REVISTA AGROAMBIENTAL

Lista de Periódicos Disponível em Periódicos

ARTIGO ORIGINAL

Página inicial do periódico: REVAGRO

PELAGRA MOÇAMBIQUE

Optimização da Sementeira de Milho de Sequeiro Via Simulação de Produtividade em Moatize, Mocambique

Optimization of Rainfed Maize Sowing Through Productivity Simulation in Moatize, Mozambique

[1a] Geraldo Felix Pita Duarte

[a] PELAGRA Mocambique, LDA, *Cidade de Tete, Mocambique*

Informações do Artigo

Palavras-Chaves:
Milho
Datas de sementeira
Produtividade
Déficit hídrico
Moçambique.

RESUMO

O milho é uma cultura essencial para a segurança alimentar em Moçambique, especialmente em sistemas agrícolas de sequeiro. A produtividade, entretanto, é altamente influenciada pela disponibilidade hídrica e pelas práticas de manejo, como a escolha da data de sementeira. Este estudo teve como objetivo avaliar a produtividade atingível do milho em função da data de sementeira, sob condições de sequeiro e com irrigação suplementar no distrito de Moatize. Para isso, foram simuladas produtividades para seis datas de sementeira, utilizando dados climáticos locais, capacidade de armazenamento de água do solo e diferentes regimes hídricos (sequeiro e irrigação suplementar quando o solo atinge 50% da capacidade de campo). A produtividade máxima em sequeiro foi alcançada com a sementeira de 1 de novembro (5775 kg/ha), coincidindo com o início consistente das chuvas, enquanto sementeiras muito precoces ou tardias apresentaram menores rendimentos devido ao estresse hídrico ou encurtamento do ciclo. Com irrigação suplementar, houve aumentos expressivos na produtividade, confirmando a irrigação como estratégia eficaz para mitigar a variabilidade climática. Conclui-se que a data de sementeira é um fator determinante para o sucesso da cultura, sendo recomendado priorizar a semeadura em 1 de novembro e investir em práticas de manejo de água, como a irrigação suplementar, para aumentar a produtividade e reduzir riscos associados à produção de milho em Moatize.

Keywords:
Maize
Sowing dates
Productivity
Water deficit
Mozambique.

Maize is an essential crop for food security in Mozambique, especially in rainfed agricultural systems. However, its productivity is highly influenced by water availability and management practices, such as the choice of sowing date. This study aimed to evaluate the attainable maize yield based on sowing dates, under rainfed conditions and with supplemental irrigation in the district of Moatize. For this purpose, yields were simulated for six different sowing dates using local climatic data, soil water storage capacity, and different water regimes (rainfed and supplemental irrigation when the soil reached 50% of field capacity). The maximum rainfed yield was achieved with sowing on November 1st (5775 kg/ha), coinciding with the consistent onset of the rainy season, while very early or late sowings showed lower yields due to water stress or a shortened crop cycle. With supplemental irrigation, significant increases in yield were observed, confirming irrigation as an effective strategy to mitigate climatic variability. It is concluded that the sowing date is a determining factor for crop success, and it is recommended to prioritize sowing on November 1st and to invest in water management practices, such as supplemental irrigation, to increase productivity and reduce the risks associated with maize production in Moatize.

[1] Para correspondência: geraldoflx@pelagramz.com
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.17620319

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de sequeiro desempenha um papel crucial na segurança alimentar da África Subsaariana (SSA), particularmente em comunidades rurais com recursos escassos. Uma parcela significativa dos agricultores de milho na região dependem exclusivamente dessa prática para sua subsistência, embora a produção agrícola tenha se tornado cada vez mais imprevisível devido às mudanças climáticas (Gowing & Palmer, 2008; Kirkegaard et al., 2014; Sheffield et al., 2014).

Moçambique, localizado no sudeste do continente africano e banhado pelo Oceano Índico a leste, faz fronteira com a Tanzânia ao norte, Malawi e Zâmbia a noroeste, Zimbabwe a oeste, e Suazilândia e África do Sul a sudoeste. O país cobre uma área de 801.590 km², com uma população de aproximadamente 29,5 milhões de pessoas e um índice de desenvolvimento humano (IDH) de 0,416 (Marcos et al., 2023; MIC, 2020). Sua vegetação predominante é a savana (ONU, 2018).

A agricultura desempenha um papel crucial na economia de Moçambique, sendo a principal fonte de emprego para a maioria da população (Marcos et al., 2022). Além disso, é uma importante geradora de receitas governamentais através da exportação de produtos agrários. Mais de 80% da população depende diretamente dessa atividade (Cunguara & Garrett, 2011). Apesar de sua relevância, a contribuição da agricultura para a economia ainda é considerada relativamente baixa (Oliveira et al., 2019). Dentre as culturas cultivadas, o milho se destaca como um dos principais produtos agrícolas do país (MADER, 2020).

Segundo dados da última atualização do Inquérito Agrário Integrado de 2020, a produção de milho em Moçambique foi de 1.632.321 toneladas, com um crescimento de 517.547 toneladas entre 2002 e 2020, o que representa um aumento anual de aproximadamente 2,9% (Marcos et al., 2023).

O milho é cultivado em uma área de 2.286.362 hectares, com uma produção média de 1.632.321 toneladas e um rendimento médio de 803 kg/ha (equivalente a 16 sacas de 50 kg por hectare). A província de Tete, localizada na região central do país, destaca-se como o maior produtor de milho, com 461.394 toneladas produzidas (Marcos et al., 2023; MADER, 2020).

Apesar da grande importância da cultura para a subsistência de milhões de agricultores, a produtividade do milho em Moçambique ainda é considerada baixa, com uma média estimada de 0,879 t/ha, se comparada a países vizinhos como Tanzânia (1,57 t/ha), Malawi (1,8 t/ha), Zâmbia (2,3 t/ha), Zimbabwe (0,909 t/ha) e África do Sul (4,1 t/ha) (Nova, 2024; Tandzi & Mutengwa, 2019).

A variabilidade climática representa um dos maiores desafios para a produção agrícola em sistemas de sequeiro. Mudanças nos padrões de precipitação, incluindo alterações no início, duração e término da estação chuvosa, afetam diretamente o desempenho das culturas. A escolha de datas de sementeira adequadas pode minimizar os riscos de falhas na produção, otimizar o uso dos recursos naturais, como água e nutrientes (Hsiao et al., 2009).

Sementeiras precoces podem expor as plantas a estiagens durante períodos críticos, enquanto sementeiras tardias podem reduzir o ciclo de crescimento, prejudicando os rendimentos (Mhizha et al., 2014; Vanuytrecht et al., 2014).

Modelos de simulação de cultivo (Crop Simulation Models - CSM) são ferramentas matemáticas que descrevem os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas com base nas condições climáticas, do solo e no manejo das culturas (Raes, 2017). Esses modelos, como DSSAT CropSyst (Jones et al., 2003), CROPWAT (FAO, 2018; Smith, 1992), CROPGRO (Boote et al., 1998) e APSIM (Probert et al., 1998), podem simular o impacto da variabilidade climática a longo prazo, evitando a necessidade de experimentos dispendiosos. Uma estratégia comum é combinar resultados de experimentos de curto prazo com modelos dinâmicos de cultivo validados (Anar et al., 2019; Dzotsi et al., 2013).

No presente estudo, o objetivo é investigar as datas ideais de sementeira para variedades de milho. A adequação do módulo CERES-Maize no DSSAT foi selecionada porque o modelo tem sido usado com sucesso em uma ampla gama de condições de solo, manejo e clima em sistemas de agricultura de pequenos agricultores no sul da África (Ngwira et al., 2014; Nyagumbo et al., 2017; Rao et al., 2015; Mugiyo et al., 2021).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

Moatize é um distrito da província de Tete, com sede na cidade de Moatize. O distrito situa-se a noroeste da cidade de Tete, capital da província, entre as coordenadas geográficas 15°37'S e 16°38'S de latitude e 33°22'E e 34°28'E de longitude. É limitado a norte pelos distritos de Chiúta e Tsangano; a este, pela República do Malawi; a sul, pelos distritos de Changara e Cahora Bassa; e a oeste, pelo distrito de Marávia (MAE, 2014).

2.2 Características da estação

As datas de sementeira para este estudo foram selecionadas com base nas datas ótimas de sementeira comummente utilizadas em Moatize, Moçambique, conforme as recomendações da FAO e do Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural (MADER), considerando um ciclo total de desenvolvimento fenológico do milho de 120 dias. As simu-

lações de sementeira ocorreram nas seguintes datas: 15 de Outubro, 1º de Novembro, 1º de Dezembro, 1º de Janeiro, 1º de Fevereiro e 1º de Março. Foi utilizado um espaçamento de 0,8 m entre linhas e 0,3 m entre plantas, resultando em uma população de 41.667 plantas/ha. Não foram simulados os efeitos da fertilização com fósforo e potássio, nem os efeitos de estresses decorrentes de pragas, doenças e plantas invasoras, com o objetivo de focar no impacto das diferentes datas de sementeira sob condições de sequeiro.

Adicionalmente às simulações de produtividade potencial e atingível em condições de sequeiro, foi realizada uma simulação de irrigação por inundação em sulcos. Esta simulação foi accionada quando o conteúdo de água no solo atingiu 50% da capacidade de campo. A irrigação foi aplicada com uma eficiência de 0,7 (70%), com o objectivo de avaliar se a suplementação hídrica seria capaz de reduzir as quebras de produtividade decorrentes do déficit hídrico, ou se os resultados seriam equivalentes àqueles obtidos em condições de sequeiro.

2.3 Descrição do modelo

O Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT), na sua versão 4.8, é um *software* que integra modelos de simulação para mais de 28 culturas (Hoogenboom et al., 2024; Mugiyo et al., 2021). O DSSAT v4.8 requer bancos de dados de clima, solo, manejo de culturas e dados experimentais (Liu et al., 2011). Modelos de culturas como o CERES-Maize, integrado no DSSAT v4.8, podem ser utilizados como ferramentas de suporte à decisão para determinar a melhor seleção de variedades de milho e as datas ideais de sementeira, tanto em condições de sequeiro quanto sob diferentes cenários de maneio da água.

O modelo CERES-Maize é um modelo preditivo e determinístico projetado para simular o crescimento do milho com base na disponibilidade de água no solo e na demanda hídrica da cultura. Um fator de estresse hídrico reduz o crescimento diário da cultura e, consequentemente, o rendimento de grãos, simulando os efeitos da limitação de água no solo. O modelo CERES-Maize simula o rendimento do milho em condições de limitação hídrica, calculando a evaporação potencial, a evaporação da água do solo e a transpiração potencial da água da planta, derivadas da evaporação potencial e do índice de área foliar. O modelo também permite a simulação de diferentes regimes de irrigação, o que foi explorado neste estudo através da simulação da irrigação por inundação em sulcos.

O modelo CERES-Maize tem sido amplamente utilizado em todo o mundo para simular o crescimento e o rendimento de grãos de milho, e como uma ferramenta para o

planejamento e a tomada de decisão por agricultores em diversos países (Corbeels et al., 2016; Mugiyo et al., 2021).

2.4 Dados meteorológicos

Os principais parâmetros climáticos diários necessários para o modelo DSSAT são: precipitação (mm), temperatura mínima e máxima (°C), velocidade do vento (m/s), umidade relativa (%) e radiação solar (MJ/m²). Foram utilizados dados diários de temperatura, vento, umidade relativa e radiação solar para Moatize, referentes ao período de 1990 a 2024, obtidos do Projeto de Previsão de Recursos Energéticos Mundiais (POWER) do Centro de Pesquisa Langley (LaRC) da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), financiado pelo Programa de Ciências da Terra/Ciências Aplicadas da NASA. Os dados diários de precipitação para o mesmo período foram adquiridos da plataforma CHIRPS (Funk et. Al., 2014). Este período de mais de 30 anos de dados climáticos está em conformidade com as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2012). No entanto, para as simulações, foi utilizado o período de 2010 a 2024. Esta escolha foi baseada na representatividade das condições climáticas atuais na região de estudo.

2.5 Características do solo

Os solos de Moatize são classificados predominantemente como franco-arenosos, derivados de rochas ígneas e metamórficas félsicas, apresentando textura argilosa grossa e profundidade moderada (Duarte, 2024). O DSSAT requer dados de solo para perfis em profundidades específicas. Para cada perfil, os dados de entrada incluem a espessura da camada, o conteúdo de água na capacidade de campo (CC), no ponto de murcha permanente (PMP) e na saturação (SAT), bem como a condutividade hidráulica saturada (KSAT). As características detalhadas dos solos utilizados como dados de entrada no DSSAT são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Características físico-químicas do solo utilizadas como dados de entrada.

Profundidade (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	BD (g/cm^3)	OC (%)	pH (H_2O)	CEC (cmol/kg)	Drenagem
0 – 15	72	12	16	1,45	1,20	5,5	6,0	Boa
15 – 30	70	10	20	1,50	0,80	5,3	5,5	Boa
30 – 60	68	8	24	1,55	0,50	5,1	4,8	Boa
60 - 90	65	8	27	1,60	0,30	5,0	3,5	Moderada
90 - 120	60	7	33	1,65	0,20	4,8	3,0	Moderada

Fonte: WRBS (2025)

Tabela 2: Características físico-hídrico do solo utilizadas como dados de entrada.

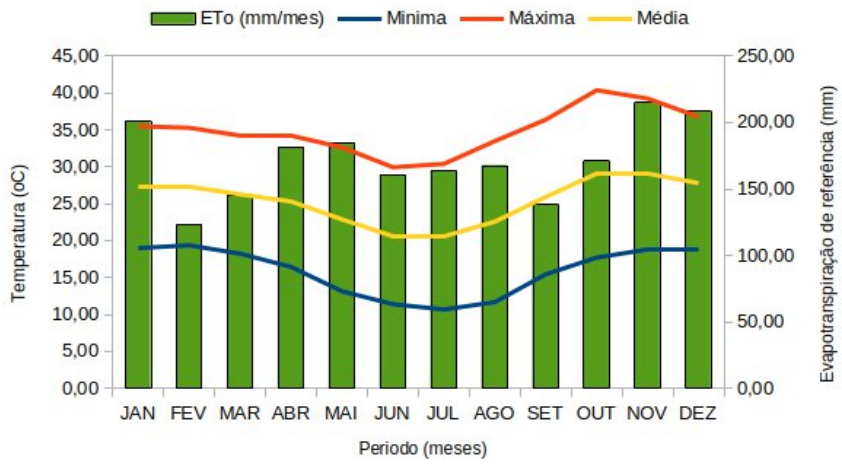
Profundidade (cm)	LL (mm/mm)	DUL (mm/mm)	SAT (mm/mm)	Ks (cm/dia)	Observação
0 – 15	0,05	0,15	0,40	15	Alta infiltração
15 – 30	0,06	0,16	0,38	13	Boa Infiltração
30 – 60	0,07	0,17	0,36	10	Textura mais fina
60 - 90	0,08	0,18	0,34	8	Saturação mais lenta
90 - 120	0,09	0,19	0,32	6	Baixa Capacidade de drenagem

Fonte: WRBS (2025)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O gráfico 1 apresenta uma análise climática anual para a região de Moatize, em Moçambique, correlacionando a evapotranspiração de referência (ETo) com as temperaturas médias mensais. Observa-se que a ETo (barras verdes), que representa a demanda atmosférica por água, exibe um padrão bimodal, com dois picos distintos ao longo do ano. O primeiro e mais acentuado ocorre nos meses mais quentes e com maior incidência de radiação solar, especialmente em outubro e novembro, quando os valores se aproximam de 210 mm/mês. O segundo pico, menos pronunciado, ocorre em janeiro, com valores ligeiramente acima de 200 mm/mês. Por outro lado, os valores mais baixos de ETo são registrados durante os meses mais frescos e com menor radiação solar, como junho e julho, quando ficam abaixo de 100 mm/mês.

Gráfico 1. Variação das temperaturas máxima, média, mínima do ar e evapotranspiração de referência no distrito de Moatize, Moçambique.



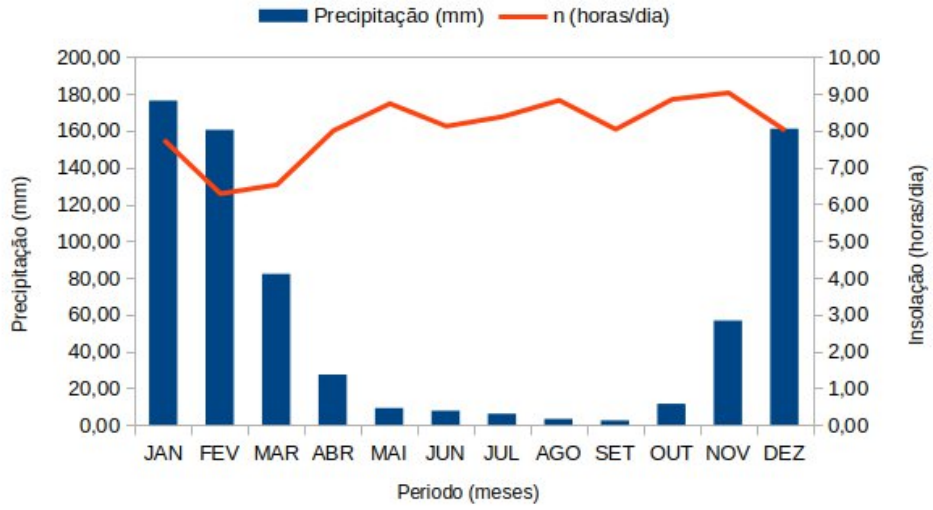
Fonte: Autor (2025)

As temperaturas, representadas pelas linhas, seguem o padrão sazonal típico do clima tropical, caracterizado por uma estação quente e uma estação relativamente mais amena. A temperatura máxima (linha vermelha) atinge os maiores valores em outubro e novembro, ultrapassando os 40 °C, e permanece elevada em janeiro e fevereiro, com valores superiores a 35 °C. A temperatura mínima (linha azul) apresenta seus valores mais baixos em junho e julho, caindo para cerca de 10 °C, enquanto os maiores valores ocorrem nos meses mais quentes, mantendo-se acima de 15 °C. A temperatura média (linha amarela) acompanha a tendência das temperaturas máxima e mínima, apresentando valores superiores a 25 °C entre setembro e novembro, e inferiores a 20 °C nos meses de junho e julho.

A correlação entre a ETo e as temperaturas evidencia a forte influência da temperatura e da radiação solar na demanda atmosférica por água. Os períodos com ETo mais elevada (outubro/novembro e janeiro) coincidem com os meses de maior temperatura média e máxima. Por sua vez, os meses de menor ETo (junho/julho) correspondem aos períodos com as menores temperaturas e menor radiação.

Com relação à precipitação, o distrito apresenta janeiro como o mês mais chuvoso, com um acumulado de 176,30 mm, enquanto setembro é o mês mais seco, com apenas 0,40 mm de precipitação (grafico 2).

Grafico 2. Variação da precipitação pluvial e insolação no distrito de Moatize, Moçambique.



Fonte: Autor (2025)

A insolação, que é influenciada pela presença de nebulosidade durante a estação chuvosa, apresenta variações significativas ao longo do ano. Novembro destaca-se como

o mês com maior número médio de horas de sol por dia (9,05 horas), ao passo que fevereiro registra os menores valores, com apenas 6,31 horas diárias de insolação.

A mesma variação climática foi observada por Cangela et al. (2021), ao realizarem uma análise climática no município de Chimoio, Moçambique. Segundo os autores, a estação chuvosa em Moçambique varia conforme a região, iniciando-se geralmente entre o final de agosto e setembro, e estendendo-se até abril ou maio.

3.1 Produtividade potencial

Silva et al. (2022) definem o potencial de produtividade de uma cultura (PPc) como aquele alcançado na ausência de limitações por água e nutrientes, bem como na ausência de interferências de fatores bióticos (como pragas, doenças e plantas daninhas) e abióticos (como ventos fortes, granizo e geadas) durante todo o ciclo da cultura.

No gráfico 3, a linha contínua preta representa a produtividade potencial simulada para cada data de semeadura avaliada: 15 de outubro, 1º de novembro, 1º de dezembro, 1º de janeiro, 1º de fevereiro e 1º de março. Os valores exatos correspondentes à produtividade potencial para cada data são apresentados em formato de tabela logo abaixo do eixo horizontal.

Sobreposta a essa linha, a linha tracejada azul representa a tendência linear ajustada aos dados de produtividade. A equação da linha de tendência é dada por:

Onde *y* representa a produtividade potencial (kg/ha) e *x* é uma variável ordinal correspondente à data de semeadura. O coeficiente de determinação (R^2) do ajuste é de 0,973, indicando um excelente ajuste do modelo linear aos dados, ou seja, grande parte da variação observada na produtividade potencial é explicada pela variação na data de semeadura, considerada como variável contínua.

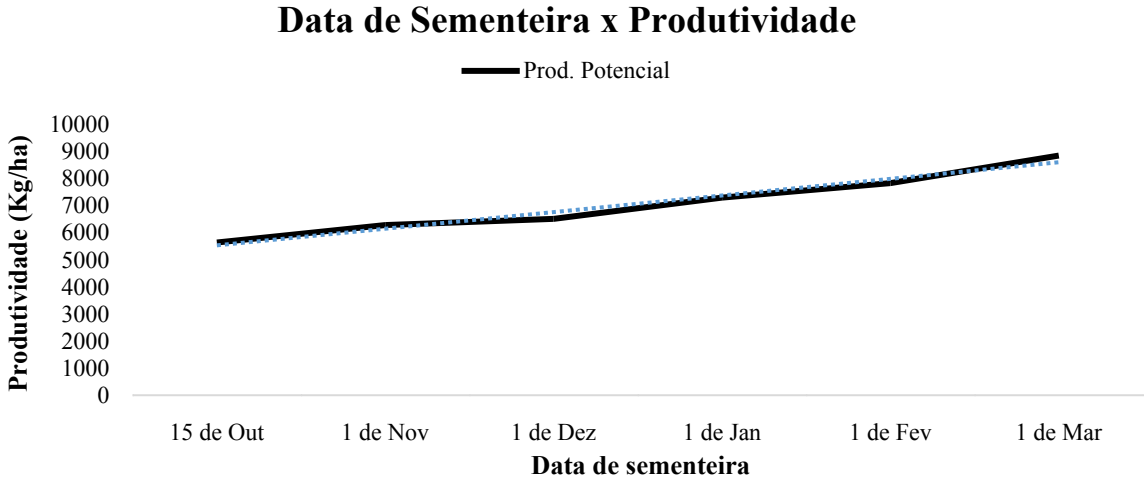
Observa-se uma tendência clara de aumento da produtividade potencial à medida que a semeadura é postergada de outubro para março. A menor produtividade potencial simulada ocorre para a data de 15 de outubro (5.622,1 kg/ha), enquanto o maior valor é previsto para a semeadura de 1º de março (8.822,1 kg/ha).

Esse aumento progressivo sugere que, sob as condições climáticas simuladas para Moatize, e na ausência de limitações hídricas, nutricionais e de estresse, datas de semeadura mais tardias favorecem o desenvolvimento e enchimento de grãos da cultura do milho.

Essas variações podem ser explicadas à luz dos dados climáticos locais, que indicam que a evapotranspiração de referência (ETo) e as temperaturas são mais elevadas nos meses de outubro e novembro, diminuem em dezembro e janeiro, e voltam a subir a

partir de setembro, como discutido anteriormente. Esse comportamento influencia diretamente a disponibilidade de água no solo e o conforto térmico da planta, afetando o acúmulo de biomassa e, consequentemente, a produtividade potencial.

Gráfico 3. Relação entre a data de sementeira e a produtividade potencial



Fonte: Autor (20225)

A variabilidade no potencial produtivo e na produtividade média do milho entre diferentes regiões e safras está diretamente associada às condições ambientais, como a radiação solar, precipitação e temperatura (Lobell et al., 2009; Yang et al., 2021; Bergamaschi & Bergonci, 2017).

Amaral et al. (2014) verificaram que uma redução de 25% na radiação solar diária pode diminuir em até 20% a evapotranspiração da cultura ao longo do ciclo (ETc_ciclo). Em contrapartida, um aumento de 25% na radiação gerou apenas um acréscimo de 7% na ETc_ciclo. Esses autores também destacam que o índice de área foliar máximo (IAF_max) tende a reduzir-se com o aumento da radiação solar, em função do estresse hídrico associado ao cultivo em regime de sequeiro. Assim, mesmo com menor área foliar, o aumento na radiação pode elevar o consumo hídrico da cultura, especialmente se associada a maior profundidade radicular.

De forma semelhante, Cangela et al. (2021), ao estimarem a produtividade potencial e real do milho para a cidade de Chimoio, Moçambique, utilizando o Modelo da Zona Agroecológica da FAO, concluíram que a produtividade potencial do milho é maior quando a semeadura ocorre entre janeiro e abril. Fora desse intervalo, a produtividade tende a decrescer.

Pilecco et al. (2023) também ressaltam que o potencial de produtividade do milho no mundo varia entre 5 e 15 toneladas por hectare (t/ha), o que corrobora os resultados en-

contrados neste estudo, em que a produtividade potencial do milho no distrito de Moatize variou entre 5 e 8 t/ha.

2.2 Produtividade atingível

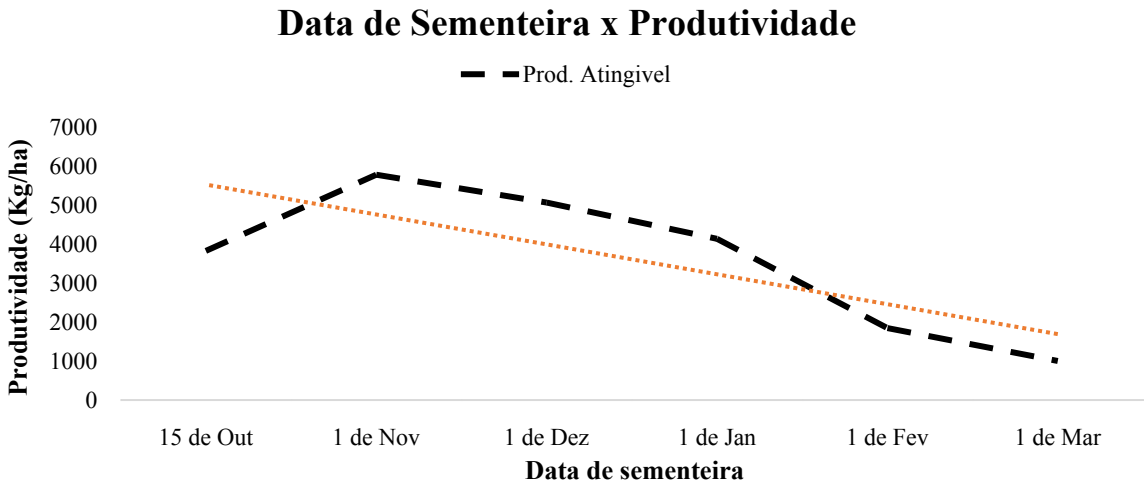
Os fatores que limitam o potencial de produtividade das culturas são, principalmente, a disponibilidade de água e nutrientes. Assim, a produtividade atingível é entendida como o potencial produtivo ajustado às condições reais de fornecimento e distribuição desses dois recursos ao longo do ciclo da cultura. Considerando que a maior parte das áreas de cultivo de milho no distrito de Moatize é conduzida sob regime de sequeiro, torna-se essencial considerar não apenas a quantidade total de precipitação, mas também sua distribuição ao longo do tempo e as características do solo que influenciam sua capacidade de retenção de água (Van Ittersum et al., 2013).

No gráfico 4, diferentemente da produtividade potencial, a produtividade atingível**,** representada pela linha tracejada preta, reflete o rendimento sob condições de sequeiro, ou seja, sem irrigação, levando em conta as limitações impostas pela disponibilidade hídrica natural ao longo do ciclo da cultura em cada data de sementeira. Os valores correspondentes estão também apresentados em tabela abaixo do eixo horizontal.

Sobreposta à curva de produtividade atingível, observa-se uma linha tracejada vermelha que representa o ajuste linear desses dados, descrito pela equação , com um coeficiente de determinação (R^2) de 0.6036. Este valor de R^2, consideravelmente menor que o observado para a produtividade potencial, indica que o modelo linear explica uma proporção moderada (60.36%) da variabilidade na produtividade atingível em função da data de sementeira. Isso sugere que a relação entre a data de sementeira e a produtividade atingível sob condições de sequeiro é mais complexa e menos linear do que a observada para a produtividade potencial. O coeficiente angular negativo da reta implica uma tendência geral de diminuição da produtividade atingível com o atraso da data de sementeira, embora a curva real exiba um comportamento não monotônico.

A curva de produtividade atingível evidencia um padrão mais complexo do que o observado na produtividade potencial. A maior produtividade atingível foi simulada para a sementeira de 1 de novembro (5775 kg/ha)**.**As sementeiras mais precoces, como a de 15 de outubro, apresentaram produtividade atingível ligeiramente inferior **(**3822,7 kg/ha). Após o pico de 1 de novembro, observa-se um declínio progressivo da produtividade: 5061,6 kg/ha (1 de dezembro)**,**4132,1 kg/ha (1 de janeiro)**,**1844,5 kg/ha (1 de fevereiro)**,** e 1001,3 kg/ha (1 de março), a menor entre todas as datas avaliadas.

Gráfico 4. Relação entre a data de sementeira e a produtividade atingível



Fonte: Autor (2025)

A produtividade relativamente baixa para a sementeira de 15 de outubro pode ser atribuída ao início do ciclo durante um período de baixa precipitação e alta demanda evaporativa, o que resulta em estresse hídrico nas fases iniciais da cultura. Por outro lado, a sementeira de 1 de novembro coincide com o início mais consistente das chuvas, garantindo melhor disponibilidade de água ao longo do ciclo. O declínio na produtividade em sementeiras posteriores sugere que, apesar da maior precipitação durante a estação chuvosa, sua distribuição desuniforme e o aumento da demanda hídrica durante fases fenológicas críticas impõem limitações.

Segundo Freitas (2019), durante o crescimento vegetativo, a cultura tem menor exigência hídrica e fotossintética, mas na fase de floração, a escassez de água pode provocar dissecação dos pistilos e estigmas, aborto das espiguetas e morte dos grãos de pólen, efeitos que comprometem severamente a produtividade.

Aalta evapotranspiração de referência (ETo) nos meses de outubro e novembro penaliza as sementeiras precoces, que exigem suprimento adequado de água. Já nas sementeiras tardias, apesar da precipitação elevada, o encurtamento do ciclo e o possível descompasso entre oferta e demanda hídrica afectam negativamente o rendimento. A radiação solar, particularmente alta no início da estação, pode ser benéfica se a água não for limitante; caso contrário, agrava o estresse hídrico. A temperatura, por sua vez, também influencia o desenvolvimento da cultura, mas é a disponibilidade hídrica o fator mais crítico sob sequeiro.

Durante o enchimento de grãos, a falta de água leva ao fechamento dos estômatos, afetando o metabolismo da planta e reduzindo a taxa fotossintética. Isso limita a produção

e translocação de fotoassimilados, impactando diretamente o rendimento (Cruz et al., 2008).

Assim, a análise revela que a sementeira em 1 de novembro oferece o melhor compromisso entre aproveitamento das chuvas e garantia de um ciclo com suprimento hídrico adequado. Já as sementeiras muito precoces ou muito tardias enfrentam estresse hídrico severo ou encurtamento fisiológico do ciclo, respectivamente.

Diante desses resultados, fica evidente que a aplicação de irrigação pode tanto aumentar a produtividade quanto reduzir os riscos de quebra de safra sob sequeiro. Na simulação com irrigação aplicada quando a umidade do solo atinge 50% da capacidade de campo, observa-se a importância dessa tecnologia. De acordo com Marcos et al. (2022), a baixa produtividade em Moçambique está fortemente relacionada ao sistema produtivo predominante, maioritariamente familiar e não irrigado**.**

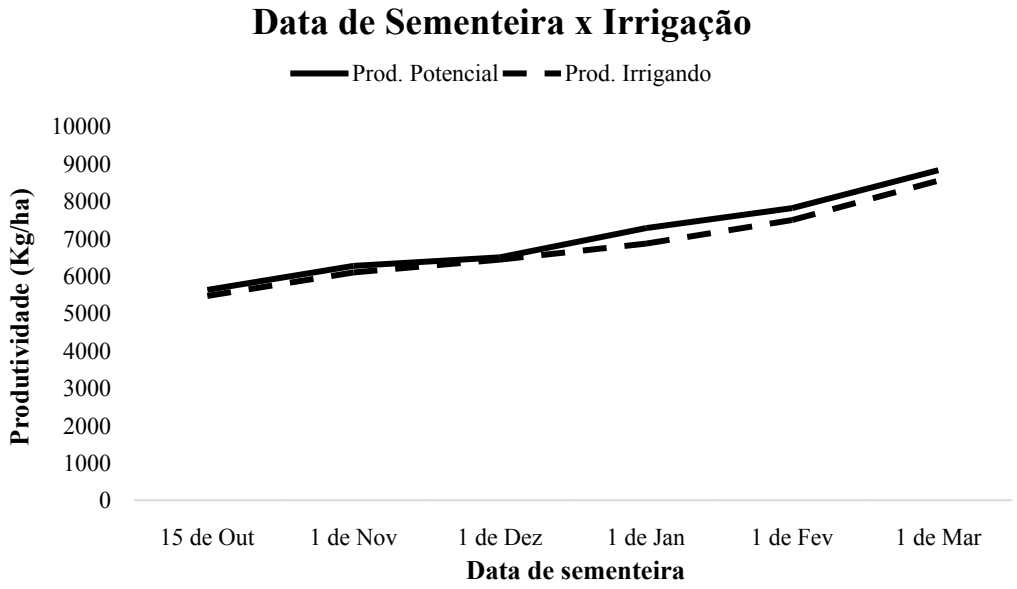
O gráfico 5, apresenta os resultados da simulação de produtividade do milho (em kg/ha) sob regime de irrigação por sulcos, com eficiência de 0,7. A irrigação foi aplicada sempre que o teor de água no solo caiu para 50% da capacidade de campo. Foram avaliadas as mesmas datas de sementeira utilizadas nos gráficos anteriores. A produtividade simulada com irrigação suplementar é representada pela linha tracejada verde, com os valores numéricos tabulados abaixo do eixo horizontal.

Sobre essa curva, está a linha pontilhada azul, representando o ajuste linear, descrito pela equação , com $R^2 = 0,8485$. Esse valor indica uma correlação linear positiva moderadamente forte, explicando cerca de 84,85% da variabilidade na produtividade com irrigação em função da data de sementeira. O coeficiente angular positivo mostra um acréscimo médio de 436,66 kg/ha por cada atraso na data de sementeira.

O coeficiente angular positivo da reta (436.66) implica um aumento médio de aproximadamente 436.66 Kg/ha na produtividade com irrigação suplementar para cada unidade sequencial de atraso na data de sementeira considerada na análise.

De acordo com Bergamaschi et al. (2006), a irrigação pode aumentar em até 70% o rendimento de grãos de milho, comparado ao cultivo de sequeiro. Os autores também demonstraram que, para cada milímetro de água aplicada por irrigação ao longo do ciclo, houve acréscimo de 20,3 kg/ha (na dose máxima) e de 25,4 kg/ha (na intermediária), valores que demonstram alta eficiência do uso da água via irrigação.

Gráfico 5. Relação entre a data de sementeira e a produtividade atingível quando usado a irrigação



Fonte: Autor (2025)

De acordo com Bergamaschi et al. (2006), a irrigação pode aumentar em até 70% o rendimento de grãos de milho, comparado ao cultivo de sequeiro. Os autores também demonstraram que, para cada milímetro de água aplicada por irrigação ao longo do ciclo, houve acréscimo de 20,3 kg/ha (na dose máxima) e de 25,4 kg/ha (na intermediária), valores que demonstram alta eficiência do uso da água via irrigação.

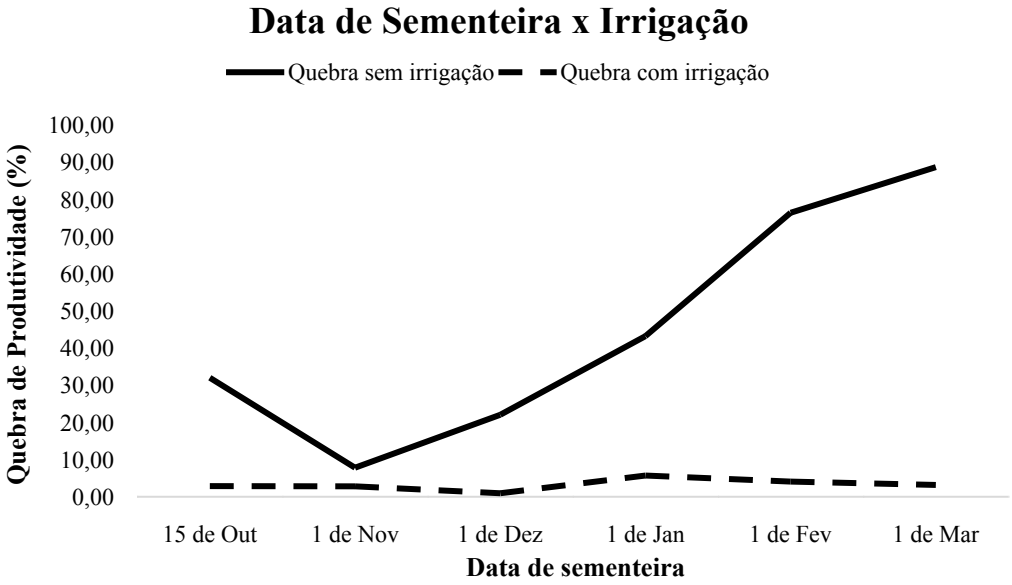
2.3 Quebras de produtividade

O déficit hídrico é um dos principais fatores que afetam a produtividade das culturas, especialmente em regiões semiáridas, onde a escassez de água compromete o desempenho agrícola. A fase de floração do milho é particularmente a mais sensível ao deficit hídrico, conforme evidenciado por Figueira et al. (2020).

Em Moçambique, onde apenas 9,1% dos campos são irrigados (MADER, 2020), práticas mais eficientes de irrigação poderiam aumentar significativamente a produtividade agrícola.

No período em análise, a quebra de produtividade devido a falta de água foi maior na sementeira onde não houve a utilização da irrigação com as quebras de produtividade a chegar a 32% da produtividade potencial na sementeira de Outubro e 76%, 89% para as sementeiras de Fevereiro e Março, em comparação com que usou-se a irrigação onde a maior quebra foi de apenas 6% para as sementeiras de Janeiro.

Gráfico 6. Relação entre a data de sementeira e a irrigação



Fonte: Autor (2025)

Bergonci et al. (2001) e Bergamaschi et al. (2004) constataram que uma dose intermediária de irrigação, a partir de 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, é suficiente para que sejam obtidos rendimentos elevados de milho.

4 CONCLUSÃO

A definição da data de sementeira revelou-se um fator crítico para a maximização da produtividade do milho em condições de sequeiro no distrito de Moatize, sendo a sementeira em 1 de novembro a mais vantajosa por coincidir melhor com o início das chuvas. A produtividade atingível foi substancialmente influenciada pela disponibilidade e distribuição de água no solo ao longo do ciclo da cultura, evidenciando que tanto sementeiras precoces quanto tardias estão sujeitas a limitações hídricas severas. A adoção da irrigação suplementar, iniciada quando o solo atinge 50% da capacidade de campo, demonstrou ser uma alternativa eficaz para mitigar os efeitos da deficiência hídrica, promovendo ganhos significativos em produtividade e estabilidade da produção. A limitação hídrica destacou-se como o principal fator restritivo à produtividade do milho, superando os efeitos de outras variáveis climáticas como radiação solar e temperatura. Diante desse cenário, recomenda-se a adopção de práticas de manejo hídrico, como a irrigação suplementar, para viabilizar o aumento da produtividade do milho e contribuir para a segurança alimentar em sistemas predominantemente familiares e de sequeiro em Moçambique.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAR, M. J.; LIN, Z.; HOOGENBOOM, G.; SHELIA, V.; BATCHELOR, W. D.; TEBOH, J. M.; OSTLIE, M.; SCHATZ, B. G.; KHAN, M. Modeling growth, development and yield of Sugarbeet using DSSAT. *Agricultural Systems*, 2019.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.831-839, 2004.

Bergamaschi, H; Dalmago, G.A; Comiran, F; Bergonci, J.I; Müller, A.G; França, S; Santos, A.O; Radin, B; Bianchi, C.A.M & Pereira, P.G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v.41, n.2, p.243-249, fev. 2006

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.949-956, 2001.

BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N. B. **The CROPGRO Model for Grain Legumes**. 1998.

CANGELA, G. L. C.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; MORAIS, J. E. F.; SILVA, J. R. I.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, E. F. F.; LAMPIÃO, J. L. Análise Temporal da Chuva e Balanço Hídrico Climatológico para o Município de Chimoio, Moçambique. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 2, p. 650-660, 2021. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe.

Corbeels, M., Chirat, G., Messad, S., Thierfelder, C., 2016. Performance and sensitivity of the DSSAT crop growth model in simulating maize yield under conservation agriculture. *Eur. J. Agron*.

CUNGUARA, B.; GARRETT, J. O. **Sector Agrário em Moçambique: Análise situacional, constrangimentos e oportunidades para o crescimento agrário**. IFPRI e Michigan State University, 72 p., 2011.

Dzotsi, K.A., Basso, B., Jones, J.W., 2013. Development, uncertainty and sensitivity analysis of the simple SALUS crop model in DSSAT. *Ecol. Modell*.

Freitas, M. M. B. F. Impacto da data de sementeira na produtividade do milho forrageiro (Zea mays L.). **Mestrado em Engenharia Agronómica**. Departamento de Geociência, Ambiente e Ordenamento do Território. 2019

Gowing, J.W., Palmer, M., 2008. Sustainable agricultural development in subSaharan Africa: the case for a paradigm shift in land husbandry. *Soil Use Manag*. 24, 92–99.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; WILKENS, P. W.; PORTE, C. H.; BOOTE, K. J.; HUNT, L. A.; SINGH, U.; LIZASO, J. L.; WHITE, J. W.; URYASEV, O.; ROYCE, F.S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A. J.; TSUJI, G. Y. Decision Support System for Agrotechnology Transfer: version 4.8. *Honolulu: University of Hawaii*, 2024. 1 CDROM.

JACOMINI, G. **Balanço hídrico, acumulo de graus dia e produtividade potencial, atingível e real da cultura do milho (Zea mays)**. Anápolis: Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, 2018. 42 p.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. *Agricultural Systems*, 2003.

KIRKEGAARD, J. A.; CONYERS, M. K.; HUNT, J. R.; KIRKBY, C. A.; WATT, M.; REBETZKE, G. J. Sense and nonsense in conservation agriculture: principles, pragmatism and productivity in Australian mixed farming systems. *Agricultural Ecosystems & Environment*, 2014.

Liu, H.L., Yang, J.Y., Drury, C.F., Reynolds, W.D., Tan, C.S., Bai, Y.L., He, P., Jin, J., Hoogenboom, G., 2011. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. *Nutrient Cycl. Agroecosyst*.

MARCOS, R. A.; DUTRA, I. P.; DA SILVA, M. B. P.; BORGES, A. L. O.; CAPELINI, V. A.; DALVI, L. P. Produção e produtividade de milho em Moçambique: panorama de tecnologias de sementes. **XXVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e Iniciação à Docência - Universidade do Vale do Paraíba,** 2023. DOI: 10.18066/inic0102.23.

MARCOS, R. et al. Agricultura familiar no Norte de Moçambique: estratégias de produção agroecológica de batata-doce de polpa alaranjada. *Enciclopédia Biosfera*, v. 19, n. 42, 2022.

MHIZHA, T.; GEERTS, S.; VANUYTRECHT, E.; MAKARAU, A.; RAES, D. **Sowing guidelines for rainfed maize in Zimbabwe**, 40, 233–244. 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO RURAL (MADER) - **Moçambique. Inquérito agrário integrado, Direcção de Planificação e Políticas (DPP)**. Maputo, 2020.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E COMERCIO (MIC). **Plano operacional da comercialização agrícola**. Disponível em: <www.mic.gov.mz/index.php/por/contente/POCA++GERAL+2020.pdf>.

MINISTÉRIO DE ADMINISTRAÇÃO ESTATAL – MAE. **Perfil do distrito de Moatize.** Direcção Nacional de Administração Local. Maputo – Moçambique. 2014

MUGIYO, H; MHIZHA, T; CHIMONYO, V.; MABHAUDHI, T; Investigation of the optimum planting dates for maize varieties using a hybrid approach: A case of Hwedza, Zimbabwe. *Heliyon*, 2021.

Ngwira, A.R., Aune, J.B., Thierfelder, C., 2014. DSSAT modelling of conservation agriculture maize response to climate change in Malawi. *Soil Tillage Res*.

NOVA, Y. Encruzilhada Da Cadeia De Valor Das Sementes De Milho: O Estudo De Caso Do Distrito De Sussundenga. *Destaque Rural*, No 301, 15 de Outubro de 2024.

Nyagumbo, I., Mkuhlani, S., Mupangwa, W., Rodriguez, D., 2017. Planting date and yield benefits from conservation agriculture practices across Southern Africa. *Agric. Syst*.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World Population Policies 2013.** 2013.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba, RS, Livraria e Editora Agro-pecuária, 2002. 478 p.

PILECCO, I. B. et al. **Potencial e lacunas de produtividade de milho em Santa Catarina**. 1 ed. Santa Maria, 2023. 63p.

PROBERT, M. E.; DIMES, J. P.; KEATING, B. A.; DALAL, R. C.; STRONG, W. M. APSIM's water and nitrogen modules and simulation of the dynamics of water and nitrogen in fallow systems. *Agricultural Systems*, 1998.

RAES, D. AquaCrop Training Handbooks. Book I. **Understanding AquaCrop**, pp. 1–59. 2017.

Rao, K.P.C., Sridhar, G., Mulwa, R.M., Kilavi, M.N., Esilaba, A., Athanasiadis, I.N., Valdivia, R.O., 2015. **Impacts of Climate Variability and Change on Agricultural Systems in East Africa**.

SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F.; CHANEY, N.; GUAN, K.; SADRI, S.; YUAN, X.; OLANG, L.; AMANI, A.; ALI, A.; DEMUTH, S.; OGALLO, L. A drought monitoring and forecasting system for sub-Saharan African water resources and food security. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014.

SMITH, M. **CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management,** 46. FAO Irrigation and Drainage Paper, 1992.

Amaral, T.A; Andrade, C.L.T; Lima, A.C.R; Souza, I.R.P; Souza, A.A.C; Teixeira, T.C; Paixão, J.S. Análise da Sensibilidade da Cultura do Milho às Mudanças Climáticas Empregando Modelos de Simulação: 3 – Resposta às alterações na taxa de radiação solar. **XXX Congresso Nacional de Milho e Sorgo** "Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global". Salvador/BA 2014

TEJEDA, L. H. C. **Déficit hídrico em plântulas de milho: aspectos morfológicos e moleculares**. 2019.

VANUYTRECHT, E.; RAES, D.; HSIAO, T.; FERERES, E.; HENG, L.; GARCÍA-VILA, M.; MEJÁ-AS, P. AquaCrop: FAO's Crop Water Productivity and Yield Response Model. *Environmental Modelling and Software*, 2014.

ZOTSI, K. A.; BASSO, B.; JONES, J. W. Development, uncertainty and sensitivity analysis of the simple SALUS crop model in DSSAT. *Ecological Modelling*, 2013.