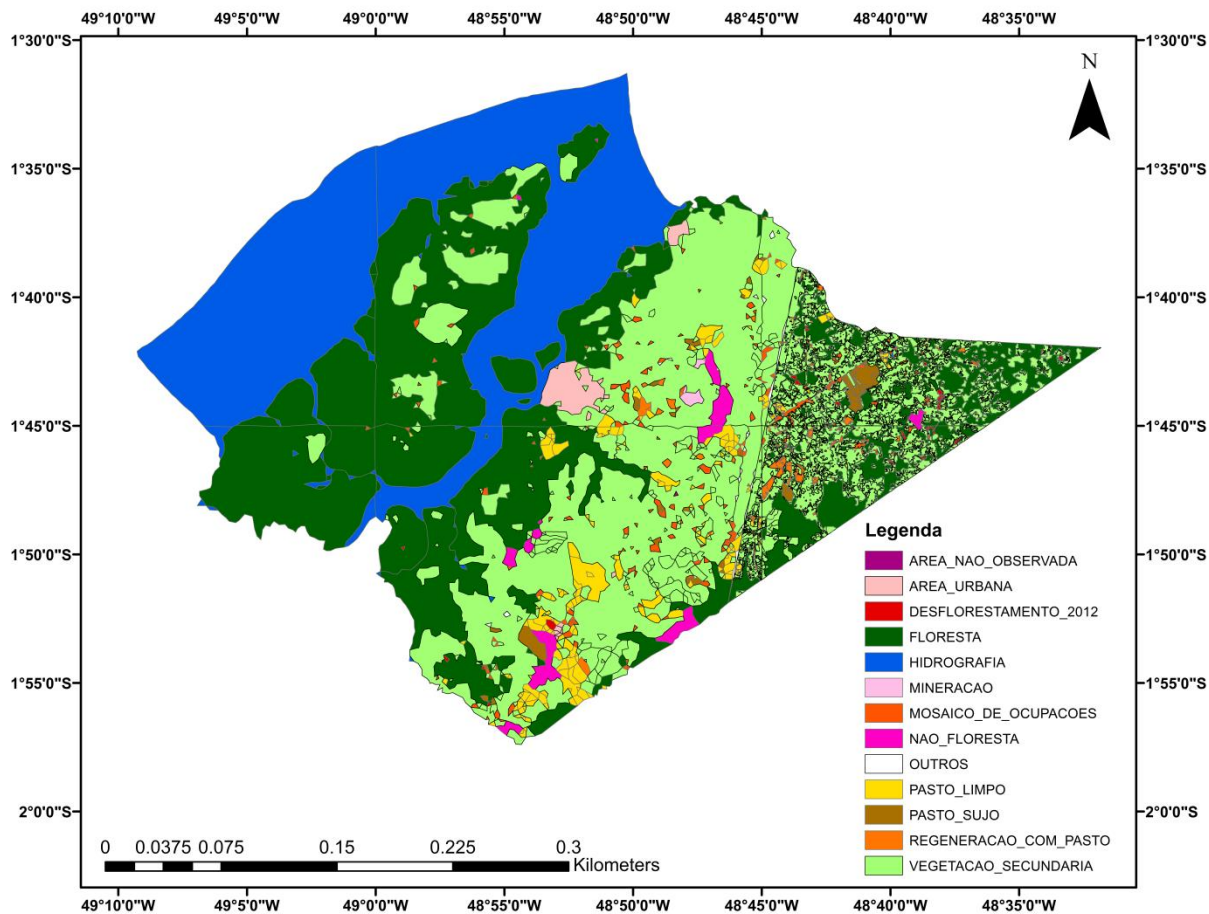
A Tabela 21e Figura 25 apresentam os resultados do uso da terra gerado pelo projeto Terraclass, ano 2012. Observa-se que 35 % do município se encontram cobertos por floresta secundária e 31 % por floresta. Por outro lado, as áreas de pasto limpo e pasto sujo representam apenas 2,85 % e 0,76 %, respectivamente.

**Tabela 21-Uso de solo no município de Abaetetuba, 2012**

Uso de solo	Área (ha)	Porcentagem
Área não observada	34,88	0,02%
Área urbana	1.357,63	0,84%
Desflorestamento 2012	212,66	0,13%
Floresta	49.627,54	30,79%
Hidrografia	41.097,51	25,50%
Mineração	228,57	0,14%
Mosaico de ocupações	3.734,78	2,32%
Não floresta	1.552,23	0,96%
Outros	332,46	0,21%
Pasto limpo	4.593,21	2,85%
Pasto sujo	1.226,70	0,76%
Reflorestamento	1,35	0,001%
Regeneração com pasto	770,49	0,48%
Vegetação secundaria	56.390,68	34,99%
<b>Total</b>	<b>161.160,68</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Projeto Terraclass (2012)

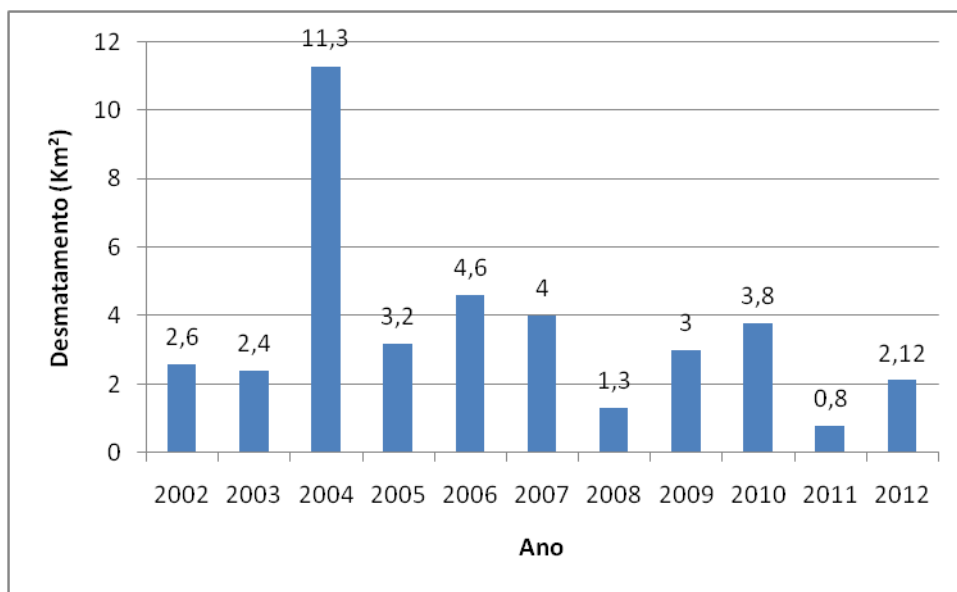
Figura 25-Distribuição do uso de solo em Abaetetuba



Fonte: Projeto Terraclass (2012)

Quanto ao desmatamento, de acordo com estudo elaborado IDESP (2012), se perderam 37 km<sup>2</sup> de floresta nativa na década passada. Atualmente a taxa de desmatamento tem se mantido sob controle, a exemplo dos registros para o ano de 2011, quando ficou abaixo da taxa máxima de estabelecida pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Desse modo, os resultados para este indicador demonstrou ser sustentável no município. A Figura 26 apresenta a evolução do desmatamento no município (período 2002 – 2012).

Figura 26- Evolução do desmatamento no município de Abaetetuba no período de 2002-2012



Fonte: IDESP(2012)

## 5.3.2 Município de Ulianópolis

A Tabela 22 apresenta os valores dos IDS na EDM normalizados para a EBS.

Tabela 22- Normalização dos índices na EDM para EBS

(Continuação)

		Escala do Barômetro de Sustentabilidade - EBS				
		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Dimensão	Indicador	Insustentável	Potencialment e insustentável	Interme diário	Potencialme nte sustentável	Sustentável
Ambiental	Focos de calor por cada 1.000 km <sup>-2</sup>	5				
	Desflorestamen to (%)		32			
	Exploração das águas subterrâneas para irrigação (mm)	15				
	Acesso a sistema de abastecimento de água (AP) potável encanada (%)					85
	Acesso a sistema de saneamento básico (SB) (%)				72	
Média do bem-estar ecológico				50		
Social	IDHM (adimensional)			41		
	Taxa de mortalidade infantil(‰)					86
	IDEB (adimensi onal)				73	
Média da dimensão social					67	

Tabela 22- Normalização dos índices na EDM para EBS

(Conclusão)

		Escala do Barômetro de Sustentabilidade - EBS				
		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Dimensão	Indicador	Insustentável	Potencialmente insustentável	Intermediário	Potencialmente sustentável	Sustentável
Econômica	Produtividade (R\$ ha <sup>-1</sup> )					92
	PIB per capita (US\$)		23			
	Índice de Gini (adimensional)		30			
	Média da dimensão econômica			48		
	Bem estar humano (socioeconômico)			58		

Fonte: elaborado pelo autor

Observa-se na mesma que os baixos valores para o desflorestamento (condição potencialmente sustentável). Isto indica que o desmatamento não tem avançado na pouca floresta remanescente no município.

A vulnerabilidade das águas subterrâneas por cargas contaminantes apresenta condição de sustentabilidade, devido às características litológicas e hidrológicas presentes no município. Os IDS acesso ao sistema de abastecimento de água (AP) e saneamento básico (SB) apresentam valores altos (85) e (72) respectivamente, o que indubitavelmente acarreta benefícios de qualidade de vida a população.

Os outros IDS apresentaram valores baixos (insustentável), sendo que o indicador “focos de calor” foi o que apresentou pior resultado. Por conseguinte, é de extrema relevância para o monitoramento e prevenção de incêndios pela administração municipal.

Outro IDS com resultado baixo (insustentável) foi a exploração das águas subterrâneas para irrigação. Isto ocorreu em função das condições climáticas que provocam déficit hídrico para a cultura da cana de açúcar e também a necessidade de irrigar o cultivo, afetando desta maneira o manto freático.

O IDM da dimensão social que resultou sustentável foi a taxa de mortalidade infantil, o que sugere avanço muito importante no município. O IDS educação, representado

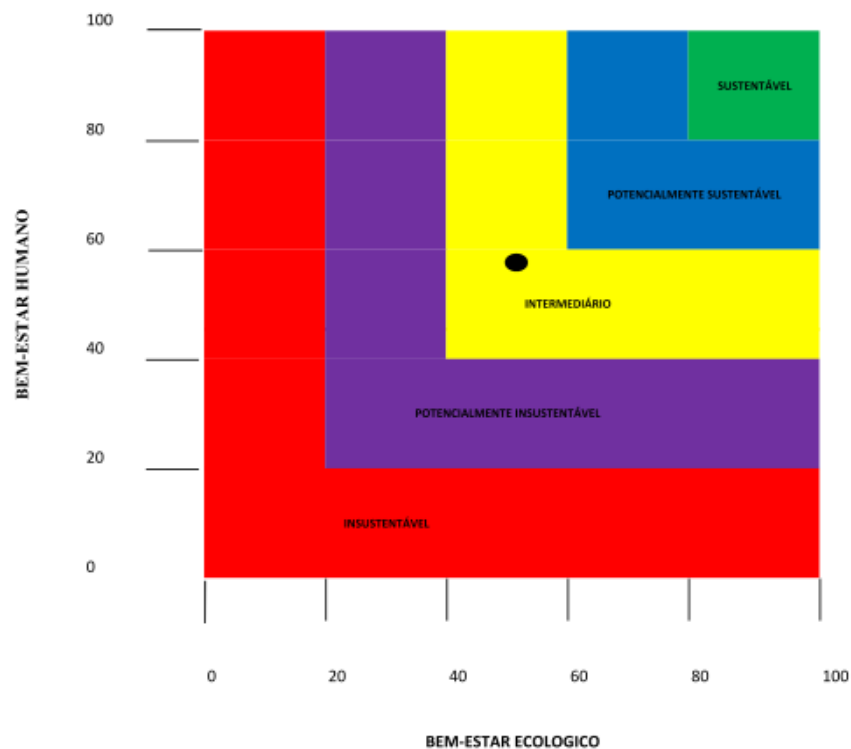
pelo IDEB resultou potencialmente sustentável, mostrando o esforço conjunto das autoridades municipais e da população nesse sentido. Já o IDHM resultou em uma faixa intermediária, indicando que maiores esforços devem ser feitos para o desenvolvimento humano no município.

Na dimensão econômica, o IDS com valor sustentável foi, a produtividade econômica por hectare cultivada, indicando que dentro do período analisado as condições do mercado da cana foram melhores quando comparadas com os cultivos arroz, milho e soja. Os indicadores PIB per capita e Índice de Gini tiveram resultados potencialmente insustentáveis, evidenciando a desigualdade da riqueza dentro do município.

Com o cálculo dos valores estandardizados dos IDS, obtiveram-se as coordenadas dos eixos do BS, sendo que o Bem-Estar humano esta composto pelas médias dos IDS socioeconômicos e o eixo Bem-Estar ecológico pela média dos IDS ambiental. Apresenta a posição da sustentabilidade da cana-de-açúcar no município de Ulianópolis.

O valor obtido tanto no Bem-estar ecológico (50) quanto no Bem-estar humano (58), situa ao município de Ulianópolis em situação intermediária, próxima da condição potencialmente sustentável.

Figura 27- Posição do município de Ulianópolis no BS



Fonte: Elaborado pelo autor, segundoGujit

Estes resultados são semelhantes ao barômetro da sustentabilidade de municípios com atividades minerárias no estado do Pará realizado pela Fundação Amazônia de Amparo a estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA) no ano de 2015, onde foram avaliados com esta ferramenta os municípios de: Barcarena; Canaã dos Carajás; Capanema; Floresta do Araguaia; Ipixuna do Para; Itaituba; Juruti; Marabá; Oriximina; Ourilandia do Norte; Paragominas; Parauapebas e São Felix do Xingu.

Embora o município de Ulianópolis não estivesse incluído na pesquisa, ao analisar comparativamente os resultados obtidos no município de Paragominas com os resultados de Ulianópolis, observou-se um padrão de similaridade geral. Isto poderia se explicar pela contiguidade dos municípios os que faria compartilhar além do comportamento cidadão, compartilhar programas estaduais similares.



## 6 CONCLUSÕES

As variáveis climatológicas estudadas no período de 30 anos (1984-2013), evidenciaram que a sazonalidade climática é um fator determinante para o custo de produção da cana-de-açúcar nos municípios de Abaetetuba e Ulianópolis, ambos com aptidão para o cultivo em referência.

Vale ressaltar que para o cultivo de cana-de-açúcar no município de Ulianópolis é imprescindível a utilização de técnicas de irrigação. Entretanto, o emprego desta tecnologia, além da exploração do manto aquífero, pode implicar na elevação dos custos de produção em aproximadamente 3 vezes mais se comparado ao cultivo no município de Abaetetuba.

Embora o presente estudo proponha uma série de indicadores ambientais e socioeconômicos de relevância, outras pesquisas devem ser realizadas, dada a importância da cana-de-açúcar para o desenvolvimento de energias alternativas na região.

Cabe mencionar também que sob a ótica do ambiente institucional vigente (de crédito, regulação, ambiental, etc.) norteado pelo ZAE, novos empreendimentos canavieiros poderiam ser incentivados em áreas degradadas no Bioma Amazônia.

Esta iniciativa, além de envolver debates e esforços de multiatores, poderiam contribuir positivamente para o fortalecimento da matriz bioenergética do país a partir da geração elétrica oriundas de resíduos agroindústrias, assim como possibilitar a geração de emprego e renda, a dinamização/fortalecimento da economia local e otimização do retorno financeiro aos investidores.

Portanto, observado o mapeamento das grandes áreas já degradadas existentes no estado do Pará, o cultivo da cana-de-açúcar pode ser uma estratégia factível e merecedora de incentivos (financeiro, em ciência, tecnologia e inovação) promovendo a inclusão social diante da crescente demanda por produtos derivados desta cultura.

## REFERENCIAS

A. NETTO; FERNANDEZ, M., ARAUJO, R., EIJI, A. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970. 270 p.

ACHKAR, Marcel et al. Indicadores de sustentabilidad. **Ordenamiento ambiental del territorio**, p. 55-70, 2005. Disponível em: <<http://tecrenat.fcien.edu.uy>>. Acesso em: 16 jun 2015.

ALBUQUERQUE, M. F., SOUZA, E. B., OLIVEIRA, M. D. C. F., & SOUZA JÚNIOR, J. **A. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008)**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 6, 2010.

ATLAS do Desenvolvimento Humano no Brasil, Abaetetuba, Pará. PNUD. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 13/04/2015.

ATLAS do Desenvolvimento Humano no Brasil, Ulianópolis, Pará. PNUD. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 13/04/2015.

BALBINO, Antonio Evangelista. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de cerrado**. 2011. 188p. Tese (Doutorado)- Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document>>. Acesso em: 12 set 2014

BATES, H. W. (1921). *The naturalist on the river Amazons*. London; Toronto: JM Dent; New York: EP Dutton, [1910, reprinted 1921].

CAMARGO, A.P. **Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo**. *Bragantia*, 21:163-213, 1962.

\_\_\_\_\_. **Balço hídrico no Estado de São Paulo**. Boletim Técnico n.116, 1971, IAC. 24p.

CÂNDIDO, Luiz Antonio et al. **O Clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: A questão da savanização**. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 44-47, 2007. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252007000300017&script=sci\\_arttext](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252007000300017&script=sci_arttext)>. Acesso em: 03 set. 2015

CARVALHO, Gustavo Luis de. 2009. **Eficiência da produção agrícola de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre as safras 1990/1991 e 2005/2006**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, USP. Piracicaba. 120p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis>>. Acesso em: 20 out. 2014.

CESNIK, Roberto; MIOCQUE, Jacques. **Melhoramento da cana de açúcar**. EMBRAPA. 307 p. 2004.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária na safra 2013/2014**. Brasília, 2014. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 08 ago. 2015.

CONTINI, E.; GASQUES, J. G; LEONARDI, R. B; BASTOS, E. T. **Projeções do agronegócio mundial**. Revista de Política Agrícola, v. 15, n. 1, p. 29-44, 2006. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/476>>. Acesso em: 11 jun 2015

CPRM - **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. Serviço Geológico do Brasil Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br>>. Acesso em: 10 jun 2015.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO - Irrigação e Drenagem n.33, 1994. 306p. (Traduzido por Gheyi, H.R. et al. - UFPB).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. ZAE cana- **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 55 p. 2009.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. **Produção de etanol: Uma opção competitiva para o aproveitamento de áreas alteradas no leste do Pará**. Polo Nacional de Biocombustíveis. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba. 121 p. 2006.

ESPINOZA, M., **Balance hídrico y necesidad de agua para los cultivos más importantes de la cuenca del río la Cienega**. Proyecto Desarrollo Agropecuario. Vallegrande, Santa Cruz, Bolivia, CORDECruz, PNUD, FAO, 1989. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/field/009/ar841s/ar841s.pdf>>. Acesso em: 01/11/2014.

FAO Statistical Yearbook, World food and Agricultural 2013. Statistics Division (ESS) of the Food and Agriculture Organization of the United Nations in collaboration with staff at headquarters and in the regional and decentralized offices. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso: 11/04/2015.

FAPESPA - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Anuário Estatístico do Pará**. 2015. Disponível em: <<http://www.fapespa.pa.gov.br>>. Acesso em: 15 ago 2015.

FOSTER. S.S.D. **Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE "VULNERABILITY OF SOIL AND GROUNDWATER TO POLLUTANTS", 1987, Noordwijk, The Netherlands.

GOLDEMBERG, José. **Ethanol for a sustainable energy future**. science, v. 315, n. 5813, p. 808-810, 2007. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/315/5813/808.short>> . Acesso em: 23 jul 2015

GOUVÊA, Julia Riveiro, **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. Tese (Mestrado). Física

do Ambiente Agrícola. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, USP. 100.p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>>. pdf. Acesso: 22/04/2015.

GUJIT, I. et al. IUCN Resource Kit for Sustainability Assessment. **The World Conservation Union**, p. 1-33, 2001. Disponível em: <<http://cmsdata.iucn.org>>. Acesso em: 13 ago 2015.

IBGE. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. 2008. Brasil 2008. Rio de Janeiro. Acesso em: <[www.ibge.com.br](http://www.ibge.com.br)>. Acesso e: 10/08/15.

INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO -SOCIAL DO PARÁ. **Repercussões socioeconômicas do Complexo Industrial Alunorte em sua área de influência imediata**. Belém: IDESP, Séries Relatórios de pesquisa (Belém, Brazil), n. 20. 1991. Disponível em: <<http://www.worldcat.org>>. Acesso em: 26 jan 2015.

\_\_\_\_\_. **Estatística Municipal Ulianópolis**, 2012. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br>>. Acesso em: 15 ago 2015.

\_\_\_\_\_. **Estatística Municipal Abaetetuba**, 2012. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br>>. Acesso em: 15 ago 2015.

\_\_\_\_\_. **Indicadores Municipais. Abaetetuba**, 2012. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br>>. Acesso em: 10 ago 2015.

\_\_\_\_\_. **Indicadores Municipais. Ulianópolis**, 2014. Disponível em: <<http://www.idesp.pa.gov.br>>. Acesso em: 18 ago 2015.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 06/10/2015.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEADATA. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013. **Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro** – Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2013. 96 p. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br>>. Acesso em: 13 ago 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA - INEP . Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br>>. Acesso em 05/10/2015.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 13 ago 2015.

KRONEMBERGER, Denise Maria Penna et al. **Desenvolvimento sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do barômetro da sustentabilidade**. Sociedade & Natureza. Uberlândia, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v20n1/a02v20n1>>. Acesso em: 15 ago 2015.

MARCHIORI, Luis Fernando Sanglade. 2004. **Influência da época de plantio e corte na produtividade na cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, USP. Piracicaba. 284p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br>>. Acesso em: 20 out 2014.

MONTEIRO, José Eduardo BA. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA). Instituto nacional de meteorologia (INMET), 2009.

MOTA, Fernando Silveira. **Meteorologia Agrícola. São Paulo**. 1975. 376p

OLIVEIRA, Adélia Engrácia; LÉNA, P. Amazônia: **A fronteira agrícola 20 anos depois**. Museu Goeldi, Belém, PA. 362p, 1991. Disponível em: <<http://www.museu-goeldi.br>>. Acesso em: 26 abr 2015.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA, & LA ALIMENTACIÓN (Eds.). (2001). Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural (No. 5). Food&AgricultureOrganization

PAGRISA. Institucional. Disponível em: <<http://www.pagrisa.com.br/>>. Acesso em: 05 out 2015.

PARÁ.SECRETARIA DE ESTADO DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO E DA PESCA. **Dados estatísticos da produção agrícola do estado do Pará no período de 2000 a 2011**. Disponível em: <<http://www.sagri.pa.gov.br/pagina/agricultura>>. Acesso em: 26 jan 2015.

PEREIRA, Antonio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar. Nota de Aulas: **Meteorologia Agrícola**. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Departamento de Ciências Exatas Piracicaba, SP, 202 p. 2007.

PRESCOTT-ALLEN, R.The Barometer of Sustainability, IUCN, 2001.Disponível em: <<http://www.iucn.org/themes/eval/english/barom.htm>>. Acesso em: 07 out 2015.

REDCLIFT, Michael. Sustainable development (1987–2005): an oxymoron comes of age. **Sustainabledevelopment**, v. 13, n. 4, p. 212-227, 2005. Disponível em:<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sd.281/abstract;jsessionid=C6ACD406D4C53C4AABB8064DCE38B226.f03t02>>. Acesso em: 10 jun 2015.

RODRÍGUEZ HERRERA, Eugenio; TRONCOSO CORREA, Javier. Evaluación Técnica y Económica de un sistema de riego por Pivote Central. **Agro sur**, v. 33, n. 2, p. 62-73, 2005.

ROCHA, P.,PEREIRA E., COELHO, R. Custo do bombeamento de água para irrigação no Brasil (1998). Disponível em<[http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88022005000200006&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88022005000200006&script=sci_arttext&tlng=es)>. Acesso em: 05 jun 2015.

SARANDÓN, S. J. (2002). **El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas**. Agroecología: El camino para una agricultura sustentable, 393-414.

SILVA, João Paulo Nunes da; SILVA, Maria Regina Nunes da. **Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 105 p. 2012 .

SZMRECSÁNYI, Tamás; MOREIRA, Eduardo Pestana. **O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial**. Estudos avançados, v. 5, n. 11, p. 57-79, 1991. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40141991000100006&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40141991000100006&script=sci_arttext&tlng=es)>. Acesso em: 04 jun 2015.

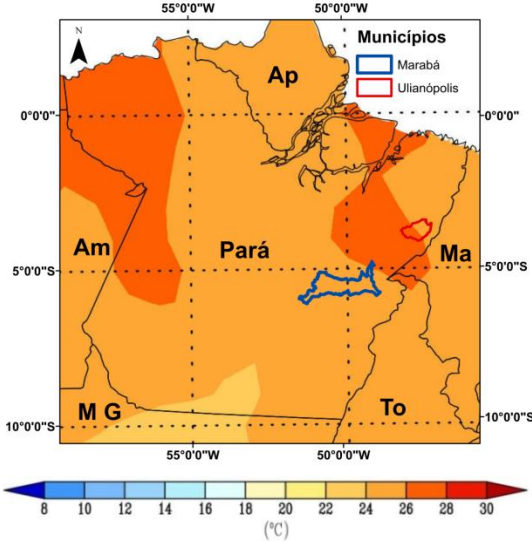
UNITED NATIONS. Report of the World Commission on environment and Development, 1987: (<http://www.un.org>). Acesso em: 13/08/15.

VALENTE, Marcelo Soares; NYKO, Diego; MILANEZ, Artur Yabe; REIS, Brunno Luiz Siqueira Ferreira Soares dos. **In: Bens de capital para o setor sucroenergético: a indústria está preparada para atender adequadamente a novo ciclo de investimentos em usinas de cana-de-açúcar?** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.36, 2012, p. 119-178.

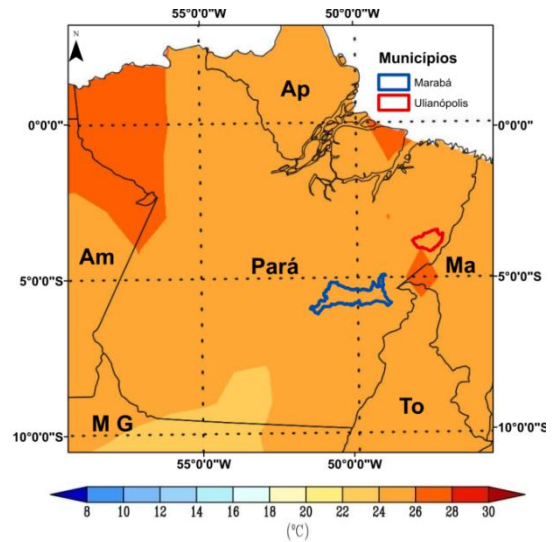
VASCONCELOS, Antonio Carlos Machado de; GARCIA, Julio Cesar, **Cana-de-açúcar: ambientes de produção, desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar da cana-de-açúcar**. Encarte técnico, Informações Agronômicas. n. 110. p. 5. 2005. Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf>>. Acesso em: 26 jan 2015.

**ANEXO - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL 1961 - 1990.  
TEMPERATURA MÉDIA COMPENSADA (°C).**

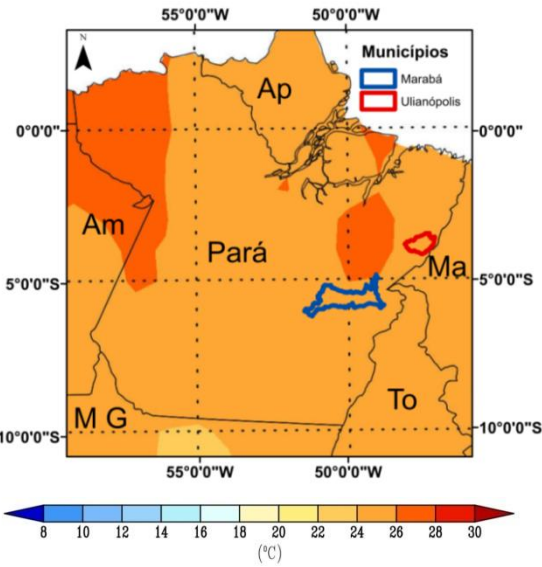
**Janeiro**



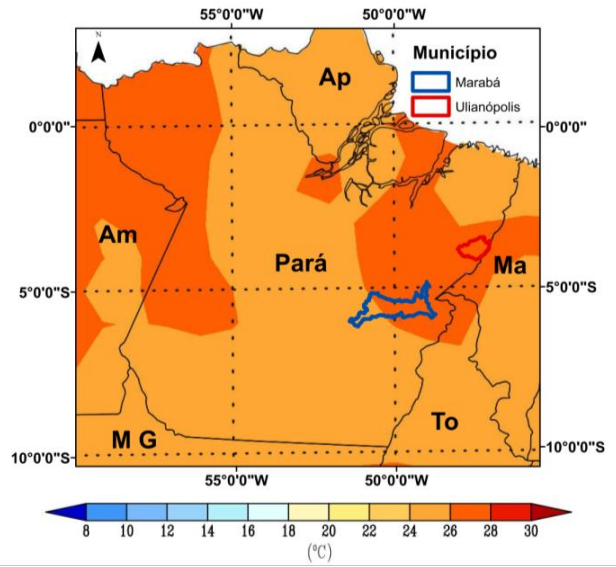
**Fevereiro**



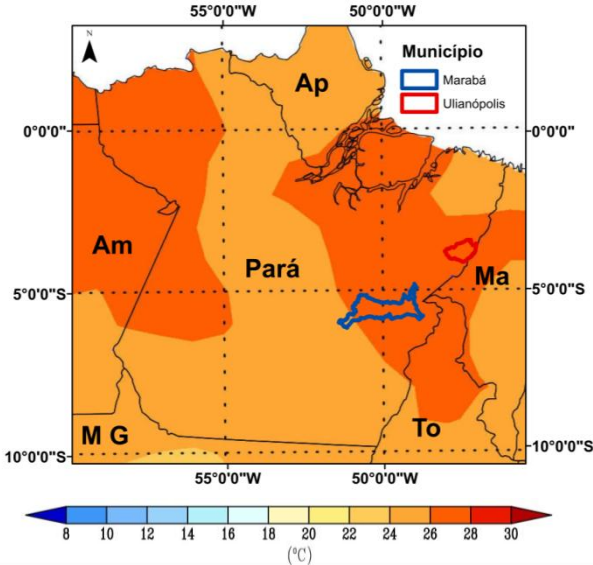
**Março**



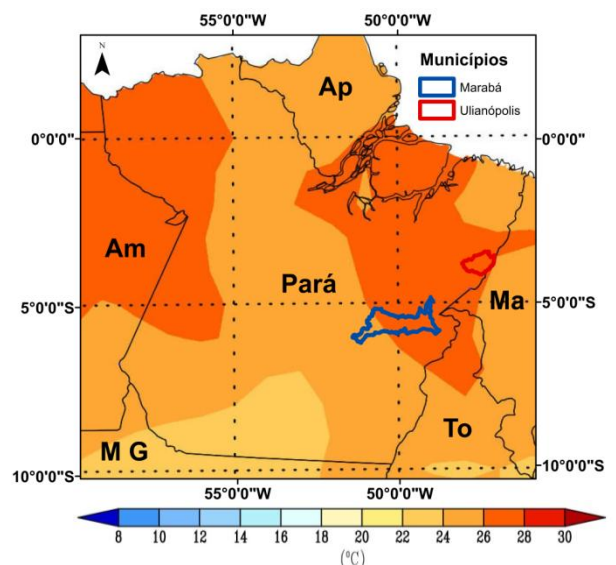
**Abril**



**Maió**

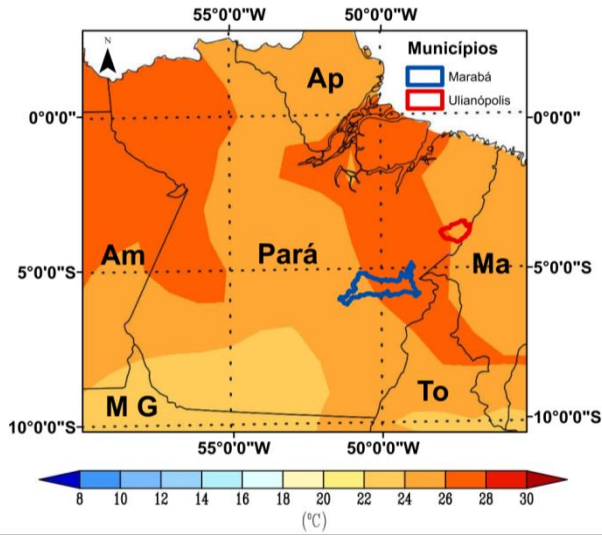


**Junho**

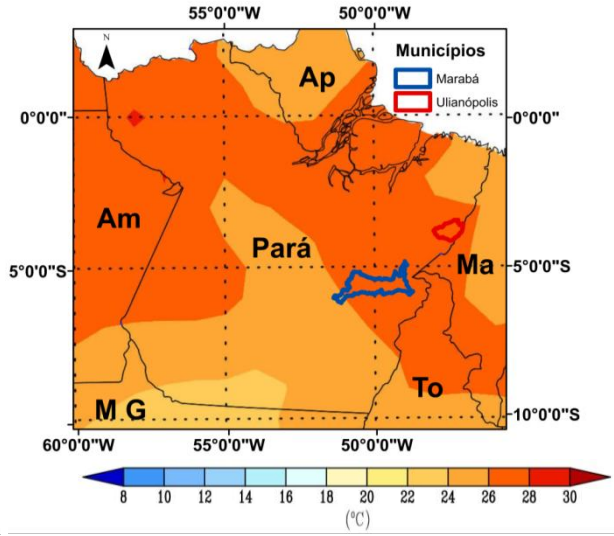




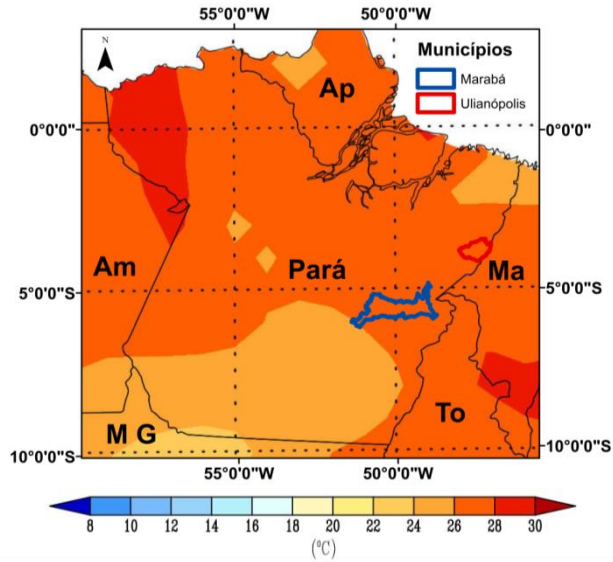
### Julho



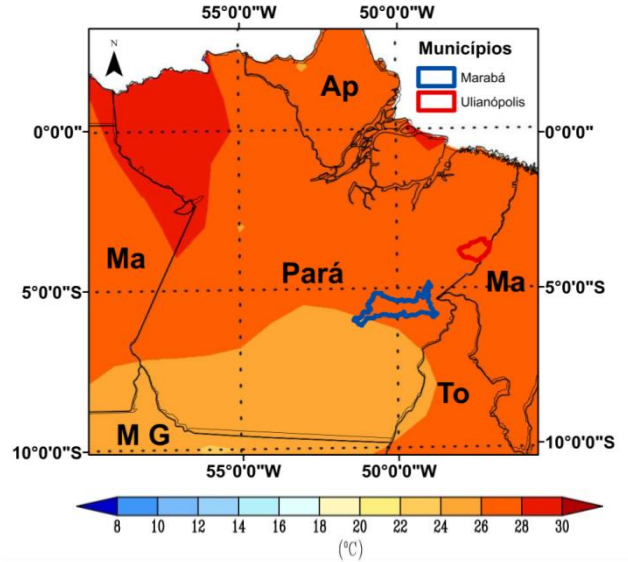
### Agosto



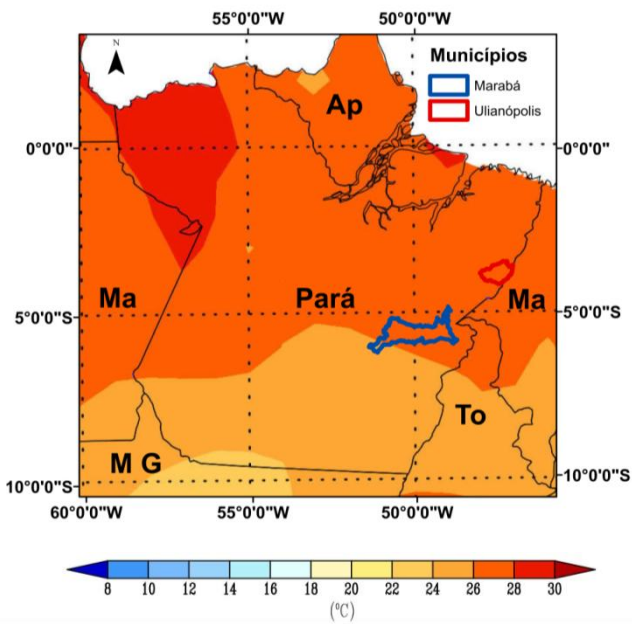
### Setembro



### Outubro



### Novembro



### Dezembro

