



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

JAIR JOSÉ RABELO DE FREITAS

**SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE HÍDRICA E PLANEJAMENTO DA
IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DO MILHO NA CHAPADA DO APODI.**

MOSSORÓ

2020

JAIR JOSÉ RABELO DE FREITAS

**SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE HÍDRICA E PLANEJAMENTO DA
IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DO MILHO NA CHAPADA DO APODI.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura

Orientador: Prof. Dr. José Espínola Sobrinho

MOSSORÓ

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F862s Freitas, Jair José Rabelo de.
SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE HÍDRICA E
PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA DO MILHO
NA CHAPADA DO APODI. / Jair José Rabelo de
Freitas. - 2020.
91 f. : il.

Orientador: José Espínola Sobrinho.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2020.

1. Modelagem da Evapotranspiração. 2. Manejo da
irrigação. 3. CROPWAT. I. Sobrinho, José Espínola,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JAIR JOSÉ RABELO DE FREITAS

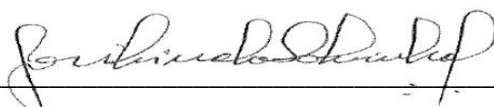
**SIMULAÇÃO DA NECESSIDADE HÍDRICA E PLANEJAMENTO DA
IRRIGAÇÃO PARA A CULTURA MILHO NA CHAPADA DO APODI.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

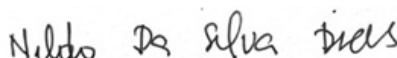
Linha de Pesquisa: Manejo de Solo e Água na Agricultura

Defendida em: 29/07/2020

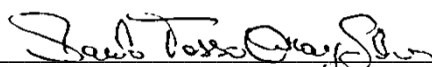
BANCA EXAMINADORA



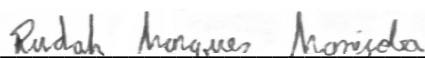
José Espínola Sobrinho, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Examinador externo ao programa



Saulo Tasso Araújo Da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Examinador externo ao programa



Rudah Marques Maniçoba, Dr. Sc.
Examinador externo á instituição

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e saúde para nunca desistir e superar todas as adversidades.

Aos meus pais Maria do Milagre e Antônio Almir pelo amor e os ensinamentos repassados. Aos meus queridos irmãos Osvaldo Neto, Janayna, Jayny, Lavínia, Carlos Eduardo, minha sobrinha Ellen e os agregados pelo amor, amizade, companheirismo e apoio repassados durante toda minha vida. A minha família, a minha vó Luiza Freitas, meus tios e primos que sempre apoiaram.

Aos amigos da turma do Mestrado e Doutorado pela amizade, aos amigos do projeto SIMAS, em especial ao professor Nildo Dias, Moises e Ytalo pela orientação e projetos realizados.

Aos meus amigos-irmãos de Ibicuitinga e da casa 07 da vila acadêmica Ufersa, a todos sem exceção por tudo que me ensinaram e pelos momentos partilhados.

A meu orientador e amigo professor José Espínola Sobrinho no qual sou muito grato pelos ensinamentos, orientações e experiência acadêmica repassada.

Aos membros da banca pela disponibilidade e contribuição para este trabalho.

Aos amigos e amigas do Laboratório de solos e docentes do programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, que de forma direta e indiretamente contribuíram na construção desse trabalho.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade de conclusão de uma pós-graduação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de nível superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

A todos MUITO OBRIGADO!

“O dinheiro faz homens ricos, o conhecimento
faz homens sábios e a humildade faz grandes
homens.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

O uso de ferramentas computacionais na agricultura vem se tornando cada vez mais comum e mais eficiente com avanço de novas metodologias de simulação e ajuste de parâmetros empíricos com base em ensaios físicos já realizados. A determinação precisa da necessidade hídrica melhora a eficiência do uso da água em áreas irrigada, sendo de suma importância para a garantia da gestão sustentável na agricultura, principalmente em zonas de maior escassez. Objetivou-se simular a necessidade hídrica da cultura do milho em solos representativos na chapada do Apodi utilizando dados climatológicos históricos e o modelo CROPWAT. Os dados meteorológicos de entrada foram obtidos de estações meteorológicas localizadas na Mesorregião Oeste Potiguar, pertencente ao INMET e a UFERSA, abrangendo a microrregião de Mossoró e da Chapada do Apodi, especificamente os municípios de Apodi e Mossoró, Rio grande do Norte. Para obtenção da necessidade hídrica, utilizou-se o software CROPWAT, com dados históricos de Mossoró (1970 a 2019) e Apodi (1964 a 2019). Procedeu-se a análise e correção de dados faltantes usando métodos de imputação e levantamento de solos na região. Apesar da proximidade e semelhança do padrão climatológico, Apodi apresenta maior média de precipitações pluviométricas - Normal Climatológica 1961-1990 - assim como nos anos classificados como secos e chuvosos. Apesar da variabilidade anual, a correlação de Pearson entre as ETo estimadas para as duas localidades foi positiva (0,82), com Apodi superando Mossoró na maioria das observações. O Cambissolo apresentou características físico-hídricas mais adequadas para o plantio de sequeiro em relação ao Latossolo. Com relação ao cálculo das necessidades hídricas do milho, as simulações apresentaram boa eficiência, tendo em vista que resultaram em diferença de 2 mm.dia^{-1} quanto à medida via lisimetria na região, em datas semelhantes de plantio. O relatório das necessidades hídricas pode ser utilizado no planejamento da irrigação das culturas, constituindo-se uma ferramenta de desenvolvimento econômico local e, também, no auxílio e planejamento de políticas públicas para uso eficiente da água e dos solos agrícolas.

Palavras-chave: Modelagem da Evapotranspiração . Manejo da irrigação. CROPWAT.

ABSTRACT

Computational techniques used in agriculture are becoming more common and efficient with the advancement of simulation models and adjustment of empirical parameters based on test data already performed. The precise determination of water needs improves the efficiency of water consumption in irrigated areas, being of supreme importance for guarantee sustainable management in agriculture, especially in areas of bigger shortage. The main goal of this study is simulate the water requirement for maize culture in representative soils of Chapada do Apodi using historical climatological data and the CROPWAT model. The input meteorological data were obtained from meteorological stations located in Potiguar West Meso-region, belonging to INMET and UFERSA, covering the micro-region of Mossoró and Chapada do Apodi in the state of Rio Grande do Norte, specifically the cities of Apodi and Mossoró. The CROPWAT 8.0 software was used with historical climatological data of Mossoró (1970 to 2019) and of Apodi (1964 to 2019) to obtain water needs. The analysis and correction of absent data was carried out using imputation and soil survey methods in the region. Despite the proximity and similarity of the climatological pattern, the city of Apodi presents a higher average of pluviometric precipitations - Climatological Normal 1961-1990 - as well as in years classified as dry and rainy. Regardless of the annual variability, Pearson's correlation between the estimated ETo for the two locations was positive (0.82), with Apodi surpassing Mossoró in most observations. The Cambisol showed more suitable physical and hydraulic characteristics for rainfed agriculture when compared to the Oxisol. In relation to the water needs calculation of maize crop, the simulations showed good efficiency, considering that they resulted in a difference of 2 mm.day⁻¹ according to the measurement via lysimeter in the region, on similar farm dates. The water needs report can be used for the irrigation planning of crops, composing in a tool for local economic development and in the supporting and planning of public policies for the efficient use of water and agricultural soils also.

Keywords: Modeling evapotranspiration. Irrigation management. CROPWAT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área experimental e posição geográfica dos solos e estações meteorológicas utilizadas.	15
Figura 2- Ajuste das curvas de retenção de água para as duas classes de solos utilizadas na pesquisa a partir dos dados dos autores citados na Tabela 2.	21
Figura 3 - Variabilidade da temperatura máxima (TMAX) (°C) ao longo dos anos (1970-2019 em Mossoró-RN.	25
Figura 4- Variabilidade da temperatura mínima (TMIM) (°C) ao longo dos anos (1970-2019 em Mossoró-RN.	26
Figura 5 - Variabilidade da Umidade relativa (UR) (%) ao longo dos anos (1970-2019) em Mossoró-RN.	28
Figura 6 - Variabilidade da temperatura máxima (TMAX) (°C) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.	30
Figura 7- Variabilidade de da temperatura mínima (TMIN) (°C) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.	31
Figura 8- Variabilidade da Umidade relativa (UR) (%) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.	33
Figura 9- Matriz de correlação dos dados imputados com as normais climatológicas (30 anos) fornecidas pelo INMET, quanto mais nítida a coloração e maior for a circunferência mais fortemente os fatores se correlacionam.....	34
Figura 10- Matriz correlação de Pearson dos dados utilizados para simulação, Temperatura máxima e mínima (TMAX e TMIN °C), Umidade relativa (UR%), Insolação solar (H.SOL em horas), número de dias chuvosos (DIAS.PREC), Precipitação pluviométrica (PREC) e velocidade do vento 2 m (VVENTO m.s-1).....	35
Figura 11- Variabilidade da Precipitação pluviométrica (PREC) ao longo dos anos (1964-2019) em Mossoró-RN.	38
Figura 12- Probabilidade de ocorrência (P%) e tempo de retorno (Tr) da Precipitação pluviométrica (PREC) para Mossoró-RN.	38
Figura 13- Precipitação pluviométrica (PREC), 1979 - ano seco com 396,3 mm ano ⁻¹ (A), normal climatológica com 670 mm.ano ⁻¹ (B) e 2000 - ano chuvoso com 1023 mm ano ⁻¹ (C).....	39
Figura 14- Variabilidade da Precipitação pluviométrica (PREC) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.	42

Figura 15- Probabilidade de ocorrência (P%) e tempo de retorno (Tr) da Precipitação pluviométrica (PREC) para Apodi.	43
Figura 16- Precipitação pluviométrica (PREC), 2001 - ano seco com 462,2 mm.ano ⁻¹ (A), normal climatológica com 722,83 mm.ano ⁻¹ (B) e 2000 - ano chuvoso com 1043,1 mm.ano ⁻¹ (C).....	44
Figura 17- Heatmap com série histórica de Mossoró, (A) temperatura máxima (°C), (B) temperatura mínima (°C), (C) umidade relativa (%) e (D) precipitação pluviométrica (mm.mes ⁻¹).....	46
Figura 18- Heatmap com série histórica de Apodi, (A) temperatura máxima (°C), (B) temperatura mínima (°C), (C) umidade relativa (%) e (D) precipitação pluviométrica (mm.mes ⁻¹).	47
Figura 19- Variabilidade da evapotranspiração de referência (ET _o) de Mossoró e Apodi no período de 1970 a 2019.	54
Figura 20- Variabilidade e correlação entre as ET _o de Mossoró e Apodi no período de 1970 a 2019.	55
Figura 21- Correlação entre as precipitações efetivas de Mossoró e Apodi (1970-2019).ao longo dos anos.	55
Figura 22- Correlação entre as médias geral das precipitações efetivas de mossoró e apodi para o período de 1970 a 2019.....	56
Figura 23- Precipitação total e efetiva (PRE _{Ceff}) para Mossoró e Apodi (1970-2019) ano médio (Normal climatológica) dos municípios.	57
Figura 24- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).....	59
Figura 25- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).....	60
Figura 26- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).....	62
Figura 27- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).....	63
Figura 28- Necessidades hídricas da cultura ciclo 1em Mossoró-RN.....	63
Figura 29- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).....	65
Figura 30- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).....	65

Figura 31- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio no mês de maio em Mossoró-RN (ciclo 2).....	66
Figura 32- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).....	67
Figura 33- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).....	68
Figura 34- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 1).....	70
Figura 35- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 1).....	70
Figura 36- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 2).....	73
Figura 37- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 2).....	73
Figura 38- Necessidades hídricas da cultura e requerimento de irrigação para o ciclo 1 em Apodi-RN	74
Figura 39- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 1).....	75
Figura 40- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 1).....	75
Figura 41- Necessidades hídricas da cultura e requerimento de irrigação para o ciclo 2 em Apodi-RN	76
Figura 42- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 2).....	78
Figura 43- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 2).....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores de referência FAO-56 e adaptados para região com experimentos via lisimetria, sendo coeficiente de cultivo (kc), profundidade efetiva do sistema radicular (Zr), fator de disponibilidade de água no solo (P) e coeficientes de resposta do milho ao déficit hídrico (ky).....	19
Tabela 2- Características físico-hídricas das principais classes de solos da Chapada do Apodi.	20
Tabela 3- Análises descritivas dos dados mensais de temperatura máxima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Mossoró de 1970 a 2019.....	24
Tabela 4- Análises descritivas dos dados mensais de temperatura mínima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Mossoró de 1970 a 2019.....	26
Tabela 5 - Análises descritivas dos dados mensais de Umidade relativa (%) originais e corrigidos da série histórica de Mossoró de 1970 a 2019.....	27
Tabela 6 - Análises descritivas dos dados mensais de temperatura máxima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Apodi de 1964 a 2019.....	29
Tabela 7 - Análises descritivas dos dados mensais de temperatura mínima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Apodi de 1964 a 2019.....	31
Tabela 8- Análises descritivas dos dados mensais de Umidade relativa (%) originais e corrigidos da série histórica de Apodi de 1964* a 2019.....	32
Tabela 9- Classificação dos anos secos, normais e chuvosos de acordo com a probabilidade de ocorrência ou superação (P%) para Mossoró.	36
Tabela 10- Classificação dos anos secos, normais e chuvosos de acordo com a probabilidade de ocorrência ou superação (P%) para Apodi.	40
Tabela 11- Dados climatológicos (1970-2019), ETo e precipitação efetiva (PRECEff) para Mossoró (Ano médio).....	48
Tabela 12- Cenário para planejamento de plantio e irrigação para um ano seco em Mossoró-RN.	50
Tabela 13 - Cenário de para planejamento de plantio e irrigação para um ano chuvoso em Mossoró-RN.	51
Tabela 14- Dados climatológicos (1964-2019), ETo e precipitação efetiva (PRECEff) para Apodi (Ano médio).....	52
Tabela 15 – Dados climatológicos, ETo e precipitação efetiva (PRECEff) para Apodi (Ano seco).	52

Tabela 16- Dados climatológicos, (ET _o) e precipitação efetiva (PRECe _{ff}) para Apodi (Ano chuvoso).	53
Tabela 17- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos de Mossoró-RN (ciclo 1).	59
Tabela 18- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio no mês de maio em Mossoró-RN (ciclo 2).	60
Tabela 19- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos na região de Mossoró-RN (ciclo 2).	61
Tabela 20- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Mossoró-RN (ciclo 1).	64
Tabela 21- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Mossoró-RN (ciclo 2).	67
Tabela 22- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio em Cambissolos no mês de fevereiro em Apodi-RN (ciclo 1).	69
Tabela 23- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos na região de Apodi-RN (ciclo 1).	69
Tabela 24- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio em Cambissolos no mês de maio em Apodi-RN (ciclo 2).	71
Tabela 25- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos na região de Apodi-RN (ciclo 2).	72
Tabela 26- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Apodi-RN (ciclo 1).	74
Tabela 27- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Apodi-RN (ciclo 2).	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Cultura do milho (<i>Zea mays</i> L.).....	3
2.1.1	Estádios e fenologia da Cultura do milho.....	3
2.1.2	Produção nacional e local de milho.....	4
2.1.3	Necessidade hídrica da cultura e relações com o clima.....	5
2.2	Solos representativos da Chapada do Apodi.....	6
2.3	Evapotranspiração de referência (ET _o) e evapotranspiração da cultura (ET _c) .	8
2.4	Uso de ferramentas computacionais para determinação da necessidade hídrica das culturas	9
2.5	CROPWAT 8.0: Necessidade hídrica da cultura e planejamento de irrigação	10
2.5.1	Imputação de dados meteorológicos faltantes	11
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1	Localização da Área de estudo	14
3.2	Aquisição dos dados meteorológicos.....	15
3.3	Organização e análises preliminares dos dados coletados.....	16
3.4	Entrada de dados climáticos (<i>clima/ET_o</i>).....	16
3.5	Entrada de dados precipitação pluviométrica (<i>Rain</i>).....	17
3.6	Entrada de dados da cultura do milho (<i>Crop</i>).....	18
3.7	Entrada de dados de solo da Chapada do Apodi (<i>Soil</i>).....	19
3.8	Saída de dados - Necessidade hídrica da cultura (CRW)	21
3.8.1	Balço hídrico da cultura e Planejamento da irrigação (<i>Schedule</i>)	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Análise preliminar dos dados meteorológicos Mossoró-Apodi.....	24
4.1.1	Imputação dos dados faltantes	24
4.1.2	Precipitação Pluviométrica	35
4.1.3	Agrupamento dos parâmetros climatológicos	45

4.2	Evapotranspiração de referência (ET _o) e precipitação efetiva (PRECEff).....	48
4.2.1	ET _o e PRECEff Mossoró	48
4.2.2	ET _o e PRECEff Apodi	51
4.2.3	Variabilidade da ET _o da região Apodi-Mossoró.....	53
4.3	Necessidade hídrica da cultura e planejamento da irrigação	57
4.3.1	Mossoró: Cambissolos para o ciclo 1 da cultura do milho.....	57
4.3.2	Mossoró: Cambissolos para o ciclo 2 da cultura do milho.....	60
4.3.3	Mossoró: Latossolos para o ciclo 1 da cultura do milho	63
4.3.4	Mossoró: Latossolos para o ciclo 2 da cultura do milho	65
4.3.5	Apodi: Cambissolos para o ciclo 1 da cultura do milho.....	68
4.3.6	Apodi: Cambissolos para o ciclo 2 da cultura do milho.....	71
4.3.7	Apodi: Latossolos para o ciclo 1 da cultura do milho	73
4.3.8	Apodi Latossolos para o ciclo 2 da cultura do milho	76
5	CONCLUSÃO.....	80
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão tem sido uma prática que melhora a produção com redução de custos de produção, especialmente com insumos externos à unidade de produção. Em cultivos irrigados, a irrigação de precisão utiliza ferramentas computacionais com metodologias de simulação para aumentar a eficiência do uso da água e, viabilizar a gestão sustentável da água, especialmente nas zonas áridas e semiáridas. O fácil acesso aos softwares e aplicativos traz benefícios científicos e tecnológicos que podem ser aplicados na agricultura irrigada, permitindo aos agricultores o planejamento da irrigação com maior precisão em termos de necessidade hídrica das culturas e, conseqüentemente, a gestão sustentável da água e a redução dos custos de produção, incluindo-os diretamente nos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS).

É notório que a demanda de água é crescente com o aumento das áreas irrigada devido a necessidade de produzir em zonas áridas e semiárida para garantir a soberania alimentar. Entretanto, o aumento da demanda hídrica exige uma preocupação ambiental relativo à renovação das fontes hídricas devido a alta demanda e, com isto existe a preocupação com a gestão sustentável dos recursos hídricos.

O semiárido brasileiro devido a irregularidade no regime pluviométrico, historicamente apresenta escassez de água, logo aumenta-se a necessidade do uso e manejo adequado para manter a conservação dos recursos hídricos (MEMON & JAMSA, 2018).

A determinação precisa da necessidade hídrica das culturas é fundamental para otimização da produção agrícola podendo ser útil para estudos de zoneamento agrícola, manejo da irrigação e em estudos fisiológicos e hidrológicos. Visando a melhor eficiência do uso da água de irrigação, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) desenvolveu um o software CROPWAT de fácil acesso e manuseio e, que permite estimar e simular as necessidades hídricas das culturas, constituindo-se em uma ferramenta de planejamento da irrigação desde o plantio até colheita para todo os meses do ano (FRANCISCO, 2017).

Considerando a eficácia comprovada do CROPWAT na determinação da necessidade hídricas das culturas com precisão, faz-se necessários a utilização desse software para o planejamento da irrigação de culturas de interesse econômico local em diferentes condições edafoclimáticas. Neste aspecto, a cultura do milho é umas das

espécies mais explorada na chapada do Apodi com finalidades diversas, sendo cultivada com irrigação ou de sequeiro. Os estados que comportam a área da chapada do Apodi são o Ceará e Rio Grande do Norte, em 2020 o Ceará já registra um aumento de 5,3% na área cultivada de milho e, 13,1 % na produtividade e a produção em mil toneladas superou em 19,1 % em relação à safra 18/19 (CONAB, 2020).

Levando-se em consideração esses aspectos. objetivou-se a correção de dados perdidos, determinar a necessidade hídrica da cultura do milho em solos representativos da chapada do Apodi utilizando dados climatológicos históricos bem como o uso e confiabilidade das simulações utilizando o software CROPWAT.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do milho (*Zea mays* L.)

Gramínea anual da família Poaceae, originária do México, anual, com 1,5 a 3,0 m de altura no florescimento, cultivada no verão e na segunda safra (milho safrinha). O consumo dos grãos pode ser feito tanto na propriedade como na indústria para extração de óleo e amido, fabricação de alimentos e rações, podendo ainda ser utilizado como milho verde para consumo dos grãos in natura ou como ingrediente na culinária tradicional (AGUIAR *et al.*, 2014).

2.1.1 Estádios e fenologia da Cultura do milho

Os estádios de desenvolvimento e fases fenológicas das culturas são parâmetros importantes na tomada de decisão nos estudos de agrometeorologia. É indispensável em estudos e aplicações que envolvem as interações clima-planta, como zoneamentos agroclimáticos, calendários de semeadura e plantio, modelagem de cultivos, monitoramento de safras, avaliação de riscos climáticos, cultivos protegidos, irrigação, entre outras (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2014).

De acordo com Pereira Filho *et al.* (2010), para um eficiente manejo de irrigação, de nutrientes e de outras práticas culturais, é de fundamental importância o conhecimento das diferentes fases de crescimento do milho com suas diferentes demandas e respectivos manejos culturais. Assim, é importante enfatizar os diversos estádios de crescimento da planta de milho, desde a sua emergência até a maturidade fisiológica. O ciclo da cultura de milho é compreendido em cinco diferentes etapas de desenvolvimento.

A Etapa I – Germinação e emergência: esse período é compreendido da semeadura até o aparecimento da plântula de milho e é muito variável principalmente em função da temperatura e nível de umidade do solo. Etapa II - Crescimento vegetativo: emissão da segunda folha definitiva até o início do florescimento de milho. Etapa III – Florescimento: é o período compreendido entre polinização e início da frutificação de milho. Etapa IV – Frutificação: é a etapa compreendida entre fecundação até enchimento de grãos de milho. Etapa V – Maturação: período compreendido entre o fim da frutificação e a maturação fisiológica (MAGALHAES & DURÃES, 2006).

O crescimento e desenvolvimento de uma planta de milho é dividido em dois grandes estádios fenológicos: o vegetativo e o reprodutivo. Durante o estágio vegetativo, que possui um número relativo de estádios entre VE (emergência) e VT (pendoamento), ocorre o desenvolvimento da planta. Durante o estágio reprodutivo, que é dividido em seis estádios, ocorre o desenvolvimento da espiga de milho. Os estádios vegetativos de desenvolvimento começam com a emergência (VE), e continuam numericamente com cada folha sucessiva até surgir o pendão (VT). Os estádios reprodutivos são caracterizados pelo surgimento e desenvolvimento de grãos na espiga, exceto para o primeiro estágio reprodutivo (R1), que é identificado exclusivamente pela emergência de cabelos de milho – embonecamento (MAHANNA *et al.*, 2017).

2.1.2 Produção nacional e local de milho

O milho é considerado uma das mais importantes e antigas culturas agrícolas, sendo o primeiro cereal em termos de produção, superando o trigo e o arroz. Trata-se de um produto estratégico para a segurança alimentar da população mundial, sendo utilizado tanto para a nutrição humana quanto para a alimentação animal, principalmente na avicultura, suinocultura e bovinocultura. Além dessas características, esse cereal é cultivado para a extração do bioetanol e é utilizado como insumo em diversos segmentos do setor industrial (BNB/ETENE, 2018).

No último levantamento (CONAB, 2020), para a safra de 2019/20, vem se confirmando o crescimento recorde da produção de grãos no país, estimada em 250,5 milhões de toneladas, 3,5% ou 8,5 milhões de toneladas, superior ao colhido em 2018/19. A estimativa nacional de plantio do milho, considerando a primeira, segunda e terceira safra, na temporada 2019/20, deverá apresentar uma área de 18,5 milhões hectares e uma produção recorde de 101 milhões de toneladas. Representando um acréscimo de 0,9%, em relação à safra anterior.

No Nordeste a área (em mil ha) da safra 19/20 apresentou um crescimento de 1,8% em relação à safra anterior, totalizando 8.156,8 mil ha, acompanhando o comportamento da produtividade (2.655 em kg/ha), que aumentou 9,9%, e a produção em mil toneladas, já alcançou a marca de 21.660 constatando 11,9% de incremento na produção da Região.

Ainda de acordo com o relatório da CONAB (2020), os estados que abrangem a área da Chapada do Apodi, Ceará e Rio Grande do Norte, apresentam aumento de área cultivada e produtividade em 2020. O Ceará registra um aumento de 5,3% na área

cultivada, 13,1 % na produtividade e a produção em mil toneladas superou em 19,1 % em relação à safra 18/19. O estado do Rio Grande do Norte apresenta área plantada de 118,3 mil hectares, superando em 11 % os demais estados do Nordeste em termos de aumento da área cultivada. O estado apresentou produtividade de 596 kg.ha⁻¹ e uma produção de 63,5 mil toneladas na safra 18/19.

No levantamento realizado pelo BNB/ETENE, (2018), constata-se que no Brasil a produção de milho é voltada essencialmente para o mercado interno (67,2%), sendo utilizado essencialmente para suprir a alimentação de animais. A avicultura e a suinocultura responderam, respectivamente, por 25,8% e 13,6% do consumo nacional do grão em 2018. Apenas 2,0% da produção de milho é direcionada para o consumo in natura pela população brasileira. Um terço da safra de milho brasileira é exportada.

A cultura se configura um componente importante da economia no semiárido brasileiro, entretanto está sujeito a instabilidade de cultivo, caso este seja dependente apenas das condições climáticas, ou seja, plantio de sequeiro. Mesmo estando inserida neste cenário adverso, esta cultura está dispersa por todo o semiárido brasileiro, dada a sua importância cultural, econômica e social, sendo explorada em diferentes condições ambientais e nos mais variados sistemas de cultivo, dos mais tradicionais aos sistemas mais modernos, que procuram explorar ao máximo a potencialidade da cultura, por meio do uso de tecnologias contemporâneas de produção (LOPES *et al.*, 2019).

2.1.3 Necessidade hídrica da cultura e relações com o clima

Por suas características fisiológicas, a cultura do milho tem alto potencial produtivo e, adapta-se a diferentes sistemas de produção. O período de crescimento e desenvolvimento do milho é limitado pela água, temperatura e radiação solar ou luminosidade. A cultura do milho necessita que os índices dos fatores climáticos, especialmente a temperatura, precipitação pluviométrica e fotoperíodo, atinjam níveis considerados ótimos, para que o seu potencial genético de produção se expresse ao máximo (PEREIRA FILHO *et al.*, 2010).

A programação da data de plantio e a determinação adequada da necessidade hídrica são muito importantes para a produtividade, pois, se ocorrer déficit hídrico no período crítico, que vai da pré-floração ao início do enchimento de grãos, pode haver redução de rendimento mesmo em anos climaticamente favoráveis. Durante o período vegetativo, o déficit hídrico reduz o crescimento do milho, em função de decréscimos da

área foliar e da biomassa. Porém, nesse período não estão sendo formados os componentes do rendimento. Assim, os efeitos sobre a produção de grãos são atenuados posteriormente, se as condições hídricas se tornarem favoráveis, o que poderá garantir níveis satisfatórios de rendimento de grãos (BERGAMASCHI & MATZENAUER, 2004).

Ainda de acordo com relatórios da Embrapa Milho e Sorgo, a quantidade de água consumida por uma planta de milho durante o seu ciclo está em torno de 600 mm. O milho tem sido plantado principalmente no período chuvoso, uma vez que a cultura demanda um consumo de 350 a 500 mm para garantir uma produção satisfatória sem necessidade de irrigação. Em condições de clima quente e seco, a cultura do milho raramente excede um consumo de 3 mm dia⁻¹ de água, já no período que vai da iniciação floral à maturação, o consumo pode atingir de 5 a 7 mm dia⁻¹ (ANDRADE *et al.*, 2006).

O rendimento também é afetado pela temperatura e radiação solar ou luminosidade. A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30°C. A radiação solar é um dos parâmetros de extrema importância para a planta de milho, sem a qual o processo fotossintético é inibido e a planta é impedida de expressar o seu máximo potencial produtivo. Grande parte da matéria seca do milho, cerca de 90%, provém da fixação de CO₂ pelo processo fotossintético. O milho é uma planta do grupo C₄, altamente eficiente na utilização da luz. Uma redução de 30% a 40% da intensidade luminosa, por períodos longos, atrasa a maturação dos grãos ou pode ocasionar até mesmo queda na produção (EMBRAPA, 2010).

2.2 Solos representativos da Chapada do Apodi

Os solos da Chapada do Apodi são originados do calcário fossilífero de granulação fina, pertencente ao Grupo Apodi, referente ao Cretáceo. Os solos originados do calcário, geralmente são rasos, apresentando afloramento em grande parte da área, quando não, sua presença é assinalada por sondagens. Mesmo com a variabilidade esses solos são recomendados para culturas tradicionais como milho e feijão, possuindo grande potencial de produção, desde que não apresentem contato lítico acentuados (DE BRITO *et al.*, 2017).

Dentre a variabilidade dos solos presentes na Chapada do Apodi, os Cambissolos, Latossolos e Argissolos são predominantes e mais explorados economicamente, tanto

irrigado quanto em sequeiro. Sendo derivados de calcário, os Cambissolos são alcalinos, de textura argilosa e pobres em matéria orgânica e em fósforo, apresentando alta soma de bases trocáveis (MOTA *et al.*, 2008; PAIVA *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2014).

Em estudos na Chapada do Apodi, Oliveira *et al.* (2013) e Costa *et al.* (2016) constataram a predominância de Cambissolos, variando de rasos com 30 cm a 100 cm de profundidade máxima, sendo estes importantes atributos para escolha do manejo e cultura agrícola a ser implantada. De acordo com Santana Junior (2010), CAMBISSOLOS ocupam grande parte do território cerca de (38.420 ha ou 24 %), juntamente com a ocorrência de 27 % de Argissolos e Latossolos do município de Apodi-RN. A primeira classe apresenta horizonte B incipiente (Bi) com textura franco-arenosa ou argilosa, subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Comum principalmente na região centro-oeste e norte do município, proporções estas proferidas pelas formações geológicas do calcário jandaíra (dos SANTOS *et al.*, 2018).

De forma geral, considerando a grande variabilidade pedológica e padrão climático da Chapada do Apodi, é comum encontrar além dos Cambissolos, classes de Latossolos e Argissolos, principalmente em paisagem plana e suavemente ondulada, destacando-se entre eles os Argissolos Vermelho-Amarelos latossólicos, que se formaram em função das linhas de drenagem, sendo muito explorado economicamente na região (ERNESTO SOBRINHO, 1979).

A classe Latossolos compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, variam de fortemente a bem drenados e, são normalmente muito profundos, sendo a espessura do *solum* raramente inferior a 1 m, comum em regiões tropicais (SANTOS *et al.*, 2018).

Também bastante representativo no município de Mossoró, como exemplo a fazenda experimental Rafael Fernandes pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada na comunidade Alagoinha (latitude 5°03'37" S; longitude 37°23'50" W; e altitude de 72 m), o solo da área é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (1999).

Em estudo de mapeamento e monitoramento, Oliveira Junior *et al.* (2016), constatou que entre as classes de solos encontradas no município, destaca-se os Argissolos, esse estando em maior parte na área urbana e na região da serra Mossoró bem

como Cambissolos, esse com maior área sendo encontrado em todas as regiões do município e Latossolos com sua maior evidência na região sul do município, amplamente explorada pela agricultura.

A velocidade de infiltração de água no solo e a condutividade hidráulica, são características importantes para manejo do solo e da água, que segundo Reichardt (1987), refere-se ao volume de água que atravessa por unidade de tempo uma determinada área do solo impulsionada por uma diferença de potencial, variando com as características do solo e da água.

Dias (2018) estudando a velocidade de infiltração de água no solo em diversos ambientes, obteve os seguintes resultados: Observou-se velocidade de infiltração básica (VIB) calculada variando de média a muito alta, com valores estimados de 33,7 mm/h para Cambissolos (VIB muito alta) e Latossolos acima de 123,1 mm/h com VIB superior, estes valores elevados de infiltração de água são esperados em solos de chapada devido a sua localização em maiores altitudes.

2.3 Evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c)

A transpiração refere-se à água perdida na superfície da planta. Já a evaporação refere-se água perdida na superfície do solo que ocorre ao mesmo tempo e, quando combinados, são referidos como evapotranspiração (ET), sendo ela aplicada para fins práticos como evapotranspiração de referência e da cultura (EWAID *et al.*, 2019).

Após reunião com especialistas da FAO, foi recomendada a adoção da equação de Penman-Monteith (PM) para estimar a ET_o. Definiu-se, a utilização de valores padrão para uma superfície de referência hipotética de grama com uma altura de cultura assumida de 0,12 m, uma resistência superficial fixa de 70 s.m⁻¹ e um albedo de 0,23. Essas definições possibilitaram a parametrização da equação de Penman-Monteith para produzir uma equação de referência padronizada para a cultura da grama (ET_o), geralmente denominada equação FAO-ET_o, FAO-PM ou PM-ET_o. O cálculo dos parâmetros na equação PM também foi padronizado (PEREIRA *et al.*, 2015).

O método de Penman-Monteith FAO 56, leva em consideração aspectos termodinâmicos e aerodinâmicos da cultura, sendo considerado como modelo padrão para quantificar a demanda atmosférica de evapotranspiração (ALLEN *et al.*, 1998; BORGES & MENDIONDO, 2007; GOMES FILHO *et al.*, 2017). A estimativa precisa da evapotranspiração (ET) é fundamental para melhorar as práticas de gerenciamento de

água em ambientes com água limitada e condições de irrigação deficitária (PHOGAT *et al.*, 2017).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) refere-se aos processos de transpiração pelas plantas e evaporação direta do solo que ocorrem simultaneamente. É a evapotranspiração em dada fase de seu desenvolvimento, sem restrição hídrica, em condições ótimas de crescimento e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível de áreas adjacentes. Assim a ET_c depende das condições meteorológicas, expressas por meio da ET_p (ou ET_o), do tipo de cultura (maior ou menor resistência à seca) e da área foliar. A área foliar da cultura padrão é constante e a da cultura real varia, variando também o coeficiente de cultivo (ALLEN *et al.*, 1998; MARIN, 2003; BASSOI *et al.*, 2004).

O conhecimento da ET_c é fundamental em projetos de irrigação, pois ela representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e desenvolvimento em condições ideais. A forma mais usual para se obter a ET_c é pela aplicação do coeficiente de cultura (K_c) (CARVALHO *et al.*, 2011).

Segundo Elbeltagi *et al.* (2020), a evapotranspiração das culturas (ET_c) desempenha um papel vital na avaliação do desempenho de estratégias de gestão para melhorar o uso da água, especialmente em regiões áridas e semi-áridas e para se fazer um planejamento preciso da irrigação, os coeficientes das culturas (k_c) é um fator importante para o cálculo da ET_c.

De acordo com Sedyama (1996), o coeficiente de cultivo (k_c) constitui a razão entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, sendo determinado empiricamente variando de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, clima e práticas a serem adotadas. O manual FAO 56 determinou padrões para todos tipos de clima, podendo estes serem calibrados/adaptados de acordo com a região e clima, sendo parâmetro importante para a produção agrícola.

2.4 Uso de ferramentas computacionais para determinação da necessidade hídrica das culturas

O uso de tecnologias e ferramentas computacionais, como simulações de produção das culturas, necessidade hídrica, movimento de água no solo, balanço hídrico e entre várias outras aptidões, são ferramentas importantes que permitem a execução do

planejamento sem a necessidade de determinados trabalhos de campo, que muitas vezes são demorados e dispendiosos.

Os modelos de simulação trouxeram a abordagem de sistema para o setor agropecuário e novos entendimentos aos sistemas de produção agrícola ou agroecossistemas. O uso de modelos de simulação como ferramenta auxiliar no direcionamento de pesquisas, programas de suporte à tomada de decisão e de desenvolvimento de políticas públicas pode evitar que sejam desperdiçados tempo e recursos (financeiros e humanos) em perseguir metas inatingíveis na busca por alternativas de sistemas de produção sustentáveis, em especial em regiões tropicais e de expansão agrícola, potencializando o desenvolvimento regional e reduzindo os impactos negativos (BORTOLON *et al.*, 2017). O que remete a necessidade de avançar nas pesquisas de modo rápido e efetivo, usando como base de comparação, experimentos físicos realizados na região afim de validar os resultados obtidos nas simulações.

Os procedimentos computacionais apresentados no FAO56 facilitaram muito o desenvolvimento de modelos de computadores transferíveis para gerenciamento e planejamento da água, que podem ser aplicados com uma quantidade razoavelmente limitada de informações locais e que permitem a simulação e avaliação da resposta da água da lavoura sob uma variedade de condições e práticas. Um dos primeiros exemplos de uma abordagem integrada, de um modelo computadorizado de gerenciamento de água das culturas, foi o FAO CROPWAT (PEREIRA *et al.*, 2015).

De acordo com Ewaid *et al.* (2019), a modelagem de software por programas como AQUACROP e CROPWAT 8.0 é uma prática significativa usado por cientistas para a avaliação da evapotranspiração das culturas, requerimento e programação de irrigação, auxiliando engenheiros na execução dos cálculos e gerenciamento.

2.5 CROPWAT 8.0: Necessidade hídrica da cultura e planejamento de irrigação

O CROPWAT é uma ferramenta de apoio à decisão desenvolvida pela Divisão de Desenvolvimento de Terras e Águas da FAO. O CROPWAT 8.0 é um software livre para o cálculo de necessidade hídrica e de irrigação das culturas, com base nos dados de solo, clima e cultura, sendo facilmente obtido no site da FAO: <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>. O programa permite o desenvolvimento de cronogramas de irrigação para diferentes condições de manejo e o cálculo do abastecimento de água para diferentes padrões de cultivo, podendo também ser usado

para avaliar as práticas de irrigação dos agricultores e estimar o desempenho das culturas em condições de sequeiro e irrigado (SMITH, 1992).

Todos os procedimentos de cálculo usados no CROPWAT 8.0 são baseados nas duas publicações da FAO da Série Irrigação e Drenagem, a saber, nº 56 “Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements” e nº 33 “Yield response to water” (ALLEN *et al.*, 1998; DOORENBOS e KASSAM, 1979).

O desenvolvimento de programações de irrigação no CROPWAT 8.0 é baseado em um balanço diário da água no solo, usando várias opções definidas pelo usuário para o fornecimento de água e as condições de gerenciamento da irrigação. O requerimento de água é calculado de acordo com o padrão de cultivo definido pelo usuário, que pode incluir até 20 culturas.

Dentre as funções do software, destacam-se: entrada mensal, decenal e diária de dados climáticos para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o); possibilidade de estimar dados climáticos na ausência de valores medidos; cálculo diário e para decêndio dos requisitos de água da cultura com base em algoritmos de cálculo atualizados, incluindo ajuste dos valores do coeficiente de cultura; programações de irrigação ajustáveis pelo usuário interativo; tabelas diárias de produção e balanço hídrico do solo; apresentações gráficas de dados de entrada, necessidades de água da cultura e programações de irrigação.

2.5.1 Imputação de dados meteorológicos faltantes

Para minimizar as possibilidades de erros ao utilizar dados históricos faltantes é aconselhável a correção das falhas para potencializar os resultados do CROPWAT. A técnica de imputação múltipla de dados baseia-se na modelagem e escolha de dados faltantes ou incompletos (*missing data*), sendo proposta e difundida no ramo da estatística por Donald B. Rubin, que a definiu como método de escola para dados incompletos complexos, com o nome nativo de “*fully conditional specification*” (FCS), conhecida também como “*multivariate imputation by chained equations*” (MICE) (RUBIN, 2004).

Atualmente, métodos estatísticos e meios computacionais mais avançados permitem um preenchimento de falhas mais eficaz. O preenchimento de falhas ocorre através dos chamados métodos de imputação de dados. Inicialmente as técnicas usavam recursos simples como substituição de dados pela média, mediana, por interpolação e valores previstos por regressão linear, por valores previstos por uma regressão com

valores constantes oriundos de uma fonte externa, pelo vizinho mais próximo ou outros métodos estatísticos (NUNES *et al.*, 2009; DE MOURA *et al.*, 2014).

No meio científico, um problema comum é a perda ou ausência que implica diretamente nos resultados da pesquisa. Diversas áreas, entre elas a hidrologia e agrometeorologia são utilizadas séries históricas para mapeamentos e planejamento da agricultura. É comum encontrar falhas em séries históricas, seja por falha humana ou pane nos aparelhos das estações meteorológicas (CALDEIRA *et al.*, 2011). A presença dessas falhas pode levar a análises errôneas e tendenciosas, comprometendo os resultados, e consequentemente podendo prejudicar o planejamento adequado das bacias hidrográficas. Necessita-se assim, de adoção de procedimentos estatísticos para realizar o preenchimento destas lacunas (VIEIRA *et al.*, 2018).

Ainda de acordo com o autor supracitado, somente uma longa série histórica de dados pode inferir mudanças no comportamento de uma determinada variável, dentre elas estão as mudanças hidroclimáticas, os quais muitas vezes não se encontram completas em bacias hidrográficas.

Em função dessas lacunas, é necessário realizar o preenchimento de falhas a partir de métodos aplicáveis, e verificar a consistência dos dados após o preenchimento. Depiné *et al.* (2014), elaboraram trabalho de preenchimento de falhas de dados diários de precipitação da rede de monitoramento da Defesa Civil do Município de Joinville (DCMJ), SC, aplicando o método da Rede Neural Artificial (RNA) e o método das correlações, ambos utilizando o software R.

A imputação múltipla está disponível nos principais softwares estatísticos comerciais ou gratuitos, como R, SAS e Stat, bem como softwares pagos como o IBM SPSS, que utiliza algoritmos para análises e imputação dos dados faltantes. O R é um ambiente de software livre para computação e gráficos estatísticos. Ele compila e roda em uma ampla variedade de plataformas, com destaque para UNIX, Windows e MacOS (R CORE TEAM, 2020).

Um dos pacotes para análise e imputação é o algoritmo MICE (Multivariate Imputation by Chained Equations in R), criado pelo estatístico Stef van Buuren. Ele é o criador do algoritmo para imputação múltipla de dados multivariados e co-desenvolveu o *mice* pacote R (BUUREN & GROOTHUIS-OUDSHOORN, 2010).

Neste método, os dados faltantes são imputados x vezes, gerando x bancos de dados distintos e completos. Destes x bancos distintos, obtem-se x resultados, de acordo com o objetivo desejado, sendo vantagem que ao imputar-se m vezes os dados faltantes,

leva-se em consideração a variabilidade da imputação (NUNES *et al.*, 2010; RODRIGUES, 2016). O princípio da imputação múltipla foi, portanto, adotado por diversos softwares, que utilizam o MICE como base, sendo este adotado pelo software SPSS como um maior aprimoramento para a metodologia estatística (BUUREN & GROOTHUIS-OUDSHOORN, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da Área de estudo

Neste estudo utilizou-se os municípios de Apodi e Mossoró, os quais possuem classes de solos em comum, pertencendo a Mesorregião Oeste Potiguar, abrangendo a microrregião de Mossoró e da Chapada do Apodi no estado do Rio grande do Norte.

O município de Mossoró localiza-se nas coordenadas geográficas médias: Latitude: 5° 11' 17" Sul, Longitude: 37° 20' 39" Oeste. O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo BSw^h, (quente e seco), com precipitação pluviométrica bastante irregular, média anual de 673,9 mm; temperatura de 27 °C e umidade relativa do ar média de 68,9% (CARMO FILHO & OLIVEIRA, 1995). Já, o município de Apodi-RN está localizado na latitude: 5° 37' 38''S; longitude: 37° 49' 55'' W; e altitude de 150 m, distante 83 km da cidade de Mossoró/ RN. Também se enquadra-se no tipo BSh^hW, conforme a classificação de Köppen. Com relação às precipitações, a pluviosidade na região do município de Apodi se apresenta abaixo de 800mm, com déficit hídrico bastante pronunciado na maior parte do ano, e precipitações anuais concentradas entre os meses de fevereiro a maio (SANTANA JUNIOR, 2010; CARVALHO, 2020).

De acordo com Alvares *et al.* (2014) e segundo a classificação de Köppen, a região que abrange os municípios é do tipo BSh, clima semiárido seco, com baixa latitude e altitude, estação chuvosa se atrasando para o outono e índices pluviométricos médios em torno de 677 mm por ano (AMARO FILHO, 1991).

No estudo de simulação utilizou-se solos mais representativos na região e bastante explorados economicamente com o cultivo do milho, como o Latossolo e Cambissolo. As coordenadas das estações meteorológicas bem como a representação espacial da chapada do Apodi e os solos usados para a pesquisa então detalhadas na Figura 1.

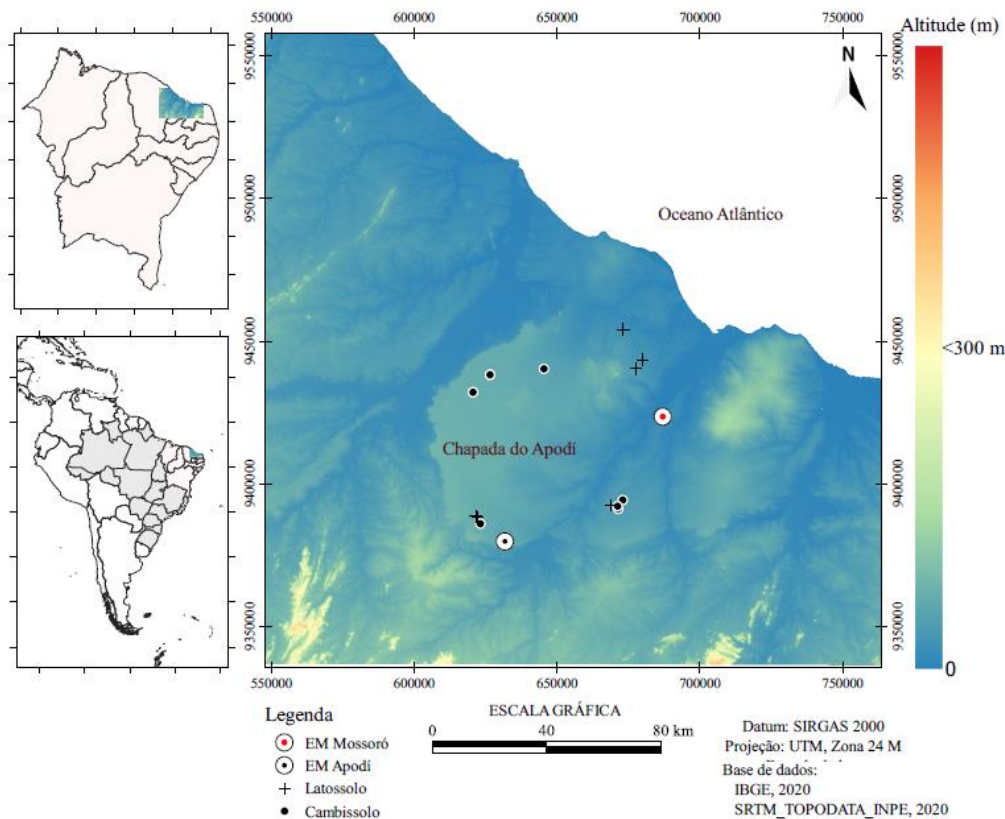


Figura 1- Localização da área experimental e posição geográfica dos solos e estações meteorológicas utilizadas.

3.2 Aquisição dos dados meteorológicos

Os dados meteorológicos do município de Mossoró foram provenientes da estação meteorológica convencional e, posteriormente, mediante o uso de uma estação meteorológica automática (EMA), localizada no campus central da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) Mossoró (05° 12' 48" latitude sul, e 37° 18' 44" de longitude oeste e 37 m). Foram utilizados dados climatológicos diários e, depois convertidos em mensais, sendo de responsabilidade do LABIMC a condução e manutenção da estação.

Para Mossoró, utilizou-se dados históricos da série 1964-2019 para precipitação pluviométrica mensal, totalizando uma série de 56 anos. Já para os dados de Temperatura máxima e mínima (°C) e umidade relativa (%), foram obtidos dados desde 1970, o que totaliza uma série de 49 anos completos, além de valores de velocidade média do vento a 2 metros de altura ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), com registros apartir do ano 1999.

Os dados referentes ao município de Apodi, foram coletados na estação APODI - RN (OMM: 82590) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (5°36'36" S) e 37°48'36" W) 150 m, que opera desde 1962. Já, os dados de Apodi correspondem aos dados diários e mensais da série histórica de Apodi - RN entre 1964 – 2019, salientando-se que não foram computados dados dos anos de 1970 - 1973 e de 1991 - 1996, possivelmente por falhas na gravação, totalizando uma redução de 8 anos na série histórica, sendo portando uma série de 47 anos considerados para este estudo.

3.3 Organização e análises preliminares dos dados coletados

Os dados foram organizados com auxílio do software Excel®, para análise e preenchimento de dados perdidos (data missing) e, em seguida a análise estatísticas descritivas utilizado o software IBM SPSS e Rstudio para comparar e obter dados que apresentassem melhor resposta nas correlações (IBM CORP, 2017; R CORE TEAM, 2020).

Para estimar a necessidades hídricas e do balanço hídrico para ambas a localidades utilizou-se o software CROPWAT 8.0, uma ferramenta de apoio à decisão desenvolvida pela Divisão de Desenvolvimento de Terras e Águas da FAO. O software utiliza dados de solo, clima e da cultura a ser explorada. Além disso, o programa permite o desenvolvimento de cronogramas de irrigação para diferentes condições de manejo, podendo ser usado para avaliar as práticas de irrigação dos agricultores e estimar o desempenho das culturas em condições de sequeiro.

O software se divide em etapas de entradas de dados, os quais são: registros climáticos históricos de temperatura e, umidade, velocidade do vento e insolação podendo esta ser também determinada com base nas coordenadas do local em estudo, seguidos dos dados de precipitação pluviométrica, dados da cultura e; finalmente as características dos solos.

3.4 Entrada de dados climáticos (*clima/ETo*)

Os dados climáticos de entrada foram os registrados na série histórica entre 1970 e 2019 para Mossoró e, 1964 e 2019) para Apodi. Os dados foram preliminarmente analisados e, posteriormente organizados em planilhas para preenchimento de falhas

utilizando algoritmos de imputação automática (software SPSS), o qual geraou 5 modelos de imputação e a melhor correlação obtida para a escolha do banco de dados completos corrigindo (Temperatura máxima e mínima - °C e Umidade relativa %). Para os valores ausentes de velocidade do vento a 2 m usou-se valores médios igual a 2 m s⁻¹, de acordo com Allen, (1998) a equação de evapotranspiração Penman–Monteith- FAO não é muito sensível para esta variável, podendo-se imputá-los satisfatoriamente.

O software utiliza equação Penman – Monteith FAO 56 para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), que leva em consideração aspectos termodinâmicos e aerodinâmicos da cultura, é considerado como modelo padrão para quantificar a demanda atmosférica de evapotranspiração:

$$ET_o = \frac{f0,408\Delta (Rn - G) + y \frac{900}{T + 273} u2(es - ea)}{\Delta + y(1 + 0,34u2)} \quad (1)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

Rn = saldo radiação na superfície da cultura (MJ.m⁻².d⁻¹);

G = densidade de fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².d⁻¹);

T = temperatura do ar média (°C);

u2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m.s⁻¹);

es = pressão de vapor de saturação (kPa);

ea = pressão real de vapor (kPa);

Δ = tangente à curva da pressão de saturação do vapor d'água (kPa.°C⁻¹) e;

γ = coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹).

3.5 Entrada de dados precipitação pluviométrica (*Rain*)

A entrada de dados da precipitação pluviométrica (PREC), em mm.mes⁻¹ para ambos os municípios foram as séries de 1964 a 2019, podendo ainda ser escolhida a escala diária e decendial. Utilizou-se além da normal climatológica, as chuvas com maior probabilidade de serem igualadas ou superada, calculada de acordo com a equação indicada pelo software, obtendo-se também o tempo teórico de retorno em anos ($T_r = 1/P$):

$$P(\%) = \frac{(100.NA)}{(NT+1)} \quad (2)$$

em que:

P (%) = Probabilidade de ocorrência (%);

NA = número da ordem decrescente do ano (1 a 56);

NT = número de total de observações (anos).

Utilizou-se a estatística das separatrizes-quantil para classificar os anos em muito seco, secos, normais, chuvoso e muito chuvoso, a divisão foi usada por Pinkayan (1966), reproduzida por Monteiro et al., (2012), obtendo comportamentos indicados para caracterização dos anos chuvosos e secos do baixo curso do rio Apodi/Mossoró, Estas são representadas pelos seus respectivos quantis Q(0,15), Q(0,35), Q(0,50), Q(0,65) e Q(0,85). Visando representar todas as condições meteorológicas da região.

Para Smith, (1993), a precipitação em anos normais (probabilidade de 50%) é, em geral, bem representada pela precipitação média para fins de irrigação. A saída no software é a precipitação efetiva empírica que considera as perdas por drenagem e escoamento, sendo 80 % da precipitação real (MASCHIO, 2015).

3.6 Entrada de dados da cultura do milho (*Crop*)

Neste módulo são adicionados os dados da cultura e, neste estudo utilizou-se dados padrões mundialmente aceito pela FAO, e dados experimentalmente adaptados para região do polo agrícola da chapada do Apodi e Mossoró (JUNIOR *et al.*, 2018). São definidas as épocas de plantio e colheita, detalhando a duração de cada fase e fatores de sensibilidade da cultura. A Tabela 1 dispõe os dados utilizados para os cálculos de necessidade hídrica da cultura do milho utilizados no estudo.

Tabela 1- Valores de referência FAO-56 e adaptados para região com experimentos via lisimetria, sendo coeficiente de cultivo (kc), profundidade efetiva do sistema radicular (Zr), fator de disponibilidade de água no solo (P) e coeficientes de resposta do milho ao déficit hídrico (ky).

Fase	Duração (dia)	kc FAO-56	kc Apodi	kc Mossoró	kc médio	Zr (m)	P	Ky
I - Inicial	27	0,15	0,56	0,40	0,48	0,10	0,55	0,40
II - Desenv. Vegetativo	23	1,15	0,83	0,75	0,79	0,50	0,55	0,50
III - Floração	35		1,11	1,07	1,09	0,50	0,55	1,50
IV - Matur. Fisiológica	23	0,50	0,76	0,64	0,70	0,50	0,55	0,20
Ciclo total	108	-	-	-	-	-	-	1,25

Fonte: adaptado de (DOORENBOS e KASSAM, 1979; ALLEN et al., 1998; JUNIOR et al., 2018).

De Oliveira Santos *et al.* (2014) determinou para Mossoró o intervalo de confiança para os kc com 95% de probabilidade de confiança durante cada fase fenológica da cultura foram I-(0,48 a 0,52), II-(0,61 a 0,75), III-(1,14 a 1,19) e IV- (1,08 a 1,17), com finalidade para milho verde, enfatizando que os kc estão bem ajustados para a região.

Nesta sessão são definidas as datas de plantio bem como o período de colheita, visando o máximo aproveitamento das condições de precipitação. A data para início escolhida foi referente ao início da quadra chuvosa, 01 de fevereiro e o segundo ciclo em 20 de maio. O coeficiente de cultivo utilizado foi o obtido via lisímetro e adaptado para cada município.

3.7 Entrada de dados de solo da Chapada do Apodi (*Soil*)

As informações coletadas dos solos da região são inseridas no CROPWAT, sendo elas capacidade relativa de água no solo ($\Theta_{cc} - \Theta_{pmp}$) (TAW mm.m⁻¹), taxa de infiltração máxima (mm.dia⁻¹), profundidade máxima de enraizamento comportada pelo solo (cm), depleção inicial relativa (%), e capacidade relativa inicial de água no solo (mm m⁻¹).

Geralmente são utilizados valores gerais médios de (CAD), por exemplo para solos arenosos 50 mm m⁻¹, com baixa capacidade de armazenamento de água 100 para solos de textura média e 150 para solos com alta capacidade como argilosos.

Visando auxiliar os produtores e agricultores na tomada de decisão de forma precisa, os dados de solos inseridos são provenientes de minuciosa revisão de literatura de ensaios na Chapada do Apodi, sendo sua maioria estudos disponíveis no repositório

da UFERSA, tendo alta confiabilidade nos parâmetros exigidos para Cambissolos e Latossolos (Tabela 2).

Tabela 2- Características físico-hídricas das principais classes de solos da Chapada do Apodi.

Autor	Local	Camada (cm)	α	n	m	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	ψ_{CC} (cm)	θ_{CC} (cm ³ cm ⁻³)	θ_{FMP} (cm ³ cm ⁻³)	AD mm m ⁻¹	Areia (g kg)	Silte (g kg)	Argila (g kg)	Ds (g cm ³)	Textura
Cambissolos																
Mota (2004)	5° 3,751'S 37° 41,250'O	0 -115	0,042	1,440	0,304	0,131	0,433	120,54	0,28	0,15	129	485	230	285	1,40	Franco-argiloarenosa
Silva (2018)	05° 30' 22,9" S 37° 27' 06,8" W	0 -70	0,010	2,353	0,563	0,170	0,428	247,27	0,25	0,17	76	670	74	256	1,47	Franco-argiloarenosa
Silva (2018)	05°28' 40,7" S 37° 26' 16,3" W	0 -75	0,010	1,880	0,468	0,223	0,518	305,98	0,33	0,23	101	473	138	389	1,29	Argiloarenosa
Silva (2018)	05°29' 50,9" S 37° 27' 14,8" W	0 -75	0,012	1,838	0,448	0,196	0,532	284,57	0,32	0,20	118	437	105	458	1,21	Argila
Gondim (2018)	05°33'14,5" S 37°53'14,5" W	0 - 25	0,027	1,297	0,227	0,143	0,427	237,21	0,31	0,19	113	537	130	333	1,49	Franco-argiloarenosa
Oliveira (2013)	5° 8'13,92"S 37°54'41,76"O	0 -30	0,054	1,484	0,323	0,226	0,431	87,90	0,32	0,24	88	433	248	319	1,48	Franco-argilosa
Oliveira (2013)	5° 8'13,92"S 37°54'41,76"W	0 -30	0,040	1,708	0,414	0,212	0,440	88,23	0,30	0,21	87	480	263	257	1,45	Franco-argiloarenosa
Nogueira (2009)	05° 04' 53,8" S 37° 51' 28,6" W	0 -20	0,024	1,617	0,380	0,151	0,443	160,08	0,27	0,16	116	412	325	264	1,23	Franca
Nogueira (2009)	05° 04' 53,8" S 37° 51' 28,6" W	0 -20	0,025	1,794	0,424	0,150	0,453	140,69	0,27	0,15	114	412	325	264	1,27	Franca
Média			0,027	1,712	0,394	0,18	0,46	185,83	0,29	0,19	105	482	204	314	1,37	Franco-argiloarenosa
Desvio padrão			0,015	0,310	0,100	0,04	0,04	84,17	0,03	0,03	18	81	95	70	0,11	
Latossolo																
Mota (2004)	4°56'15,00"S 37°26'15,00"W	0 - 200+	0,029	1,931	0,475	0,080	0,328	108,15	0,17	0,08	85	751	59	190	1,64	Franco-arenosa
Silva (2018)	5°29'42,7" S 37°28'30,3"W	0 - 200	0,015	3,223	0,648	0,125	0,410	186,62	0,20	0,13	71	740	43	218	1,44	Franco-argiloarenosa
Gondim (2018)	05°32'06,6" S 37°53'46,9" W	0 - 25	0,013	2,243	0,503	0,080	0,350	230,62	0,17	0,09	86	603	117	280	1,57	Franco-argiloarenosa
Gondim (2018)	05°31'49,8" S 37°54,02' 5" W	0 - 25	0,027	1,477	0,323	0,087	0,330	246,83	0,20	0,11	98	683	40	277	1,63	Franco-argiloarenosa
Dias (2009)	5°03'40"S 37°23'51"W	0 - 65	0,051	2,006	0,471	0,071	0,379	63,55	0,18	0,07	107	806	88	106	1,69	Franco-arenosa
Silva (2020)	5°02'0,02" S	0 - 40	0,033	2,218	0,629	0,057	0,377	79,93	0,14	0,06	81	806	88	107	1,72	Franco-arenosa
(Morais, 2008)	5° 02' 02" S 37° 22' 33,6" W	0 - 20	0,020	2,409	0,588	0,030	0,239	118,65	0,09	0,03	58	820	40	140	1,53	Franco-arenosa
Média			0,027	2,215	0,520	0,076	0,345	147,76	0,16	0,08	84	744	68	188	1,60	Franco-arenosa
Desvio padrão			0,013	0,536	0,113	0,029	0,055	73,37	0,04	0,03	16	78	30	74	0,10	

α – Parametro de ajuste (cm⁻¹); m e n – Parâmetros de ajuste do modelo do modelo de van Genuchten; θ_s – Conteúdo de água no solo saturado (cm³ cm⁻³); θ_r – Conteúdo residual de água no solo (cm³ cm⁻³, adimensionais; Ψ_{CC} – Tensão na Capacidade de Campo (cm).

Nota-se que os Cambissolos possuem elevada capacidade de armazenamento de água, com a maioria da CAD acima de 100 mm.m⁻¹, já os Latossolos são solos mais desenvolvidos e profundos e bem drenados com média a baixa capacidade de armazenamento de água, a média de 84 mm.m⁻¹ foi obtida na região, o agricultor que dispõe das características semelhantes a esta tabela, poderá utilizar essas informações para o manejo da cultura.

O ajuste das curvas de retenção com base no levantamento bibliográfico mostrado na tabela anterior está disposto na Figura 2.

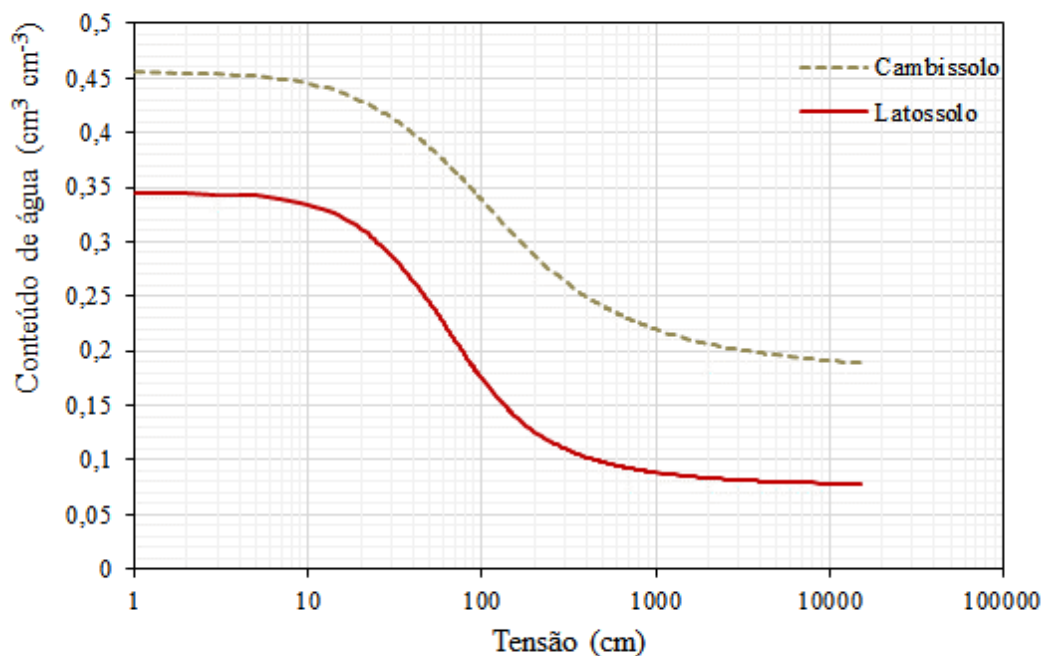


Figura 2- Ajuste das curvas de retenção de água para as duas classes de solos utilizadas na pesquisa a partir dos dados dos autores citados na Tabela 2.

Visando a maior abrangência considerou-se para simulação o Cambissolo com elevada CAD = 105 mm.m⁻¹ e Latossolos com média de 84 mm.m⁻¹, a taxa de infiltração máxima de chuva foi considerada padrão do software como 30 e 35 mm.dia⁻¹. A profundidade máxima da raiz foi considerada 900 cm, indicando solos sem impedimento físico para o desenvolvimento (padrão). A capacidade relativa de água no solo foi considerada 0 %, indicando que no plantio o solo se encontra na capacidade de campo, sem percentagem crítica de umidade.

3.8 Saída de dados - Necessidade hídrica da cultura (CRW)

A partir desta fase já se tem os resultados calculados da necessidade hídrica da cultura, que se refere a quantidade de água necessária para suprir a demanda da cultura

obtida a partir da evapotranspiração da cultura ET_c (água perdida no sistema solo-planta-atmosfera), sendo determinada pela equação:

$$ET_c = ET_o \times kc \quad (2)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm.dia^{-1});

ET_o = evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}); kc – coeficiente de cultivo.

É calculada ainda o déficit de precipitação, que auxilia no planejamento de irrigação suplementar para o período escolhido ou mesmo determinar a perda de rendimentos caso o plantio seja de sequeiro.

3.8.1 Balanço hídrico da cultura e Planejamento da irrigação (*Schedule*)

Considerado fase de saída de dados, nesta etapa todos os dados de entrada anteriores são considerados, obtendo-se conseqüentemente os dados de requerimento de água, o balanço hídrico no solo e da cultura, que refere as entradas e saídas de água no sistema.

O software calcula o balanço hídrico diário na zona da raiz até o esgotamento no fim do dia seguindo a equação:

$$Dr,i = Dr,i - 1 - (P - ROi) - Ii - CRi + ETci + DPi \quad (3)$$

Em que:

Dr_i = déficit de armazenamento hídrico (em relação à TAW) no dia i ;

Dr_{i-1} = déficit de armazenamento hídrico (em relação à TAW) do dia anterior ($i-1$);

$P_{,i}$ = precipitação pluvial total no dia i ; RO_i - perda de água por escoamento superficial no dia i ;

$I_{,i}$ = lâmina de irrigação líquida no dia i ;

CR_i = ascensão capilar no dia i ;

$ET(c \text{ ou } r)_{,i}$ = evapotranspiração da cultura ou evapotranspiração real, no dia i ($ET_r \leq ET_c$);

$DP_{,i}$ = perda de água por percolação profunda no dia i .

É escolhido o método de irrigação ao selecionar a eficiência de irrigação, resultando nos cálculos de lâminas líquida e bruta de irrigação. Pode ser escolhida a opção de irrigação sob déficit hídrico ou mesmo a de não irrigar (sequeiro) o que remete produção total dependente das condições meteorológicas da região. Sendo os dados organizados em tabelas para posteriores interpretações e aplicações práticas de manejo da irrigação.

A necessidade líquida de irrigação (*Net Irrigation Requirement (NIR)*), é calculada a partir da equação:

$$IRn = \sum_{t=0}^t (k_c \cdot ETo - Peff) \quad (4)$$

Em que:

IRn = Necessidade líquida de irrigação, mm;

Kc = coeficiente de cultivo;

ETo = Evapotranspiração de referência, mm;

Peff = precipitação efetiva mensal, mm.

Logo o modelo CROPWAT desenvolve cronogramas baseados no cálculo do balanço diário de umidade do solo, estimando-se o ETo, ETc e IRn (PUSHPALATHA *et al.*, 2020).

No presente trabalho utilizou-se dois ciclos de cultivo. O primeiro ciclo (Ciclo 1) teve início em 01/02 e o segundo (Ciclo 2) em 20/05, onde foram determinadas as necessidades para plantio irrigado e de sequeiro. Como os dados históricos foram obtidos para o ano completo, tem-se a possibilidade de planejamento para todo ano e para qualquer cultura, alternando apenas o coeficiente de cultura (kc) e data de plantio no software.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise preliminar dos dados meteorológicos Mossoró-Apodi

De acordo com Tucci, (2007), é importante realizar uma análise preliminar dos dados incluindo o preenchimento de falhas nos dados climáticos, podendo utilizar o método da ponderação regional, método de regressão linear, dentre outros.

4.1.1 Imputação dos dados faltantes

Como os dados da série histórica de Mossoró e Apodi - RN, apresentaram dados perdidos (*missing data*) de temperatura máxima média, mínima média e umidade relativa, houve a necessidade de imputar valores utilizando o método de regressão através do software IBM SPSS, que se baseia na técnica Mice (mice: Multivariate Imputation by Chained Equations in R).

A priori realizou-se a estatística descritiva e avaliação de dados ausentes direto no software na opção: análise de valores omissos e estatística descritiva, dispondo o percentual de valores omissos na série histórica de Mossoró. A Tabela 3 dispõe dos resultados da estatística descritiva da variável temperatura máxima de Mossoró.

Tabela 3- Análises descritivas dos dados mensais de temperatura máxima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Mossoró de 1970 a 2019.

	Mês	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	Omissos	%	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio
Dados Originais	JAN	49	31,15	36,06	34,16	0,992	1	2,00	50	31,15	36,06	34,18	0,988
	FEV	48	30,88	36,24	33,60	1,305	2	4,00	50	30,88	36,24	33,56	1,302
	MAR	48	28,23	35,97	32,88	1,404	2	4,00	50	28,23	35,97	32,83	1,406
	ABR	49	29,68	38,20	32,83	1,731	1	2,00	50	29,68	38,20	32,81	1,717
	MAI	50	30,43	37,41	32,72	1,571	0	0,00	50	30,43	37,41	32,72	1,571
	JUN	50	30,10	35,31	32,59	1,416	0	0,00	50	30,10	35,31	32,59	1,416
	JUL	50	29,71	38,44	33,11	1,620	0	0,00	50	29,71	38,44	33,11	1,620
	AGO	50	32,47	38,70	34,33	1,065	0	0,00	50	32,47	38,70	34,33	1,065
	SET	50	32,65	38,85	35,02	0,853	0	0,00	50	32,65	38,85	35,02	0,853
	OUT	50	32,65	37,74	34,97	0,849	0	0,00	50	32,65	37,74	34,97	0,849
	NOV	50	33,56	37,21	34,83	0,758	0	0,00	50	33,56	37,21	34,83	0,758
	DEZ	49	33,03	36,06	34,63	0,637	1	2,00	50	33,03	37,41	34,69	0,743

Mossoró apresentou poucas falhas de dados, com destaque apenas para os 2 meses perdidos de fevereiro e março de 1978 e 2016. Feita a imputação observa-se que o algoritmo manteve o padrão de dados alterando levemente o desvio padrão em termos numéricos com alteração da terceira casa decimal o que configura um erro irrelevante se comparado aos dados originais da série.

Nota-se que os anos que houve perdas para estas datas foram de 1978, 2013 e 2017 (Figura 1) e, observa-se que os valores imputados (TMAX2) se ajustam perfeitamente ao padrão histórico analisado.

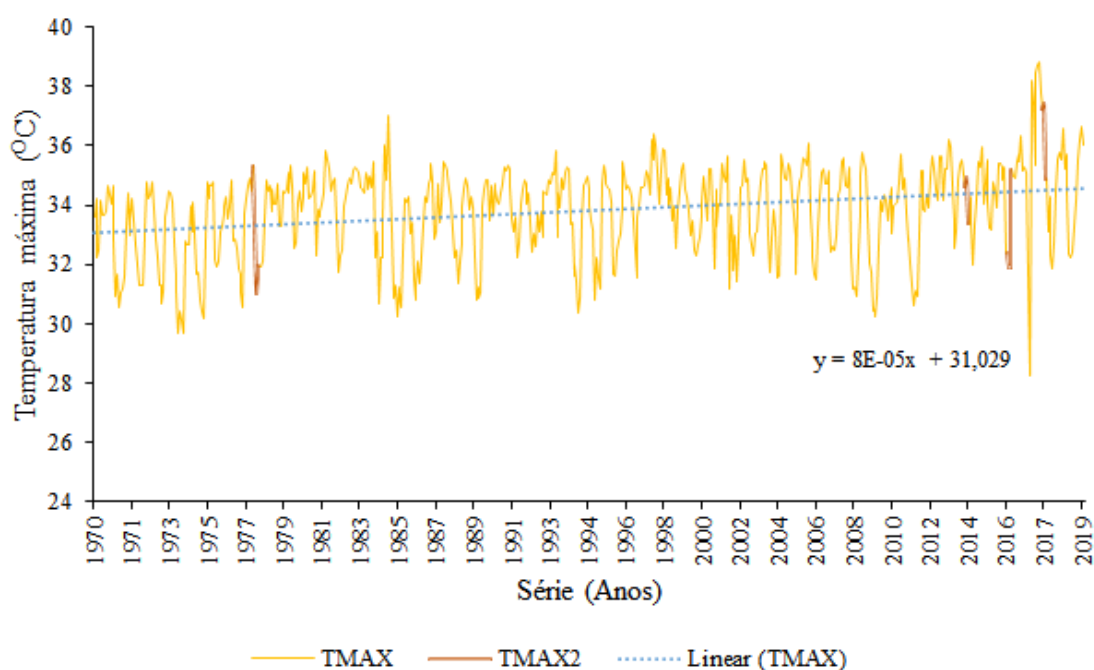


Figura 3 - Variabilidade da temperatura máxima (TMAX) (°C) ao longo dos anos (1970-2019) em Mossoró-RN.

Em relação ao comportamento dos dados da temperatura máxima, registrou-se aumento desta, sendo observado na equação da reta devido, provavelmente, as mudanças climáticas globais. Vieira et. al., (2018), analisando uma série de 31 anos para o Rio Grande do Sul, verificaram comportamento análogo, com um aumento médio aproximado de 1 °C no período estudado. Corroborando também com Jardim & Silva (2016), que observaram para a temperatura média máxima um aumento progressivo, em análise de série histórica em Minas Gerais.

Para a temperatura mínima a imputação manteve os desvios semelhantes aos dados originais, a percentagem de falhas se manteve no máximo a quatro percentual (Tabela 4).

Tabela 4- Análises descritivas dos dados mensais de temperatura mínima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Mossoró de 1970 a 2019.

	Dados Originais									Dados imputados				
	Mês	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	Omissos	%	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	
JAN	49	21,95	28,91	24,08	1,262	1	2,00	50	21,95	28,91	24,08	1,249		
FEV	48	20,12	35,20	24,15	2,155	2	4,00	50	20,12	35,20	24,10	2,123		
MAR	48	20,36	29,35	23,63	1,462	2	4,00	50	20,36	29,35	23,63	1,445		
ABR	49	19,50	28,37	23,56	1,216	1	2,00	50	19,50	28,37	23,55	1,205		
MAI	50	20,38	27,70	23,06	1,041	0	0,00	50	20,38	27,70	23,06	1,041		
JUN	50	19,97	27,26	22,17	1,217	0	0,00	50	19,97	27,26	22,17	1,217		
JUL	50	20,07	28,05	21,76	1,297	0	0,00	50	20,07	28,05	21,76	1,297		
AGO	50	19,94	28,38	21,73	1,478	0	0,00	50	19,94	28,38	21,73	1,478		
SET	50	19,23	28,31	22,57	1,442	0	0,00	50	19,23	28,31	22,57	1,442		
OUT	49	19,44	28,25	23,17	1,111	1	2,00	50	19,44	28,86	23,28	1,363		
NOV	49	20,71	28,37	23,56	1,058	1	2,00	50	20,71	29,80	23,68	1,369		
DEZ	48	21,99	28,40	23,93	0,949	2	4,00	50	21,99	28,74	24,02	1,153		

Os anos que apresentaram perdas e tiveram valores imputados, estão dispostos na Figura 2, sendo os valores destacados na curva de cor verde (TMIM2), com destaque para os anos de 1978, 2015 e 2016 que apresentaram falhas devido a erros na estação meteorológica.

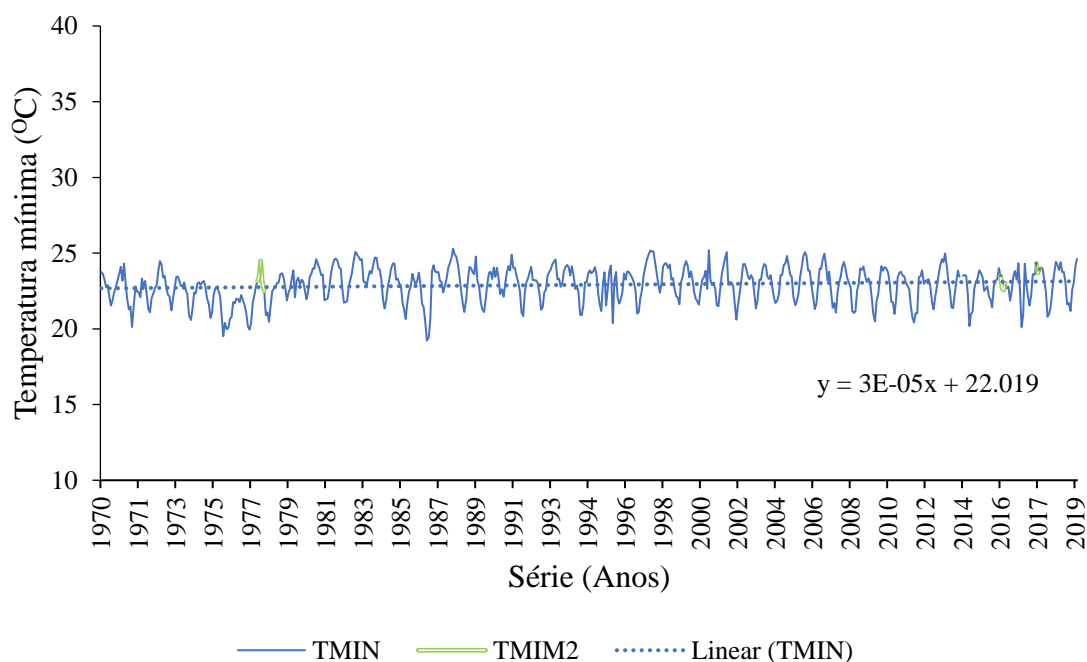


Figura 4- Variabilidade da temperatura mínima (TMIM) (°C) ao longo dos anos (1970-2019 em Mossoró-RN).

A tendência da variabilidade foi de aumento ao longo dos anos apresentando comportamento crescente semelhante a temperatura máxima. Luiz et. al (2016), analisando série histórica de 1961 a 2008, constatou um aumento na temperatura máxima e mínima em Goiânia.

Os dados de umidade relativa sofreram perdas maiores em comparação as temperaturas, provavelmente devido a falhas de leituras nos sensores, apresentando perdas de até 6 % dos dados coletados ao longo da série. A imputação manteve os desvios semelhantes apesar da maior variação (Tabela 5), sendo que as maiores perdas de dados ocorreram nos meses de janeiro e fevereiro.

Tabela 5 - Análises descritivas dos dados mensais de Umidade relativa (%) originais e corrigidos da série histórica de Mossoró de 1970 a 2019.

	Mês	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	Omissos	%		N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio
Dados Originais	JAN	48	59,67	83,32	67,83	5,156	2	4,00	Dados imputados	50	59,67	83,32	67,92	5,097
	FEV	47	59,32	85,57	71,33	6,392	3	6,00		50	59,32	85,57	71,17	6,338
	MAR	47	60,60	88,03	76,83	6,341	3	6,00		50	60,60	88,03	76,44	6,541
	ABR	48	63,70	89,00	78,02	7,023	2	4,00		50	63,70	89,00	77,72	7,059
	MAI	50	59,86	85,13	75,30	6,972	0	0,00		50	59,86	85,13	75,30	6,972
	JUN	50	56,87	84,59	71,28	7,154	0	0,00		50	56,87	84,59	71,28	7,154
	JUL	50	52,66	85,03	66,48	8,117	0	0,00		50	52,66	85,03	66,48	8,117
	AGO	50	51,28	72,71	60,35	4,895	0	0,00		50	51,28	72,71	60,35	4,895
	SET	50	49,63	66,96	59,27	3,980	0	0,00		50	49,63	66,96	59,27	3,980
	OUT	50	52,85	69,68	60,37	3,421	0	0,00		50	52,85	69,68	60,37	3,421
	NOV	50	54,61	74,07	62,26	3,569	0	0,00		50	54,61	74,07	62,26	3,569
	DEZ	50	56,25	73,68	64,22	3,699	0	0,00		50	56,25	73,68	64,22	3,699

A imputações para umidade relativa podem ser mais facilmente visualizadas na Figura 3, em que se observa que foi feita um número maior de imputações destacadas pela curva de coloração preta mais escura.

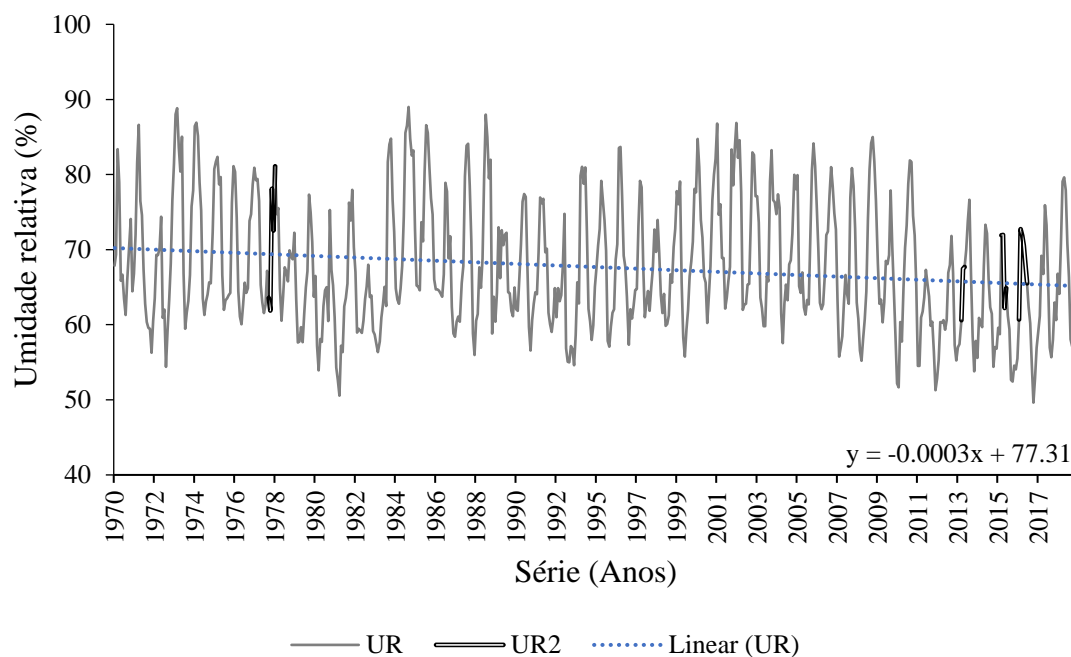


Figura 5 - Variabilidade da Umidade relativa (UR) (%) ao longo dos anos (1970-2019) em Mossoró-RN.

O comportamento da curva mostra uma tendência de redução da umidade relativa ao longo dos anos, apesar da diminuição ser relativamente mínima. Em estudo de análise de tendência de precipitação e umidade relativa. Salviano et. al., (2016) constataram que em geral a umidade relativa apresentou um comportamento inverso à temperatura média, sendo que mais de 60% do território brasileiro não apresentou tendências significativas.

Os dados de Apodi-RN apresentaram maior percentagem de dados faltantes, devido a falhas de leituras ou mesmo falha no banco de dados do INMET, o que é bem comum quando se trata de variáveis climatológicas em estações convencionais e automáticas, cabe ressaltar que não houve registro de 8 anos nesta série, o que não entrou na análise de dados faltantes (Tabela 6).

Tabela 6 - Análises descritivas dos dados mensais de temperatura máxima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Apodi de 1964 a 2019.

	Mês	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	Omissos	%		N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio
Dados Originais	JAN	45	32,12	38,11	35,06	1,239	3	6,3	Dados imputados	48	32,12	38,11	35,02	1,218
	FEV	47	31,18	36,93	34,12	1,504	1	2,1		48	31,18	36,93	34,13	1,489
	MAR	45	31,28	36,73	33,16	1,361	3	6,3		48	31,28	36,73	33,15	1,354
	ABR	47	30,33	35,37	32,41	1,350	1	2,1		48	30,33	35,37	32,44	1,358
	MAI	46	30,16	35,30	32,26	1,578	2	4,2		48	30,16	35,30	32,26	1,545
	JUN	44	29,85	34,47	32,04	1,410	4	8,3		48	29,85	34,47	32,06	1,444
	JUL	45	29,81	34,64	32,58	1,246	3	6,3		48	29,81	34,64	32,58	1,210
	AGO	46	31,58	35,80	34,09	0,857	2	4,2		48	31,58	35,80	34,08	0,845
	SET	45	33,47	36,45	35,34	0,638	3	6,3		48	33,47	36,45	35,33	0,641
	OUT	44	34,54	37,54	36,12	0,594	4	8,3		48	34,54	37,54	36,12	0,604
	NOV	44	34,89	37,42	36,29	0,611	4	8,3		48	34,89	37,42	36,24	0,660
	DEZ	43	33,92	37,37	35,87	0,810	5	10,4		48	33,92	37,37	35,89	0,858

*os anos de 71,72 e 91 a 96 não foram considerados devidos a perda completa de dados.

Nota-se que o percentual de valores ausentes é superior aos dados de Mossoró, isto devido a falhas na estação monitorada pelo INMET. O mês que apresentou perdas significativas foi o de dezembro, porem constata-se que as médias imputadas não alteraram o desvio padrão em relação aos originais, o que implica uma diminuição do erro.

A Figura 4 esboça o padrão de imputação destacado na coloração marrom. Reforça-se que não houve imputação nos anos em que a curva mostra comportamento retilíneo. Em relação ao aumento da temperatura máxima, o comportamento se mantém semelhante a Mossoró, seguindo a tendência de aumento da temperatura no planeta.

Salvador, (2014) em análises de tendência constatou que em séries históricas na Bahia, a taxa de incremento de 0,04 a 0,1°C/ano nas séries em que o teste de significância apresentou um $p\text{-valor} \leq \alpha$. Pelo teste sequencial de MK, o início das tendências de aumento das temperaturas máximas mensais ocorreu entre os anos de 1975 e 1986.

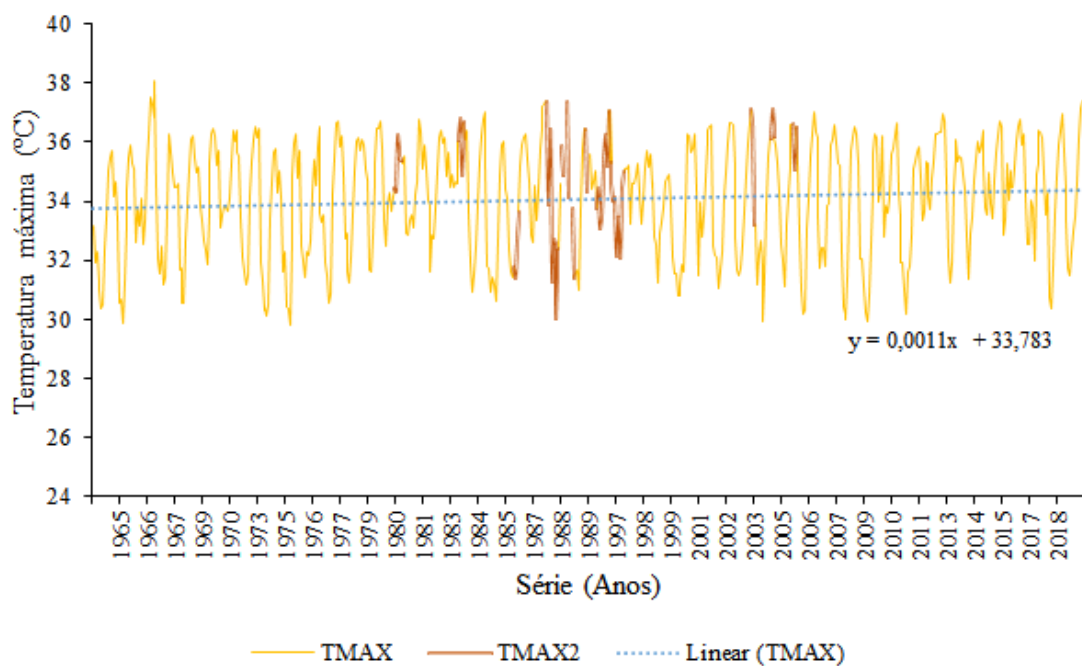


Figura 6 - Variabilidade da temperatura máxima (TMAX) (°C) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.

As análises da temperatura mínima estão dispostas na Tabela 7. Houve maior porcentagem de dados omissos, com cerca de 12,5 %, para estes dados. Nota-se que houve um incremento de apenas 0,08 °C na média de junho e 0,05 °C na média de novembro. Os erros do desvio se mantêm sem diferenças acentuadas, corroborando com Salvador, (2014), que observou que séries de temperatura mínima mensais seguiram padrão de comportamento semelhante ao da temperatura máxima no período 1970-2012.

Tabela 7 - Análises descritivas dos dados mensais de temperatura mínima (°C) originais e corrigidos da série histórica de Apodi de 1964 a 2019.

	Dados Originais								Dados imputados				
	Mês	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	Omissos	%	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio
JAN	45	22,03	26,63	23,90	0,868	3	6,3	48	22,03	26,63	23,90	0,854	
FEV	47	22,03	26,69	23,84	0,837	1	2,1	48	22,03	26,69	23,86	0,836	
MAR	45	22,26	27,22	23,82	0,959	3	6,3	48	22,26	27,22	23,85	0,946	
ABR	46	22,17	27,18	23,74	0,798	2	4,2	48	22,17	27,18	23,75	0,784	
MAI	45	21,84	26,95	23,40	0,821	3	6,3	48	21,84	26,95	23,41	0,800	
JUN	42	20,96	25,97	22,64	0,941	6	12,5	48	20,96	25,97	22,72	0,919	
JUL	43	20,10	25,39	22,28	1,045	5	10,4	48	20,10	25,39	22,22	1,011	
AGO	44	19,53	24,99	22,16	1,060	4	8,3	48	19,53	24,99	22,12	1,078	
SET	44	20,83	25,00	22,67	0,938	4	8,3	48	20,83	25,00	22,59	0,957	
OUT	45	20,63	25,47	23,02	0,934	3	6,3	48	20,63	25,47	23,03	0,938	
NOV	42	20,82	25,56	23,31	0,931	6	12,5	48	20,82	25,56	23,36	0,892	
DEZ	43	21,59	26,44	23,74	0,911	5	10,4	48	21,59	26,44	23,76	0,884	

A Figura 5 esboça o padrão para estas variáveis, sendo destacados na coloração verde os valores imputados, realçando os anos em que houve imputações. A tendência de aumento da temperatura mínima também foi observada análoga aos dados de Mossoró

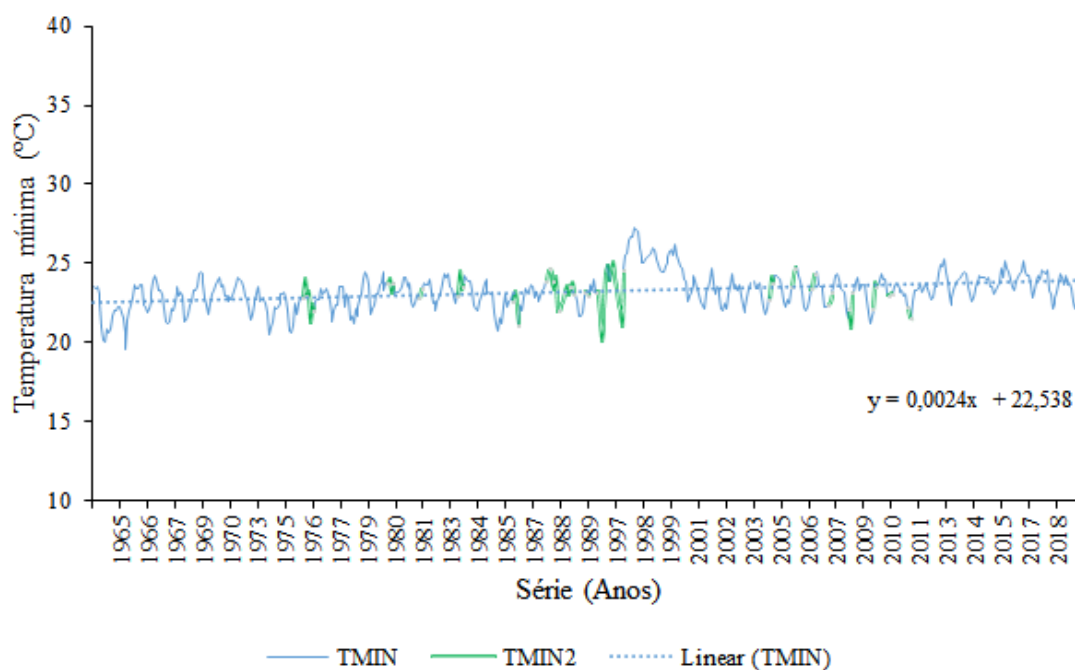


Figura 7- Variabilidade de da temperatura mínima (TMIN) (°C) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.

Assim como os dados de Mossoró, a umidade relativa para Apodi apresentou maior percentagem de dados omissos, entretanto nota-se percentagem superior a 20 % em alguns meses, o que justifica a alteração de até 0,2% nesta variável, o que implica numa pequena alteração do desvio padrão da média (Tabela 8).

Tabela 8- Análises descritivas dos dados mensais de Umidade relativa (%) originais e corrigidos da série histórica de Apodi de 1964* a 2019.

	Mês	N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio	Omissos	%		N	Mínimo	Máximo	Média	Erro Desvio
Dados Originais	JAN	41	52,50	81,97	67,68	7,685	7	14,6	Dados imputados	48	52,50	81,97	67,67	7,135
	FEV	41	58,06	90,32	73,37	7,998	7	14,6		48	58,06	90,32	73,34	7,540
	MAR	41	63,31	92,90	78,36	7,160	7	14,6		48	63,31	92,90	78,37	6,645
	ABR	40	61,46	94,81	80,02	7,973	8	16,7		48	61,46	94,81	79,78	7,400
	MAI	41	54,99	94,79	77,90	8,843	7	14,6		48	54,99	94,79	78,14	8,225
	JUN	40	50,90	92,52	72,73	10,235	8	16,7		48	50,90	92,52	72,89	9,388
	JUL	40	46,09	91,07	67,93	10,880	8	16,7		48	46,09	91,07	67,81	9,982
	AGO	41	48,06	89,07	63,24	9,090	7	14,6		48	48,06	89,07	63,17	8,417
	SET	37	49,07	80,50	61,84	7,848	11	22,9		48	49,07	80,50	61,98	7,019
	OUT	38	51,30	77,89	60,82	7,155	10	20,8		48	51,30	77,89	60,65	6,438
	NOV	37	50,75	76,79	61,40	6,617	11	22,9		48	50,75	76,79	60,95	5,952
	DEZ	39	53,16	76,67	62,97	6,446	9	18,8		48	53,16	76,67	63,02	5,903

As imputações para umidade relativa (Figura 6), estão destacadas na coloração preta sem preenchimento. Observa-se que foi feita um número maior de imputações visto que apresentou maior percentagem de valores omissos. Semelhante a Mossoró, a umidade relativa apresentou tendência ao longo dos anos, o que pode estar associada ao maior número de imputações podendo induzir o comportamento da curva em sentido contrário ou mesmo retratar as condições do local, que apesar de próximo, apresenta um regime pluviométrico superior ao de Mossoró, o que pode estar associada a elevação da umidade relativa.

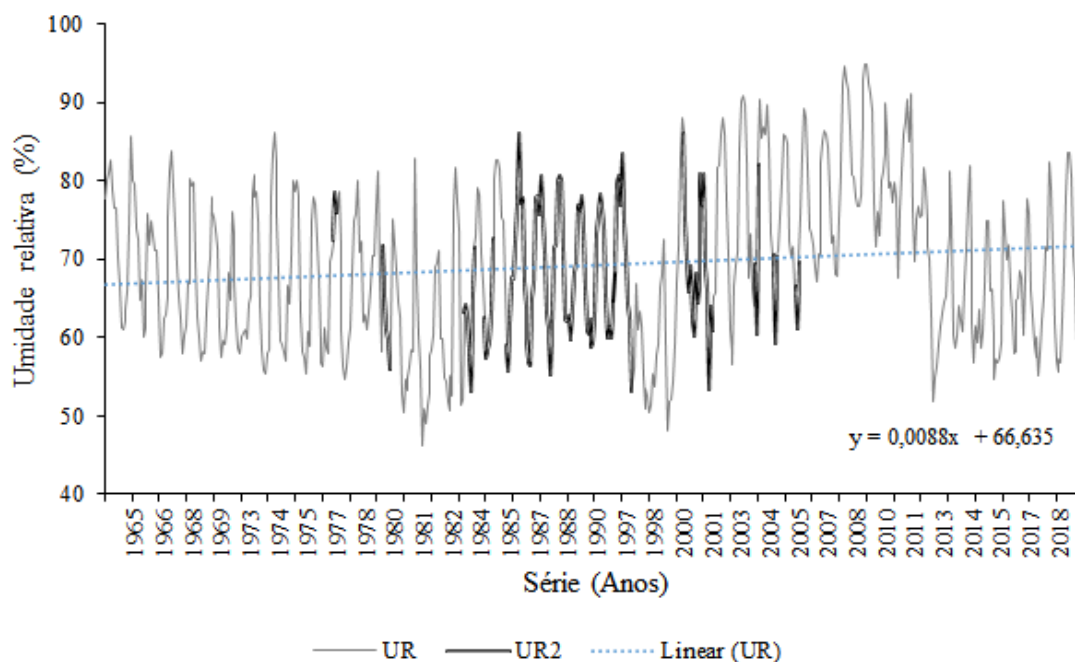


Figura 8- Variabilidade da Umidade relativa (UR) (%) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.

Vieira et al. (2018), obteve resultados semelhantes e confiáveis ao realizarem a imputação de dados para temperatura e precipitação. Já Costa et. al., (2012), constatou que os resultados da imputação de dados faltantes diários usando a técnica de imputação múltipla, foram usados como preditores (variáveis explicativas) para a precipitação diária, e se mostraram bastante satisfatórios.

Como Apodi apresentou percentagem elevada de dados faltantes, realizou-se teste de correlação de Pearson a fim de validar a série de forma a não afetar erroneamente os resultados. A correlação das médias históricas corrigidas com as normais climatológica de 30 anos em dois períodos para Apodi com relatórios do INMET está representada na Figura 7, sendo a primeira de 1960 – 1990 (TMAX90) e a segunda de 1980 – 2010 (TMAX10), usando os valores de temperatura máxima, mínima e umidade relativa consequentemente.

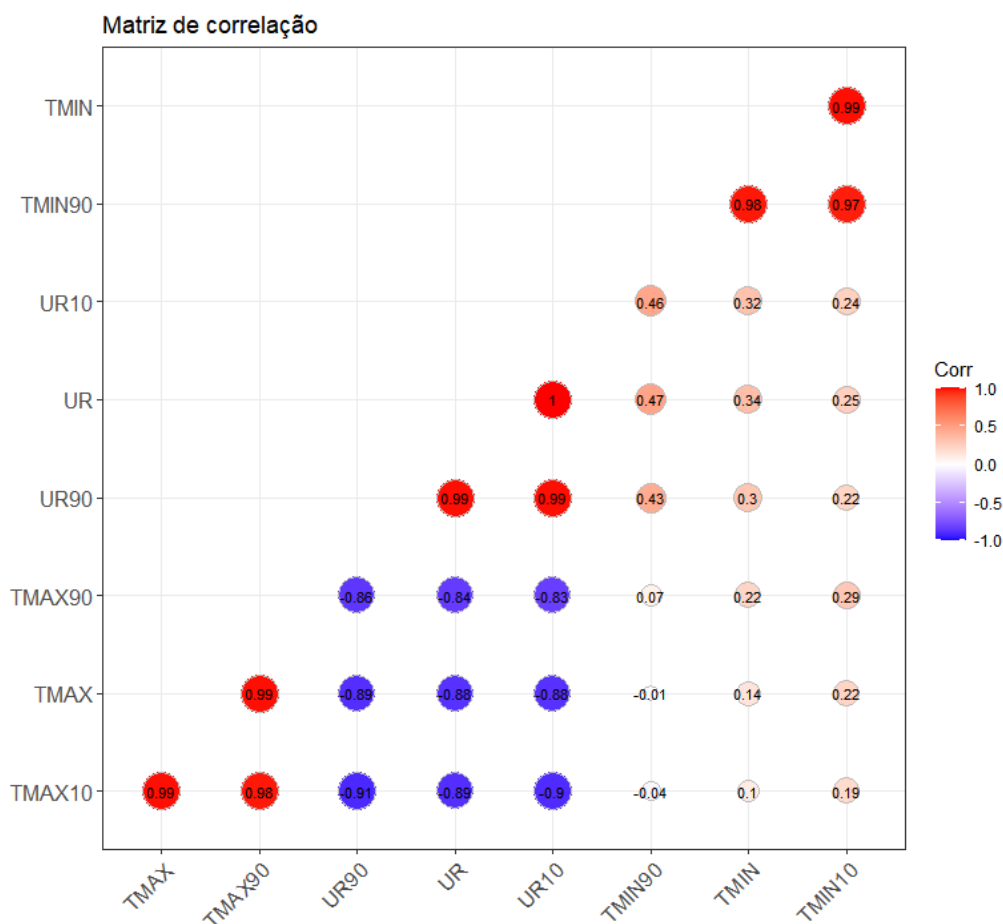


Figura 9- Matriz de correlação dos dados imputados com as normais climatológicas (30 anos) fornecidas pelo INMET, quanto mais nítida a coloração e maior for a circunferência mais fortemente os fatores se correlacionam.

Nota-se que a série histórica de Apodi com valores imputados (1964 – 2019) correlaciona-se fortemente com as ambas as normais de 30 anos (TMAX 90 e TMAX10), o que implica que não houve alteração no comportamento dessas variáveis de modo a mascarar as condições meteorológicas do município analisado.

Seguindo esse parâmetro de validação e confiabilidade dos valores corrigidos efetuou-se a correlação dos dados meteorológicos, para verificar se eles seguem os padrões climáticos do semiárido. A Figura 8 apresenta a matriz de correlação entre dos dados meteorológicos de entrada no software.

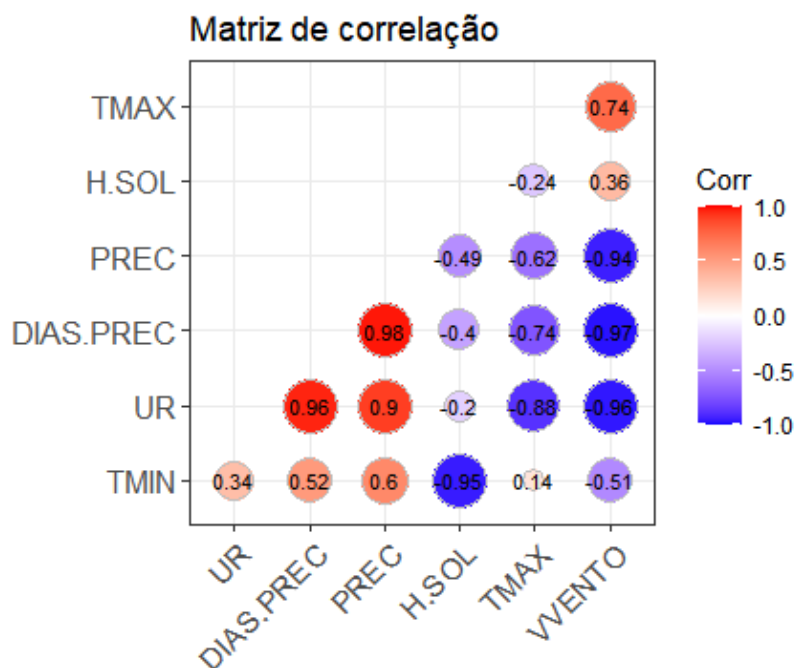


Figura 10- Matriz correlação de Pearson dos dados utilizados para simulação, Temperatura máxima e mínima (TMAX e TMIN °C), Umidade relativa (UR%), Insolação solar (H.SOL em horas), número de dias chuvosos (DIAS.PREC), Precipitação pluviométrica (PREC) e velocidade do vento 2 m (VVENTO m.s-1).

Nota-se que quanto mais nítida as cores e mais próximas dos extremos (1 e -1) mais fortes são as correlações positivas ou negativas entre as variáveis climatológicas que interferem diretamente na evapotranspiração. Araujo et al., (2013), constataram resultados semelhantes para estas variáveis em sua pesquisa, sendo que estes ainda corroboram com Chebly et. al (2019), que obtiveram os padrões de valores dos coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas para as localidades observadas no Estado da Paraíba – PB concluindo que as correlações correspondem ao padrão climático do semiárido.

4.1.2 Precipitação Pluviométrica

Para ambos os municípios foi considerada a série histórica de precipitação pluviométrica desde 1964 a 2019. Utilizou-se as precipitações com probabilidade de ocorrência ou superação acima de 80%, como valores de entrada, além de considerar extremos de anos chuvosos e a normal climatológica. Para Nogueira, et. al (2016), a análise de probabilidade de ocorrência de chuvas e períodos de retorno desde que

apresentando resultados satisfatórios, podem ser utilizadas no planejamento dos recursos hídricos locais dos municípios avaliados.

4.1.2.1 Precipitação Pluviométrica Mossoró – RN

A Tabela 9 dispõe os valores extremos que foram considerados nas simulações para diferentes regimes pluviométricos anuais de Mossoró, esboçando em ordem decrescente o total acumulado, bem como a taxa de retorno para cada evento.

Tabela 9- Classificação dos anos secos, normais e chuvosos de acordo com a probabilidade de ocorrência ou superação (P%) para Mossoró.

ANO (C)	PREC (mm)	NA	ANO (D)	PREC (mm)	NT	P%	Tr (anos)
1964	1197,3	1	1985	2065,7	56	1,8	57
1965	1262,5	2	1974	1491,6	56	3,5	29
1966	585,6	3	1989	1320,6	56	5,3	19
1967	1006,1	4	2009	1278,9	56	7,0	14
1968	856,8	5	1975	1264,2	56	8,8	11
1969	589,9	6	1965	1262,5	56	10,5	10
1970	416,4	7	2011	1242,8	56	12,3	8
1971	950,2	8	1994	1208,6	56	14,0	7
1972	713	9	1964	1197,3	56	15,8	6
1973	966,7	10	1986	1111,4	56	17,5	6
1974	1491,6	11	1988	1105,7	56	19,3	5
1975	1264,2	12	2000	1023	56	21,1	5
1976	458,9	13	1967	1006,1	56	22,8	4
1977	951,6	14	1973	966,7	56	24,6	4
1978	531,6	15	1984	960,6	56	26,3	4
1979	396,2	16	1977	951,6	56	28,1	4
1980	590,2	17	1971	950,2	56	29,8	3
1981	420	18	2002	946,1	56	31,6	3
1982	689,4	19	2004	893,8	56	33,3	3
1983	145,2	20	1996	890,3	56	35,1	3
1984	960,6	21	1968	856,8	56	36,8	3
1985	2065,7	22	1995	810,4	56	38,6	3
1986	1111,4	23	2003	801,3	56	40,4	2
1987	554,4	24	2007	765,7	56	42,1	2
1988	1105,7	25	2019	752	56	43,9	2
1989	1320,6	26	1972	713	56	45,6	2
1990	335,9	27	1991	703	56	47,4	2
1991	703	28	1982	689,4	56	49,1	2
1992	569,8	29	2008	676,6	56	50,9	2
1993	144,2	30	1997	664,4	56	52,6	2

1994	1208,6	31	2010	659,5	56	54,4	2
1995	810,4	32	2006	647,9	56	56,1	2
1996	890,3	33	2017	619,6	56	57,9	2
1997	664,4	34	2018	602,7	56	59,6	2
1998	319,4	35	1980	590,2	56	61,4	2
1999	590,2	36	1999	590,2	56	63,2	2
2000	1023	37	1969	589,9	56	64,9	2
2001	365	38	2014	589	56	66,7	2
2002	946,1	39	1966	585,6	56	68,4	1
2003	801,3	40	1992	569,8	56	70,2	1
2004	893,8	41	1987	554,4	56	71,9	1
2005	527,7	42	2015	538,5	56	73,7	1
2006	647,9	43	1978	531,6	56	75,4	1
2007	765,7	44	2005	527,7	56	77,2	1
2008	676,6	45	2013	478,3	56	78,9	1
2009	1278,9	46	1976	458,9	56	80,7	1
2010	659,5	47	1981	420	56	82,5	1
2011	1242,8	48	1970	416,4	56	84,2	1
2012	199,4	49	1979	396,2	56	86,0	1
2013	478,3	50	2001	365	56	87,7	1
2014	589	51	1990	335,9	56	89,5	1
2015	538,5	52	1998	319,4	56	91,2	1
2016	160,8	53	2012	199,4	56	93,0	1
2017	619,6	54	2016	160,8	56	94,7	1
2018	602,7	55	1983	145,2	56	96,5	1
2019	752	56	1993	144,2	56	98,2	1

NA – ordem do ano; NT – número de observações (anos); Tr – taxa de retorno.

Os extremos da classificação estão destacados em negritos e, cabe ressaltar que a normal climatológica como esperado está entre o intervalo de anos considerados como normais (médios), sendo esta, portanto considerada para fins de simulação.

A Figura 11 representa a variabilidade das precipitações pluviométrica ao longo da série temporal, sendo verificado, apesar de mínima, tendência na diminuição de chuvas considerando esta série. É importante, ressaltar que esse comportamento não é suficiente para concluir a ocorrência na redução das precipitações devido à alta variabilidade dos fenômenos no semiárido do Nordeste brasileiro.

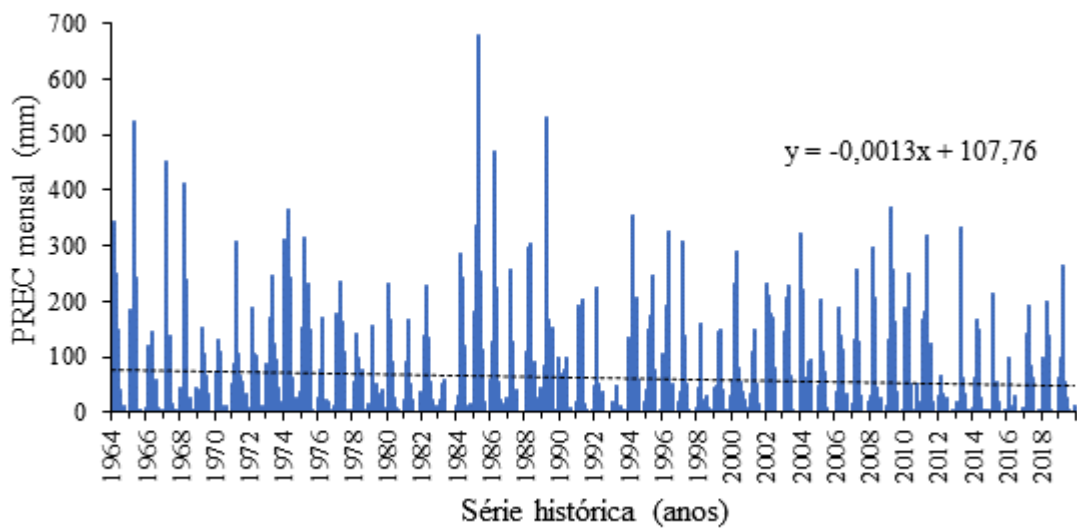


Figura 11- Variabilidade da Precipitação pluviométrica (PREC) ao longo dos anos (1964-2019) em Mossoró-RN.

A tempo de retorno e a probabilidade para fenômenos extremos de precipitações está representada na Figura 12, em que se registrou valor extremo de chuva no ano de 1985 com um total de 2065,7 mm ano⁻¹ representa o maior valor com 57 anos para ocorrência ou superação, classificado como ano muito chuvoso enquanto os anos secos a muito secos apresentam menor taxa de retorno de apenas 1 ano para ocorrência ou superação.

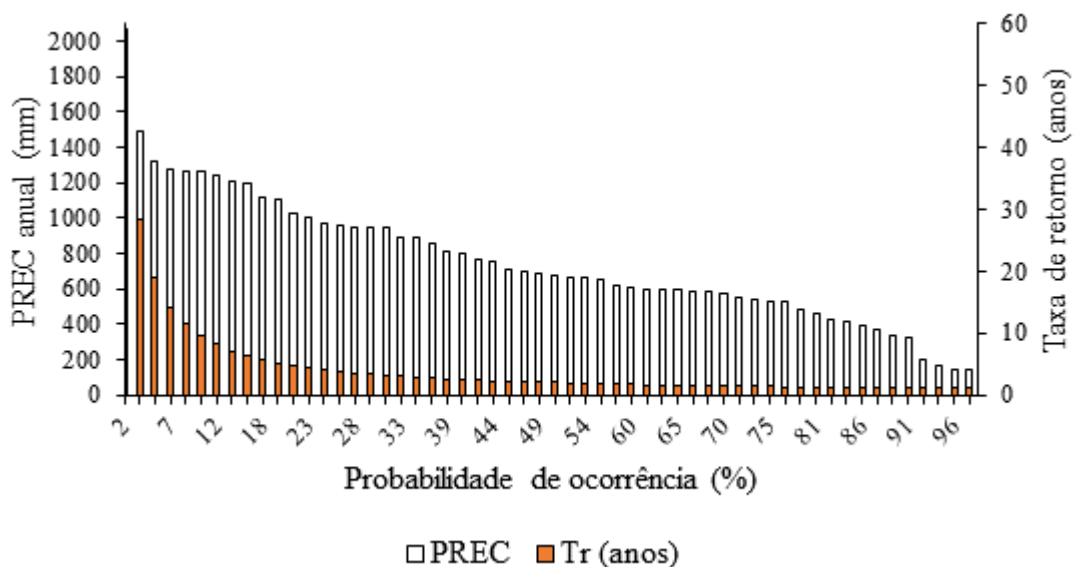


Figura 12- Probabilidade de ocorrência (P%) e tempo de retorno (Tr) da Precipitação pluviométrica (PREC) para Mossoró-RN.

Para a simulação foi considerada a normal climatológica (classificada como ano médio). Para os anos considerados seco e chuvosos, foram determinadas a ETo. A Figura 13 apresenta o comportamento desses anos quando acumulado mensal.

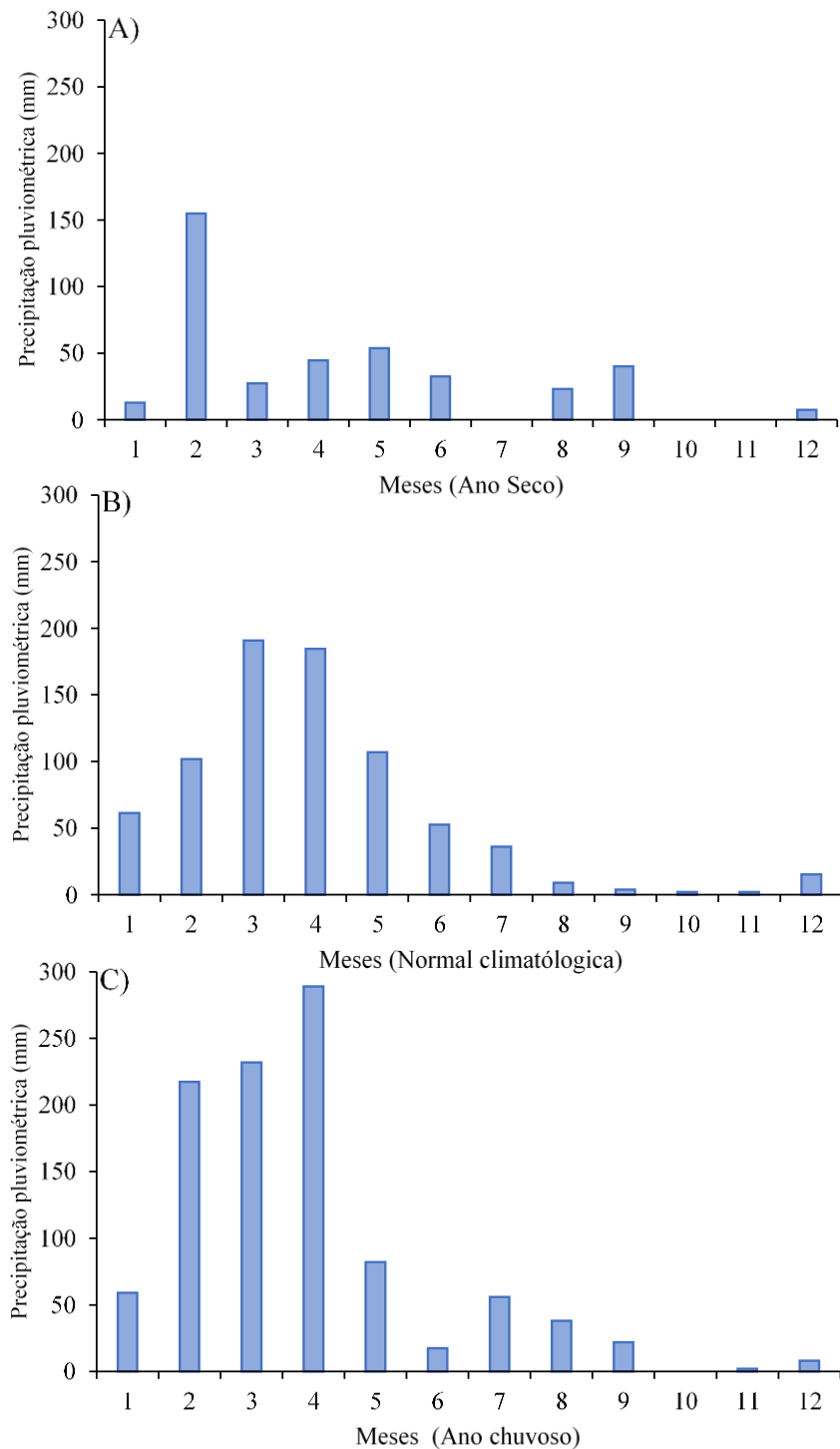


Figura 13- Precipitação pluviométrica (PREC), 1979 - ano seco com 396,3 mm ano⁻¹ (A), normal climatológica com 670 mm.ano⁻¹ (B) e 2000 - ano chuvoso com 1023 mm ano⁻¹ (C).

4.1.2.2 Precipitação Pluviométrica Apodi – RN

Na Tabela 10 contém os valores extremos classificados que foram considerados nas simulações para diferentes regimes pluviométricos anuais de Apodi, em ordem crescente e decrescente o total acumulado, com as respectivas probabilidades de ocorrência ou superação.

Tabela 10- Classificação dos anos secos, normais e chuvosos de acordo com a probabilidade de ocorrência ou superação (P%) para Apodi.

ANO (C)	PREC (mm)	NA	ANO (D)	PREC (mm)	NT	P%	Tr (anos)
1964	1009,9	1,00	1985	1795,9	56	2	57
1965	948,6	2,00	2011	1239,1	56	4	29
1966	633,7	3,00	1986	1195,4	56	5	19
1967	1154,1	4,00	2009	1190,2	56	7	14
1968	637,5	5,00	1967	1154,1	56	9	11
1969	582,8	6,00	2004	1148,3	56	11	10
1970	506,6	7,00	1975	1053,6	56	12	8
1971	763,5	8,00	2000	1043,1	56	14	7
1972	660,7	9,00	1989	1013,6	56	16	6
1973	978,4	10,00	1974	1011,4	56	18	6
1974	1011,4	11,00	1964	1009,9	56	19	5
1975	1053,6	12,00	1973	978,4	56	21	5
1976	716,3	13,00	2008	962,7	56	23	4
1977	848,8	14,00	1965	948,6	56	25	4
1978	720	15,00	1994	936,0	56	26	4
1979	651,5	16,00	2018	901,5	56	28	4
1980	668,2	17,00	1977	848,8	56	30	3
1981	504,8	18,00	1988	815,5	56	32	3
1982	496,5	19,00	1971	763,5	56	33	3
1983	409,4	20,00	2006	739,6	56	35	3
1984	702,5	21,00	2019	724,5	56	37	3
1985	1795,9	22,00	1978	720,0	56	39	3
1986	1195,4	23,00	1976	716,3	56	40	2
1987	547,4	24,00	1984	702,5	56	42	2
1988	815,5	25,00	1995	702,0	56	44	2
1989	1013,6	26,00	2002	689,5	56	46	2
1990	443,5	27,00	1980	668,2	56	47	2
1991	645,6	28,00	1972	660,7	56	49	2
1992	551,7	29,00	2005	652,2	56	51	2
1993	112	30,00	1979	651,5	56	53	2
1994	936	31,00	1991	645,6	56	54	2
1995	702	32,00	1968	637,5	56	56	2

1996	581,1	33,00	1966	633,7	56	58	2
1997	437,2	34,00	2010	632,3	56	60	2
1998	436,2	35,00	2007	614,0	56	61	2
1999	470,4	36,00	1969	582,8	56	63	2
2000	1043,1	37,00	1996	581,1	56	65	2
2001	462,2	38,00	2017	557,9	56	67	2
2002	689,5	39,00	1992	551,7	56	68	1
2003	528,6	40,00	1987	547,4	56	70	1
2004	1148,3	41,00	2014	544,9	56	72	1
2005	652,2	42,00	2003	528,6	56	74	1
2006	739,6	43,00	1970	506,6	56	75	1
2007	614	44,00	1981	504,8	56	77	1
2008	962,7	45,00	1982	496,5	56	79	1
2009	1190,2	46,00	2013	486,4	56	81	1
2010	632,3	47,00	1999	470,4	56	82	1
2011	1239,1	48,00	2001	462,2	56	84	1
2012	360,1	49,00	1990	443,5	56	86	1
2013	486,4	50,00	1997	437,2	56	88	1
2014	544,9	51,00	1998	436,2	56	89	1
2015	293,1	52,00	1983	409,4	56	91	1
2016	365,9	53,00	2016	365,9	56	93	1
2017	557,9	54,00	2012	360,1	56	95	1
2018	901,5	55,00	2015	293,1	56	96	1
2019	724,5	56,00	1993	112,0	56	98	1

Como os municípios estão geograficamente próximos o padrão de chuvas segue praticamente o mesmo comportamento em relação a Mossoró, tendo o ano mais chuvoso ocorrido em 1985 e o mais seco em 1993. A figura 14 esboça a variabilidade das chuvas de Apodi.

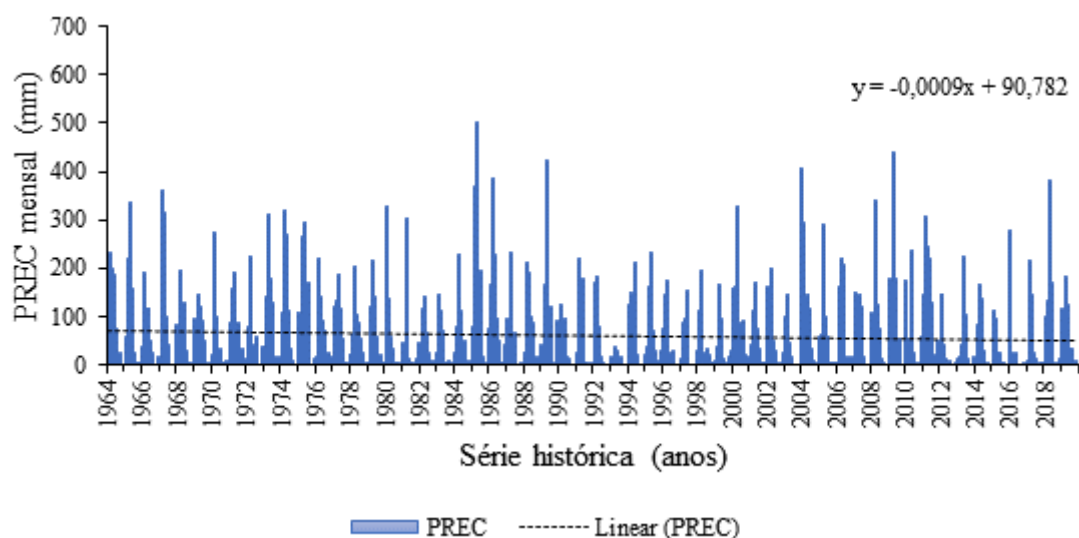


Figura 14- Variabilidade da Precipitação pluviométrica (PREC) ao longo dos anos (1964-2019) em Apodi-RN.

Semelhante a Mossoró o comportamento apesar da variabilidade é de redução das chuvas ao longo destes anos considerados, Silva *et al.*, (2018) em estudo de análise de tendência de precipitação no semiárido pernambucano constatou que a dinâmica das chuvas nas últimas décadas revela que nos meses de maior ocorrência histórica de precipitação pluviométrica houve uma variação nos padrões de precipitação em alguns meses do ano, indicando tendência de diminuição das chuvas e quando se avalia a precipitação pluviométrica ao longo dos anos, nota-se uma tendência de queda da precipitação no período amostral.

A taxa de retorno das precipitações pluviométricas para todos os anos está representada na Figura 15, facilitando a visualização dos eventos extremos ocorridos no município.

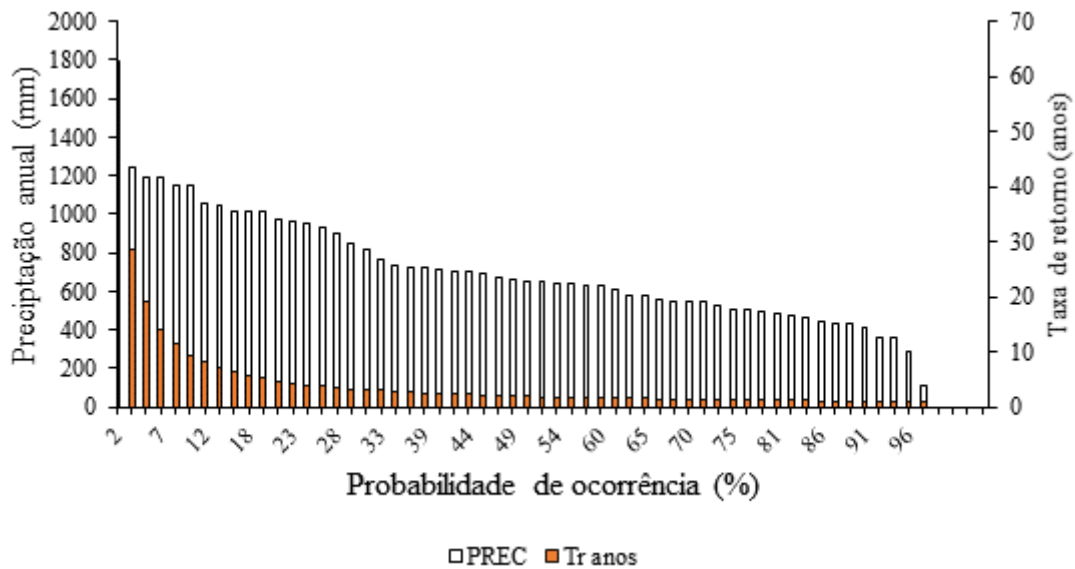


Figura 15- Probabilidade de ocorrência (P%) e tempo de retorno (Tr) da Precipitação pluviométrica (PREC) para Apodi.

Como mencionado anteriormente o comportamento da pluviosidade é semelhante ao de Mossoró, porem o extremo máximo de chuva ocorrido para Apodi foi de aproximadamente 1800 mm acumulado no ano de 1985.

Como valores de entrada no software foi considerado as três condições de chuva, sendo parâmetro principal a normal climatológica. Os regimes de chuvas estão representados na figura 16 a seguir.

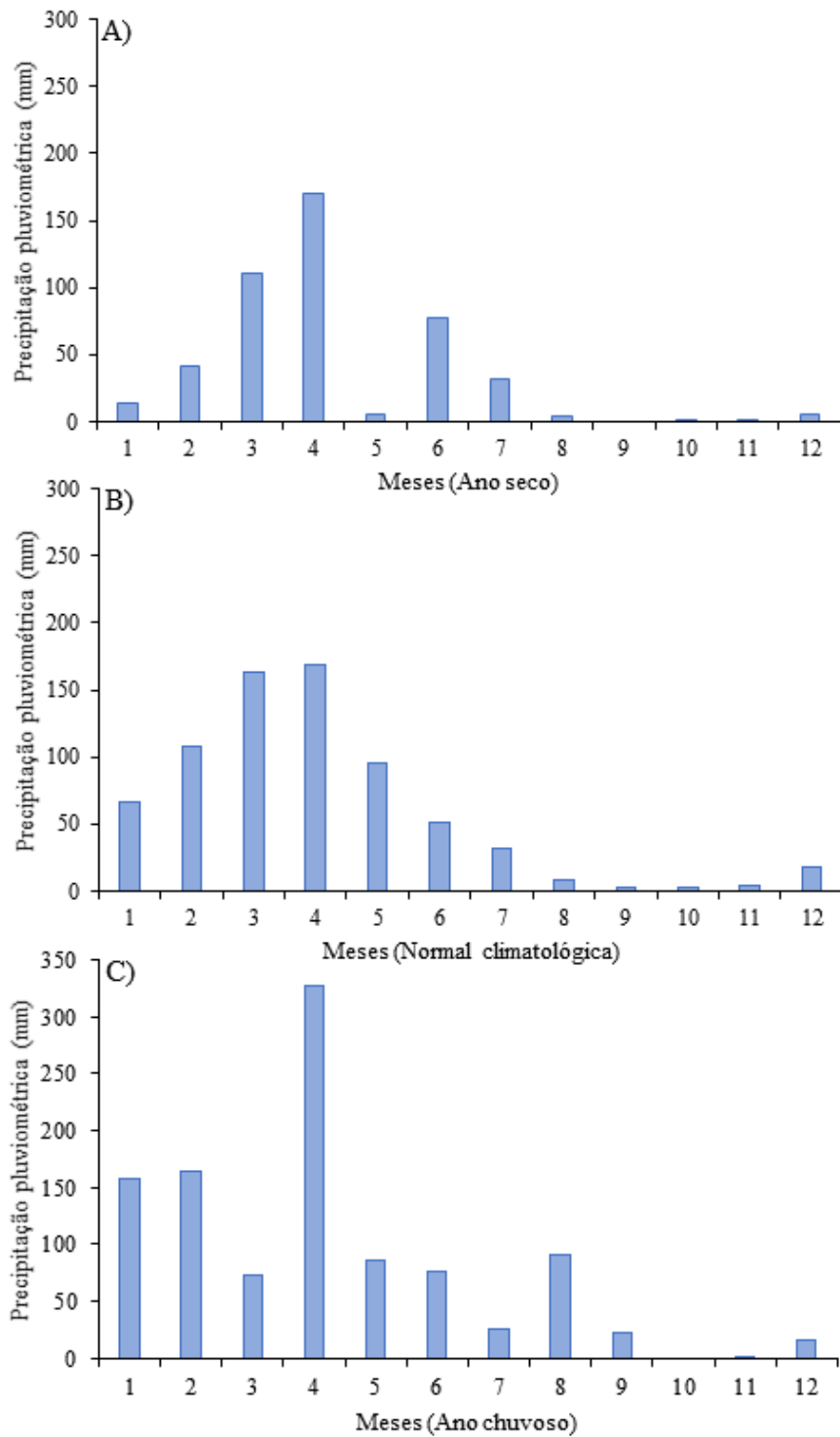


Figura 16- Precipitação pluviométrica (PREC), 2001 - ano seco com 462,2 mm.ano⁻¹ (A), normal climatológica com 722,83 mm.ano⁻¹ (B) e 2000 - ano chuvoso com 1043,1 mm.ano⁻¹ (C).

Apesar da proximidade e semelhança do padrão climatológico, Apodi apresenta maior média de precipitações tanto na normal climatológica quanto para os anos que foram classificados como secos e chuvosos.

4.1.3 Agrupamento dos parâmetros climatológicos

As chuvas no estado do Rio Grande Do Norte concentram-se historicamente no período de fevereiro a maio (quadra chuvosa), e o período seco constituído pela maior parte do ano configuração observada para os dois municípios considerados (EMPARN, 2020).

Com base nessa premissa realizou-se a análise de agrupamento da série histórica para ambos os municípios, tendo melhor noção do comportamento meteorológico quanto a distribuição de chuvas e temperatura ao longo do ano (Figura 17) para Mossoró.

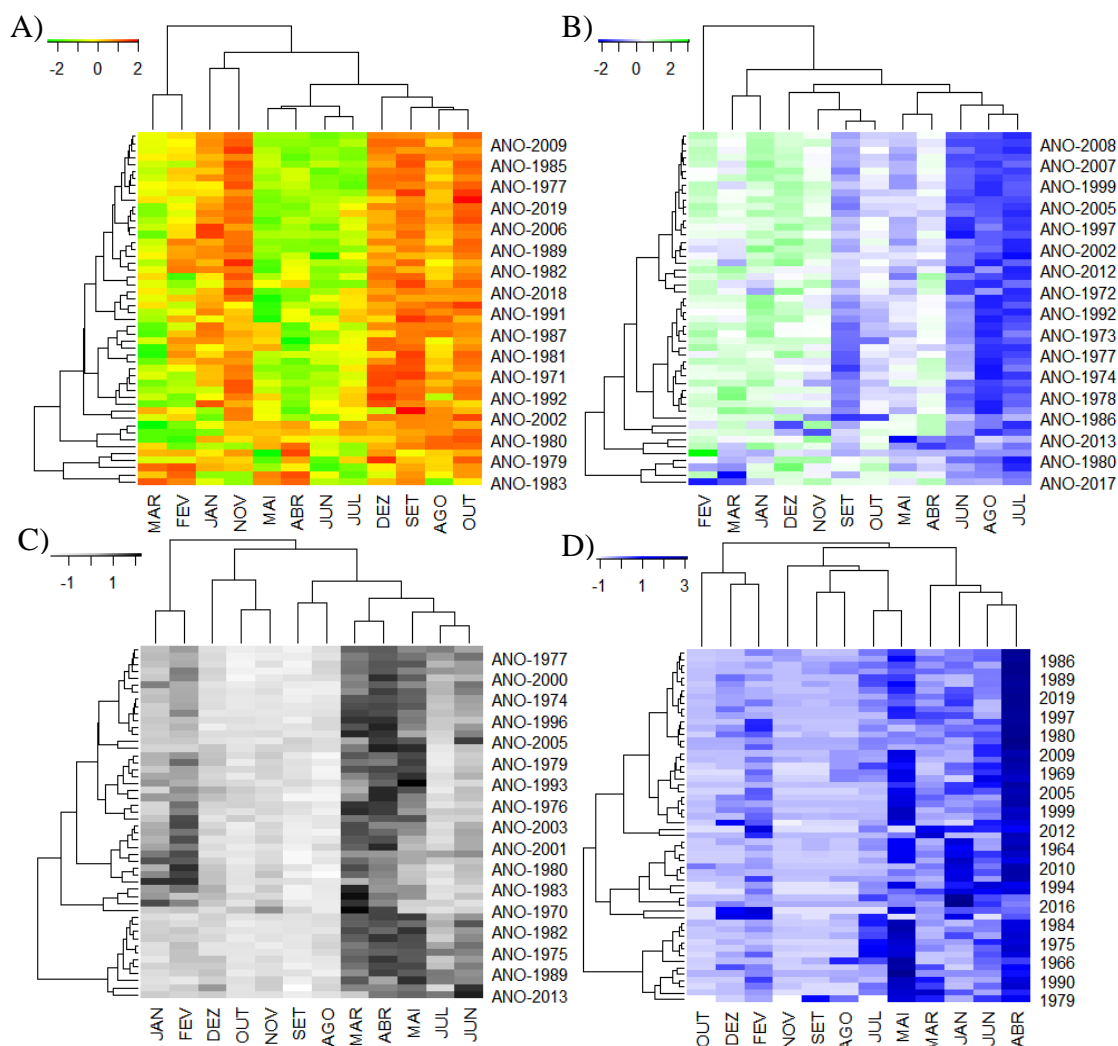


Figura 17- Heatmap com série histórica de Mossoró, (A) temperatura máxima (°C), (B) temperatura mínima (°C), (C) umidade relativa (%) e (D) precipitação pluviométrica (mm.mes^{-1}).

Nota-se que no segundo semestre do ano as médias da temperatura máxima (A) apresentam maiores valores ao longo da série e, além disso, o período chuvoso se concentra nos meses de fevereiro a maio se estendendo para junho (D) (médias com tonalidade azul escuras). De acordo com Sobrinho *et al.*, (2011) no município de Mossoró-RN, a precipitação pluviométrica mensal é bastante variável ao longo do ano sendo o trimestre mais chuvoso fevereiro, março e abril com totais mensais médios oscilando entre 102,8 e 167,9 mm, enquanto que o período mais seco compreende os meses de setembro, outubro e novembro com a média mensal entre 1,9 e 4,9 mm.

Como esperado, os meses com maior umidade relativa (C) são os de maiores precipitações. Silva (2014) constatou ao analisar a série histórica, que Mossoró tem um

clima peculiar, predominando grande parte do ano uma estação seca, apresentando temperaturas elevadas, e outra parte do ano (outono) que apresenta temperaturas mais amenas no período chuvoso.

A Figura 18 dispõe o agrupamento dos dados meteorológicos de Apodi, sendo registrado padrões climáticos semelhantes aos de Mossoró, com temperaturas mais amenas no início ano, e as máximas concentradas no segundo semestre de cada ciclo hidrológico. As chuvas sendo mais expressivas na quadra chuvosa.

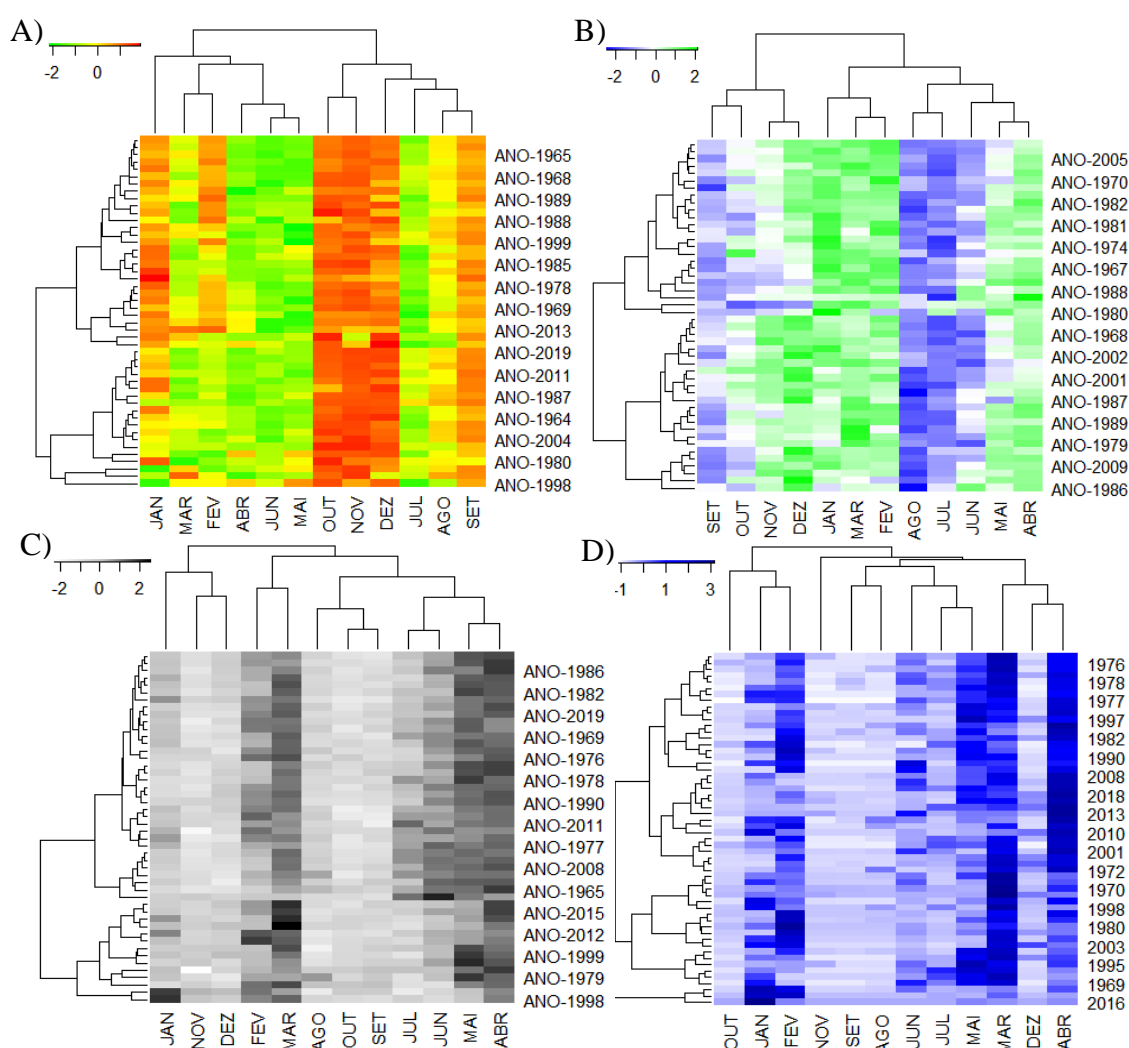


Figura 18- Heatmap com série histórica de Apodi, (A) temperatura máxima (°C), (B) temperatura mínima (°C), (C) umidade relativa (%) e (D) precipitação pluviométrica (mm.mes-1).

Carvalho (2020), constatou que apesar de historicamente as precipitações se concentrarem entre os meses de fevereiro a maio, em Apodi suas ocorrências não são

constantes ao longo dos dias destes meses. A determinação do clima da região apesar da alta variabilidade é muito importante para a gestão dos recursos hídricos e planejamento agrícola.

4.2 Evapotranspiração de referência (ET_o) e precipitação efetiva (PREC_{eff})

4.2.1 ET_o e PREC_{eff} Mossoró

A priori realizou-se a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) da série histórica de 49 anos para Mossoró para todos os meses do ano (Tabela 11). Ressalta-se que são dados com probabilidade de 50% de ocorrência ou superação considerada como ano médio em relação a precipitação pluviométrica.

Essa metodologia de uso de séries históricas é empregada mundialmente, Patel et al., (2017) estimou para 12 cidades na Índia, utilizando dados meteorológicos, de apenas uma estação, registrados de 1970 a 2012, afirmando que o modelo CROPWAT estima adequadamente o ET_o, o que torna esse modelo eficiente ferramenta para o planejamento da irrigação e gerenciamento.

Tabela 11- Dados climatológicos (1970-2019), ET_o e precipitação efetiva (PREC_{eff}) para Mossoró (Ano médio).

Mês	TMIN (°C)	TMAX (°C)	UR (%)	V.VENTO (m/s)	H.SOL (h)	Rad MJ/m ² /dia	ET _o mm/dia	PREC (mm)	PREC _{eff} (mm)
JAN	24,1	34,2	68	2,5	7,1	20,5	5,50	62,3	49,8
FEV	24,1	33,6	71	2,1	6,7	20,2	5,13	101,7	81,4
MAR	23,6	32,8	76	1,8	6,4	19,5	4,63	190,9	152,7
ABR	23,5	32,8	78	1,5	6,4	18,5	4,28	184,6	147,7
MAI	23,1	32,7	75	1,5	6,6	17,5	4,06	106,8	85,4
JUN	22,2	32,6	71	1,7	7,0	17,2	4,12	52,7	42,2
JUL	21,8	33,1	66	2,0	7,6	18,4	4,61	36,0	28,8
AGO	21,7	34,3	60	2,4	8,3	20,6	5,57	8,9	7,1
SET	22,6	35,0	59	2,9	8,3	22,0	6,32	3,8	3,0
OUT	23,3	35,0	60	3,1	8,0	22,1	6,47	2,0	1,6
NOV	23,7	34,8	62	3,1	7,7	21,4	6,26	2,0	1,6
DEZ	24,0	34,7	64	2,9	7,5	20,9	5,98	15,2	12,2
Média	23,4	33,9	67	2,3	7,3	19,9	5,24	766,9	613,5

Os menores valores de ET_o diários foram para a quadra chuvosa, de fevereiro a maio, com comportamento crescente a partir de junho, como é esperado devido a

diferença dos parâmetros meteorológicos e diminuição da pluviosidade. A média geral da ETo foi de 5,24 mm.dia⁻¹, sendo maior registrada para o mês de outubro e menor para o mês de maio e junho. Cavalcante Junior *et al.*, (2011) obteve comportamento semelhante da ETo pelo método PM FAO 56, enquanto, de Oliveira Santos *et al.*, (2010) obteve média diária de 5,70.

Para o correto planejamento de irrigação e contabilização da necessidade hídrica, foi determinada a precipitação efetiva que considera o que foi perdido por impedimentos ou escoamento e percolação. De um total de 766,9 mm.ano⁻¹, apenas 613,5 mm é o que será absorvido pela cultura, o que equivale a 80% do precipitado. O que remete preocupação em escolher adequadamente a época de plantio para evitar déficit hídrico nas fases mais sensíveis para o milho e, ainda, informação precisa para adotar irrigação suplementar, pois mesmo no período de chuva pode ocorrer redução no rendimento da cultura.

Lima (2016) comparou o comportamento da ETo para estado da Bahia e, concluiu que a utilização das normais climatológicas de 1961 a 1990 e dos dados médios das variáveis interveniente para a estimativa da ETo representou em sua maioria um desvio percentual, em módulo, em torno de 10%, o que representa uma boa aproximação e ETo pelo método de Penman-Monteith gerada pelas variáveis climatológicas da NC 1961-1990, sendo estas funcionando bem para representar o clima presente (1991 a 2014) devido a semelhança dos dados.

Para a ETo do ano seco, considerou-se médias de um ano com probabilidade de ocorrência ou superação de 80 a 85%, o que irá auxiliar os agricultores na tomada de decisão em condições negativas para o cultivo, conforme dados da Tabela para um cenário de seca.

Tabela 12- Cenário para planejamento de plantio e irrigação para um ano seco em Mossoró-RN.

Mês	TMIN (°C)	TMAX (°C)	UR (%)	V.VENTO (m/s)	H.SOL (h)	Rad MJ/m²/dia	ETo mm/dia	PREC (mm)	PRECe_{eff} (mm)
JAN	24,6	35,2	61	3,1	7,5	21,2	6,34	0,0	0,0
FEV	24,4	36,2	59	3,1	8,2	22,5	6,80	18,0	14,4
MAR	25	36	61	3,0	7,6	21,4	6,47	3,8	3,0
ABR	24,2	34,6	67	2,2	7,1	19,6	5,26	332,0	265,6
MAI	23,2	33,4	68	1,6	6,9	17,9	4,43	25,2	20,2
JUN	22,5	32,5	72	1,3	6,7	16,9	3,87	63,8	51,0
JUL	21,4	33,1	67	1,5	7,8	18,6	4,33	33,0	26,4
AGO	21,4	34,9	57	2,2	8,8	21,4	5,70	1,8	1,4
SET	22,3	35,4	55	2,9	8,7	22,6	6,63	0,5	0,4
OUT	23,1	35,5	57	3,2	8,4	22,7	6,84	0,0	0,0
NOV	23,8	35,1	57	3,3	7,8	21,7	6,74	0,3	0,2
DEZ	23,4	34,6	61	3,3	7,8	21,4	6,38	0,0	0,0
Média	23,3	34,7	62	2,6	7,8	20,7	5,82	478,3	382,6

Nota-se que a precipitação efetiva média é de apenas 382,6 mm anual, não sendo o suficiente para o cultivo ótimo do milho, o que irá proporcionar queda no rendimento, considerando que a média satisfatória para o ciclo da cultura é de 400-600 mm, imprescindível a adoção de irrigação suplementar mesmo na quadra chuvosa para a presente situação para variedades mais exigentes.

Em um cenário de ano chuvoso a demanda da cultura é facilmente suprida, entretanto é importante a definição da data de plantio, para otimizar o uso da terra com possibilidade de mais de um ciclo no período chuvoso. A tabela 13 dispõe as médias de um ano chuvoso com probabilidade de superação de 15 %, visto que no semiárido a ocorrência de eventos similares é rara.

Tabela 13 - Cenário de para planejamento de plantio e irrigação para um ano chuvoso em Mossoró-RN.

Mês	TMIN (°C)	TMAX (°C)	UR (%)	V.VENTO (m/s)	H.SOL (h)	Rad MJ/m ² /dia	ETo mm/dia	PREC (mm)	PRECEff (mm)
JAN	24,2	33,8	71	2,1	6,8	20,1	5,10	59,0	47,2
FEV	23,4	33,0	78	1,7	6,8	20,3	4,70	217,5	174,0
MAR	23,8	33,5	77	1,7	6,7	20,0	4,67	232,0	185,6
ABR	23,2	32,5	85	1,2	6,4	18,6	4,03	289,0	231,2
MAI	22,4	32,3	81	1,2	6,7	17,7	3,82	82,0	65,6
JUN	22,0	32,7	73	1,5	7,2	17,4	3,98	17,5	14,0
JUL	21,8	32,9	71	1,7	7,4	18,1	4,24	56,0	44,8
AGO	21,6	33,6	66	2,1	8,0	20,2	5,05	38,0	30,4
SET	22,6	34,1	65	2,4	7,8	21,2	5,51	22,0	17,6
OUT	23,2	35,0	60	3,0	8,1	22,2	6,42	0,0	0,0
NOV	23,4	34,3	64	3,0	7,6	21,3	6,03	2,0	1,6
DEZ	23,9	33,5	67	2,7	6,5	19,4	5,27	8,0	6,4
Média	23,0	33,4	72	2,0	7,2	19,7	4,90	1023	818,4

O extremo para ano chuvoso, como esperado mostrou menores valores de ETo com média geral de apenas 4,90 mm.dia⁻¹, a menor evapotranspiração para o mês de maio e maior já no segundo semestre em outubro. A precipitação efetiva calculada foi de 818,4 mm, com maior valor acumulado para o mês de abril, 231,2 mm.

As próximas etapas de planejamento de irrigação foram realizadas com base no ano médio, considerando para necessidade hídrica a precipitação efetiva com parâmetros da cultura e dos solos das classes Cambissolos e Latossolos representativos na região.

4.2.2 ETo e PRECEff Apodi

Os resultados de saída para Apodi estão dispostos na tabela 14, verifica-se que as menores ETo ocorre nos meses fevereiro a julho, tendo o mês de maio como a menor demanda evapotranspirativa para a cultura e abril com a maior (PRECEff). A radiação solar variou do menor valor em junho (16,3 MJ.m².dia⁻¹) ao maior valor em outubro (23,4 MJ.m².dia⁻¹), juntamente com a maior ETo.

A média geral diária de ETo para a série foi 5,49 mm.dia⁻¹, com precipitação efetiva de 578,1 mm.ano⁻¹, que a depender da variedade pode suprir a necessidade da cultura sem perdas de rendimento.

Tabela 14- Dados climatológicos (1964-2019), ETo e precipitação efetiva (PRECeFF) para Apodi (Ano médio).

Mês	TMIN (°C)	TMAX (°C)	UR (%)	V.VENTO (m/s)	H.SOL (h)	Rad MJ/m ² /dia	ETo mm/dia	PREC (mm)	PRECeFF (mm)
JAN	23,9	35,0	68	2,8	7,8	21,7	5,90	66,0	52,8
FEV	23,9	34,1	73	2,7	7,2	21,0	5,43	108,1	86,5
MAR	23,9	33,1	78	2,4	6,4	19,6	4,78	163,4	130,7
ABR	23,8	32,4	80	2,3	5,9	17,8	4,26	168,4	134,7
MAI	23,4	32,3	78	2,4	6,1	16,7	4,10	96,1	76,9
JUN	22,7	32,1	73	2,6	6,3	16,3	4,24	51,3	41,0
JUL	22,2	32,6	68	2,9	7,0	17,4	4,79	32,3	25,8
AGO	22,1	34,1	63	3,3	8,0	20,1	5,84	8,3	6,7
SET	22,6	35,3	62	3,2	8,5	22,2	6,40	2,9	2,3
OUT	23,0	36,1	61	3,2	8,8	23,4	6,79	3,4	2,8
NOV	23,4	36,2	61	3,2	8,7	23,1	6,79	4,0	3,2
DEZ	23,8	35,9	63	3,2	8,4	22,4	6,55	18,4	14,8
Média	23,2	34,1	69	2,9	7,4	20,1	5,49	722,6	578,1

A tabela 15 dispõe resultados para simular condição de ano seco. A radiação mínima foi do mês de junho e a máxima registrada no mês de outubro. Observa-se altas taxas evapotranspirativas, com valor máximo de 7,94 mm.dia⁻¹ para o mês de outubro e mínimo para o mês de abril com 4,14 mm.dia⁻¹, a PRECeFF totalizou 368,6 mm.ano⁻¹, concentrando-se basicamente nos meses de março e abril. Araújo et al., (2018), em pesquisa realizada em Apodi-RN, determinou a ETo para os anos 2008 e 2009, constatou maiores médias diárias para os meses de outubro e novembro.

Tabela 15 – Dados climatológicos, ETo e precipitação efetiva (PRECeFF) para Apodi (Ano seco).

Mês	TMIN (°C)	TMAX (°C)	UR (%)	V.VENTO (m/s)	H.SOL (h)	Rad MJ/m ² /dia	ETo mm/dia	PREC (mm)	PRECeFF (mm)
JAN	23,7	35,7	64	2,0	8,3	22,4	5,85	13,4	10,7
FEV	24,2	36,3	67	2,0	8,4	22,9	5,92	41,1	32,9
MAR	23,8	34,4	81	2,0	7,3	21,0	4,97	111,0	88,8
ABR	23,4	31,5	77	2,0	5,6	17,3	4,14	170,0	136,0
MAI	23,0	34,0	81	2,0	7,4	18,5	4,30	5,7	4,6
JUN	22,6	32,8	69	2,0	6,9	16,9	4,30	77,1	61,7
JUL	22,4	33,5	66	2,0	7,4	18,0	4,61	32,6	26,1
AGO	22,1	34,8	53	2,0	8,4	20,7	5,57	3,6	2,9
SET	23,2	36,1	64	2,0	8,6	22,4	6,34	0,0	0,0
OUT	23,4	36,4	61	5,4	8,8	23,3	7,94	0,3	0,2
NOV	23,9	36,5	65	5,2	8,6	22,9	7,48	0,9	0,7

DEZ	24,6	36,6	66	5,4	8,3	22,3	7,43	5,0	4,0
Média	23,4	34,9	67,8	2,8	7,8	20,7	5,74	460,7	368,6

Os resultados da estimativa da ETo para eventos extremos de chuvas em Apodi encontram-se na Tabela 16, para um ano classificado como chuvoso, com média de radiação solar de 17,4 MJ.m⁻².dia⁻¹ e, evapotranspiração de 4,62 mm.dia⁻¹, com a mínima registrada nos meses de abril e maio e máxima no mês de novembro, 6,16 mm.dia⁻¹.

Tabela 16- Dados climatológicos, (ETo) e precipitação efetiva (PRECEff) para Apodi (Ano chuvoso).

Mês	TMIN (°C)	TMAX (°C)	UR (%)	V.VENTO (m/s)	H.SOL (h)	Rad MJ/m²/dia	ETo mm/dia	PREC (mm)	PRECEff (mm)
JAN	25,8	32,1	67	3,6	4,4	16,4	5,26	157,4	125,9
FEV	25,5	31,6	71	3,8	4,2	16,2	4,98	164,1	131,3
MAR	26,1	31,5	83	3,7	3,5	15,0	3,93	73,8	59,0
ABR	25,5	30,8	88	3,3	3,4	14,0	3,30	327,0	261,6
MAI	25,2	30,8	86	3,5	3,6	13,2	3,27	85,9	68,7
JUN	24,8	31,2	75	2,0	4,2	13,4	3,51	76,7	61,4
JUL	24,6	31,8	70	2,0	4,8	14,5	3,91	26,6	21,3
AGO	24,0	31,6	66	2,0	5,1	16,0	4,30	91,7	73,4
SET	23,9	33,6	69	2,0	6,7	19,4	4,93	21,9	17,5
OUT	22,6	36,3	63	2,0	9,1	23,9	6,11	0,0	0,0
NOV	22,9	36,2	60	2,0	9,0	23,6	6,16	1,4	1,1
DEZ	23,2	35,7	68	2,0	8,6	22,7	5,75	16,6	13,3
Média	24,5	32,8	72,2	2,7	5,6	17,4	4,62	1043,1	834,5

Tendo a precipitação efetiva chegando a 834,5 mm, o que seria teoricamente suficiente para atender a demanda hídrica da cultura, todavia nota-se a ocorrência de possível veranico no mês de março tendo registrado apenas 59 mm de PRECEff o que a depender da cultura pode causar redução no rendimento. Carvalho, (2020) constatou a ocorrência de veranicos especialmente ao longo dos meses de fevereiro e março no município de Apodi, o que resulta numa queda da precipitação efetiva.

4.2.3 Variabilidade da ETo da região Apodi-Mossoró

A Figura 19 apresenta a variabilidade da ETo para os dois municípios estudados, agrupando os anos em comum a partir de 1970 a 2019. Apesar da proximidade dos municípios ocorre uma variação considerável da ETo, a qual pode estar associada a maior

média nos valores da velocidade do vento no município de Apodi. Para Mossoró utilizou-se valor igual a 2 m s^{-1} até o ano de 1999 (Allen *et al.*,1998). Com os dados medidos e completos a partir do 2000 os valores de ETo mostram-se equivalentes.

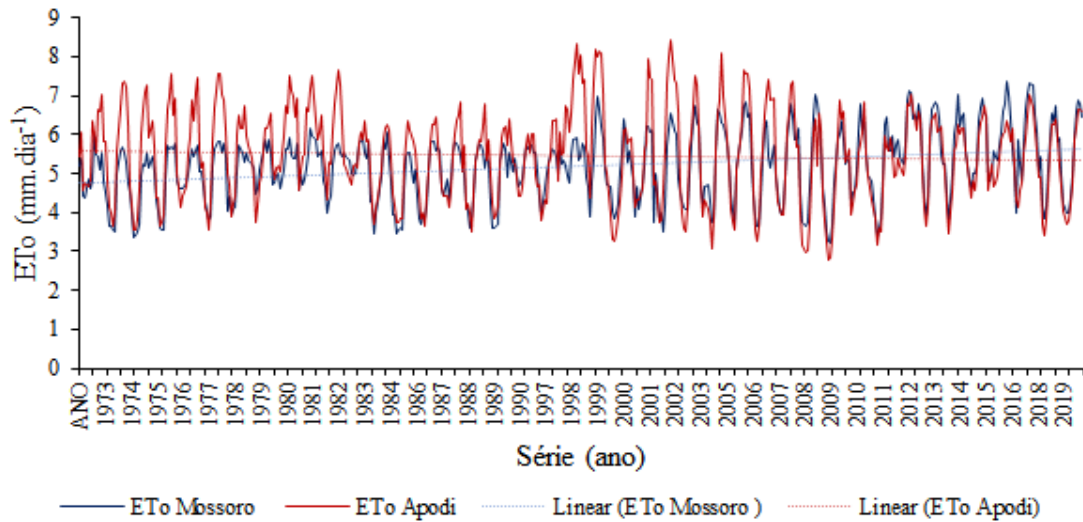


Figura 19- Variabilidade da evapotranspiração de referência (ETo) de Mossoró e Apodi no período de 1970 a 2019.

Apesar da variabilidade, a correlação de Pearson entre as ETo foi positiva (0,82) (Figura 20), sendo registrado em Apodi ETo média diária superior a Mossoró na maioria dos casos ($R^2 = 0,67$). Essa informação evidencia a necessidade de um estudo localizado da evapotranspiração a fim de evitar erros no planejamento agrícola ao utilizar-se informações meteorológicas generalizadas de estações em cidades circunvizinhas que é uma prática comumente realizada na estimativa da evapotranspiração.

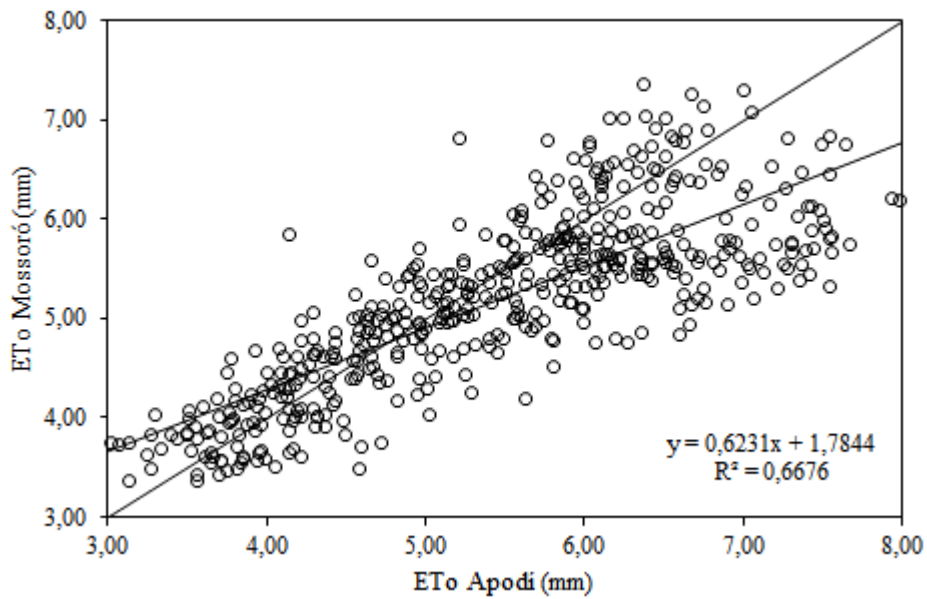


Figura 20- Variabilidade e correlação entre as ETo de Mossoró e Apodi no período de 1970 a 2019.

A precipitação efetiva, desde 1964, apresentou alta correlação entre os municípios, com Mossoró apresentando médias superiores. A correlação de Pearson foi positiva (0,84 e o $R^2 = 0,71$) que configura forte correlação entre as variáveis (Figura 21).

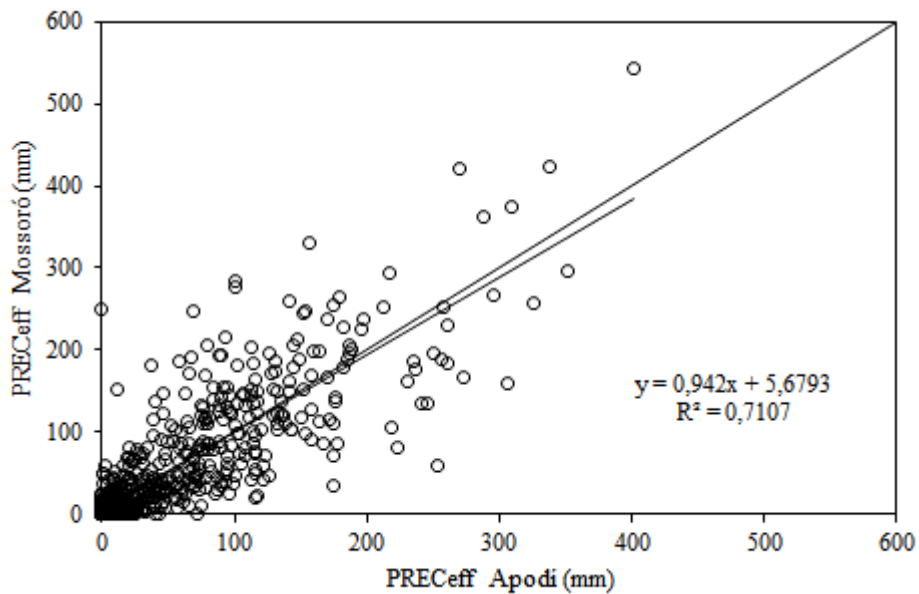


Figura 21- Correlação entre as precipitações efetivas de Mossoró e Apodi (1970-2019).ao longo dos anos.

Analisando a média de evapotranspiração de referência ETo para os anos médios, nota-se que Apodi supera a média diária de Mossoró de janeiro a março e de junho a dezembro, com médias semelhantes apenas nos meses de abril e maio (Figura 22).

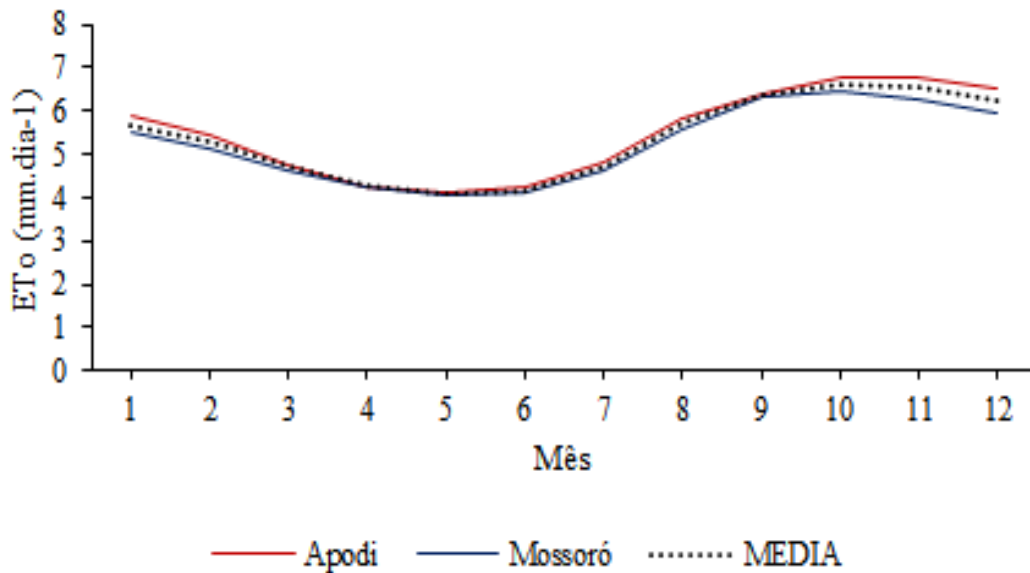


Figura 22- Correlação entre as médias geral das precipitações efetivas de mossoró e apodi para o período de 1970 a 2019.

Considerando a precipitação efetiva da normal climatológica (Ano médio), Mossoró possui médias superiores a Apodi na maioria dos meses (Figura 23). Estes dados podem ser úteis para o planejamento e manejo da irrigação da cultura e balanço hídrico diário de ambas localidades estudadas.

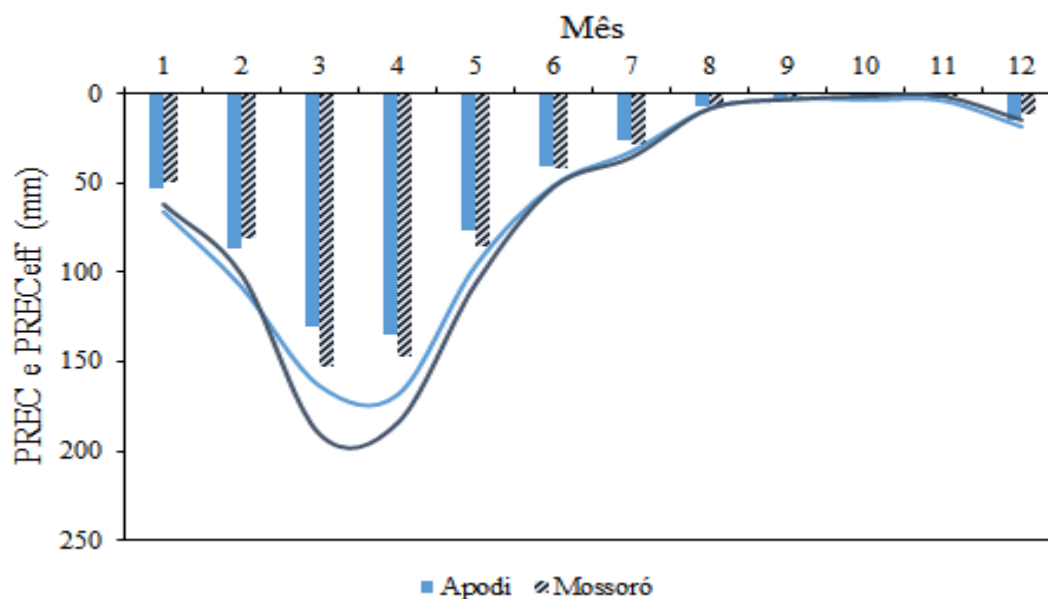


Figura 23- Precipitação total e efetiva (PRECEff) para Mossoró e Apodi (1970-2019) ano médio (Normal climatológica) dos municípios.

4.3 Necessidade hídrica da cultura e planejamento da irrigação

4.3.1 Mossoró: Cambissolos para o ciclo 1 da cultura do milho

As necessidades de água para a cultura estão listadas nas tabelas abaixo, bem como a necessidade de irrigações para o milho, nas épocas de cultivo anteriormente determinadas visando a pequena e a grande produção, com adoção de irrigação e de sequeiro.

Iniciando pela área de cobertura da EMA de Mossoró, de acordo com Mota (2010), cada estação do INEMET, tem uma área de cobertura num raio de 150 km. Para os solos que se encaixam na classificação de Cambissolos, sendo eles com textura média, a necessidade hídrica da cultura para data de plantio 01/02 (ciclo 1) encontra-se na Tabela 16.

Observando a necessidade hídrica da cultura para o período (379,8 mm), a PRECEff (441,4 mm) (Tabela 16), pode-se inferir que as precipitações mensais são suficientes para atender a demanda hídrica da cultura do milho, exceto para os meses de março e maio devido o déficit de precipitação e, especialmente por ser no início da floração, pode influenciar no rendimento da cultura. Entretanto, o software não

identificou perdas de rendimentos para a cultura, pois a precipitação ocorrida foi suficiente e, o solo tem alta armazenagem de água.

Tabela 16 - Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio no mês de fevereiro (ciclo 1) em Mossoró-RN.

Mês	Decêndio (dias)	Fase	Kc	Etc (mm/dia)	Etc (mm/dec)	PRECe ^{ff} (mm/dec)	Nec. Irr (mm/dec)
FEV	1	Inicial	0,40	2,10	21,00	22,40	0
FEV	2	Inicial	0,40	2,05	20,50	25,30	0
FEV	3	Des. Vegetativo	0,40	2,00	16,00	33,80	0
MAR	1	Des. Vegetativo	0,59	2,83	28,30	45,40	0
MAR	2	Des. Vegetativo	0,88	4,08	40,80	54,50	0
MAR	3	Floração	1,07	4,82	53,00	52,70	0,3
ABR	1	Floração	1,07	4,71	47,10	51,60	0
ABR	2	Floração	1,07	4,58	45,80	51,90	0
ABR	3	Mat. Fisiológica	1,05	4,43	44,30	44,10	0,1
MAI	1	Mat. Fisiológica	0,89	3,69	36,90	34,80	2,1
MAI	2	Mat. Fisiológica	0,71	2,91	26,10	24,90	0
Total					379,8	441,4	2,5

*Etc – evapotranspiração da cultura; nec.Irr – necessidade de irrigação.

De acordo com Knežević et al. (2012), a necessidade hídrica do milho de silagem cultivado em Bijelo Polje no norte de Montenegro obteve, com sucesso, a simulação com o modelo CropWat, obtendo lâmina de rendimento máximo de silagem-milho com 252 - 342 mm de água irrigada enquanto que a evapotranspiração das culturas ao longo das três estações variou entre 339,3 mm e 421,8 mm.

Considerando aplicação de irrigação considerando o nível crítico umidade do solo (água facilmente disponível = RAM) e reposição até a capacidade de campo, a lâmina total (LB.Irr) a ser aplicada é de 65,8 mm, particionada em duas aplicações no dia 12 e no dia 61 DAP (Tabela 17).

De acordo com o Souza, (1991), o manejo ótimo da irrigação é aquele no qual o momento de irrigar é determinado pelo nível de depleção crítico, quando a planta utiliza 100% da RAM (umidade) prontamente disponível do solo. Além disso, a quantidade de água aplicada é suficiente para elevar o conteúdo de umidade do solo à Capacidade de campo. Teoricamente, a planta não sofre estresse, sendo a ETc igual a ET máxima, ou seja, a planta usa água a uma taxa potencial (Tabela 17).

Tabela 17- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos de Mossoró-RN (ciclo 1).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Irr (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Irr (mm)	Fluxo (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
12/fev	12	Inicial	0,0	1,00	100	61	12,5	0	0	17,9	0,17
02/abr	61	Floração	0,0	1,00	100	64	33,5	0	0	47,9	0,11
19/mai	fim	M. Fisiológica	0,0	1,00	0	11					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Irr– Lâmina líquida e bruta de irrigação.

As Figuras 24 e 25 mostram a retenção de água no solo ao longo do tempo, sendo que a primeira sem a reposição de água (sequeiro) e a segunda com o planejamento, ou seja, a irrigação suplementar.

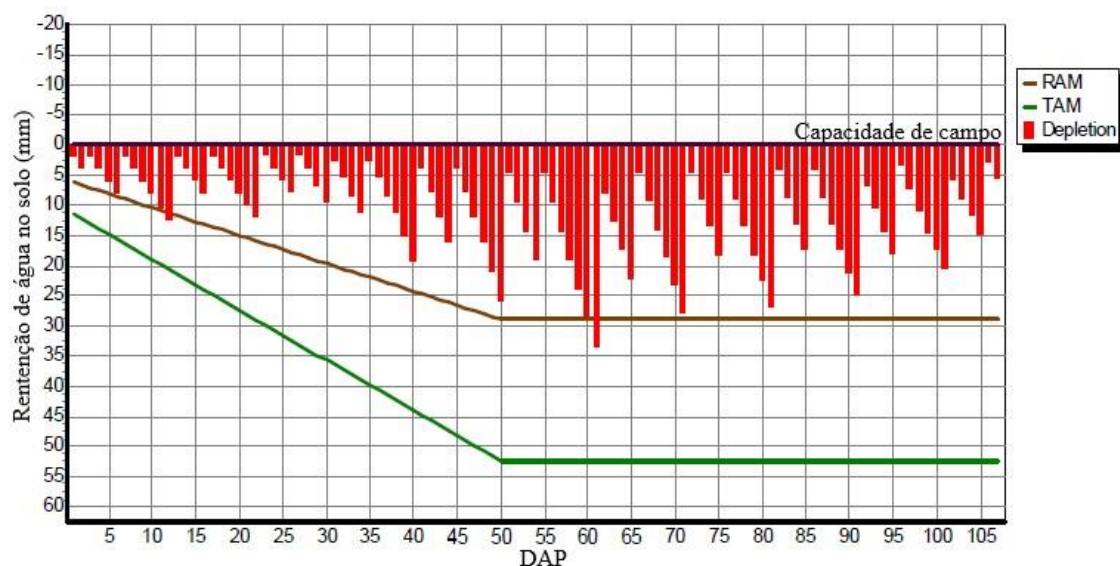


Figura 24- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).

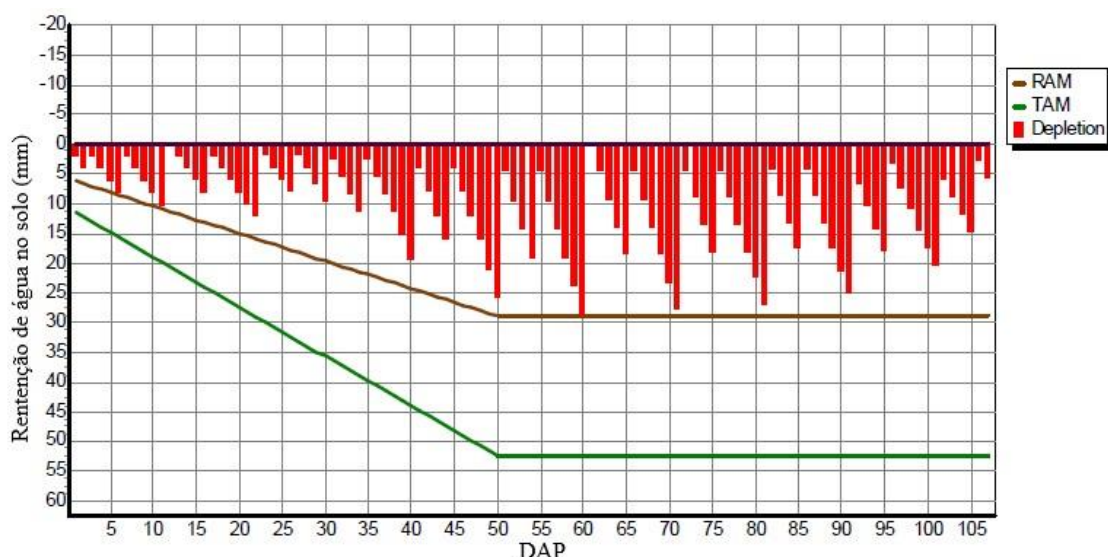


Figura 25- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).

O que denota a importância da aplicação da irrigação para elevar o rendimento da cultura quando possível, evitando perdas no mesmo no período chuvoso e sendo indispensável para o período seco, garantindo a produção e conseqüente segurança alimentar.

4.3.2 Mossoró: Cambissolos para o ciclo 2 da cultura do milho

Diferente do primeiro ciclo da cultura, no segundo ciclo, percebe-se, claramente, a necessidade de irrigação, pois a fase de maior exigência hídrica da cultura não será suprida com a precipitação efetiva histórica.

Tabela 18- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio no mês de maio em Mossoró-RN (ciclo 2).

Mês	Decêndio (dias)	Fase	Kc	Etc (mm/dia)	Etc (mm/dec)	PRECe _{eff} (mm/dec)	Nec. Irr (mm/dec)
MAI	2	Inicial	0,40	1,63	1,60	2,80	1,60
MAI	3	Inicial	0,40	1,63	18,00	23,10	0,00
JUN	1	Inicial	0,40	1,64	16,40	17,90	0,00
JUN	2	Des. Vegetativo	0,44	1,83	18,30	12,70	5,60
JUN	3	Des. Vegetativo	0,71	3,02	30,20	11,60	18,60
JUL	1	Floração	0,99	4,39	43,90	11,30	32,60
JUL	2	Floração	1,07	4,93	49,30	10,00	39,40

JUL	3	Floração	1,07	5,28	58,00	7,40	50,60
AGO	1	Floração	1,07	5,62	56,20	4,20	51,90
AGO	2	Mat. Fisiológica	1,00	5,59	55,90	1,60	54,30
AGO	3	Mat. Fisiológica	0,81	4,70	51,70	1,40	50,40
SET	1	Mat. Fisiológica	0,67	4,05	16,20	0,60	15,50
TOTAL					415,80	104,50	320,50

*Etc – evapotranspiração da cultura; nec.Irr – necessidade de irrigação.

Com o plantio se estendendo para o final da quadra chuvosa, verifica-se um aumento das necessidades hídricas da cultura (ETc) atingindo 415,80 mm com PRECe_{eff} não satisfazendo a demanda evapotranspirativa (104,5 mm) distribuídos apenas na fase inicial da cultura. Neste caso, é imprescindível a irrigação da cultura para compensar a produção quando o ciclo compreende os meses de maio até setembro. É importante destacar que, o déficit maior ocorre no início da floração da cultura do milho e, a perda de rendimento no plantio de sequeiro chega a 77,3 %, inviabilizando a produção nestas condições.

Silva (2017) em estudo no Vale do rio São Francisco, concluiu que os períodos de plantio de maio a setembro apresentam em toda a bacia mais de 90% de áreas com déficit hídrico inviabilizando o cultivo do milho nessas áreas sem o uso da irrigação.

Deste modo, pode-se inferir que nestas condições de simulação da necessidade hídrica para a cultura do milho, deve haver planejamento para irrigação suplementar justamente para suprir a demanda hídrica da cultura a partir de 43 DAP, com o somatório de LB.Ir 406,8 mm e LL.Ir de 284,8 mm concentrando-se principalmente na floração - período mais sensível do milho ao déficit hídrico (Tabela 19).

Almeida et al., (2017) testou a irrigação suplementar para a cultura do milho em dourados (ms) e, encontrou maiores produtividades de grãos e maior eficiência de uso da água em relação ao cultivo em sequeiro. Os autores recomendam que o manejo da irrigação pode ser com base na evapotranspiração da cultura ou, ainda, com sensores de umidade do solo.

Tabela 19- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos na região de Mossoró-RN (ciclo 2).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Ir (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Ir (mm)	Fluxo (L.s ⁻¹ ha ⁻¹)
01/jul	43	Des. Vegetativo	0,0	1,00	100	62	29,10	0	0	41,50	0,11
11/jul	53	Floração	0,0	1,00	100	63	33,00	0	0	47,20	0,55
20/jul	62	Floração	0,0	1,00	100	63	33,20	0	0	47,50	0,61
28/jul	70	Floração	0,0	1,00	100	63	32,90	0	0	47,00	0,68

03/ago	76	Floração	2,7	1,00	100	57	30,00	0	0	42,90	0,83
09/ago	82	Floração	0,0	1,00	100	59	31,10	0	0	44,40	0,86
15/ago	88	Mat. Fisiológica	0,0	1,00	100	62	32,60	0	0	46,50	0,90
21/ago	94	Mat. Fisiológica	0,0	1,00	100	60	31,70	0	0	45,20	0,87
28/ago	101	Mat. Fisiológica	0,0	1,00	100	59	31,20	0	0	44,60	0,74
04/set	fim	Mat. Fisiológica	0,0	1,00	0	48					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Irr- Lâmina líquida e bruta de irrigação.

As Figuras 26 e 27 descrevem a programação de irrigação, sendo a primeira o comportamento da depleção e retenção de água no Cambissolo sem o uso de irrigação, apresentando prejuízos a partir do dia 43 DAP, onde a água no solo infiltrou a profundidade abaixo da água facilmente disponível (RAM) o que gera gasto de energia e queda no rendimento da cultura, consequentemente.

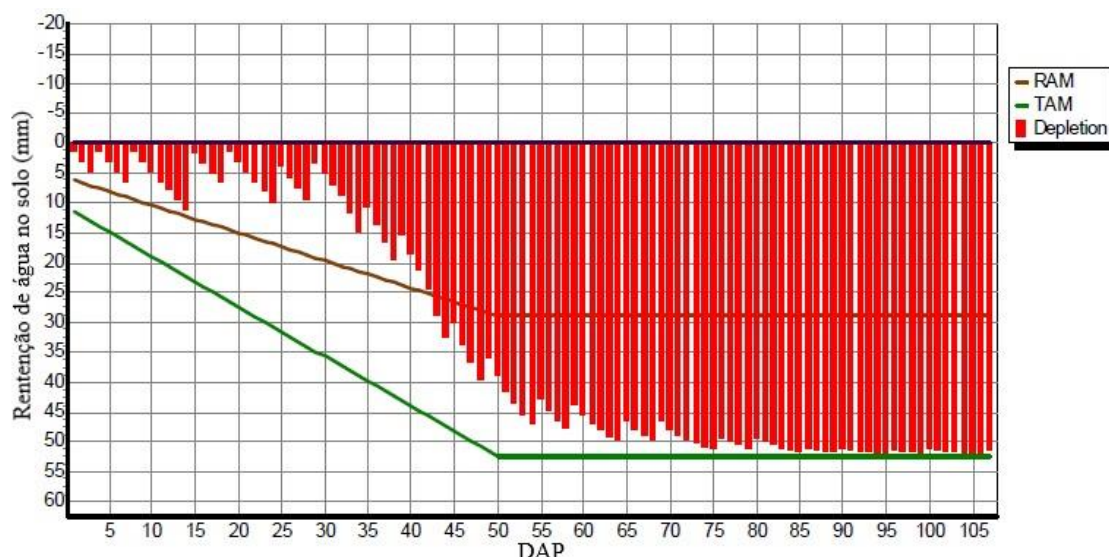


Figura 26- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).

Nota-se que a cultura teria um crescimento e desenvolvimento adequado até 45 DAP, sendo a partir daí gravemente prejudicada pela escassez hídrica, situação comumente apresentada nas condições de plantio em períodos chuvosos muito abaixo da média, onde a ocorrência do estresse hídrico provoca pendoamento antecipado mantendo as plantas com porte muito abaixo do ideal, sendo este o período mais sensível ao déficit hídrico (Figura 26) (BERGAMASCHI *et al.*, 2006). Demonstrando a importância da irrigação suplementar para a segurança da lavoura (Figura 27).

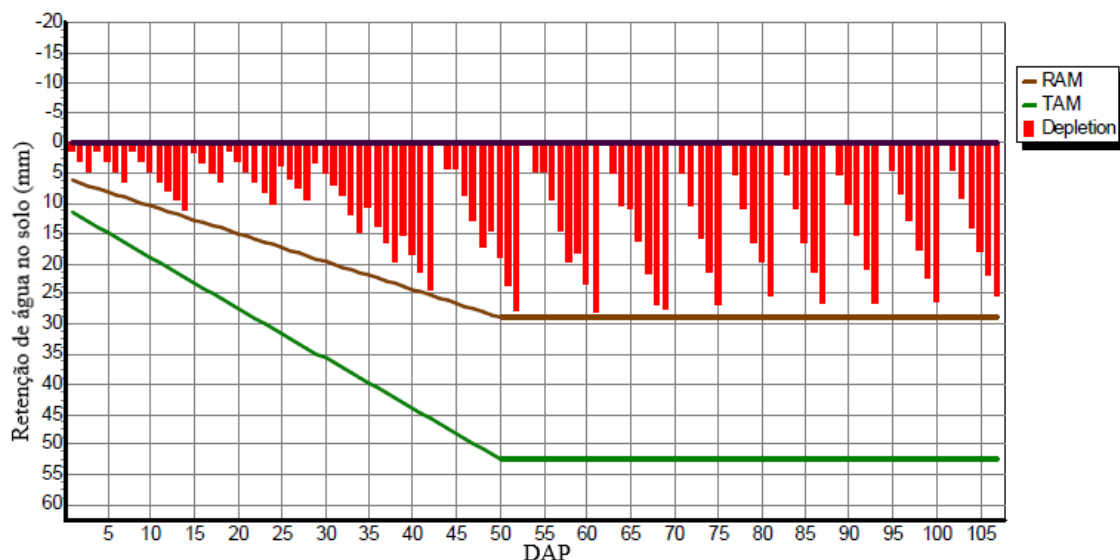


Figura 27- Comportamento da água no Cambissolo em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).

4.3.3 Mossoró: Latossolos para o ciclo 1 da cultura do milho

Para o latossolo, as necessidades hídricas da cultura são as mesmas do cambissolo descrito na Tabela 16, já que esta considera apenas os dados climatológicos (precipitação média de 379,8 mm e PRECe_{eff} igual a 441,4 mm).

A Figura 28 abaixo demonstra graficamente a exigência da cultura para o primeiro ciclo.

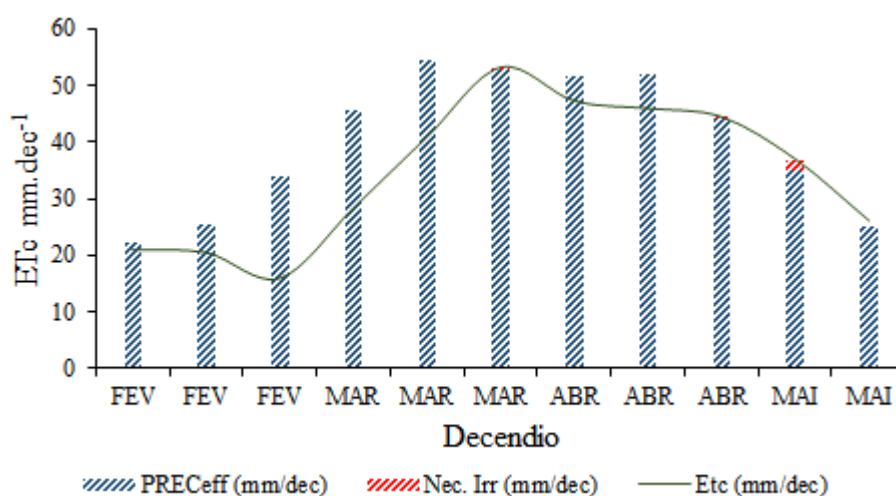


Figura 28- Necessidades hídricas da cultura ciclo 1 em Mossoró-RN.

Em relação a programação de irrigação, nota-se que é necessário maior número de irrigações, devido a menor CAD dos Latossolos (84 mm m⁻¹) em relação ao Cambissolo. A lâmina bruta e líquida para cultura é de 231,3 mm e 162,1 mm consequentemente (Tabela 20).

Tabela 20- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Mossoró-RN (ciclo 1).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Ir (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Ir (mm)	Fluxo (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
06/fev	6	Inicial	0	1,00	100	68	8,4	0	0	12	0,23
10/fev	10	Inicial	0	1,00	100	56	8,4	0	0	12	0,35
12/mar	40	Des. Vegetativo	0	1,00	100	55	19,5	0	0	27,8	0,11
22/mar	50	Des. Vegetativo	0	1,00	100	62	26,0	0	0	37,1	0,43
31/mar	59	Floração	0	1,00	100	57	24,1	0	0	34,4	0,44
11/abr	70	Floração	0	1,00	100	56	23,4	0	0	33,4	0,35
22/abr	81	Floração	0	1,00	100	65	27,2	0	0	38,8	0,41
02/mai	91	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	60	25,1	0	0	35,8	0,41
19/mai	fim	Mat. Fisiológica	0	1,00	0	14					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Ir- Lâmina líquida e bruta de irrigação.

O comportamento da retenção de água no solo em milímetros é detalhado nas Figuras 29 e 30, sendo a primeira sem irrigação. Diferente do Cambissolo o cultivo de sequeiro nos Latossolos já apresentou queda no rendimento, computando 0,7% no cultivo de sequeiro, isto devido a ocorrência de infiltração superior de água no solo a partir do DAP 50, onde a depleção chega ao nível que causa estresse hídrico na cultura, 62 e 65% na fase de floração, superando o déficit máximo permitido para o milho que é 55% da CAD segundo Allen *et al.* (1998).

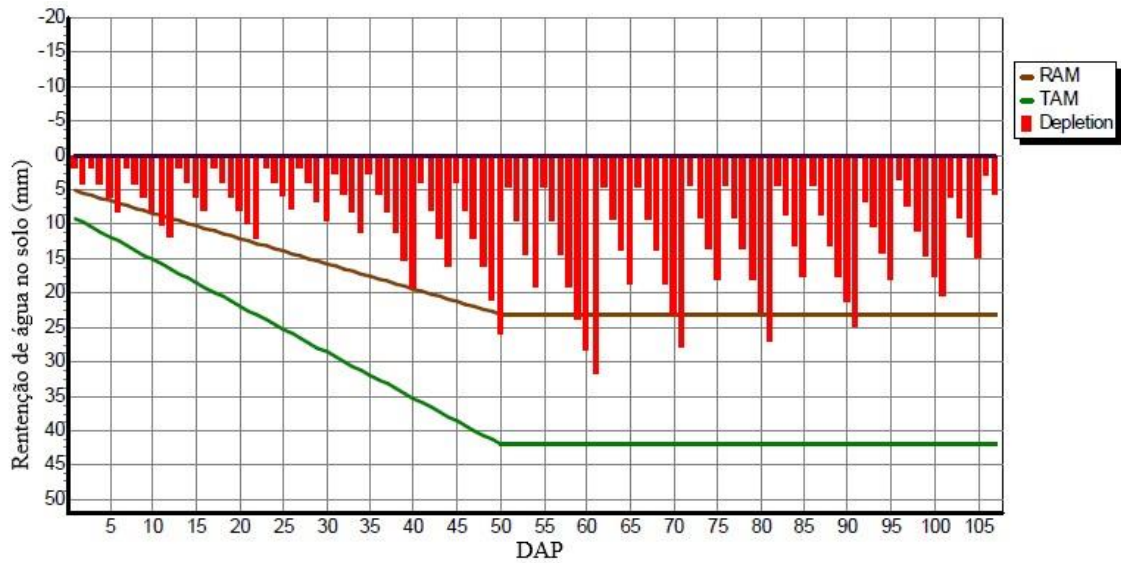


Figura 29- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).

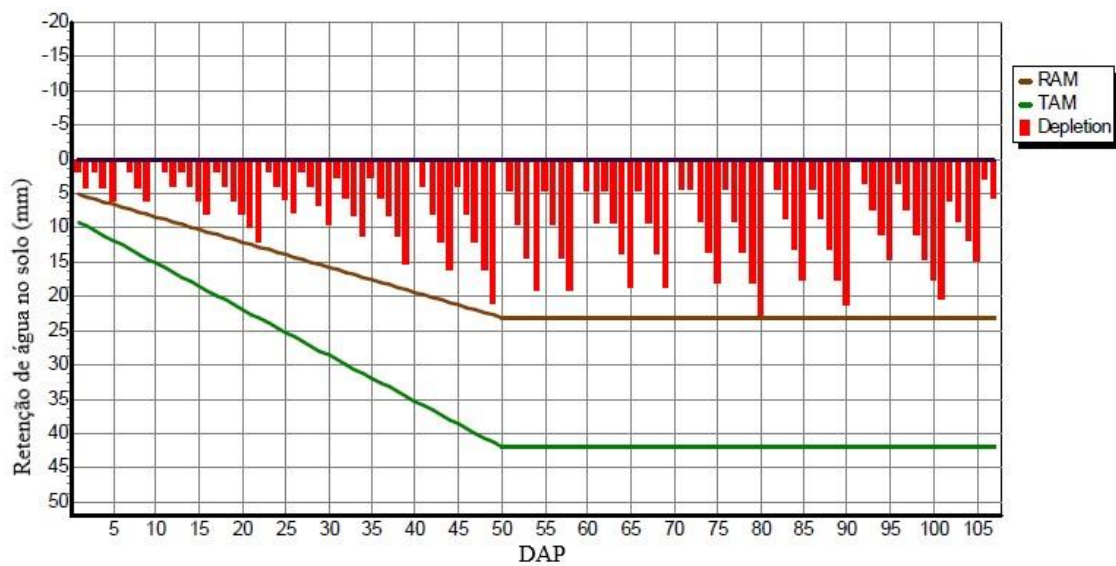


Figura 30- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 1).

4.3.4 Mossoró: Latossolos para o ciclo 2 da cultura do milho

Em relação ao requerimento de irrigação para o ciclo 2, em Mossoró, considerando o solo Latossolo, verificou-se que, no primeiro decêndio do mês de junho, a PRE_{Ceff} decaiu até o fim do ciclo da cultura que vai até o setembro (Figura 31), a adoção do regime irrigado é imprescindível visto que não haverá produção sem lâmina

suplementar pois a redução no rendimento é de 80,5%, que significa um percentual de perda superior ao ocorrido no mesmo período para o Cambissolo.

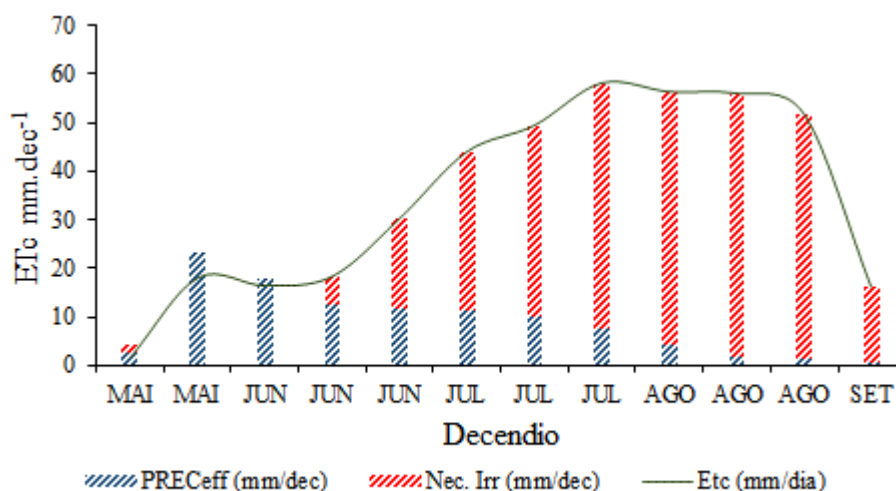


Figura 31- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio no mês de maio em Mossoró-RN (ciclo 2)

Para o segundo ciclo (maio) da cultura do milho cultivado em solo latossolo, a necessidade hídrica total da cultura é de 415,80 mm com PRECeff computada de apenas 104,5 mm (Tabela 18). Em data distinta, Junior *et al.* (2018) determinaram em campo, por lisimetria, as necessidades hídricas da cultura (ETc) do milho em Mossoró com plantio no mês de setembro sob irrigação (época seca), um total de 529 mm, com média de 5 mm.dia⁻¹. Já Oliveira Santos *et al.* (2014) estudaram os coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde, com plantio no mês de novembro e irrigação por gotejamento, constatou que a evapotranspiração total da cultura (ETc) do milho verde foi de 300,54 mm para um ciclo de 77 dias mostrando que os meses de plantio fazem total diferença quanto a necessidade hídrica da cultura.

Sales *et al.* (2016) obtiveram planejamento satisfatório da irrigação suplementar em Latossolos, com CAD semelhante no estado do Espírito Santo, utilizando cropwat, semeando no primeiro de setembro e, registrarm 95% da evapotranspiração com variação entre 506,7 a 548 mm, e com taxa máxima de evapotranspiração de 560 mm. O planejamento de irrigação para a condição no presente estudo está disponível na Tabela 21.

Tabela 21- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Mossoró-RN (ciclo 2).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Ir (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Ir (mm)	Fluxo (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
01/jun	13	Inicial	0	1,00	100	57	9,8	0	0	14,00	0,12
26/jun	38	Des. Vegetativo	0	1,00	100	59	19,9	0	0	28,40	0,13
04/jul	46	Des. Vegetativo	0	1,00	100	57	22,6	0	0	32,30	0,47
11/jul	53	Floração	0	1,00	100	58	24,2	0	0	34,60	0,57
18/jul	60	Floração	0	1,00	100	56	23,4	0	0	33,40	0,55
24/jul	66	Floração	0	1,00	100	63	26,3	0	0	37,60	0,73
30/jul	72	Floração	0	1,00	100	64	27,0	0	0	38,60	0,74
04/ago	77	Floração	0	1,00	100	60	25,1	0	0	35,90	0,83
09/ago	82	Floração	0	1,00	100	61	25,4	0	0	36,30	0,84
14/ago	87	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	64	27,0	0	0	38,50	0,89
19/ago	92	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	64	26,9	0	0	38,50	0,89
24/ago	97	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	56	23,5	0	0	33,60	0,78
30/ago	103	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	65	27,4	0	0	39,10	0,75
04/set	fim	Mat. Fisiológica	0	1,00	0	38					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Irr– Lâmina líquida e bruta de irrigação.

O comportamento da retenção de água no solo é detalhado nas figuras 32 e 33, a primeira é a condição natural do solo sem irrigação, sendo possível o cultivo com rendimento satisfatório até o 40 DAP em condições de sequeiro, com leve perda de rendimento.

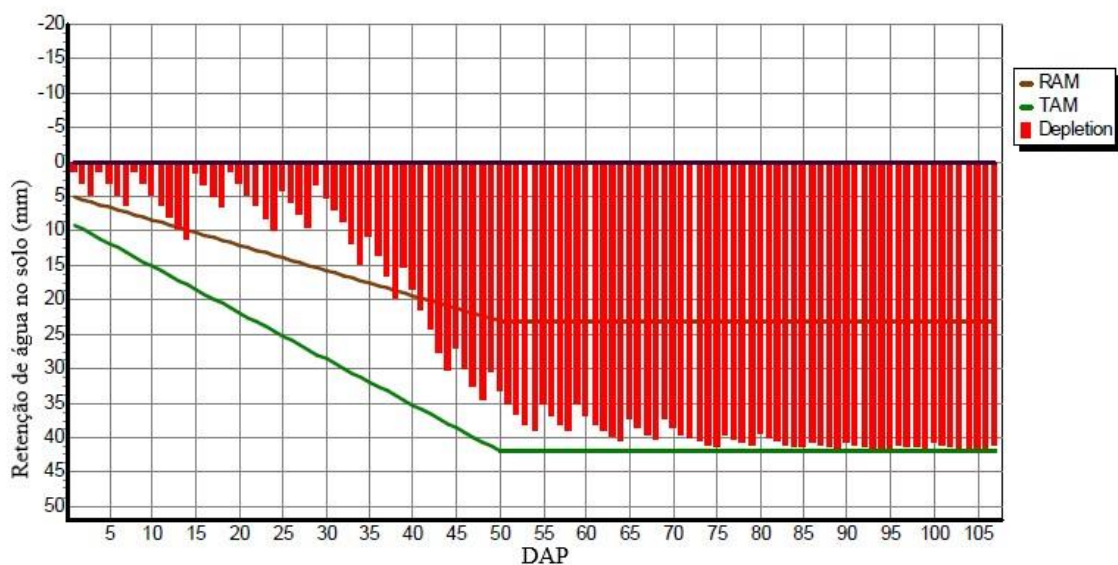


Figura 32- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).

Entretanto no 13 DAP é aconselhável a adoção do cronograma de irrigação com lâminas expressivas somente após 46 dias que é o período de maior sensibilidade da cultura, excluindo o risco de perda da lavoura por déficit hídrico.

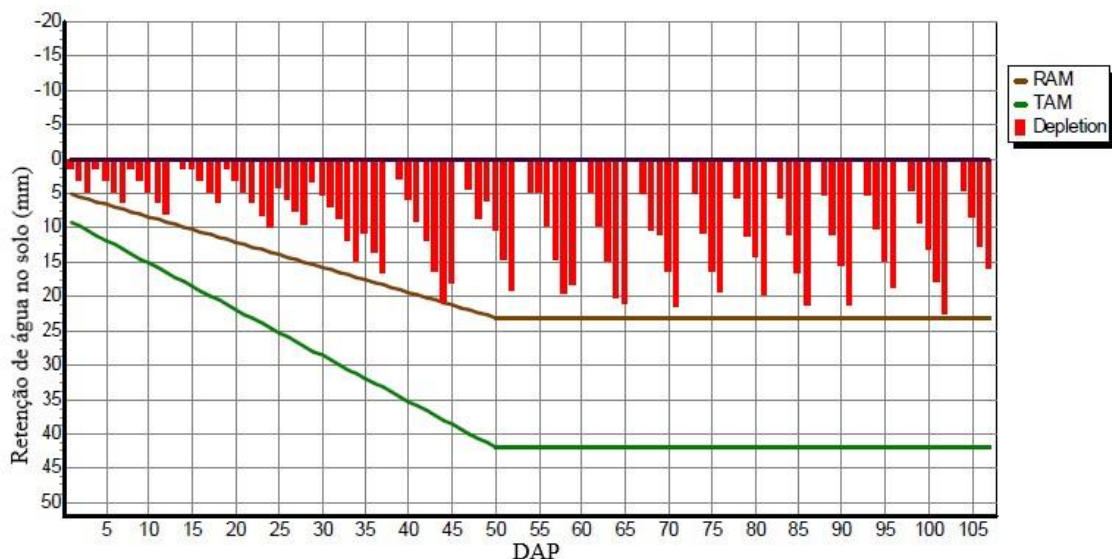


Figura 33- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Mossoró-RN para o período (ciclo 2).

4.3.5 Apodi: Cambissolos para o ciclo 1 da cultura do milho

Com relação as necessidades hídricas do milho para o cambissolo, registrou-se um total de 435,5 mm, sendo superior ao PRECe_{eff} média do período (405,5 mm) (Tabela 22). Nessa condição a adoção de irrigação suplementar seria no início da floração da cultura, mesmo em sequeiro a produção será satisfatória pois a queda rendimento computada é de apenas 1%.

Tabela 22- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio em Cambissolos no mês de fevereiro em Apodi-RN (ciclo 1).

Mês	Decendio (dias)	Fase	Kc	Etc (mm/dia)	Etc (mm/dec)	PRECeFF (mm/dec)	Nec. Irr (mm/dec)
FEV	1	Inicial	0,56	3,13	31,3	24,8	6,6
FEV	2	Inicial	0,56	3,05	30,5	28,4	2,1
FEV	3	Des. Vegetativo	0,56	2,94	23,5	33,4	0
MAR	1	Des. Vegetativo	0,72	3,57	35,7	39,9	0
MAR	2	Des. Vegetativo	0,95	4,55	45,5	45,5	0,1
MAR	3	Floração	1,11	5,09	56,0	45,3	10,7
ABR	1	Floração	1,11	4,91	49,1	46,4	2,7
ABR	2	Floração	1,11	4,72	47,2	47,8	0
ABR	3	Mat. Fisiológica	1,09	4,6	46,0	40,4	5,6
MAI	1	Mat. Fisiológica	0,97	4,01	40,1	31,4	8,8
MAI	2	Mat. Fisiológica	0,82	3,37	30,4	22,2	5,7
TOTAL					435,5	405,5	42,3

*Etc – evapotranspiração da cultura; nec.Irr – necessidade de irrigação.

O planejamento de irrigação para a condição referida está disposto na Tabela 23, com a maior lâmina aplicada de 43,4 mm no DAP 60, devido à ausência de precipitação no período.

Tabela 23- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos na região de Apodi-RN (ciclo 1).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Irr (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Irr (mm)	Fluxo (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
05/fev	5	Inicial	0	1,00	100	64	9,4	0	0	13,4	0,31
10/fev	10	Inicial	0	1,00	100	66	12,5	0	0	17,9	0,41
22/fev	22	Inicial	0	1,00	100	62	18,1	0	0	25,8	0,25
01/abr	60	Floração	0	1,00	100	58	30,4	0	0	43,4	0,13
12/abr	71	Floração	0	1,00	100	55	29,1	0	0	41,6	0,44
19/mai	fim		0	1,00	0	30					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Irr – Lâmina líquida e bruta de irrigação.

O comportamento do movimento de água no perfil do solo e área efetiva das raízes da cultura estão dispostos nas Figuras 34 e 35, sendo a primeira em condição sem irrigação e a segunda com o planejamento adotando a irrigação quando o nível chega ao fator crítico de umidade (abaixo da água facilmente disponível – RAM) mantendo o solo na capacidade de campo.

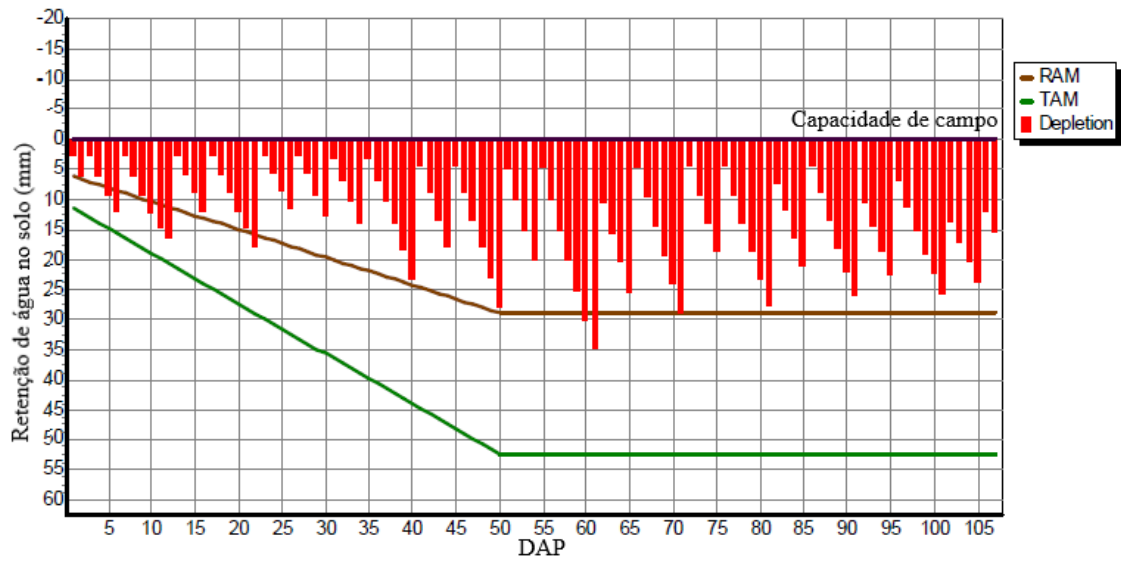


Figura 34- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 1).

Ocorre déficit já a partir de 5 DAP e significativamente no 60 DAP (Figura 34), considerando-se ano favorável para o plantio de milho nesses solos. O software recomenda a irrigação suplementar, com aplicações em 6 dias principalmente em Fevereiro e abril, no início da floração, com lâmina bruta aplicadas acima de 40 mm, mantendo o conteúdo de água no solo dentro do limite ótimo para a cutura (Figura 35)

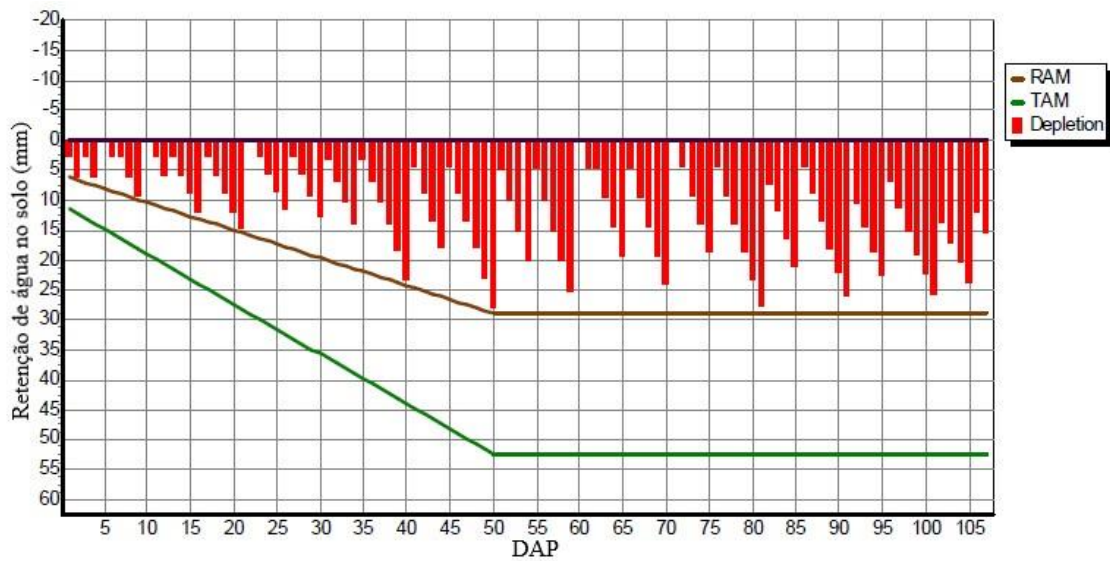


Figura 35- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 1).

4.3.6 Apodi: Cambissolos para o ciclo 2 da cultura do milho

A necessidade hídrica da cultura do milho para o segundo ciclo consecutivo com o plantio realizado em maio, foi de 478,4 mm com PRECeff de apenas 97,5 mm, resultando em déficit hídrico de 383,2 mm que pode ser suprido com a irrigação desde que o produtor tenha uma fonte de água. Logo contata-se que não há produção sem a adoção de irrigação, pois as perdas chegam 82,6 % (Tabela 24). Bahrún *et al.* (2019), em estudo semelhante, todavia no hemisfério norte, determinou a ETc de 347,3 mm/ciclo do milho com PRECeff de 18,4 mm, e lâmina de irrigação requerida de 328,5 mm, enfatizando o uso necessário da irrigação.

Tabela 24- Necessidades hídricas para a cultura do milho para plantio em Cambissolos no mês de maio em Apodi-RN (ciclo 2).

Mês	Decendio (dias)	Fase	Kc	Etc (mm/dia)	Etc (mm/dec)	PRECeff (mm/dec)	Nec. Irr (mm/dec)
MAI	2	Inicial	0,56	2,30	2,3	2,5	2,3
MAI	3	Inicial	0,56	2,32	25,6	21	4,6
JUN	1	Inicial	0,56	2,35	23,5	17	6,4
JUN	2	Des. Vegetativo	0,60	2,52	25,2	12,7	12,5
JUN	3	Des. Vegetativo	0,81	3,59	35,9	11,4	24,5
JUL	1	Floração	1,04	4,81	48,1	10,4	37,7
JUL	2	Floração	1,11	5,33	53,3	8,8	44,5
JUL	3	Floração	1,11	5,71	62,9	6,6	56,3
AGO	1	Floração	1,11	6,10	61,0	3,9	57,1
AGO	2	Mat. Fisiológica	1,06	6,17	61,7	1,6	60,1
AGO	3	Mat. Fisiológica	0,90	5,41	59,5	1,3	58,2
SET	1	Mat. Fisiológica	0,78	4,87	19,5	0,4	18,9
TOTAL					478,4	97,5	383,2

*Etc – evapotranspiração da cultura; nec.Irr – necessidade de irrigação.

A lâmina bruta total a ser aplicada é de 547,3 mm para permitir liquidez de 381,1 mm, com maior volume aplicado na floração. Corroborando com Alves, (2013) em plantio em meados de abril em Cambissolo da Chapada de Apodi, constatou que evapotranspiração total da cultura do milho (variedade Potiguar), da semeadura ao estágio final, de senescência, foi de 480,81 mm para um ciclo de 107 dias, com valores médio, mínimo e máximo de 4,85, 2,41 e 8,12 mm, dando segurança para o uso de simulações

para o período e solo. Enquanto Junior *et al.* (2018) realizaram pesquisa no mesmo tipo de solo, mas com semeadura no início de setembro, registraram ETc total para a cultura do milho de 632 mm, o que é esperado para a época mais seca, com média de 5,8 mm.dia⁻¹. O cronograma de irrigação gerado para o ciclo 2 em Cambissolos que compreende a porção da chapada no município de Apodi está exposto na Tabela 25.

Tabela 25- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Cambissolos na região de Apodi-RN (ciclo 2).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Ir (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Ir (mm)	Fluxo (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
26/mai	7	Inicial	0	1,00	100	57	9,30	0	0	13,3	0,22
31/mai	12	Inicial	0	1,00	100	56	11,6	0	0	16,6	0,38
21/jun	33	Des. Vegetativo	0	1,00	100	58	22,3	0	0	31,9	0,18
01/jul	43	Des. Vegetativo	0	1,00	100	57	26,4	0	0	37,7	0,44
10/jul	52	Floração	0	1,00	100	61	32,0	0	0	45,7	0,59
18/jul	60	Floração	0	1,00	100	60	31,6	0	0	45,2	0,65
24/jul	66	Floração	0	1,00	100	56	29,4	0	0	42,0	0,81
30/jul	72	Floração	0	1,00	100	57	30,2	0	0	43,1	0,83
05/ago	78	Floração	0	1,00	100	64	33,8	0	0	48,3	0,93
11/ago	84	Floração	0	1,00	100	65	34,3	0	0	48,9	0,94
16/ago	89	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	57	29,9	0	0	42,7	0,99
21/ago	94	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	57	30,1	0	0	43,0	1,00
27/ago	100	Mat. Fisiológica	0,8	1,00	100	59	30,9	0	0	44,1	0,85
02/set	106	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	60	31,4	0	0	44,8	0,86
04/set	fim	Mat. Fisiológica	0	1,00	0	9					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Ir– Lâmina líquida e bruta de irrigação.

Nesta condição de sequeiro, a depleção de água no solo chega a 100%, impossibilitando a conclusão do ciclo da cultura, acarretando total prejuízo para os agricultores que venham a insistir no plantio no fim de do mês de maio mesmo em anos com precipitações pluviométricas em torno da média (Figura 36). Já a Figura 37, expõe o cronograma de irrigação ao longo do ciclo, com reposição de água até a capacidade de campo do solo, evitando o estresse hídrico durante o ciclo total da cultura.

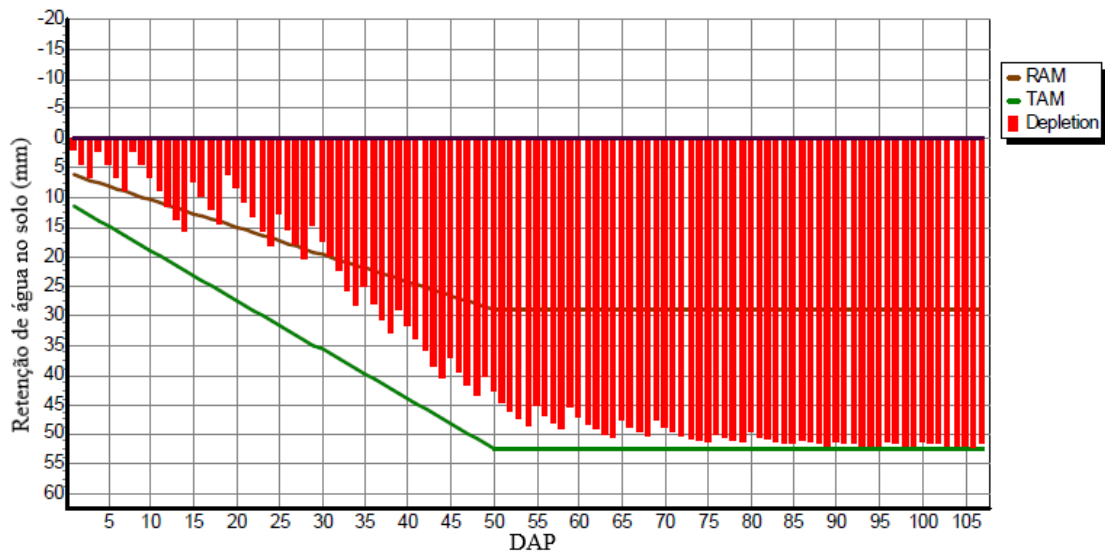


Figura 36- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 2).

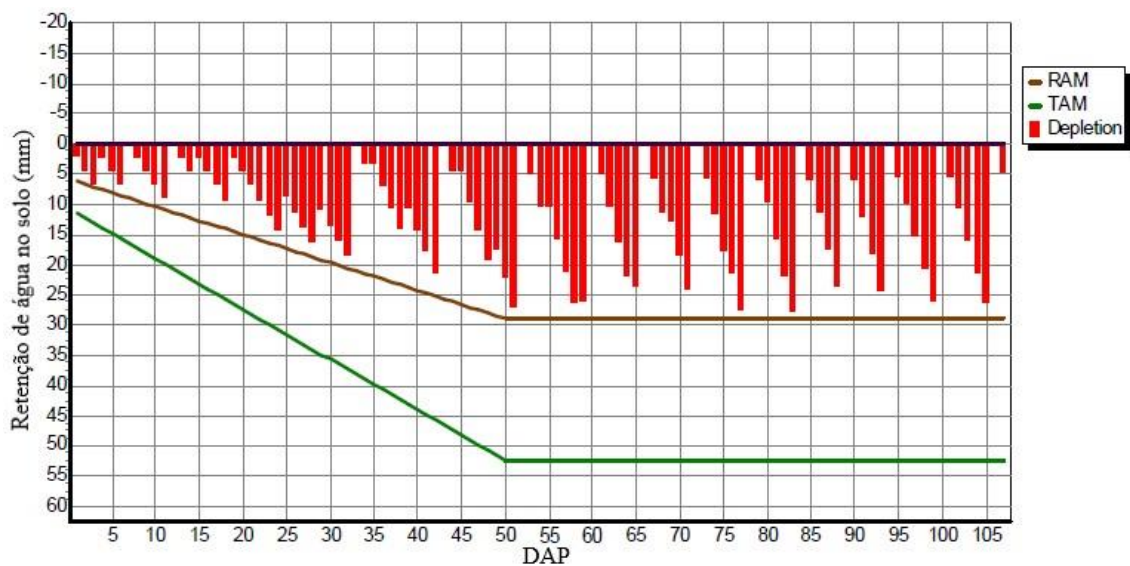


Figura 37- Comportamento da água nos Cambissolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 2).

4.3.7 Apodi: Latossolos para o ciclo 1 da cultura do milho

Para o ciclo 1, a necessidade hídrica da cultura do milho em solos latossolo de Apodi, apesar do plantio no início da quadra chuvosa, ocorre a necessidade de irrigação para evitar perdas na produção, podendo esta chegar a 2,5%, superior aos Cambissolos,

devido a drenagem mais eficiente em Latossolos com menor retenção de água, entretanto essa condição não invalida o cultivo de sequeiro (Figura 38).

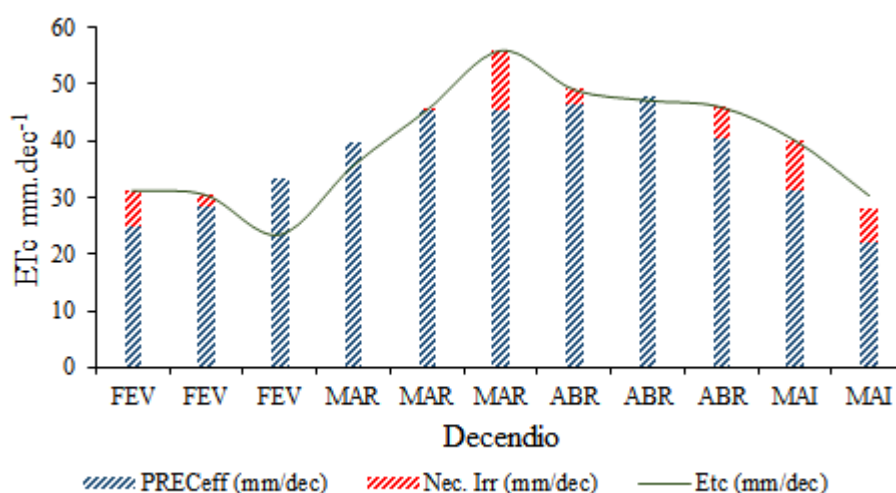


Figura 38- Necessidades hídricas da cultura e requerimento de irrigação para o ciclo 1 em Apodi-RN

Recomenda-se a irrigação suplementar mesmo no período inicial de cultivo em fevereiro e em março (Tabela 26). A lâmina total 288,6 mm para promover lâmina líquida de 202,1 mm com maior volume para o DAP 59 início do florescimento da cultura.

Tabela 26- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Apodi-RN (ciclo 1).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Ir (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Irr (mm)	Fluxo (l.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
02/fev	2	Inicial	0	1,00	100	64	6,3	0	0	9,00	0,52
04/fev	4	Inicial	0	1,00	100	57	6,3	0	0	9,00	0,52
09/fev	9	Inicial	0	1,00	100	65	9,4	0	0	13,4	0,31
12/fev	12	Inicial	0	1,00	100	56	9,2	0	0	13,2	0,51
16/fev	16	Inicial	0	1,00	100	64	12,2	0	0	17,4	0,50
20/fev	20	Inicial	0	1,00	100	56	12,2	0	0	17,4	0,50
12/mar	40	Des. Vegetativo	0	1,00	100	66	23,4	0	0	33,4	0,19
21/mar	49	Des. Vegetativo	0	1,00	100	56	23,3	0	0	33,3	0,43
31/mar	59	Floração	0	1,00	100	61	25,5	0	0	36,4	0,42
11/abr	70	Floração	0	1,00	100	58	24,4	0	0	34,8	0,37
21/abr	80	Floração	0	1,00	100	56	23,5	0	0	33,5	0,39
02/mai	91	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	63	26,4	0	0	37,8	0,40
19/mai	fim	Mat. Fisiológica	0	1,00	0	29					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Irr– Lâmina líquida e bruta de irrigação.

As Figuras 39 e 40 representam o planejamento de irrigação, a primeira expõe a retenção de água sem reposição (sequeiro), onde evidencia a necessidade de irrigação suplementar visto que ocorre inúmeros dias com déficit hídrico, enquanto que a segunda exhibe o cronograma de irrigação ao longo do ciclo repondo água até a capacidade de campo do solo, mantendo o solo na umidade ótima para o cultivo.

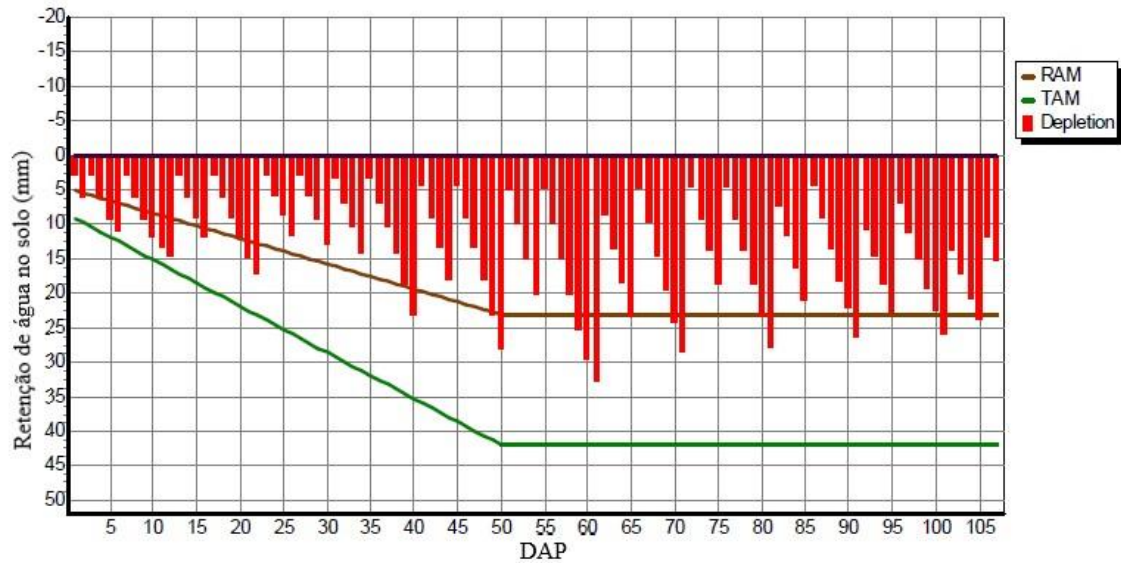


Figura 39- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 1).

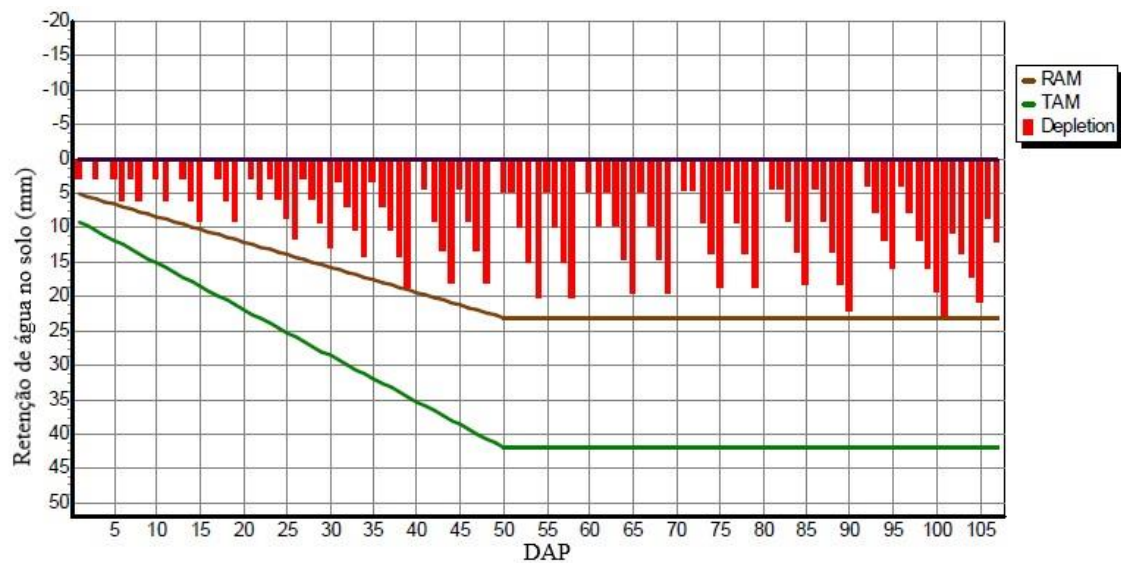


Figura 40- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 1).

4.3.8 Apodi Latossolos para o ciclo 2 da cultura do milho

Os requisitos de água para irrigação determinado para o período foram de 478,4 e 97,5 mm para ETc e PRECeff, respectivamente, conferindo déficit hídrico de 383,3 mm a ser suprido por irrigações (Tabela 24). A perda de rendimento é elevada visto que o solo apresenta textura tendendo a arenosa chegando a 85,3%, inviabilizando o cultivo de sequeiro (Figura 41).

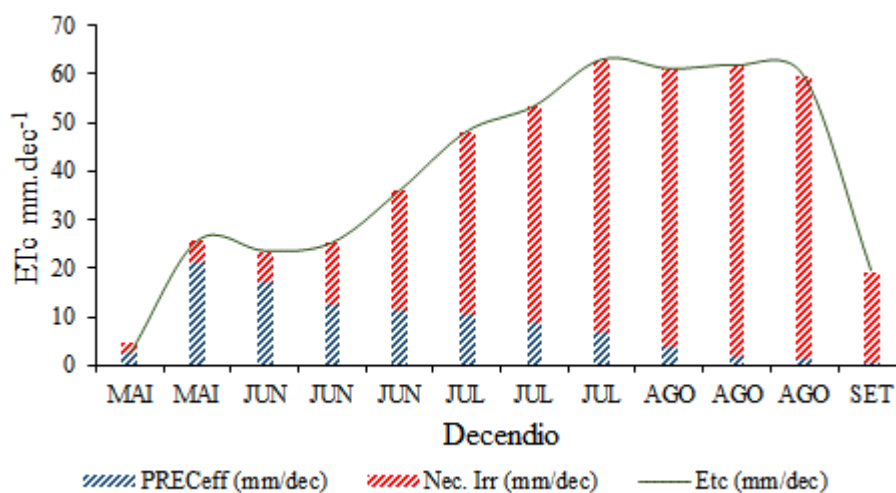


Figura 41- Necessidades hídricas da cultura e requerimento de irrigação para o ciclo 2 em Apodi-RN

Recomenda-se, portanto, a adoção de irrigação a partir do segundo decêndio de maio para obter produção satisfatória, conforme planejamento de irrigação para estes solos compreendido dentro área de alcance da estação do INMET disponível na Tabela 27.

Tabela 27- Planejamento de irrigação da cultura do milho em Latossolos na região de Apodi-RN (ciclo 2).

Data	Dia	Fase	PREC (mm)	Ks	Eta (%)	Depleção (%)	LL.Ir (mm)	Deficit (mm)	Perdas (mm)	LB. Ir (mm)	Fluxo (L.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
22/mai	3	Inicial	0	1,00	100	67	7,0	0	0	9,9	0,38
25/mai	6	Inicial	0	1,00	100	56	7,0	0	0	10,0	0,38
30/mai	11	Inicial	0	1,00	100	59	9,3	0	0	13,3	0,31
12/jun	24	Inicial	0	1,00	100	59	14,4	0	0	20,6	0,18
22/jun	34	Des. Vegetativo	0	1,00	100	62	19,4	0	0	27,7	0,32
30/jun	42	Des. Vegetativo	0	1,00	100	59	21,6	0	0	30,9	0,45
08/jul	50	Des. Vegetativo	0	1,00	100	61	25,5	0	0	36,4	0,53
14/jul	56	Floração	0	1,00	100	61	25,4	0	0	36,3	0,70
20/jul	62	Floração	0	1,00	100	63	26,5	0	0	37,8	0,73
25/jul	67	Floração	0	1,00	100	58	24,5	0	0	34,9	0,81
30/jul	72	Floração	0	1,00	100	58	24,5	0	0	34,9	0,81
04/ago	77	Floração	0	1,00	100	66	27,7	0	0	39,6	0,92
09/ago	82	Floração	0	1,00	100	67	28,1	0	0	40,1	0,93
13/ago	86	Mat. Fisiológica	1	1,00	100	56	23,7	0	0	33,8	0,98
17/ago	90	Mat. Fisiológica	1	1,00	100	56	23,7	0	0	33,9	0,98
21/ago	94	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	57	23,9	0	0	34,2	0,99
26/ago	99	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	63	26,3	0	0	37,5	0,87
31/ago	104	Mat. Fisiológica	0	1,00	100	64	27,1	0	0	38,7	0,89
04/set	fim	Mat. Fisiológica	0	1,00	0	33					

*ks - coeficiente de estresse hídrico; LL e LB.Ir– Lâmina líquida e bruta de irrigação.

Os maiores volumes de água deverão ser aplicados nos 62, 77 e 28 DAP, todos compreendendo a fase de floração e enchimento dos grãos (kc médio). A lâmina total de irrigação a ser aplicada é de 550,5 mm para disponibilizar uma lâmina líquida de 385,6 mm.

O comportamento da infiltração de água no solo no período considerando apenas condições climáticas (sequeiro) e com adoção do cronograma de irrigação estão representados nas Figuras 42 e 43. Nota-se que na primeira, a cultura sofre estresse hídrico durante todo ciclo, o que impossibilita a produção satisfatória, enquanto na segunda condição simulada, é fornecida uma umidade ótima para desenvolvimento e crescimento do milho ao longo do ciclo no Latossolo, permitindo expressar seu potencial máximo produtivo em termos de conteúdo de água no solo.

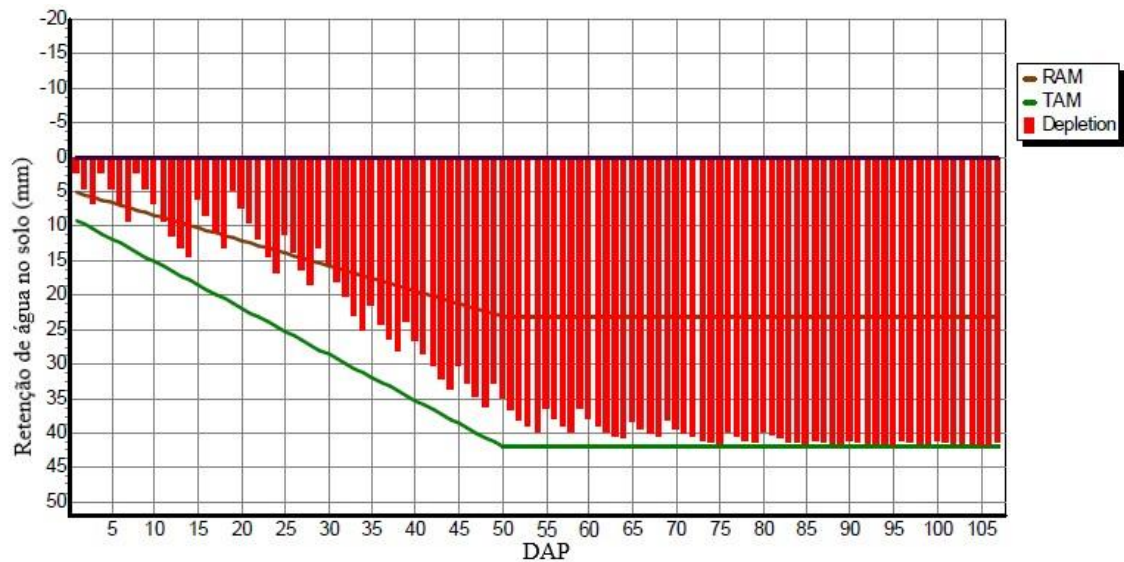


Figura 42- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho de sequeiro em Apodi-RN para o período (ciclo 2).

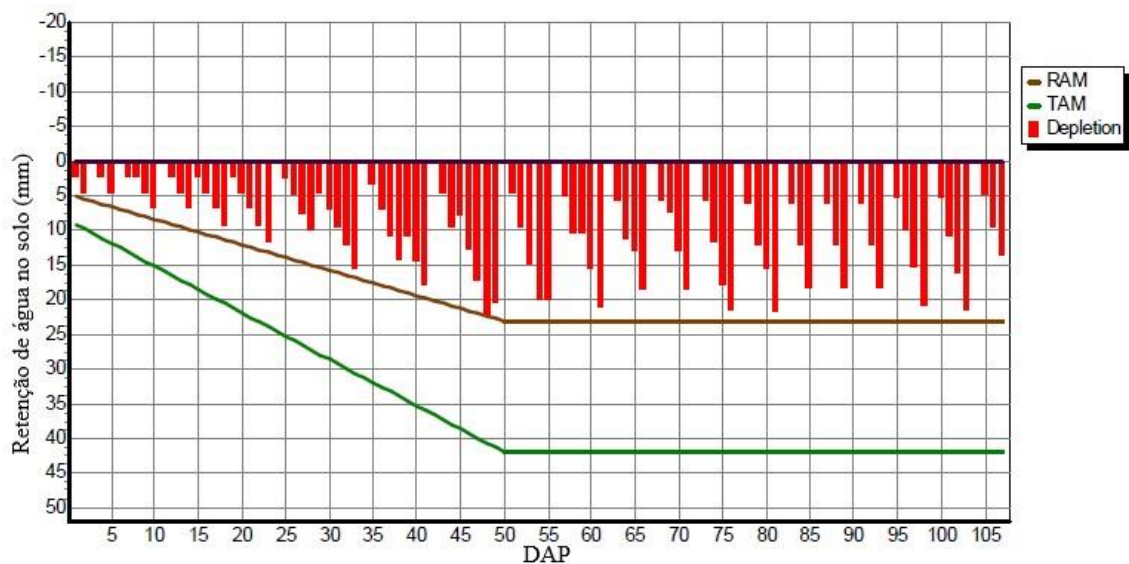


Figura 43- Comportamento da água nos Latossolos em plantio do milho com planejamento de irrigação suplementar em Apodi-RN para o período (ciclo 2).

Ressalta-se que este planejamento é para cultura de ciclo médio com previsão de colheita para 108 DAP, com coeficientes de cultivo ajustados via lisimetria para a região seguindo as metodologias da FAO, com finalidade de produção de grãos, entretanto pode-se usar com finalidade para milho verde, que a depender da cultura irá apresentar ótimo rendimento.

Em termos de eficiência do software utilizados nas simulações, diversos autores ainda hoje utilizam o modelo CROPWAT para simulações em diversas regiões ao redor do globo, o que comprova a segurança no uso do software. De acordo com Tsakmakis *et al.* (2018) em estudo de avaliação de impactos, constaram que o CROPWAT apresenta boa avaliação para as mudanças na estratégia de irrigação.

Os autores Nivesh *et al.* (2019) realizaram simulação usando CROPWAT, os resultados obtidos no estudo podem ser usados como guia por agricultores para selecionar a quantidade e a frequência da irrigação de água para as principais culturas em Odisha na Índia. De acordo com Zhou, H., & Zhi Zhao, W. (2019) o CROPWAT é uma alternativa confiável para orientar a tomada de decisão sobre a irrigação, no entanto, a análise da relação entre a produção agrícola e a programação da irrigação deve-se considerar a fertilidade do solo para melhorar a eficiência.

Logo os dados produzidos neste trabalho podem ser usados como guia nos projetos para planejamento da irrigação, determinando quanto e quando irrigar a cultura do milho nos meses de janeiro a setembro na região e condições estudada, tanto para agricultores familiares, como para plantio em grande escala.

O relatório das necessidades hídricas e planejamento da irrigação podem ser usados para o desenvolvimento econômico na região, como também no auxílio e planejamento de políticas públicas para uso eficiente da terra, além de subsidiar agências de crédito e financiamento da produção rural.

5 CONCLUSÃO

A imputação dos dados meteorológicos ausentes teve desempenho satisfatório com forte correlação com as normais disponibilizadas pelo INMET, enfatizando a confiabilidade das simulações.

No plantio do milho de sequeiro no ciclo 1 nos dois municípios estudados e em ambos os solos têm-se produção satisfatória, entretanto recomenda-se a irrigação suplementar, principalmente em Latossolos que é mais exigente na aplicação da irrigação.

Nas condições de Mossoró para segundo ciclo de cultivo em ambos os solos ocorreram déficit hídricos que resultaram em perdas de rendimentos do milho acima de 70%.

Em ambos Cambissolo e Latossolo, nas condições de Apodi há maior exigência da irrigação para manter o cultivo do milho economicamente rentável em relação a Mossoró.

As simulações foram eficientes ao ponto de aproximarem das necessidades hídricas para a cultura do milho feitas via lisimetria na região.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. T. E., GONÇALVES, C., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., TUCCI, M. L. S., & CASTRO, C. E. F. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas. Campinas: Instituto Agrônomo, 452 p. **Boletim IAC**, v. 200. 2014.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Rome: F.A.O., 1998. 300p. Irrigation and Drainage Paper 56.

ALMEIDA, A. C. S; BONIFÁCIO, J; PUSCH, M; OLIVEIRA, F, C; GESEINHOFF, L. O; BISCARO, G. A; ALMEIDA. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 1448-1457, 14 jun. 2017. INOVAGRI. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v11n300577>.

ALVES, A. S. Necessidades hídricas da cultura do milho sob irrigação suplementar nas condições edafoclimáticas da Chapada do Apodi. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Mossoró-RN, Universidade Federal Rural do Semiárido–UFERSA, 2013.

ALVES, C. V. O. Índice relativo como avaliador da qualidade física e sua relação com atributos da fração porosa de um cambissolo. 2013. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

AMARO FILHO, J. Contribución al estudio del clima del Rio Grande do Norte. 1991. 311 p. 1991. Tese (Doutorado em Edafologia e Climatologia)-Universidade Politécnica de Madrid. Madrid.

ANDRADE, C., ALBUQUERQUE, P., BRITO, R., & RESENDE, M. Viabilidade e manejo da irrigação da cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.

ANDREA, M. C. D. S., BOOTE, K. J., SENTELHAS, P. C., & ROMANELLI, T. L. Variability and limitations of maize production in Brazil: Potential yield, water-limited yield and yield gaps. **Agricultural Systems**, v. 165, p. 264-273, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.07.004>

ARAÚJO, G. L., DOS REIS, E. F., & MOREIRA, G. R. Correlações entre variáveis climatológicas e seus efeitos sobre a evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 5, n. 2, 2013.

ARAÚJO, L. M.; BEZERRA, F. T. C.; BORGES, P. DE F.; PEREIRA, A. R.; MOSCOSO, J. S. C.; ARAÚJO, L. DE S. Estimativas da evapotranspiração de referência para o município de Apodi, RN. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 3, 28 dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2018v12n3.34947>

BAHRUN, A H; NURFAIDA; RIDWAN, I; ZUL, A F; WIDIAYANI, N; KUSUMAH, R. Management of planting system based on water balance patterns on corn plants using Cropwat 8.0 model. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s.l.], v. 343, p. 012015, 6 nov. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/343/1/012015>.

BASSOI, L. H.; DE CASTRO TEIXEIRA, A. H.; SOARES, J. M. Cultivo da mangueira. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br>>. Acesso 20 de maio de 2020.

BERGAMASCHI, H et al. 2006. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 41: 243-249.

BERGAMASCHI, H., & MATZENAUER, R. O milho e o clima. **Porto Alegre: Emater/RS-Ascar**, v. 84, 2014.

BNB/ETENE. Produção de Milho no Nordeste Ano. I - Nº 172 - 22.10.2018. ISSN 2594-7338. Disponível em : <https://www.bnb.gov.br/documents/1342439/3950249/172_22_10_2018.pdf/46367a39-443cf5da4b7127cfbf04be25#:~:text=Estima%2Dse%20que%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o,de%206.681%2C3%20mil%20toneladas>. Acesso 25 de junho de 2020.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 293-300, jun. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662007000300008>.

BORTOLON, ESO; BORTOLON, L.; LUCHIARI JÚNIOR, A. Modelos de simulação de agroecossistemas como ferramentas para avaliar sistemas agrícolas em regiões tropicais. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Documents (INFOTECA-E)**, 2017.

BUUREN, S. V., & GROOTHUIS-OUDSHOORN, K. mice: Multivariate imputation by chained equations in R. **Journal of statistical software**, ISSN: 1548-7660. p. 1-68, 2010.

BUUREN, S. V., & GROOTHUIS-OUDSHOORN, K. mice: Multivariate imputation by chained equations in R. **Journal of statistical software**, p., Volume 45, Issue 3. 2011. DOI: 10.18637/jss.v045.i03

CALDEIRA, T. L., ARAÚJO, M. D., & BESKOW, S. Análise de série hidrológica de precipitação no sul do Rio Grande do Sul para aplicação na gestão e monitoramento de recursos hídricos. In: Anais **Encontro sul-brasileiro de meteorologia**, v. 4, p. 1-8, 2011.

CARMO FILHO F.; OLIVEIRA O. F. Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, (Coleção Mossoroense, Série B) 62p. 1995.

CARVALHO, A. T. F. Caracterização climática da quadra chuvosa de município do semiárido brasileiro, entre os anos de 2013 a 2017. **Geografia em Atos** (Online), v. 2, n. 17, p. 04–23, 2020. DOI: 10.35416/geoatos.v2i17.7116

CARVALHO, L. G. D., RIOS, G. F. A., MIRANDA, W. L., & CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.12760>

CAVALCANTE JUNIOR, E. G., DE OLIVEIRA, A. D., ALMEIDA, B. D., & ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2011. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1699

CHEBLY, S. B., CAVALCANTI, E. P., DA SILVA, V. D. P. R., & LIMA, E. S. S. Evapotranspiração de referência uma formulação através da análise dimensional. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 779-788, 2019.

CONAB | Acompanhamento da safra brasileira de grãos | v. 7 - Safra 2019/20 n.9 - Nono levantamento, junho 2020. ISSN 2318-6852 Acomp. safra bras. grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - Nono levantamento, Brasília, p. 1-31 junho 2020.

COSTA, M. C. G., MIOTTI, A. A., FERREIRA, T. O., & ROMERO, R. E. Teor de nutrientes e viabilidade da bananicultura em cambissolos com diferentes profundidades. **Bragantia**, v. 75, n. 3, p. 335–343, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.359>

COSTA, R. L., SILVA, F. D. S., SARMANHO, G. F., & LUCIO, P. S. Imputação Multivariada de dados diários de precipitação e Análise de Índices de extremos climáticos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 661-675, 2012.

DE BRITO, R. F., FERREIRA NETO, M., DIAS, N. D. S., DE HOLANDA, J. S., DE LIRA, R. B., & GOMES, J. D. S. Morphology and soil fertility in semiarid production areas. **Revista de Ciências Agrárias (Portugal)**, v. 40, n. 3, p. 525-532, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17031>

DE MOURA, R. G., ARAVÉQUIA, J. A., & LOPO, A. B. Preenchimento de Falhas em Dados de Correlação de Anomalia do Geopotencial (500 hpa). **Ciência e Natura**, v. 36, n. 2, p. 503-509, 2014. DOI:10.5902/2179460X13176

DE OLIVEIRA SANTOS, W., DE OLIVEIRA BATISTA, B. D., DE ASSIS, J. P., RODRIGUES, W. M., & SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, ETO, para a região de Mossoró, RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 5, p. 36, 2010.

DE OLIVEIRA SANTOS, W., SOBRINHO, J. E., DE MEDEIROS, J. F., DE MOURA, M. S. B., & DA COSTA NUNES, R. L. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 559-572, 2014.

DEPINÉ, H., CASTRO, N. D. R., PINHEIRO, A., & PEDROLLO, O. Preenchimento de falhas de dados horários de precipitação utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 51-63, 2014. DOI: 10.21168/rbrh.v19n1.p51-63

DIAS, A. F. S. Crescimento, produção e evapotranspiração da mamoneira irrigada. 2009. 102f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2009.

DIAS, P. M. S. Levantamento de solos e classificação da capacidade de uso das terras no projeto de assentamento moacir lucena, TESE (doutorado) apodi-rn.104 f.: il. 2018.

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

DOS SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., DOS ANJOS, L. H. C., DE OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ... & CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018., 2018.

ELBELTAGI, A., ZHANG, L., DENG, J., JUMA, A., & WANG, K. Modeling monthly crop coefficients of maize based on limited meteorological data: A case study in Nile Delta, Egypt. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 173, n. April, p. 105368, 2020.

EMBRAPA. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6^a edição Set./2010. Disponível em: <ainfo.cnptia.embrapa.br>. Acesso em 20 de junho de 2020.

EMPARN–EMPRESA, DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO. RIO GRANDE DO NORTE. **Monitoramento pluviométrico**. Disponível em: <<http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/>>. Acesso em 20 junho 2020.

ERNESTO SOBRINHO, F. **Caracterização, gênese e interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte**. Viçosa: UFV, 1979. 133p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

EWAID, S. H.; ABED, S. A.; AL-ANSARI, N. Crop water requirements and irrigation schedules for some major crops in southern Iraq. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11040756>

FRANCISCO, J. P. Estimativa da transpiração de pinhão-mansão com a utilização do método de dissipação térmica. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 2017.

GOMES FILHO, R. R., SOUZA, L. G., SANTOS, I. L. N., SANTOS, K. V., OLIVEIRA, D. T. B., & SILVA, D. T. Estimativa da evapotranspiração de referência do Estado de Sergipe. *Scientia Plena*, v. 13, n. 10, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109912>

GONDIM, J. E. F. Qualidade do solo em agroecossistemas da região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. Dissertação (Mestrado) UFPB/CCA Areia: 90 f. : il. 2018.

IBM Corp. Lançado em 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Versão 25.0. Armonk, Nova York: IBM Corp.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados meteorológicos históricos de Apodi do período de 1964 a 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 2 de maio de 2019.

JARDIM, C. H., & SILVA, M. R. Extremos de temperatura do ar em belo horizonte: variabilidade natural e influência do clima urbano. **Revista do Departamento de Geografia**, 2016. Doi: 10.11606/rdg.v0ispe.118036

JUNIOR, E. G. C., DE MEDEIROS, J. F., FREITAS, I. A. D. S., DE OLIVEIRA¹, A. K. S., SOBRINHO, J. E., & DA SILVA, J. P. N. Necessidade hídrica da cultura do milho influenciada pelas mudanças climáticas no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 2, p. 251-262, 2018.

KNEŽEVIĆ, M., PEROVIĆ, N., ŽIVOTIĆ, L., IVANOV, M., & TOPALOVIĆ, A. Simulation of silage-maize water balance with CropWat and ISAREG. **Agriculture and Forestry**, v. 56, n. 1/4, p. 5-17, 2012.

LIMA, A. O. Análise intercomparativa da evapotranspiração de referencia no estado da Bahia pelo método Penman-Monteith: Série histórica (1961-2014) vs normais climatológicas (1961-1990). Dissertação (Mestrado em recursos hídricos) – Universidade Federal do Ceará, 95 f.:il color, 2016.

LOPES, J. R. F., DANTAS, M. P., & FERREIRA, F. E. P. Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. **Nativa**, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 77, 1 fev. 2019. Nativa. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6243>.

LUIZ, G. C., CARDOSO, H. C., & RIBEIRO, L. L. Aplicação do teste sazonal de mann kendall na análise de tendência da temperatura e umidade relativa do ar–GOIÂNIA-GO: série histórica 1961 A 2008. **Revista Geonorte, Manaus**, v. 3, n. 8, p. 414-427, 2016.

MAGALHAES, P. C., & DURÃES, F. O. Fisiologia da produção de milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006.

MAHANNA, B., B. SEGLAR, F. OWENS, S. DENNIS, AND R. NEWELL. Silage Zone Manual. DuPont Pioneer, Johnston, IA. 2017.

MARIN, F. R. Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. **118p. Piracicaba, 2003.**

MASCHIO, R. Cálculo das vazões de outorga na irrigação de cana-de-açúcar: Influência do critério de irrigação e dos níveis de probabilidade de evapotranspiração e precipitação. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2015.

MEMON, A. V.; JAMSA, S. Crop Water Requirement and Irrigation scheduling of Soybean and Tomato crop using CROPWAT 8.0. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 9, p. 669-71, 2018.

MONTEIRO, J. B., ROCHA, A. B., & ZANELLA, M. E. Técnica dos Quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi-Mossoró/RN. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 23, p. 232-249, 2012. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0010>

MORAIS, A. T. Frequência de irrigação da produtividade e qualidade do melão cantaloupe, em Mossoró/RN. 2008, 63 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2008.

MOTA, J. C. A. Componentes do balanço de água em um Cambissolo cultivado com meloeiro irrigado por gotejamento, com e sem cobertura da superfície. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 122 p.: il, 2010.

MOTA, J. C. A., ASSIS JÚNIOR, R. N. D., AMARO FILHO, J., & LIBARDI, P. L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 49-58, 2008.

NIVESH, S; KASHYAP, P. S.; SARAN, B. Irrigation water requirement modelling using CROPWAT model: Balangir district, Odisha. 2019.

NOGUEIRA, M. R. L., DE QUEIROZ, M. G., DE CALDAS PEREIRA, P., DA SILVA, T. G. F., JARDIM, A. M. D. R. F., & DA SILVA, M. J. Probabilidade de ocorrência de chuva em municípios do Semiárido Pernambucano. **Pensar Acadêmico**, v. 14, n. 1, p. 24-36, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21576/rpa.2016v14i1.3>

NOGUEIRA, F. A. Influência da aplicação de biofertilizante e matéria orgânica em algumas propriedades físicas de um solo da Chapada do Apodi - CE. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 81 f. 2009.

NUNES, L. N., KLÜCK, M. M., & FACHEL, J. M. G. Comparação de métodos de imputação única e múltipla usando como exemplo um modelo de risco para mortalidade cirúrgica. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, n. 4, p. 596-606, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2010000400005>

NUNES, L. N., KLÜCK, M. M., & FACHEL, J. M. G. Uso da imputação múltipla de dados faltantes: uma simulação utilizando dados epidemiológicos. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, p. 268-278, 2009.

OLIVEIRA JUNIOR, H.S.; SILVA, P.C.M.; SILVA, C.L.C. Monitoring and mapping of underground waters of urban supply in the municipality of Mossoró-RN. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2016. DOI: 9. 10.5935/1984-2295.20160127.

OLIVEIRA, D. P. D., FERREIRA, T. O., ROMERO, R. E., FARIAS, P. R. S., & COSTA, M. C. G. Microrrelevo e a distribuição de frações granulométricas em cambissolos de origem calcária. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 44, n. 4, p. 676–684, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000400003>

PAIVA, M. R. D. F. C., DA SILVA, G. F., DE OLIVEIRA, F. H. T., PEREIRA, R. G., & DE QUEIROGA, F. M. Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho-verde na Chapada do Apodi-RN. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 4, p. 1-10, 2012.

PATEL, A., SHARDA, R., PATEL, S., MEENA, P. Reference evapotranspiration estimation using cropwat model at Ludhiana district (Punjab). **Ijest.**, v. 6, n. 1, p. 620–629, 2017.

PEREIRA FILHO, I. A., ALVARENGA, R. C., GONTIJO NETO, M. M., VIANA, J. H. T. M., & OLIVEIRA, M. F. Cultivo do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

PEREIRA, L. S., ALLEN, R. G., SMITH, M., & RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4–20, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>

PHOGAT, V., SKEWES, M. A., MCCARTHY, M. G., COX, J. W., ŠIMŮNEK, J., & PETRIE, P. R. Evaluation of crop coefficients, water productivity, and water balance components for wine grapes irrigated at different deficit levels by a sub-surface drip. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 180, p. 22-34, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.10.016>.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. **Hydrology papers (Colorado State University); no. 12**, 1966.

PUSHPALATHA, R., AMMA, S. S., GEORGE, J., RAJAN, S., & GANGADHARAN, B. Development of optimal irrigation schedules and crop water production function for cassava: study over three major growing areas in India. **Irrigation Science**, p. 1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-020-00669-0>

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, <<https://www.R-project.org/>>. 2020.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

RODRIGUES, N. V. Imputação múltipla utilizando o software SPSS. Trabalho de conclusão de curso (graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, curso de estatística. 44 f. 2016.

RUBIN, D. B. Multiple imputation for nonresponse in surveys. John Wiley & Sons, 2004.

SALES, R. A.; LOUZADA, J. M.; OLIVEIRA, E. C.; PINHEIRO, M. A. B; SALES, R. A. ESTIMATIVA DAS NECESSIDADES HÍDRICAS DO MILHO CULTIVADO NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DE SÃO MATEUS – ES. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], v. 13, n. 23, p. 598-609, 23 jun. 2016. Centro Científico Conhecer DOI: http://dx.doi.org/10.18677/enciclopedia_biosfera_2016_053.

SALVADOR, M.A. Análise da variabilidade climática na nova fronteira agrícola do Brasil: região do Matopiba. Tese (doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande. 95 f.: color, 2014.

SALVIANO, M. F., GROppo, J. D., & PELLEGRINO, G. Q. Giampaolo Queiroz. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>

SANTANA JUNIOR, H. E. de. Zoneamento agroecológico do município de Apodi (RN). Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. (121f). Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010.

SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p.i-xii, 1996.

SILVA, E. R. A. C., GALVINCIO, J. D., NASCIMENTO, K. R. P., DE SANTANA, S. H. C., DE SOUZA, W. M., & DE OLIVEIRA COSTA, V. S. Análise da tendência temporal da precipitação pluviométrica interanual e intra-anual no semiárido pernambucano. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.53956>

SILVA, G. F. D., DE OLIVEIRA, F. H., PEREIRA, R. G., SILVA, P. S., DIÓGENES, T., & SILVA, A. R. D. C. Doses de nitrogênio e fósforo para produção econômica de milho na Chapada do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1247-1254, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1247-1254>

SILVA, N. D. Estimativa, análise espacial e temporal da evapotranspiração de referência (ET_o) na Bacia Hidrográfica, BA. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 83f.; il. 2017.

SILVA, S. A. O. Análise de variáveis meteorológicas no município de Mossoró-RN (1970-2013) / Sabrina Aiecha de Oliveira Silva -- Mossoró, 2014. 55f.: il. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

SMITH, M. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management. Food & Agriculture Org., 1992.

SMITH, M. FAO CLIMWAT for CROPWAT, a climatic database for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 49, Rome. 113 pp. 1993.

SOBRINHO, J. E., PEREIRA, V. C., OLIVEIRA, A. D., SANTOS, W. O., SILVA, N. K. C., & MANIÇOBA, R. M. Climatologia da precipitação no município de Mossoró-RN. Período: 1900-2010. In: **XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia-18 a.** 2011.

SOUZA, F. de. Manejo computadorizado da irrigação utilizando o programa Cropwat da FAO: estudo de caso de híbridos de milho (*Zea mays*, L.) no vale do Curu, Ceara. Ciên. Agron., Fortaleza, 22 (1/2): pág. 127-140. 1991.

TSAKMAKIS, I. D., ZOIDOU, M., GIKAS, G. D., & SYLAIOS, G. K. Impact of irrigation technologies and strategies on cotton water footprint using AquaCrop and CROPWAT models. **Environmental Processes**, v. 5, n. 1, p. 181-199, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0289-4>

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. ABRH Porto Alegre-RS, ISBN 8570259247, 9788570259240. 943 p. 2007.

VIEIRA, S. A., OSORIO, D. M. M., DE QUEVEDO, D. M., ADAM, K. N., & PEREIRA, M. A. F. Metodologia de imputação de dados hidrometeorológicos para análise de séries históricas para avaliação de impactos das mudanças climáticas–bacia do rio dos sinos, rs, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.56219>

ZHOU, Hong; ZHI ZHAO, Wen. Modeling soil water balance and irrigation strategies in a flood-irrigated wheat-maize rotation system. A case in dry climate, China. **Agricultural Water Management**, v. 221, p. 286-302, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.011>