



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ÁLCOOL**

ARIANE BARROS MELO

**BALANÇO HÍDRICO APLICADO AO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA
REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS**

**PENEDO, AL
2022**

ARIANE BARROS MELO

BALANÇO HÍDRICO APLICADO AO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO
DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

Orientador (a): Profº. Drº. Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley

PENEDO, AL
2022

M528b

Melo, Ariane Barros.

Balanço hídrico aplicado ao cultivo da cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiro de Alagoas / Ariane Barros Melo. – 2022.

34f. ; il.

Orientação: Prof. Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho em formato digital.

1. Cana-de-açúcar - Cultivo. 2. Balanço hídrico. 3. Tabuleiros Costeiros - Alagoas I. Wanderley, Lucas Suassuna de Albuquerque . II. Título.

CDD: 664.1

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

ARIANE BARROS MELO

BALANÇO HÍDRICO APLICADO AO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO
DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e Álcool.

APROVADO(A) EM: 17/03/2022.


BANCA EXAMINADORA



Prof^o. Dr^o. Lucas Suassuna de Albuquerque Wanderley
Instituto Federal de Alagoas - IFAL



Prof^a. Dr^a. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Documento assinado digitalmente
 SIMONISE FIGUEIREDO AMARANTE CUNHA
Data: 28/03/2022 21:26:46-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. M^a. Simonise Figueiredo Amarante Cunha
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

BALANÇO HÍDRICO APLICADO AO CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

WATER BALANCE APPLIED TO SUGAR CANE CULTIVATION IN THE TABULEIROS COSTEIROS REGION OF ALAGOAS

Ariane Barros Melo¹

RESUMO

Objetivo: o presente estudo teve como objetivo determinar a necessidade hídrica e calcular o risco climático para a cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Método:** a necessidade hídrica da cana-de-açúcar foi estimada através do Balanço Hídrico de Thornthwaite (1948) e mapeada com uso de procedimento geoestatístico. **Resultados:** constatou-se que há expressiva variabilidade na disponibilidade hídrica dos solos da região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, proporcionando a existência de excedentes e déficits hídricos ao longo das estações do ano. Habitualmente, o período de estiagem acontece entre os meses de outubro a fevereiro e os excedentes nos meses de abril a agosto. A espacialização do balanço hídrico e das classes de risco climático sugere a existência de um padrão, com maior deficiência hídrica no sul da área de estudo, e maior disponibilidade hídrica no centro norte. **Conclusão:** o balanço hídrico da cana-de-açúcar mostrou que existem limitações produtivas quanto às características climáticas, que devem ser supridas com o uso de tecnologias adequadas, principalmente a partir do uso racional de água.

Palavras-chave: balanço hídrico; Tabuleiros Costeiros; cana-de-açúcar; Alagoas.

ABSTRACT

Objective: the present study aimed to determine the water requirement and calculate the weather risk for sugar cane in the Tabuleiros Costeiros region of Alagoas. **Method:** the water requirement of sugar cane was estimated using the Thornthwaite Water Balance (1948) and mapped using a geostatistical procedure. **Results:** it was found that there is significant variability in the water variability of soils in the region of Tabuleiros Costeiros de Alagoas, providing the existence of water surpluses and deficits throughout the seasons. Usually, the dry season occurs between the months of October to February and the surplus in the months of April to August. The spatialization of the water balance and the climatic risk classes suggests the existence of a pattern, with greater water deficit in the south of the study area, and greater water availability in the center north. **Conclusion:** the water balance of sugar cane showed that there are production limitations regarding climatic characteristics, which must be supplied with the use of adequate technologies, mainly from the rational use of water.

Keywords: water balance; Tabuleiros Costeiros; sugar cane; Alagoas.

¹ Instituto Federal de Alagoas, discente, curso técnico integrado em Açúcar e Álcool, abm3@aluno.ifal.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A elevação da concentração dos gases do efeito estufa em consequência da ação do ser humano tem impactado o equilíbrio do sistema climático global. O principal gatilho da mudança climática recente é a elevação da temperatura média global, desencadeada pela intensificação do efeito estufa. A partir de então, mudanças nos regimes climáticos globais e regionais têm ocasionado consequências negativas para os ecossistemas naturais, como a escassez de água em algumas regiões. Nesse sentido, o IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*, apresentou através de modelos matemáticos, um aumento entre 1,4 e 5,8 °C da temperatura global até o final do século XXI (IPCC, 2001 e 2007).

Em climas tropicais, a variabilidade dos elementos atmosféricos traz um empecilho para o planejamento agrícola, pois a presença de períodos muito chuvosos ou muito secos, principalmente em áreas com baixas densidades técnicas utilizadas para produção, afeta negativamente o desempenho dos agrossistemas. Assim, o excesso ou a falta de água pode interferir diretamente na produção das culturas agrícolas. Neste sentido, a variabilidade interanual das chuvas nos trópicos é o principal fator condicionante da disponibilidade hídrica nos solos (MOLION e BERNARDO, 2002).

No leste da Região Nordeste do Brasil, o regime de chuvas é caracterizado por uma alta concentração entre os meses de abril a agosto, e por uma deficiência de chuvas entre os meses de outubro a fevereiro. Extensamente cultivada na zona oriental da Região Nordeste brasileira, a cana-de-açúcar é uma gramínea tropical com uma alta demanda hídrica em seu ciclo de desenvolvimento. De acordo com Ometto (1980), o volume de água de que a cultura da cana-de-açúcar necessita para atingir bons níveis de produtividade varia de 1.500 a 2.500 mm. Em um estudo desenvolvido no município de Rio Largo, localizado nos Tabuleiros Costeiros do leste do estado de Alagoas, foi determinado o valor de evapotranspiração da cultura (ETc) de 1584 mm para a cana-de-açúcar no decorrer de 12 meses em “regime de sequeiro”² (LYRA *et al.* 2007). Contudo, esses valores hídricos não são assegurados pelo regime pluviométrico em diversas áreas do clima tropical.

² O regime de sequeiro é aquele em que não se faz uso de irrigação.

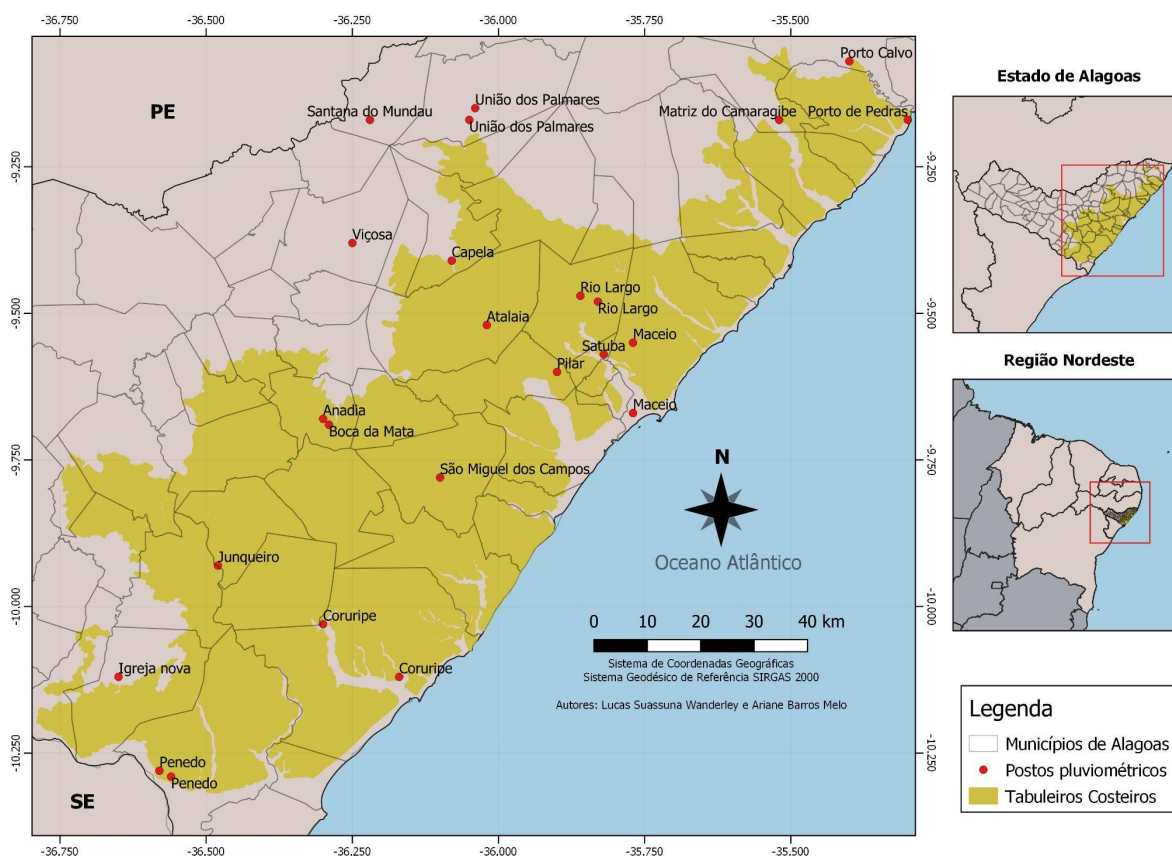
Os Tabuleiros Costeiros de Alagoas correspondem às paisagens associadas à Formação Barreiras que constitui a depósitos sedimentares de origem predominantemente continental (Bigarella,1975; Lima, 2002) e ficam localizados no leste do estado. A região leste possui paisagens subúmidas que são suscetíveis à ocorrência de ciclos climáticos secos ou úmidos o quais afetam a produtividade das lavouras. Dessa maneira, a determinação da evapotranspiração da cultura beneficia uma utilização racional da água e, por esta razão, é indispensável para o planejamento agrícola. Diante desse fato, o presente estudo se propôs a determinar a necessidade hídrica e calcular o risco climático para a cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido nos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas, situados no leste do estado (Figura 1). Os Tabuleiros apresentam alta produção agrícola, essencialmente em zonas de superfícies pouco entalhadas, com elevado volume de solos planos a quase planos (JACOMINE, 2001).

Figura 1 - Localização dos Tabuleiros Costeiros no estado de Alagoas



Organizado pelos autores, em 2022.

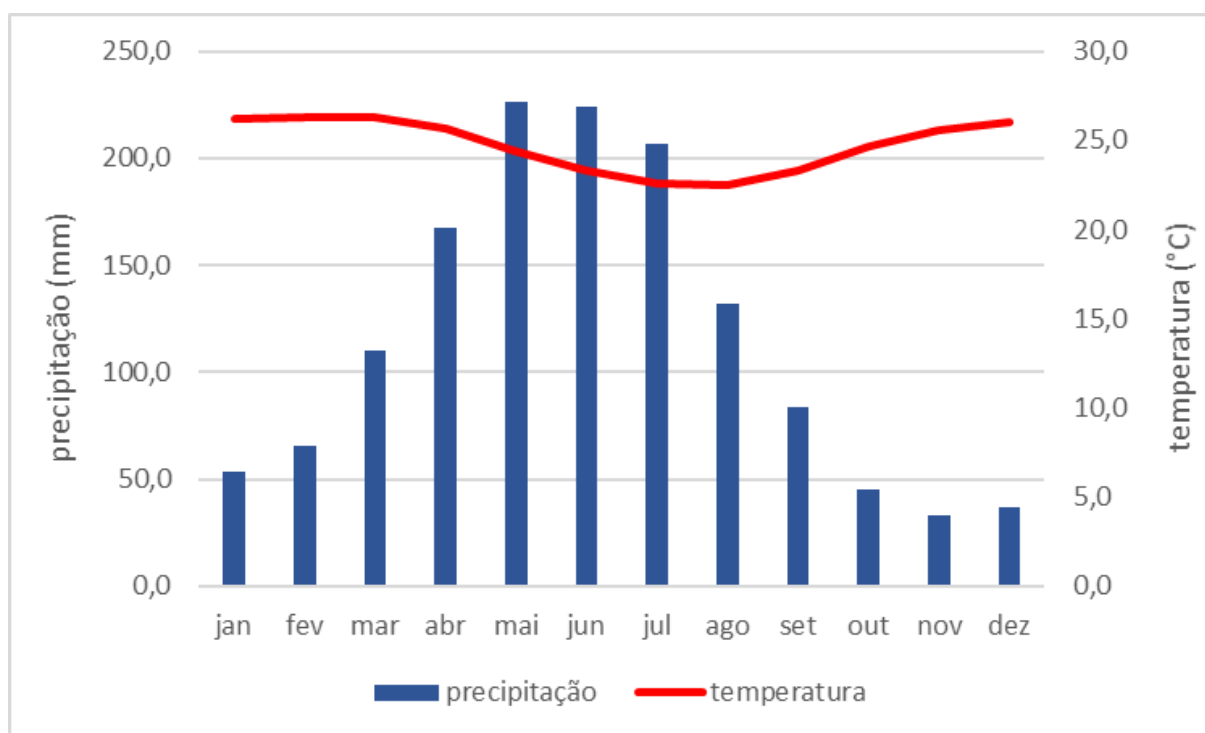
A superfície dos Tabuleiros apresenta relevo predominantemente plano, enquanto que os vales são entalhados e profundos. Os solos dessa área são classificados como argissolo amarelo (PA), latossolo amarelo (LAI), argissolo acinzentado (PAC) e latossolo amarelo (LA2) (NETO *et al.*, 2009). O cultivo da cana-de-açúcar representa uma extensa área dos Tabuleiros Costeiros, onde a textura dos solos, a profundidade e a topografia são favoráveis ao cultivo dessa importante cultura. Atualmente, a maior parte da área é coberta pelo cultivo da cana-de-açúcar, e a vegetação primária concentra-se nas pequenas áreas restritas a encostas e pequenas áreas de preservação nos topos dos Tabuleiros.

Na área de estudo, de acordo com a classificação de Köppen³, predomina o tipo climático tropical chuvoso com verão seco (As'). A Figura 2 apresenta o climograma com os valores médios de temperatura e precipitação nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Neste tipo de gráfico, a temperatura é representada por uma

³ Sistema de classificação global dos tipos climáticos mais usados em geografia, ecologia e climatologia.

linha sobreposta a barras que representam as precipitações ao longo do período estudado.

Figura 2 - Climograma para estações pluviométricas dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas referentes ao intervalo de dados entre 1989 e 2021.



Fontes de dados: ANA. Organizado pelos autores, em 2022.

Percebe-se que o período de estiagem está habitualmente compreendido entre os meses de outubro a fevereiro, quando os valores de precipitação médios mensais são iguais ou inferiores a 50 mm. As maiores temperaturas médias são registradas de outubro a abril. Além disso, observa-se uma alta concentração de precipitação entre os meses de abril a agosto e menores temperaturas entre os meses de maio a julho.

2.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

Os dados de precipitação foram adquiridos na plataforma digital da Agência Nacional de Águas (ANA) com um intervalo de tempo de 32 anos identificados na

série pluviométrica estudada (1989-2021), e os dados de temperatura foram estimados, para o mesmo intervalo temporal, pelo software Estima-T, desenvolvido pelo Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) (CAVALCANTI, *et al.*, 2006).

2.3 BALANÇO HÍDRICO PELO MÉTODO DE THORNTHWAITTE (1948)

O balanço hídrico tem o intuito de determinar a disponibilidade de água do solo, levando em conta os fluxos hídricos entre os sistemas climático, biológico e pedológico⁴. Nesse sentido, é capaz de calcular o volume de água armazenado no solo possível de ser utilizado pelas plantas (FRANCISCO *et al.*, 2016). Para o cálculo do balanço hídrico mensal pelo método de Thornthwaite, foram utilizados os dados obtidos para capacidade máxima de água no solo (CAD), tendo o valor obtido em função da profundidade radicular da planta e das características físicas do solo. O valor adotado foi de 70 mm, considerando uma predominância de solos de textura média, sendo calculado a partir da equação 1, proposta por Doorenbos e Kassan (1994):

$$CAD = CAD \text{ média} \times Zr \quad (1)$$

Em que a CAD média são os valores médio da CAD, os quais mudam de acordo com a textura dos solos. Para solos de textura média adota-se o valor de 1,44 mm, solos argilosos 2,0 mm e solos arenosos 0,6 mm. O Zr equivale à profundidade médias das raízes das plantas, que no caso é a da cana-de-açúcar, utilizou-se a profundidade de 50 cm por concentrar mais de 80% do sistema radicular da planta (INFORZATO, 1957).

A segunda parte do balanço hídrico é a obtenção do ARM, armazenamento hídrico mensal de água, que foi obtido a partir das equações 2 e 3 para as estações secas e pela equação 4 para as estações úmidas.

$$\text{Se } NegAc = 0, ARM = CAD \quad (2)$$

⁴ Ciência que estuda o solo, sua forma, origem, classificação e propriedade.

$$\text{Se } NegAc < 0, ARM = CAD \cdot e - \left[\frac{NegAc}{CAD} \right] \quad (3)$$

$$ARM_m = ARM_m - 1 + (P - ETP)_m \quad (4)$$

O m corresponde ao mês de cálculo, $P-ETP$ representa a diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração da cultura agrícola (ET_c). O negativo acumulado ($NegAc$) foi obtido pelas equações 5, 6 e 7 nas estações secas e nas estações úmidas:

$$\text{Se } P - PET > ou = 0, NegAc = 0 \quad (5)$$

$$\text{Se } P - ETP <, NegAc = NegAc_m - 1 + (P - ETP) \quad (6)$$

$$NegAc = CAD - \ln\left(\frac{ARM}{CAD}\right) \quad (7)$$

Então foi possível estimar a evapotranspiração real (ETR) pelas equações 8 e 9:

$$\text{Se } (P - ETP) > ou = 0, ETR = ETP \quad (8)$$

$$\text{Se } (P - ETP) < 0, ETR = P - ALT \quad (9)$$

A ALT , alteração de água no solo, é a variação de volume de água, e pôde ser estimada pela equação 10.

$$ALT = ARM_m - ARM_m - 1 \quad (10)$$

Com os valores obtidos até então foi possível calcular a deficiência de água no solo (DEF), usando a diferença entre a ETP e a ETR . Para estimar os valores de excedente hídrico (EXC) foi utilizada a equação 11, para os valores positivos de $P-ETP$ e $ARM = CAD$, para os valores negativos $EXC = 0$.

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (11)$$

A última parte do cálculo do balanço hídrico corresponde à obtenção dos valores de reposição hídrico no solo (R) através das equações 12 e 13.

$$\text{Se } ALT < ou = 0, R = ETR \quad (12)$$

$$\text{Se } ALT > 0, R = ETR + ALT \quad (13)$$

2.4 ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA AGRÍCOLA (ET_c)

A ET_c foi estimada pelo método proposto por Brouwer e Heibloen (1986) através da equação 14. O dado de evapotranspiração da cultura agrícola corresponde à demanda da água das plantas.

$$ET_c = ETP * K_c \quad (14)$$

Na equação 14, ETP refere-se ao valor de evapotranspiração de referência (mm/dia, mês ou ano) e K_c é o valor do fator de cultura, que pode variar de acordo com o tipo de cultura agrícola ou fase de desenvolvimento da planta.

2.5 BASE CARTOGRÁFICA

Utilizou-se a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que adota o Sistema Geodésico de Referências (SIRGAS 2000). O processamento dos dados geográficos e elaboração dos mapas ocorreu no software Qgis 3.10 (DENIS, 2019). No Quadro 1 foram apresentadas as estações meteorológicas utilizadas no estudo, com os valores das coordenadas geográficas, altitude e unidade da federação.

Quadro 1 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo e seus respectivos valores de latitude, longitude, altitude e unidade da federação a qual pertence.

| Estação | Latitude (graus decimais) | Longitude (graus decimais) | Altitude (m) | Unidade da Federação |
|--------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|
| Maceió | -9,533 | -35,533 | 10 | Alagoas |
| Maceió | -9,65 | -35,716 | 30 | Alagoas |
| Rio Largo | -9,466 | -35,85 | 60 | Alagoas |
| Rio Largo | -9,483 | -35,833 | 62 | Alagoas |
| União dos Palmares | -9,1 | -36,06 | 156 | Alagoas |
| União dos Palmares | -9,15 | -36,05 | 155 | Alagoas |
| União dos Palmares | -9,183 | -36,05 | 155 | Alagoas |
| Penedo | -10,283 | -36,58 | 28 | Alagoas |

| | | | | |
|-----------------------|---------|---------|-----|---------|
| Penedo | -10,26 | -36,566 | 28 | Alagoas |
| São Miguel dos Campos | -9,783 | -36,1 | 12 | Alagoas |
| São Miguel dos Campos | -9,866 | -36,15 | 20 | Alagoas |
| Coruripe | -10,116 | -36,4 | 110 | Alagoas |
| Coruripe | -10,116 | -36,166 | 10 | Alagoas |
| Atalaia | -9,51 | -36,016 | 54 | Alagoas |
| Atalaia | -9,55 | -36,133 | 60 | Alagoas |
| Pilar | -9,6 | -35,95 | 5 | Alagoas |
| São Luís do Quintude | -9,333 | -35,85 | 4 | Alagoas |
| Maragogi | -9,01 | -35,233 | 5 | Alagoas |
| Murici | -9,316 | -35,933 | 82 | Alagoas |
| Boca da Mata | -9,7 | -36,05 | 100 | Alagoas |
| Porto Calvo | -9,06 | -35,4 | 54 | Alagoas |
| Viçosa | -9,383 | -36,25 | 300 | Alagoas |
| Junqueiro | -9,93 | -36,483 | 120 | Alagoas |
| Matriz de Camaragibe | -9,166 | -35,516 | 16 | Alagoas |
| Igreja Nova | -10,116 | -36,65 | 17 | Alagoas |
| São José da Laje | -9,016 | -36,05 | 250 | Alagoas |
| Porto Real do Colégio | -10,183 | -36,833 | 30 | Alagoas |
| Piaçabuçu | -10,416 | -36,416 | 10 | Alagoas |
| Piaçabuçu | -10,433 | -36,416 | 10 | Alagoas |
| Anadia | -9,583 | -36,483 | 372 | Alagoas |
| Anadia | -9,683 | -36,316 | 105 | Alagoas |
| Capela | -9,433 | -36,083 | 34 | Alagoas |
| Passo do Camaragibe | -9,13 | -35,733 | 198 | Alagoas |
| Satuba | -9,583 | -35,816 | 10 | Alagoas |

| | | | | |
|-------------------|--------|---------|-----|---------|
| Flexeiras | -9,283 | -35,716 | 70 | Alagoas |
| Santana do Mundaú | -9,066 | -36,2 | 404 | Alagoas |
| Porto de Pedras | -9,166 | -35,3 | 22 | Alagoas |
| Pindoba | -9,45 | -36,2 | 190 | Alagoas |

Fonte dos dados: ANA. Organizado pelos autores, em 2022.

2.6 CÁLCULO DO RISCO CLIMÁTICO PARA CULTIVOS DE SEQUEIRO

A partir dos critérios de Amaral e Silva (2007), o risco climático para a cultura agrícola da cana-de-açúcar em regime sequeiro foi avaliado. A definição do índice de Satisfação das Necessidades de Água para a cultura agrícola (ISNA) foi determinada pela razão entre ETR/ETC, sendo tal índice classificado como baixo se $ISNA \geq 0,65$, médio, se $0,55 < ISNA < 0,65$, e alto, se $ISNA < 0,55$.

2.7 ELABORAÇÃO DOS MAPAS

Para a elaboração dos mapas, os dados de precipitação e temperatura mensais foram organizados em planilha eletrônica *Excel* para *Windows*. Os arquivos do tipo “csv” foram convertidos em “shapefile” no ambiente do Qgis 3.10, originando um vetor com dados pontuais. Com o objetivo de estender os valores do balanço hídrico climático e os valores do risco agrícola para toda a área de estudo, os dados pontuais foram interpolados.

A técnica geoestatística utilizada para produção de arquivos *rasters* interpolados foi a *Ordinary Kriging*. Trata-se de um procedimento amplamente utilizado para estimar dados climáticos espaciais a partir de dados pontuais (MAGERSKI e VIRGENS FILHO, 2021; ALVES *et al.* 2016; PIRES *et al.*, 2016). A partir desta técnica, pode ser estimado o valor de uma variável para um local onde não houve medições. A execução da *Ordinary Kriging* no Qgis 3.10 ocorre a partir da interface com o software SAGA gis, com o uso da função “*raster creation tools*”.

Após a geração do arquivo raster interpolado, este foi recortado utilizando a camada máscara vetorial referente a área dos Tabuleiros Costeiros. Nas funções do

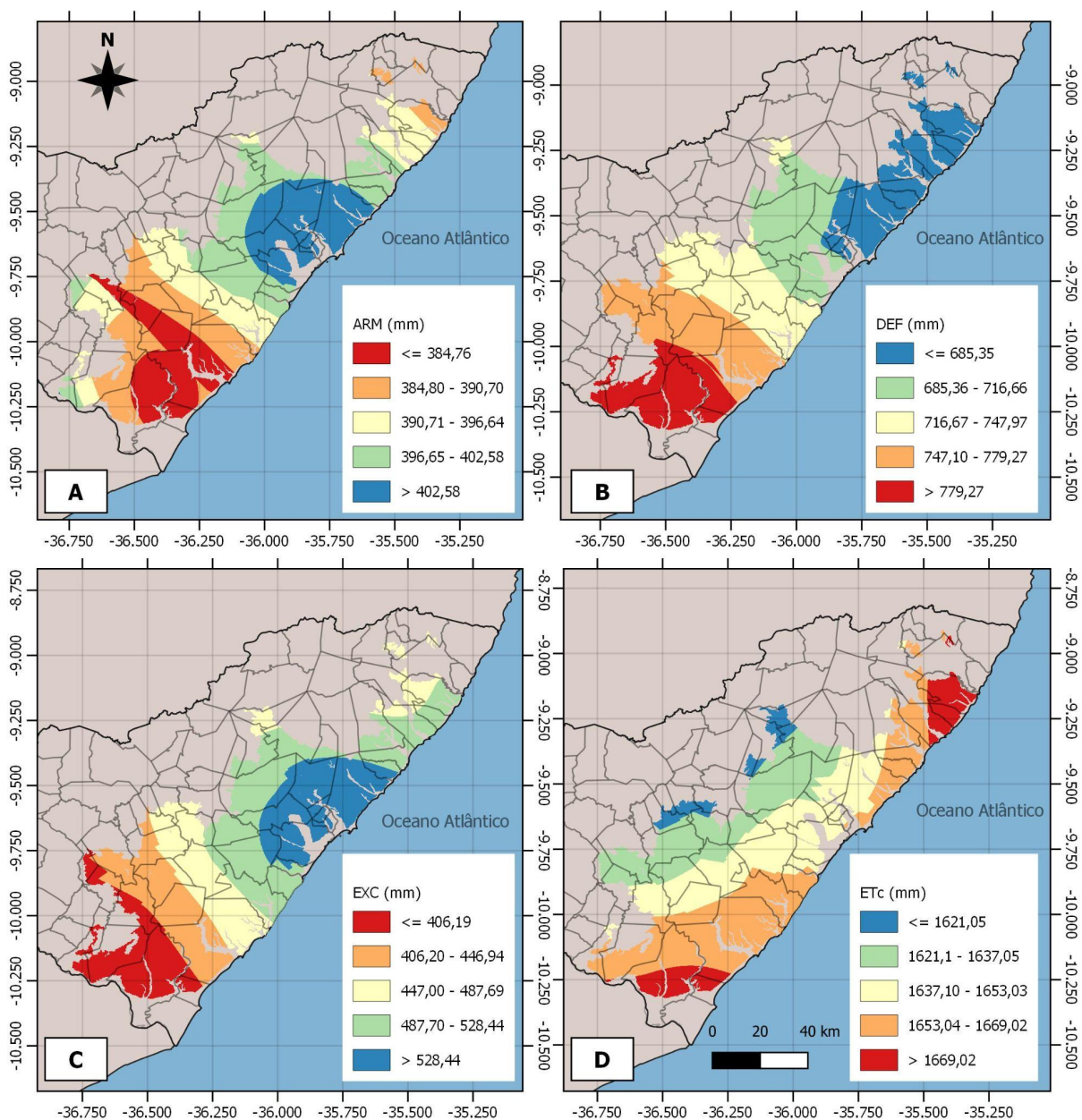
Qgis 3.10 relativas aos arquivos *rasters*, selecionou-se a opção “extrair” e, em seguida, “recortar raster por uma camada máscara”. Após estes procedimentos, foi elaborado o *layout* de mapa, onde foram acrescentados os elementos cartográficos fundamentais (legenda, escala, orientação, grade de coordenadas e *datum*). Os produtos finais foram exportados em formato de imagem (JPEG).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MAPEAMENTO DO BALANÇO HÍDRICO CLIMÁTICO PARA A CANA-DE-AÇÚCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

Os resultados do balanço hídrico climático para a cana-de-açúcar na unidade geoambiental dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas são apresentados na Figura 3, através dos valores de armazenamento hídrico, deficiência hídrica, excedente hídrico e evapotranspiração da cultura.

Figura 3 - Armazenamento hídrico (A), deficiência hídrica (B), excedente hídrico (C) e evapotranspiração da cultura anual (D) para cultura agrícola da cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.



Fontes de dados: ANA. Organizado pelos autores, em 2022.

O resultado do balanço hídrico para a cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas mostrou uma maior disponibilidade hídrica na porção centro-norte da área de estudo, e maior déficit hídrico na porção sul. A variação espacial dos dados do balanço hídrico reflete a distribuição dos valores de precipitação e evapotranspiração médios mensais na área de estudo. A porção norte dos Tabuleiros apresenta maiores valores médios de chuva, enquanto que a porção sul concentra menores médias.

De maneira mais específica, constatou-se que a porção Sul do estado possui valores menores de armazenamento hídrico, atingindo valores inferiores ou iguais a 384,76 mm. O armazenamento hídrico (Figura 3A) ocorre com maior quantidade na porção leste dos Tabuleiros, com valores superiores a 402,58 mm. A maior deficiência hídrica ocorre no sul do estado, superando os 779,27 mm (Figura 3B).

Do ponto de vista do planejamento agrícola, os valores de deficiência hídrica devem ser aplicados no controle da irrigação, pois refletem o volume de água que deve ser suprido para que haja o desenvolvimento ótimo dos plantios.

Em um estudo realizado no município de Rio Largo, entre 2006 e 2008, Abreu *et al.* (2013) constataram que o balanço hídrico da cana-de-açúcar apresentou excedente hídrico médio de 873 mm e deficiência hídrica média de 869 mm. Na proposta atual, foram determinados excedentes hídricos médios anuais de valores maiores que 528,44 mm (Figura 3C) e deficiência hídrica média anual de 716,66 mm (Figura 3B) para a porção leste da área de estudo, onde fica localizado o município de Rio Largo, sendo resultados coerentes com os valores verificados no experimento.

Ao longo de toda a extensão da área de estudo, a ocorrência de climas tropicais quentes favorece a ocorrência de elevados valores de evapotranspiração anual da cultura. Os resultados do balanço hídrico apresentaram valores médios anuais superiores a 1600 mm para a área de estudo. A inspeção dos resultados revela que a porção oeste dos Tabuleiros tem valores da evapotranspiração da cultura inferiores, alcançando índices iguais ou menores que 1.621,05 mm. Nas porções leste e sul dos Tabuleiros há valores elevados, atingindo volumes maiores que 1669,02 mm. As variações de ETc estão relacionadas com a altitude da área de estudo. Nas regiões de vales dos principais cursos hídricos, e ao longo da faixa litorânea, as baixas altitudes condicionam maiores valores médios de temperatura. À oeste, há uma maior elevação dos Tabuleiros, o que favorece a ocorrência de temperaturas mais amenas.

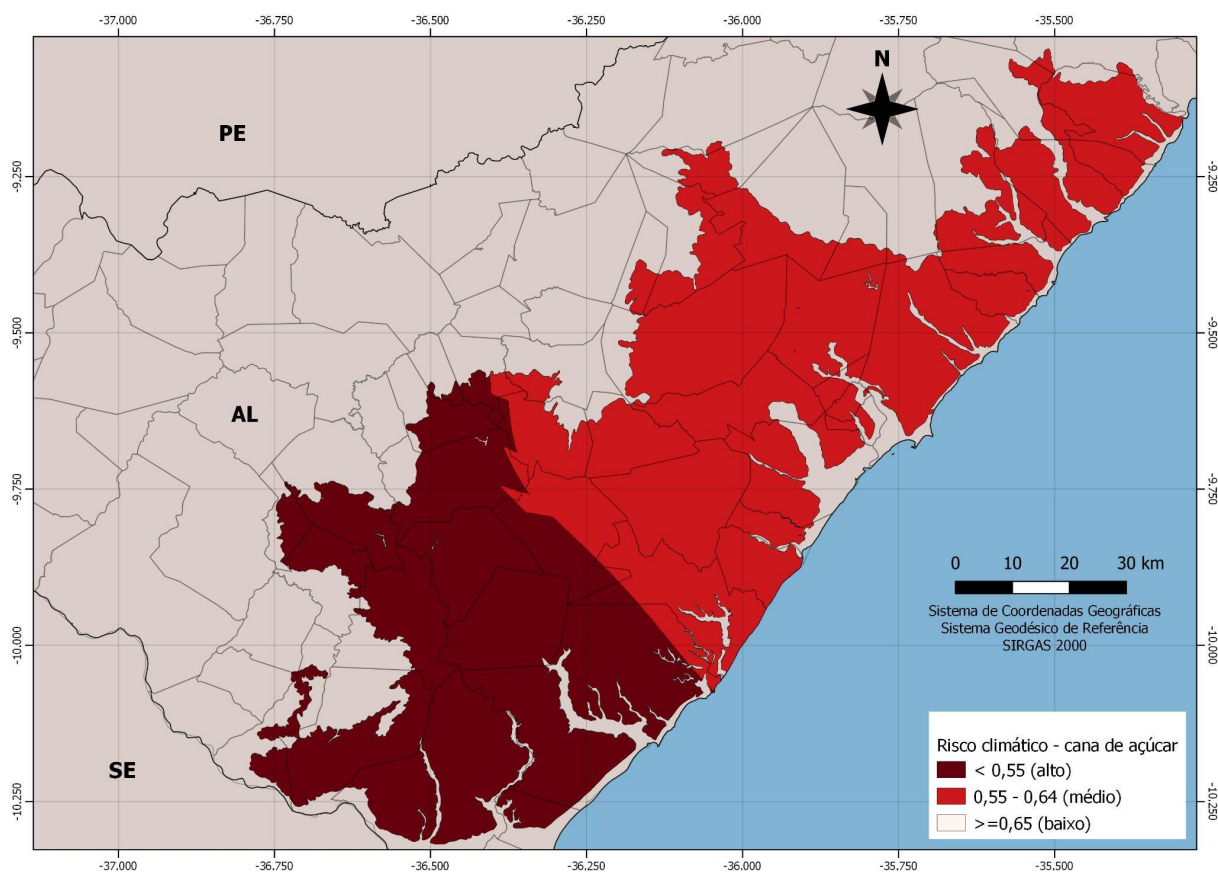
Em experimentos realizados no estado da Paraíba, nas paisagens dos Tabuleiros Costeiros, foi observada uma ETc de 1569,5 mm, por ciclo da

cana-de-açúcar, entre 2009 e 2011 (DA SILVA *et al.*, 2014). Teodoro *et al.* (2015) observaram valores de ETc de 1775,0 mm e 1290,0 mm para dois ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, em Rio Largo, Alagoas, entre os anos de 2005 e 2008. Ambos os resultados são consistentes com os observados no presente estudo. Em experimento no município de Rio Largo, Lyra *et al.* (2007) estimaram uma ETc de 1584 mm em doze meses para a cana-de-açúcar, esse valor se aproxima do intervalo estimado no mesmo município. Ressalta-se, todavia, que a estimativa realizada no presente foi obtida a partir da média das temperaturas estimadas ao longo de 32 anos.

Destaca-se que o setor centro norte da área de estudo, do ponto de vista do balanço hídrico, é o mais apropriado ao cultivo da cana-de-açúcar, pois foram verificados os menores valores de deficiência hídrica e de evapotranspiração da cultura, como também foram obtidos valores altos de armazenamento hídrico e de excedente hídrico. A porção sul dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, por sua vez, apresenta maior variação anual na disponibilidade de água no solo, pois são esperados valores mais elevados de deficiência nos solos.

A Figura 4 apresentou o risco climático para a cultura agrícola da cana-de-açúcar. A espacialização do risco climático permitiu estabelecer duas regiões, uma delas associada a risco alto e a outra a risco médio. A análise dos dados revelou que a porção Sul dos Tabuleiros apresentou o maior risco, com valores inferiores a 0,55. No centro norte da área de estudo, foi estimado um risco médio (0,55 - 0,64). No município de Rio Largo, localizado no leste da área de estudo, Silva *et al.* (2015) atribuíram um risco climático médio para a cultura agrícola da cana-de-açúcar, considerando a relação entre ETR e ETC. Assim, em condições de campo, não controladas, a cultura apresentará rendimento inferior à condição ótima em toda a área de estudo, e essa diferença pode ser adotada como um indicador da variabilidade agrícola da cultura no local.

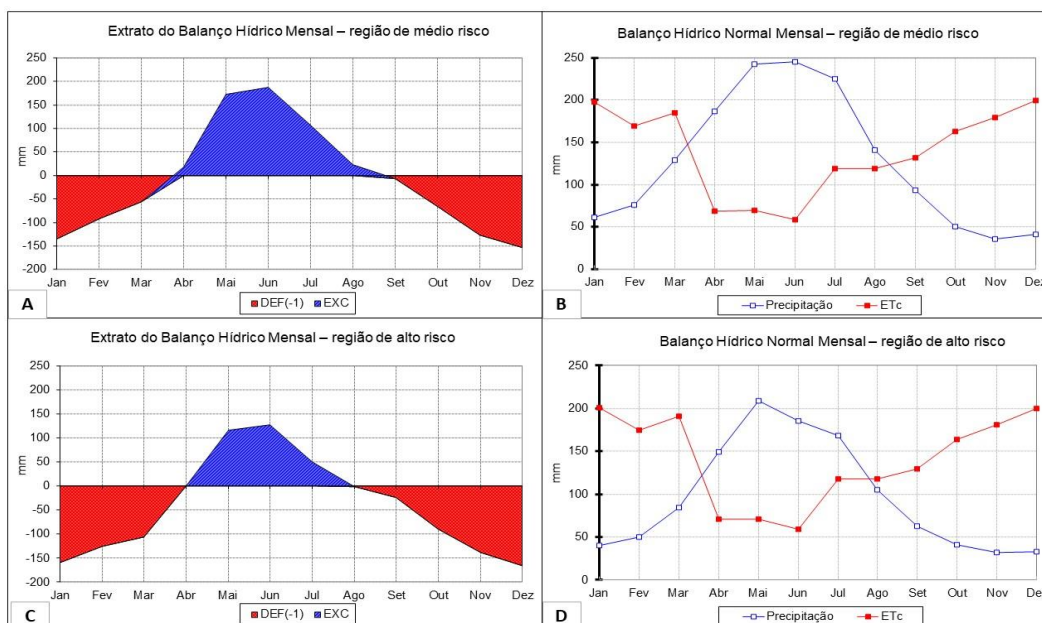
Figura 4 - Risco climático para a cultura da cana-de-açúcar na região dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas.



Fonte de dados: ANA. Organizado pelos autores, em 2022.

Para as duas regiões estabelecidas a partir do cálculo do risco climático, foi calculado o balanço hídrico mensal médio (Figura 5). Apesar da semelhança observada entre os gráficos, foi possível distinguir a variação na disponibilidade hídrica mensal entre as regiões.

Figura 5 - Extrato do balanço hídrico para a cana-de-açúcar nas regiões de risco médio e alto dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.



Fontes de dados: ANA. Organizado pelos autores, em 2022.

A figura 5A apresentou o extrato do balanço hídrico mensal da região de risco médio. Observa-se que os meses de setembro a março apresentam deficiência hídrica, e no período de abril a agosto ocorrem, habitualmente, grandes excedentes hídricos. A figura 5B apresentou o balanço hídrico normal mensal da região de médio risco, os valores mensais de precipitação superaram os de evapotranspiração apenas em cinco meses, ocorrendo grande deficiência na estação do verão.

Na figura 5C, foi apresentado o extrato do balanço hídrico mensal da região de alto risco, nota-se que o excedente hídrico ocorre nos meses de abril a julho e os meses de deficiência hídrica acontecem no período de agosto a março. Para o balanço hídrico normal mensal da região de alto risco, localizado na figura 5D, percebe-se que os valores de precipitação superam o de evapotranspiração da cultura nos meses de abril a julho e nos meses de agosto a março os valores de ETc ultrapassam os de precipitação.

Ao comparar os gráficos, constatou-se que a região de risco alto apresenta um mês seco a mais do que a região de risco médio. Ademais, os maiores volumes de excedente hídrico são registrados nas estações de outono e inverno para a região de risco médio. Como os valores de ETc mensais são similares para as duas regiões, conclui-se que o principal fator diferenciador das regiões de risco é a

precipitação. Maiores volumes médios de precipitação são registrados na região de médio risco, com índices superiores a 200 mm nos meses de maio, junho e julho.

A diminuição dos totais pluviométricos médios anuais de norte para sul nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas é explicada pela interação dos ventos alísios com o relevo e a com a geometria da linha de costa do estado (DINIZ, 2019). O litoral norte de Alagoas apresenta uma linha de costa convexa que favorece a concentração de chuvas a partir da convergência dos ventos alísios com a brisa terrestre. Além disso, os contrafortes planálticos a oeste favorecem maiores volumes de chuva no centro norte dos tabuleiros costeiros.

Os valores de ETc seguiram um padrão regular, com elevados valores entre os meses de primavera e verão. O número de meses em que os valores de ETc ultrapassam os de precipitação não apresentam grande variação, pois existe uma elevada concentração das chuvas entre os meses de abril a agosto em todas as classificações de risco. Portanto, todas as regiões apresentam limitações produtivas em regime de sequeiro.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O balanço hídrico, aplicado à cultura agrícola da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas demonstrou que houve deficiência hídrica elevada na porção sul da área de estudo e valores elevados de disponibilidade hídrica na porção centro oeste dos Tabuleiros. O setor centro Norte dos Tabuleiros Costeiros, do ponto de vista do balanço hídrico, é o mais apropriado ao cultivo da cana-de-açúcar, pois foram identificados os menores valores de evapotranspiração da cultura e de deficiência hídrica, como também foram verificados valores altos de armazenamento hídrico e de excedente hídrico. A porção sul apresentou valores elevados de deficiência hídrica, precisando ser considerada no planejamento agrícola.

No que se refere ao risco agrícola, toda a área dos Tabuleiros Costeiros apresenta risco médio ou elevado. Portanto, as tecnologias de irrigação são fundamentais para garantir uma produtividade ótima das lavouras de cana-de-açúcar, principalmente no sul da área de estudo.

O presente estudo apresentou um resultado amplo do balanço hídrico climático para a cana-de-açúcar, com dados aplicáveis ao planejamento agrícola. Diante dos cenários de variabilidade e mudança climática recente, recomenda-se que futuros estudos investiguem o balanço hídrico sequencial na escala mensal ou interanual para variados cenários climáticos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M.L. et al. **Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas**. *Bragantina*, v.72, n.3, p.262-270, 2013. Doi: [10.1590/brag.2013.028](https://doi.org/10.1590/brag.2013.028)
- Alves, K. C. C. L. F., Viola, M. R., Mello, C. R., Giongo, M., Santos, A. F. **Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins**. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* 12, 49-70, 2016.
- AMARAL, J. A. B.; Silva, M. T. **Zoneamento Agrícola do Algodão Herbáceo no Nordeste Brasileiro Safra 2007/2008** - Estado do Ceará. Campina Grande: Embrapa CNPA, 2007. 8p. Comunicado Técnico 321.
- BIGARELLA, J. J. **The Barreiras Group in Northeastern Brazil**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 47, p. 365-393, 1975. Suplemento.
- BROUWER, C.; HEIBLOEM, M. **Irrigation water management: irrigation water needs**. Training manual, v. 3, 1986.
- DA SILVA, V.P.R.; BORGES, C.J.R., ALBUQUERQUE, W.G. **Necessidades hídricas da cana-de-açúcar cultivada em clima tropical**. *Ciências Agrárias*, v.35, n.2, p.625-632, 2014.
- DENIS, Antoine. **QGIS Universe-Illustration presenting the global organisation of QGIS 3.10 main components and functionalities**. 2019.
- DINIZ, Marco Túlio Mendonça et al. **Interações atmosfera-terra-oceano e suas repercussões na precipitação média registrada no leste da Região Nordeste do Brasil**. *Ateliê Geográfico*, v. 13, n. 3, p. 244-262, 2019.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Irrigation and Drainage Paper N. 33**. FAO: Rome, Italy, 1994.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna et al. **APTITUDE CLIMATE CULTURE OF SUGAR CANE (*Saccharum spp*) FOR THE PARAÍBA STATE**. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 10, n. 3, p. 676, 2016.

INFORZATO, R. **Distribuição do sistema radicular da cana de açúcar em solo tipo terra roxa**. *Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo*. V.16, n.1, p.1-11, 1957.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability**. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers. http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf. 21 Jul. 2010.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The physical science basis. Summary for policy makers contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>. 21 Jul. 2010.

JACOMINE, P. K. T. **Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil**. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 19-46.

LIMA, C. C. U. **Caracterização sedimentológica e aspectos neotectônicos do Grupo Barreiras no litoral sul do Estado da Bahia**. 2002. 141 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A.R.; Lyra, G. B.; Sedyama, G. C.; Maia, S. M. F. **Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas: coeficiente da cultura “dual” padrão boletim FAO-56**. *Revista da STAB*, v.25, p.44-51, 2007.

MAGERSKI, Juliane Macedo; DAS VIRGENS FILHO, Jorim Sousa. **Avaliação da técnica de krigagem ordinária utilizando o modelo geoestatístico estável no preenchimento de falhas de séries de precipitação pluviométrica nas sub-bacias hidrográficas localizadas em regiões de classificação climática**

distintas no estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 04, p. 2149-2171, 2021.

NETO, José de AlmeidanLima. et al. **Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas.** *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 33:1001-1011, 2009.

OMETTO, J. C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar.** Piracicaba: ESALQ, 1980. 17 p.

Pires, C. A. F., Reis, J. T., Dullius, A. I. S., Priesnitz, M. C., Pereira, M. J. **Krigagem ordinária aplicada à precipitação pluviométrica nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** *Ciência e Natura* 38, 1303-1311, 2016.

SILVA, Samuel et al. **Demanda hídrica da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento nos tabuleiros costeiros de Alagoas.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n. 9, p. 849-856, 2015. Doi: [10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p849-856](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n9p849-856)

TEODORO, I. et al. **Variáveis meteorológicas, balanço hídrico, crescimento e produtividade agroindustrial da cana de açúcar.** *Revista de Engenharia Agrícola*, v.35, n.1, p.76-88, 2015.