

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

AMILTON GABRIEL SIQUEIRA DE MIRANDA

**DESEMPENHO DO CAPIM-MOMBAÇA CULTIVADO COM POLÍMERO
HIDRORETENTOR**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2025

AMILTON GABRIEL SIQUEIRA DE MIRANDA

**DESEMPENHO DO CAPIM-MOMBAÇA CULTIVADO COM POLÍMERO
HIDRORETENTOR**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientador: Fernando França da Cunha

Coorientador: Policarpo Aguiar da Silva

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2025


AMILTON GABRIEL SIQUEIRA DE MIRANDA

**DESEMPENHO DO CAPIM-MOMBAÇA CULTIVADO COM POLÍMERO
HIDRORETENTOR**


Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO:

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **AMILTON GABRIEL SIQUEIRA DE MIRANDA**
Data: 07/02/2025 18:41:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Amilton Gabriel Siqueira de Miranda
Autor

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDO FRANÇA DA CUNHA**
Data: 10/02/2025 19:23:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fernando França da Cunha
Orientador

Dedico a minha avó, Elba Maria Calais (in memoriam), que não pode estar presente para
presenciar o homem que me tornei.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia e proteção durante toda a minha jornada.

Aos meus pais, Amilton João e Priscilla Siqueira, pelos ensinamentos e amor transmitidos.

Ao meu irmão, Antônio José, meu grande amigo, pela parceria e incentivo.

A minha tia Bruna Siqueira e sua família, pela torcida e incentivo durante esses anos.

A Ana Clara Barracki, pela paciência, carinho e amor compartilhado.

A Mara Iamim, pela amizade, orientação e apoio durante minha estadia em Viçosa.

Aos amigos de Viçosa, em especial para Gabriel Machado, Otávio Borges, Antonella Araújo, que sempre foram suporte nos momentos de dificuldade e horas de estudos compartilhados. Aos amigos de Cabo Frio, que sempre torceram e apoiaram.

A Universidade Federal de Viçosa, pelos ensinamentos passados ao longo desses anos e proporcionar tanto o meu desenvolvimento profissional quanto pessoal, com espaço para realização de corridas.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, proporcionar toda estrutura necessária para formação e ensino de qualidade.

Ao professor orientador Fernando França da Cunha pela orientação, contribuição e conhecimentos compartilhados durante os anos como bolsista de iniciação científica.

Aos membros da banca examinadora, pelas contribuições para aprimorar a qualidade deste trabalho.

Ao técnico Policarpo Aguiar da Silva, pela amizade, contribuição durante todo o projeto e todos os ensinamentos compartilhados e cafezinhos nos intervalos de análise no experimento.

A AGRIJÚNIOR, Grupo de Estudos e Soluções para a agricultura irrigada (GESAI), AGROPLUS em terem contribuído para minha evolução profissional e todos os membros que compartilhei tempo nas reuniões e projetos desenvolvidos, que me auxiliaram a trabalhar em equipes multidisciplinares.

Meu muito obrigado!

"Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam."

Salmo 23:4

RESUMO

Os polímeros hidroretentores, como o UPDT®, são aplicados para aumentar a retenção de água no solo. Entretanto, o uso excessivo gera altos custos econômicos e pode prejudicar o crescimento e desenvolvimento das folhas das plantas forrageiras devido ao acúmulo de água. Dessa forma, objetivou-se avaliar o desempenho das características morfológicas e agronômicas do capim-mombaça em função de diferentes doses de um polímero hidroretentor identificado como UPDT® em ambiente controlado. As doses de UPDT® foram de 0, 7,5, 15, 22,5 e 30 kg ha⁻¹. Cada dose foi avaliada em quatro ciclos de cultivo, após um ciclo inicial de uniformização das plantas. Durante os ciclos de avaliação, o manejo de irrigação foi monitorado para garantir a reposição adequada de água, evitando déficit hídrico. As variáveis analisadas incluíram características morfogênicas, como número de folhas vivas (NFV), número final de folhas emitidas (NFEm), taxa de aparecimento de folhas (TApF) e taxa de alongamento de colmo (TAIC), além de características agronômicas relacionadas à produção de massa seca da parte aérea (MSPA). A análise estatística foi realizada por meio de delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando detectadas diferenças significativas, foi aplicado o teste de regressão para verificar as respostas das variáveis às doses de UPDT®. Os resultados mostraram que as características morfológicas sofrem influência nos ciclos iniciais e intermediários, enquanto as doses com UPDT® apresentaram variações ao longo dos ciclos de cultivo do capim. Nos ciclos intermediários, houve resposta quadrática para NFEm, NFV, TApF e TAIC às doses de UPDT®. No ciclo final, observou-se uma redução no NFEm, NFV, TAIC, TAIF sugerindo degradação do polímero e menor retenção hídrica, o que foi evidenciado com a redução da produtividade de água. Enquanto, para as características agronômicas avaliadas do desempenho do capim-mombaça sofreram mais influência e durou por todos os ciclos com destaque para o ciclo 4, o qual teve um aumento da temperatura do ar, que auxiliou numa maior produtividade de MSPA, em comparação as anteriores. Conclui-se que o UPDT® beneficia o capim-mombaça nos ciclos iniciais e intermediários, mas sua eficácia reduz ao longo dos ciclos de cultivo, sendo necessário avaliar a durabilidade do produto em ciclos de cultivo longos.

Palavras-Chave: Morfogênese, pastagem irrigada, UPDT®.

ABSTRACT

Hydroretentive polymers, such as UPDT®, are applied to increase soil water retention. However, excessive use leads to high economic costs and may harm the growth and development of forage plant leaves due to water accumulation. Thus, the objective was to evaluate the performance of the morphological and agronomic characteristics of Mombasa grass under different doses of a hydroretentive polymer identified as UPDT® in a controlled environment. The UPDT® doses were 0, 7.5, 15, 22.5, and 30 kg ha⁻¹. Each dose was evaluated over four cultivation cycles after an initial cycle for plant uniformization. During the evaluation cycles, irrigation management was monitored to ensure adequate water replenishment, preventing water deficit. The analyzed variables included morphogenic characteristics such as the number of live leaves (NFV), the final number of leaves emitted (NFEm), leaf appearance rate (TApF), and stem elongation rate (TAIC), as well as agronomic traits related to dry matter yield of the aerial part (MSPA). The statistical analysis was conducted using a completely randomized design with four replications for each treatment. Data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and when significant differences were detected, a regression test was applied to assess the variable responses to the UPDT® doses. The results showed that morphological characteristics were influenced during the initial and intermediate cycles, while UPDT® doses presented variations throughout the Mombasa grass cultivation cycles. In the intermediate cycles, there was a quadratic response for NFEm, NFV, TApF, and TAIC to UPDT® doses. In the final cycle, a reduction in NFEm, NFV, TAIC, and TAlF was observed, suggesting polymer degradation and reduced water retention, which was evidenced by a decrease in water productivity. Regarding the agronomic characteristics, the Mombasa grass performance was more significantly influenced and persisted throughout all cycles, with cycle 4 standing out due to increased air temperature, which contributed to a higher MSPA yield compared to the previous cycles.

It is concluded that UPDT® benefits Mombasa grass during the initial and intermediate cycles, but its effectiveness decreases over time, highlighting the need to assess the product's durability in long-term cultivation cycles.

Keywords: Morphogenesis, irrigated pasture, UPDT®.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	13
2.1.	Área experimental	13
2.2.	Procedimentos experimentais.....	14
2.3.	Elementos meteorológicos	15
2.4.	Delineamento experimental.....	16
2.5.	Condução do experimento.....	17
2.6.	Avaliações experimentais	17
2.7.	Análise estatística.....	20
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1.	Ciclo de uniformização	21
3.2.	Consumo hídrico	23
3.3.	Características morfogênicas.....	23
3.4.	Características agronômicas.....	31
4.	CONCLUSÃO	35
5.	REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

Em 2023, o rebanho bovino brasileiro atingiu 238,6 milhões de animais, marcando um aumento de 1,6% em relação ao ano anterior. O estado do Mato Grosso lidera com o maior rebanho bovino, totalizando 33,9 milhões de cabeças, o que representa 14,2% do efetivo nacional. O estado de Minas Gerais, por sua vez, manteve a liderança na produção de leite, com um total de 9,4 bilhões de litros, correspondendo a 27,1% da produção nacional (IBGE, 2023). Esses números ressaltam a importância econômica da pecuária no Brasil e evidenciam a necessidade de adotar práticas sustentáveis para equilibrar o crescimento do setor com a preservação ambiental.

A produção animal, essencial para a economia, também é uma das atividades com maior impacto ambiental. Nesse viés, manter e aumentar a produção sem degradar de forma significativa o ambiente, talvez seja o desafio central desse setor em todos os continentes (CHENG et al., 2022). Além disso, o desempenho animal pode servir como um indicador para comparar as capacidades produtivas e qualitativas de diferentes pastagens em sistemas de produção (CARDOSO et al., 2020).

As pastagens se destacam como a forma mais prática de alimentação animal. As forrageiras, quando jovens e em condições favoráveis, apresentam uma estrutura morfológica determinante, com maior presença de folhas, altos valores de proteína bruta e menores frações fibrosas, permitindo uma elevada eficiência de consumo (RUGGIERI et al., 2020). No entanto, sua produção em regiões tropicais está sujeita às condições de estacionalidade devido aos fatores climáticos, como a ocorrência de longos períodos com baixa pluviosidade, reduzindo a disponibilidade de água para as plantas (AHMAD et al, 2022; BOGALE; ERENA, 2022). Nesse sentido, a espécie forrageira *Panicum maximum* Jacq, planta C4, é amplamente utilizada na produção de gado nas zonas climáticas tropicais e subtropicais (VICIEDO et al., 2019).

A capacidade de produção da pastagem está intrinsecamente relacionada às condições de ambiente prevalecente na área e às práticas de manejo adotadas. Sendo assim, fatores como temperatura, luminosidade, água e nutrientes condicionam o potencial fotossintético do dossel, em decorrência de alterações na área foliar e na capacidade fotossintética da planta. Essas variações de ambiente são responsáveis pela distribuição territorial das diferentes espécies de forrageiras e influenciam de maneira direta a produtividade das pastagens (NIEVES et al., 2020; GALVEZ et al., 2023). Alencar et al. (2009) estudaram a produção de forrageiras irrigadas no estado de Minas Gerais e evidenciaram que a irrigação aumentou a produtividade de matéria seca do capim-mombaça na estação outono/inverno.

Em pastagens, a técnica de irrigação mais utilizada no Brasil é aquela enquadrada no método aspersão (ALENCAR et al., 2009; MELO et al., 2020). Entretanto, a utilização da irrigação por gotejamento subsuperficial vem se expandindo nas últimas décadas (GAFARY et al., 2022; ROCHA et al., 2025) por ser um sistema sem perdas de água por evaporação. Além disso, apresenta outras vantagens como a realização de manejo sem a necessidade da remoção das linhas laterais, tanto no preparo do solo, no período de ocupação pelos animais, na capina mecânica quanto na colheita de sementes (GUIMARÃES et al., 2019; WANG et al., 2021).

Os sistemas de irrigação subsuperficial por gotejamento podem ser uma alternativa, pois, acredita-se que possam ser eficientes em áreas de pastagem intensiva (MELO et al., 2020). Assim, a irrigação localizada caracteriza-se pela aplicação de água em menor volume e em maior frequência, com maior eficiência, próximo ou dentro da zona radicular da cultura (FU et al., 2021). Um dos principais desafios nesse sistema é a definição do espaçamento e da profundidade dos tubos gotejadores, sendo necessário estudos que abordem a interação do sistema com a cultura em desenvolvimento, levando em consideração profundidade, espaçamento e vazão do emissor (LAMM et al., 2021).

A instalação de gotejadores em profundidade afetou negativamente a germinação das sementes de capim-sabiá, inferindo-se que em maiores profundidades haverá menores taxas de germinação (ROCHA et al., 2025). Segundo os autores, este resultado pôde ser explicado pela diminuição da umidade do solo e, por consequência, o aumento da temperatura, o que ocasiona uma redução no desempenho das sementes de capim-sabiá. Gonçalves et al. (2017) identificaram maior teor de umidade nas camadas de 0,20 m a 0,60 m para tubos gotejadores instalados a 0,20 m de profundidade. Além disso, observaram uma maior variação no conteúdo de água na camada de 0 a 0,10 m de um solo cultivado com capim-marandu irrigado por gotejamento subsuperficial (MELO et al., 2020). Portanto, é necessário aplicar técnicas que aumentem a disponibilidade de água no solo no cultivo de pastagem irrigada com sistema subsuperficial, especialmente durante a fase de formação da pastagem, quando o sistema radicular é menos profundo.

Uma forma de aumentar a disponibilidade de água no substrato e garantir maior segurança hídrica na formação de pastagem é por meio do uso de polímeros hidroretentores. Esses polímeros, geralmente derivados de petróleo, apresentam alta taxa de absorção de água, porém com lenta degradação, favorecendo efeitos adversos negativos ao ambiente e até mesmo ao crescimento das plantas (CHANG et al., 2021). Outra desvantagem dos polímeros derivados de petróleo é a redução do potencial matricial do solo. Embora esses polímeros consigam reter

água, ela não fica facilmente disponível para as plantas (RODRIGUES et al., 2023; ARAÚJO et al., 2024).

Diante disso, o uso de polímeros hidrotentores biodegradáveis é uma alternativa sustentável para aumentar a retenção, garantindo que a água fique facilmente disponível para as plantas (BRASILBOR, 2019). Além disso, esses polímeros ao se degradarem naturalmente, também apresentam a vantagem de melhorar a estrutura do solo, proporcionando benefícios tanto ambientais quanto agrícolas (CHOI et al., 2022). Portanto, o uso de polímeros biodegradáveis é uma forma sustentável favorecer a retenção de água nos recipientes durante a formação de pastagem de capim-mombaça.

Os polímeros hidrotentores têm uma grande capacidade de resposta a condições ambientais diversas, como mudança de temperatura, de pH, variações de campo magnético, e à alguns estímulos elétricos (QAMRUZZAMAN, 2022). Os polímeros hidrotentores podem ser produzidos de fontes renováveis como os polímeros de polissacarídeos biodegradáveis, apresentando alta absorção de água, maleabilidade e alta resistência mecânica, por exemplo (LI et al., 2017). Quando de origem sustentável, os polímeros hidrotentores são considerados como biomateriais inovadores porque possuem algumas propriedades únicas como: capacidade de biodegradação, arquitetura estável, biocompatibilidade e sustentabilidade, grande capacidade de absorção de metabólitos e nutrientes solúveis em água (BOTARO et al, 2020).

A utilização de polímeros hidrotentores biodegradáveis representam uma abordagem promissora e sustentável na agricultura, sendo classificados como grânulos dispersíveis em água (WG), como descritos por Hazra e Purkait (2019), são formados pela agregação de pós em grânulos uniformes, o que facilita o manuseio e minimiza a suspensão de partículas respiráveis. O UPDT® é um exemplo de grânulo WG à base de amido de milho, capaz de absorver e liberar água repetidamente conforme a necessidade das plantas. Tatagiba et al. (2019) demonstraram que o uso de polímeros hidrotentores no substrato de mudas clonais de eucalipto favoreceu o crescimento em altura e diâmetro do coleto, bem como o enraizamento inicial e a sobrevivência das plantas.

Embora o UPDT®, um polímero natural composto por amido-g-poli2-propenamida-co-2-ácido propenóico-sal de potássio, desenvolvido pela UPL Brasil, seja uma tecnologia inovadora para uso em plantas na fase inicial, ainda são necessários estudos adicionais para validar sua eficácia na agricultura. É fundamental investigar aspectos como a retenção de água, a dosagem ideal para formação de pastagem e o tempo de biodegradação no solo para otimizar o crescimento e a qualidade pastagem (BRASILBOR, 2019).

Diante disso, o objetivo geral neste trabalho avaliar diferentes doses de polímero hidroretentor nas características agronômicas do capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) em diferentes ciclos de cultivo. Sendo necessário caracterizar o consumo hídrico do capim-mombaça na fase de estabelecimento. Além disso definir a melhor dose do polímero hidroretentor UPDT® para o estabelecimento do capim-mombaça e avaliar as características morfogênicas do capim-mombaça em diferentes épocas climáticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área experimental

O estudo foi realizado no Centro de Referência em Recursos Hídricos (CRRH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizado no município de Viçosa, Minas Gerais, com latitude 20°46'19" S, longitude 42°52'28" W (Figura 1), altitude média de 650 m. O clima da região é Cwa, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). De acordo com os dados da Normal Climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), Viçosa-MG registra um total pluviométrico médio anual de 1.289 mm, uma temperatura média mensal variando no período chuvoso entre 20,3 °C e 22,3 °C, e no período seco entre 15,4 °C e 18,3 °C. Em relação à temperatura mínima, o mês de julho registra os menores valores, com uma média de 10,1 °C, enquanto o registro de temperatura máxima varia entre 25,0 °C a 35,0 °C, e no inverno, de 23,0 °C a 25,0 °C.

Figura 1 - Localização da casa de vegetação no Centro de Referência em Recursos Hídricos pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa



Fonte: Google Earth Pro.

2.2. Procedimentos experimentais

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, para que água proveniente de precipitações pluviais não afetasse os resultados. A estrutura possuiu área de 30 m² (5 m de largura por 6 m de comprimento). As laterais foram protegidas com tela de polietileno de 2 m de altura, deixando espaços abertos para ventilação. A estrutura apresentava dois vãos nas laterais opostas com cortinas removíveis para permitir fluxo de ar para ventilação natural. A cobertura do ambiente protegido recebeu filme de polietileno de baixa densidade (PEBD) de 150 micras, aditivado contra radiação ultravioleta.

Para condução do experimento, foram instalados 20 vasos de dimensões de 21 cm de diâmetro superior, 12 cm de diâmetro inferior e 21 cm de altura, resultando em 4,8 L de volume. Os vasos foram preenchidos com solo coletado em um barranco no campus da UFV. As características físico-hídricas e químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização físico-hídrica e química do solo utilizado para o preenchimento dos vasos

Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	CC	PM	Classificação textural			
----- kg kg ⁻¹ -----									
0,307	0,137	0,128	0,427	0,247	0,137	Argila			
pH H ₂ O	pH KCl	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	
-----		----- mg dm ⁻³ -----		-----		----- cmol _c dm ⁻³ -----		-----	
6,30	5,69	117,3	46,0	6,60	5,68	0,55	0,00	1,90	
SB	t	T	V	m	ISNa	MO	N-total	P-Rem	
----- cmol _c dm ⁻³ -----		-----		----- % -----		----- dag kg ⁻¹ -----		----- mg L ⁻¹ -----	
6,38	6,38	8,28	77,1	0,00	0,35	2,96	0,115	37,0	
S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
----- mg dm ⁻³ -----									
1,90	0,26	2,54	40,5	54,1	12,93	0,00	0,78	0,42	1,26

CC = capacidade de campo; PM = ponto de murcha permanente; P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni e Cr - extrator Mehlich-1; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCl - 1 mol L⁻¹; H + Al - extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; SB = soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; T = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = índice de saturação por bases; m = índice de saturação por alumínio; ISNa = índice de saturação por sódio; MO (matéria orgânica) = C.Org x 1,724 - Walkley-Black; P-rem = fósforo remanescente; N total - digestão sulfúrica e destilação Kjeldhal; S - extrator por fosfato monocálcico em ácido acético; B - extrator água quente.

Fonte: Autor.

Com base nos resultados da análise do solo e nas exigências da cultura, foi realizada a correção da fertilidade no momento da implantação do experimento, seguindo as recomendações de Alvarez et al. (1999). Os fertilizantes utilizados para adubação foram: ureia

(0,105 g de $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ por vaso), fosfato monoamônico (MAP) (0,068 g de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ por vaso) e cloreto de potássio (0,068 g de KCl por vaso). O preparo das aplicações desses fertilizantes foi diluído em 1,5 L de água, homogeneizado e em seguida cada vaso recebeu 50 mL, essas fertirrigações ocorreram antes da semeadura e no mesmo dia dos respectivos cortes, continuando nos quatro dias seguintes de irrigação da cultura do capim-mombaça, sem a necessidade de correção da acidez do solo.

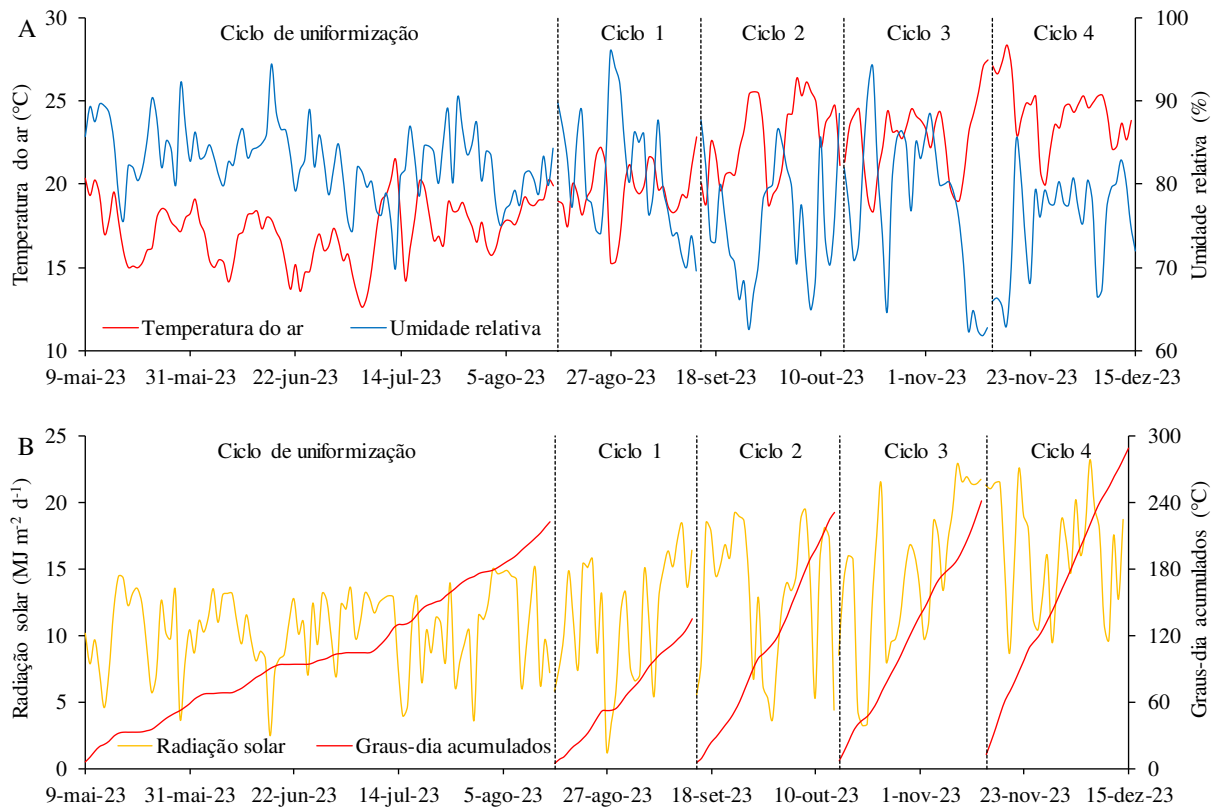
A forrageira utilizada no estudo foi o capim-mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça). As sementes possuíam pureza mínima de 95% e foram tratadas com fungicida e inseticida. Para a semeadura, um sulco circular com 3 a 5 cm de profundidade foi aberto em cada vaso, e 2 gramas de sementes foram distribuídas de maneira uniforme ao longo do sulco. A semeadura foi realizada junto da aplicação do polímero hidrotentor UPDT®, o qual necessita de duas irrigações subsequentes para garantir a hidratação completa (UPL LIMITED, 2021). O período experimental decorreu de 09/05/2023 a 15/12/2023, com ciclos de avaliação realizados de maio a dezembro de 2023. Cinco cortes foram efetuados: o primeiro, de uniformização, ocorreu 98 dias após a semeadura, e os subsequentes ciclos de cultivo, as forragens foram coletadas em 15/09/2023 (31 dias), 15/10/2023 (30 dias), 14/11/2023 (30 dias) e 14/12/2023 (30 dias), mantendo-se um resíduo de 15 cm na superfície do solo. Estas datas seguiram a recomendação da fornecedora de sementes, que preconiza ciclo de cultivo do capim de 30 dias.

O ciclo de uniformização foi realizado com o objetivo de estabelecer uma padronização na forrageira durante o primeiro ciclo. Isso foi feito para assegurar condições iniciais consistentes e minimizar possíveis variabilidades que poderiam interferir nos resultados. Ao interromper o crescimento livre e desordenado das plantas, comum em plantas forrageiras (BAUNGRATZ et al., 2024; GOMIDE; GOMIDE, 2000), cria-se um ponto de partida homogêneo.

2.3. Elementos meteorológicos

Os dados climáticos ocorridos durante o período experimental estão apresentados na Figura 2. Os valores médios das variáveis meteorológicas nos ciclos 1, 2, 3 e 4 foram de 19,5; 22,7; 22,8 e 24,4 °C para temperatura do ar, 81,2; 75,51; 77,8 e 75,4% para umidade relativa e 11,3; 13,1; 14,6 e 16,6 $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ para radiação solar, respectivamente.

Figura 2 - Médias diárias de (A) temperatura do ar, umidade relativa, (B) radiação solar e graus-dia acumulados durante o período experimental



Fonte: Autor.

Na literatura, as referências discordam sobre os valores de temperaturas basais inferior e superior específicos para o capim-mombaça. Portanto, para calcular os valores de graus-dia acumulados (GDA), foram adotados dados médios para o capim-mombaça. Dessa forma, as temperaturas basais inferior e superior consideradas foram de 12°C e 35°C, respectivamente (SILVA et al., 2012; JESUS et al., 2021).

2.4. Delineamento experimental

O experimento foi montado no delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. O arranjo experimental foi em parcelas subdivididas, tendo quatro ciclos de cultivo na parcela e cinco doses de polímero hidrotentor nas subparcelas. Foram realizados quatro ciclos de cultivos do capim-mombaça, sendo que o ciclo de uniformização não foi incluído na análise. As subparcelas foram constituídas de cinco doses de polímero hidrotentor UPDT® (0%, 50%, 100%, 150% e 200%), tendo como base de referência a dose de 15 kg ha⁻¹ que é recomendada para a cultura da cana-de-açúcar pelo detentor do produto (UPL LIMITED, 2021).

Sendo assim, as doses de polímero hidroretentor testadas no estudo foram de 0; 7,5; 15; 22,5 e 30 kg ha⁻¹. Dessa forma, foram definidas 20 unidades experimentais, organizadas em quatro blocos com cinco tratamentos cada, dispostos sobre uma bancada dentro da casa de vegetação.

2.5. Condução do experimento

Para evitar grandes variações no armazenamento de água no solo e mantê-lo com umidade próxima à capacidade de campo, o capim-mombaça era irrigado com turno de rega de dois dias. O manejo da irrigação foi conduzido por meio da diferença de massa entre duas irrigações. Os vasos funcionaram semelhantes a lisímetros de pesagem, sendo possível medir a evapotranspiração da cultura (ET_c). A Equação 1 foi empregada para calcular a ET_c e determinar a quantidade de água que foi aplicada nos vasos com solo.

$$ET_c = M_{vaso\ i} - M_{vaso\ i+1} - D \quad (1)$$

Em que:

ET_c – evapotranspiração da cultura (L);

M_{vaso i} – massa do vaso no dia i (kg);

D – água drenada (L).

Com o valor de ET_c, era possível aplicar uma quantidade água para elevar o solo até a capacidade de campo em todos os eventos de irrigação. Os vasos eram pesados em uma balança com precisão de 0,01 g. As irrigações eram realizadas manualmente no período da tarde (17:00). No dia seguinte às irrigações, no período da manhã (7:00) eram realizadas as coletas do dreno. É oportuno destacar que todo o volume drenado em cada um dos vasos era reintroduzido junto com a água de irrigação no mesmo vaso, assegurando o equilíbrio de sais e nutrientes no solo. A água de irrigação, coletada da rede de redistribuição próxima à casa de vegetação, foi analisada. O potencial redox máximo (e max1+) foi medido, e o pH registrado variou entre 7,2 e 7,9. A condutividade elétrica foi medida em três ocasiões diferentes, com média de valores de 107 μS cm⁻¹ a 25 °C.

2.6. Avaliações experimentais

Após o ciclo de uniformização, foram selecionados, ao acaso, dois perfilhos de cada vaso para avaliação da morfogênese do capim-mombaça. Os perfilhos foram identificados com

presilhas de plástico (Figura 3), identificadas por cores diferentes. Foram medidos o comprimento total das lâminas foliares expandidas e emergentes, assim como o comprimento do pseudocolmo, tomando a distância da última lígula exposta até a base do perfilho. A coleta dos dados ocorreu no período da manhã, com início às 7:00, em dois dias na semana (terça-feira e sexta-feira).

Figura 3 - Identificação de dois perfilhos por vaso para a avaliação da morfogênese.



Fonte: Autor

Com o auxílio de uma régua graduada, foram efetuadas medições do comprimento das lâminas foliares e do pseudocaule dos perfilhos identificados previamente. O comprimento das folhas expandidas foram medidas desde a ponta da folha até sua lígula. No caso de folhas em expansão, o mesmo procedimento era adotado, porém considerou-se a lígula da última folha expandida como referencial de mensuração. Para folhas em senescência, o comprimento correspondeu à distância entre a lígula da folha até onde o processo de senescência avançou. O tamanho do pseudocaule foi mensurado como a distância desde a superfície do solo até a lígula da folha mais jovem completamente expandida. A partir dos dados obtidos, referentes ao estudo de crescimento de folhas, foram calculadas as seguintes variáveis de acordo com Gomide e Gomide (2000):

- Número de folhas emergentes (NFEm), obtido no final do período de crescimento, considerando como folhas emergentes ou em expansão aquelas que não apresentavam lígula exposta;

- Número de folhas expandidas (NFEx), obtido no final do período de crescimento, considerando o número de folhas expandidas de cada perfilho, ou seja, com lígula exposta;
- Número de folhas vivas (NFV), obtido no final do período de crescimento, somando o número de folhas em expansão e expandidas do perfilho;
- Taxa de aparecimento de folhas (TApF, folhas perfilho⁻¹ d⁻¹): obtida por meio da subtração do número de folhas surgidas, por perfilho, em relação às folhas iniciais, pelo número de dias envolvidos;
- Taxa de alongamento de folhas (TAIF, cm perfilho⁻¹ d⁻¹): obtida por meio da subtração entre os comprimentos iniciais e finais das lâminas, dividindo a diferença obtida pelo número de dias decorridos na avaliação e multiplicando o resultado pelo número de perfilhos considerados;
- Taxa de alongamento de colmo (TAIC, cm perfilho⁻¹ d⁻¹): obtida por meio da subtração entre os comprimentos iniciais e finais dos colmos, dividindo a diferença obtida pelo número de dias decorridos na avaliação e multiplicando o resultado pelo número de perfilhos considerados;
- Taxa de senescência de folha (TSF, cm perfilho⁻¹ d⁻¹): calculada dividindo-se o comprimento final total do tecido senescente, pelo número de dias envolvidos.

As características agronômicas massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) foram avaliadas no final de cada ciclo de cultivo do capim-mombaça. A MFPA correspondeu a toda a parte aérea (folhas e colmo) da planta com altura superior a 15 cm, sendo pesada utilizando uma balança digital de precisão (0,01 g). Posteriormente, as folhas e colmos de cada vaso foram armazenados em sacos de papel e submetidos à secagem em uma estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 h, sendo então pesados novamente com uma balança digital de precisão (0,01 g) para determinação da MSPA.

A produtividade do uso da água (PA) foi calculada por meio da Equação 2, sendo a relação entre MSPA e o volume de água aplicada nos vasos cultivados com capim-mombaça.

$$PA = \frac{MSPA}{V_t} \quad (2)$$

Em que:

PA – produtividade do uso da água (kg m⁻³);

MSPA – massa seca da parte aérea (kg vaso⁻¹);

Vt – volume total de água aplicado (m³ vaso⁻¹).

2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando 0,05 de significância no teste F. Independentemente da significância da interação entre os fatores, foram realizados os desdobramentos, levando em consideração o interesse no estudo. Para verificações dos pressupostos de homogeneidade das variâncias e normalidade foram utilizados os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk, respectivamente, utilizando 0,05 de significância em ambos. Para os fatores qualitativos, as médias foram comparadas utilizando o teste de Tukey a 0,05 de significância. Para os fatores quantitativos, foram testados modelos lineares e quadráticos. A seleção do modelo foi com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 0,05 de significância, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico. Para execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote Experimental Designs do software “R” (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

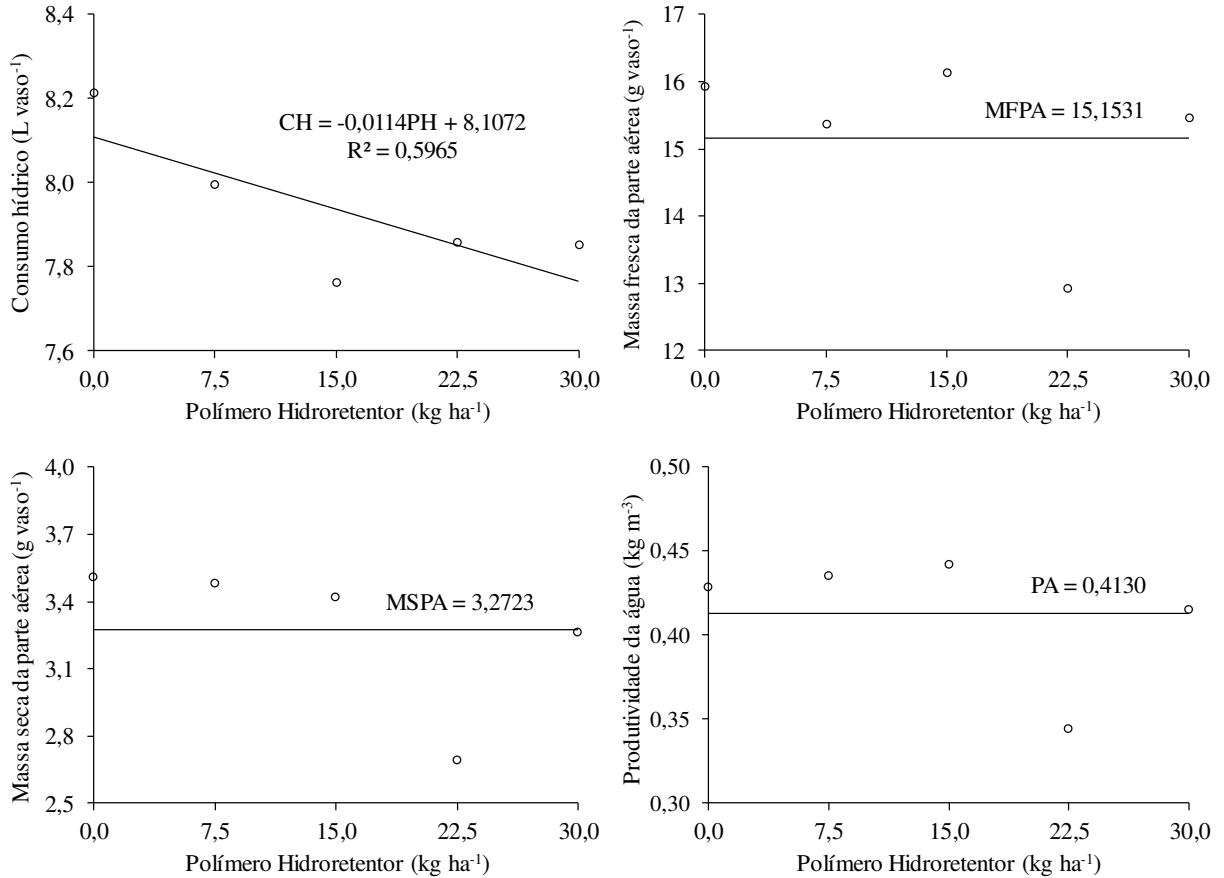
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ciclo de uniformização

O ciclo de uniformização transcorreu desde a semeadura em 09/05/2023 até o momento do corte de uniformização ocorrido em 15/08/2023. O primeiro corte de uniformização em um trabalho de pastagem é uma prática essencial para garantir condições homogêneas antes do início dos tratamentos ou da coleta de dados. Esse procedimento elimina variações iniciais, como diferenças de altura, idade ou vigor das plantas, que poderiam interferir nos resultados, e estabelece um padrão inicial para o experimento. Além disso, o corte estimula a rebrota, especialmente em gramíneas, tornando a pastagem mais representativa do manejo a ser estudado. A uniformização é particularmente importante em estudos científicos, pois permite isolar e controlar as variáveis, facilitando a análise dos efeitos das intervenções planejadas no experimento (ROCHA et al., 2025). Dessa forma, o corte de uniformização melhora a precisão dos resultados, minimizando variações indesejadas e aumentando a confiabilidade das conclusões.

Observa-se na Figura 4 que o aumento das doses de polímero hidroretentor proporcionaram redução no consumo hídrico do capim-mombaça. Essa redução pode ser explicada pelo fato de que o polímero hidroretentor tem a capacidade de reter água no solo, liberando-a gradualmente para as plantas. Com isso, o capim-mombaça pode acessar a água armazenada no solo de forma mais eficiente, reduzindo a necessidade de irrigação constante. Assim, ao aumentar a dose do polímero, o solo mantém uma umidade mais estável, o que diminui a evaporação e a necessidade de consumo hídrico para o crescimento da planta. Por outro lado, as demais características avaliadas não foram afetadas pelas doses de polímero hidroretentor.

Figura 4 - Consumo hídrico (CH), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade da água (PA) do capim-mombaça em fase de estabelecimento e em função de doses de polímero hidroretentor (PH).



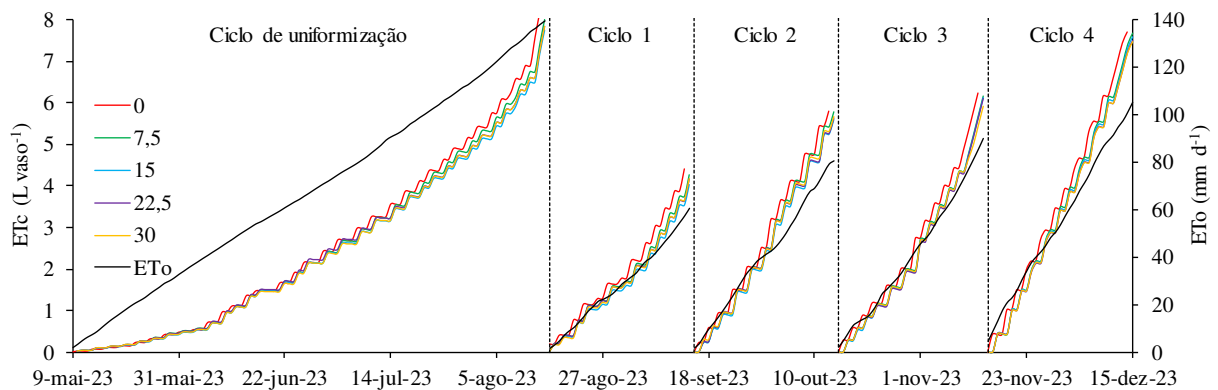
Fonte: Autores

As massas frescas e seca da parte aérea no final do ciclo de uniformização apresentaram valores médios de 15,15 e 3,27 g vaso⁻¹, respectivamente (Figura 4), resultando no teor médio de matéria seca de 21,6%. A produtividade de água apresentou valor médio de 0,41 kg m⁻³, ou seja, para produção de 1 kg de massa seca de capim-mombaça são necessários 2,42 m³ de água. Embora não tenha sido possível ajustar uma equação de regressão, observa-se que a dose de 15 kg ha⁻¹ de polímero hidroretentor resultou em maior produção de massa fresca e seca da parte aérea, além de menor consumo hídrico, o que contribuiu para uma maior produtividade de água. Esses resultados sugerem que a dose de 15 kg ha⁻¹ pode ser uma recomendação promissora para a formação de pastagens de capim-mombaça. No entanto, é importante ressaltar que essa conclusão não pode ser confirmada com base apenas nessa variável, sendo necessária a consideração de outros fatores e estudos complementares.

3.2. Consumo hídrico

Na Figura 5, é apresentada a evolução da evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ETo), calculadas conforme Allen et al. (1998), ao longo dos ciclos do capim-mombaça avaliados. Observou-se um aumento progressivo no consumo hídrico à medida que os ciclos de cultivo avançaram do 1º ao 4º, acompanhado por uma elevação gradativa da ETo e, conseqüentemente, da ETc. Esse comportamento pode ser atribuído às condições climáticas típicas da primavera, como o aumento da radiação solar e das temperaturas do ar, conforme evidenciado na Figura 3. Essas variáveis influenciam diretamente o déficit de pressão de vapor, intensificando a demanda evaporativa da atmosfera. Além disso, durante os meses mais quentes, é comum observar maior vigor vegetativo e expansão da área foliar no capim-mombaça (ORDOÑES et al., 2022; FRANCO et al., 2024), o que também contribui para o aumento da transpiração. Comparativamente, no inverno, as temperaturas mais baixas, menor radiação solar e dias mais curtos reduzem a taxa de evapotranspiração, explicando os valores menores observados no ciclo 1.

Figura 5 - Evolução do consumo hídrico do capim-mombaça nos diferentes ciclos de cultivo por meio da evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) nos distintos tratamentos com doses de polímero hidrorretentor



Fonte: Autor.

3.3. Características morfogênicas

Houve interação entre os fatores ciclos de cultivo e polímero hidrorretentor para todas as características morfogênicas avaliadas (Tabela 2). Verifica-se também na Tabela 2 que os resultados do número de folhas emergentes (NFEm) variaram significativamente entre os ciclos

de cultivo. No primeiro ciclo, as médias foram inferiores em comparação aos demais ciclos. O segundo ciclo apresentou os maiores valores para a maioria das doses. No terceiro ciclo, houve estabilidade nos tratamentos com menores doses de polímero hidrorretentor e redução nas maiores doses, enquanto no quarto ciclo foi observada uma queda generalizada, especialmente nas doses intermediárias. As diferenças no NFEm entre os ciclos refletem as condições climáticas variáveis ao longo do experimento. O primeiro ciclo, com temperaturas mais baixas e menor radiação solar (Figura 3), pode ter limitado o desenvolvimento inicial das folhas. No segundo ciclo, as condições mais favoráveis, como aumento da temperatura média (22,7 °C) e radiação solar (13,12 MJ m⁻² d⁻¹), impulsionaram a emergência foliar, resultando nos maiores valores observados. No terceiro ciclo, a estabilidade ou ligeira redução pode estar associada à competição por recursos devido ao maior acúmulo de biomassa das plantas. No quarto ciclo, o aumento da demanda hídrica (evapotranspiração de referência média de 3,39 mm d⁻¹) e a redução da umidade relativa média (75,37%) provavelmente intensificaram o estresse hídrico, afetando negativamente a emergência foliar, principalmente em doses intermediárias e mais baixas. Esses resultados indicam que o desempenho das plantas está diretamente relacionado às condições climáticas e ao manejo hídrico em cada ciclo.

Tabela 2 - Quadrados médios, significância do teste F (ANOVA) e valores médios das características morfogênicas: número de folhas emergentes (NFEm), número de folhas expandidas (NFEx), número de folhas vivas (NFV), taxa de alongamento de colmo (TAIC), taxa de aparecimento foliar (TApF), taxa de alongamento foliar (TAIF) e taxa de senescência foliar (TSF) em distintos ciclos do capim-mombaça e em função de doses de polímero hidroretentor (PH)

Variável	Quadrado Médio			CV (%)	PH (kg ha ⁻¹)	Ciclos de cultivo			
	Ciclo	PH	C x PH			1	2	3	4
NFEm	1,845 x 10 ^{0**}	5,002 x 10 ^{-2ns}	2,563 x 10 ^{-1*}	27,09	0	0,875 a	1,250 a	1,250 a	1,125 a
					7,5	1,125 a	1,500 a	1,375 a	0,500 b
					15	1,125 b	1,875 a	1,125 b	0,750 b
					22,5	1,125 b	1,750 a	1,125 b	0,750 b
					30	1,250 ab	1,625 a	0,875 b	1,250 ab
NFEx	4,365 x 10 ^{-1**}	1,687 x 10 ^{-1**}	4,583 x 10 ^{-2**}	81,26	0	0,500 a	0,000 b	0,000 b	0,000 b
					7,5	0,125 a	0,000 a	0,000 a	0,125 a
					15	0,375 a	0,125 ab	0,000 b	0,125 ab
					22,5	0,625 a	0,125 b	0,125 b	0,375 ab
					30	0,125 a	0,000 a	0,000 a	0,125 a
NFV	1,558 x 10 ^{0**}	2,312 x 10 ^{-1ns}	2,458 x 10 ^{-1*}	24,64	0	1,375 a	1,250 a	1,250 a	1,125 a
					7,5	1,250 a	1,500 a	1,375 a	0,625 b
					15	1,500 ab	2,000 a	1,125 bc	0,875 c
					22,5	1,750 ab	1,875 a	1,250 bc	1,125 c
					30	1,375 ab	1,625 a	0,875 b	1,375 ab
TAIC (cm d ⁻¹ perf. ⁻¹)	1,980 x 10 ^{-2**}	6,329 x 10 ^{-4*}	9,521 x 10 ^{-4**}	37,11	0	0,104 a	0,008 c	0,036 b	0,020 bc
					7,5	0,076 a	0,013 b	0,018 b	0,013 b
					15	0,089 a	0,024 b	0,000 b	0,020 b
					22,5	0,069 a	0,037 b	0,020 b	0,020 b
					30	0,081 a	0,062 a	0,008 b	0,030 b
TApF (fol. d ⁻¹ perf. ⁻¹)	6,070 x 10 ^{-3**}	6,102 x 10 ^{-4*}	4,514 x 10 ^{-4**}	24,16	0	0,073 a	0,040 b	0,040 b	0,050 ab
					7,5	0,073 a	0,054 ab	0,040 bc	0,020 c
					15	0,073 a	0,054 ab	0,040 b	0,040 b
					22,5	0,085 a	0,049 bc	0,036 c	0,065 ab
					30	0,089 a	0,067 ab	0,031 c	0,060 b
TAIF (cm d ⁻¹ perf. ⁻¹)	1,251 x 10 ^{0*}	1,916 x 10 ^{-1ns}	8,122 x 10 ^{-1**}	15,42	0	2,906 ab	2,193 b	3,135 a	2,809 ab
					7,5	2,889 a	2,715 a	3,080 a	1,873 b
					15	3,050 a	2,661 a	3,192 a	2,680 a
					22,5	2,756 a	2,684 a	3,119 a	2,613 a
					30	2,834 b	2,092 b	2,796 b	3,903 a
TSF (fol. d ⁻¹ perf. ⁻¹)	3,936 x 10 ^{0**}	6,137 x 10 ^{-1**}	3,163 x 10 ^{-1**}	23,12	0	1,513 a	0,538 b	1,567 a	1,825 a
					7,5	1,538 a	0,667 b	1,227 ab	1,249 ab
					15	1,427 a	0,470 b	1,442 a	1,143 a
					22,5	1,364 ab	0,894 b	1,638 a	1,339 ab
					30	1,625 b	0,709 c	1,622 b	2,520 a

C x PH: interação entre ciclos de cultivo e polímero hidroretentor; CV: coeficiente de variação; * e **: significância a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo; médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Fonte: Autores.

No primeiro ciclo de cultivo do capim-mombaça, as plantas apresentaram maior número de folhas expandidas (NFEx), independente da dose de polímero hidroretentor utilizada (Tabela 2). Nos ciclos seguintes os valores diminuíram progressivamente, ficando próximos de zero em algumas doses de polímero. Essa diminuição está associada às condições climáticas mais exigentes nos últimos ciclos, como o aumento da evapotranspiração e da radiação solar (Figura 2), que intensificaram o estresse hídrico e limitaram o desenvolvimento foliar. Esses resultados destacam o impacto das variações sazonais no crescimento das plantas, corroborando estudos que evidenciam o papel das condições climáticas na emergência e expansão foliar de gramíneas (LAGE FILHO et al., 2021; ROUET et al., 2021; MARÍN et al., 2023; ROCHA et al., 2025).

Verifica-se também na Tabela 2 que o número de folhas vivas (NFV) foi maior no primeiro e segundo ciclos em todas as doses de polímero hidroretentor, seguido por uma redução nos terceiro e quarto ciclos, refletindo a diminuição do crescimento foliar ao longo do experimento. Essa redução acompanha as tendências observadas para o NFEm e NFEx, evidenciando a dificuldade das plantas em sustentar o desenvolvimento e a manutenção foliar em ciclos posteriores devido ao aumento do estresse hídrico e à menor eficiência no aproveitamento dos recursos hídricos e nutricionais disponíveis. Estudos em gramíneas sob condições similares destacam que limitações na expansão foliar impactam diretamente o NFV, reduzindo a área fotossintética disponível para sustentar o crescimento da planta (BAIRD et al., 2021; LI et al., 2021).

A taxa de alongamento de colmo (TAIC) apresentou variações significativas entre os ciclos de cultivo (Tabela 2). No primeiro ciclo, observou-se maiores TAIC do capim-mombaça, provavelmente devido às condições climáticas mais amenas (Figura 2) e ao início do desenvolvimento das plantas. Nos ciclos seguintes, a TAIC diminuiu progressivamente, o que pode estar associado ao aumento do estresse hídrico, com a elevação da evapotranspiração e redução da umidade relativa, limitando o crescimento do colmo. Esses resultados corroboram a ideia de que o alongamento de colmo é altamente influenciado por fatores climáticos (WU et al., 2023; KONNO et al., 2024; ROCHA et al., 2025).

Verifica-se na Tabela 2 que a taxa de aparecimento foliar (TApF) foi maior no primeiro ciclo do capim-mombaça, com redução nos ciclos seguintes. Esse padrão segue o comportamento observado para a TAIC. As justificativas para esses resultados são as mesmas já mencionadas para a TAIC.

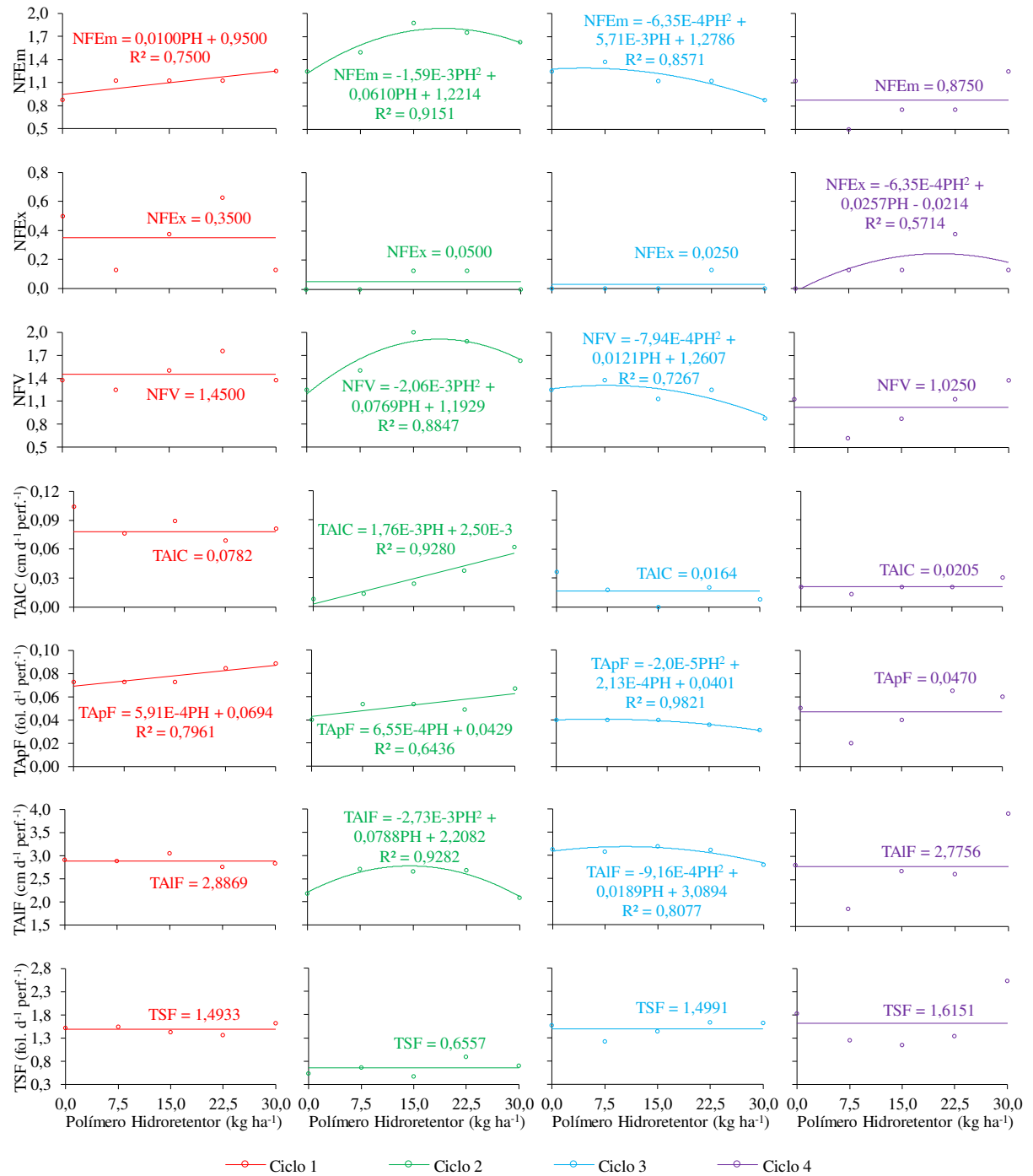
A taxa de alongamento foliar (TAIF) apresentou variações significativas entre os ciclos de cultivo (Tabela 2). Em geral, no primeiro ciclo, os valores foram mais elevados, seguidos por uma redução no segundo ciclo, que registrou a menor valor médio de TAIF. O terceiro ciclo

teve um aumento nos valores de TAlF, sendo o maior entre os ciclos, enquanto o quarto ciclo apresentou uma recuperação, embora inferior ao terceiro ciclo. Esses resultados sugerem que as condições climáticas influenciaram o alongamento foliar, com maior crescimento nas condições do terceiro ciclo, caracterizado por temperaturas mais altas e maior radiação solar (Figura 2). No entanto, o estresse hídrico e a redução da umidade relativa nos ciclos subsequentes resultaram em uma diminuição da TAlF, especialmente no segundo ciclo. No quarto ciclo, apesar de uma recuperação na TAlF, o impacto das condições climáticas e do manejo hídrico continuou a limitar o alongamento foliar em comparação ao terceiro ciclo.

Observou-se que o capim-mombaça apresentou as menores taxas de senescência foliar (TSF) no ciclo 2 (Tabela 2). Nos demais ciclos, não houve diferenças significativas dentro da maioria das doses de polímero hidrotentor, com os valores de TSF sendo mais elevados e semelhantes entre esses ciclos. Esses resultados sugerem que o ciclo 2 foi caracterizado por condições climáticas mais favoráveis, possivelmente devido ao aumento da umidade relativa e temperaturas do ar moderadas (Figura 2), que favorecem a manutenção das folhas por mais tempo. Como resultado, o capim-mombaça no ciclo 2 foi favorecido para um melhor desempenho foliar, proporcionando maior sustentabilidade do crescimento vegetativo (COSTA et al., 2021; ZHANG et al., 2024).

Na Figura 6, são apresentadas as variações das características morfogênicas em função das doses de polímero hidrotentor nos diferentes ciclos de cultivo do capim-mombaça. No ciclo 1, observou-se um aumento linear no número de folhas emergentes (NFEm) com o incremento das doses de polímero hidrotentor. Já nos ciclos 2 e 3, as doses de polímero hidrotentor apresentaram efeito quadrático no NFEm. Com base nas equações de regressão e aplicando a derivada parcial, as doses de polímero que maximizaram o NFEm foram de 19,2 e 4,5 kg ha⁻¹, resultando em valores de 1,81 e 1,29 folhas emergentes para os ciclos 2 e 3, respectivamente. Esse resultado está de acordo com estudos que sugerem que o uso de polímeros hidrotentores pode melhorar a retenção de água no solo, aumentando a disponibilidade hídrica para as plantas e, assim, estimulando o desenvolvimento foliar (ARAÚJO et al., 2024). No ciclo 4, não foi possível ajustar nenhum modelo de regressão aos dados de NFEm. Esse resultado sugere que nesse período as doses de polímero não contribuíram na retenção hídrica, não afetando o desenvolvimento foliar do capim-mombaça.

Figura 6 - Número de folhas emergentes (NFE_m), número de folhas expandidas (NFE_x), número de folhas vivas (NFV), taxa de alongamento de colmo (TAIC), taxa de aparecimento foliar (TApF), taxa de alongamento foliar (TAIF) e taxa de senescência foliar (TSF) em função de doses de polímero hidroretentor (PH) para distintos ciclos do capim-mombaça



Fonte: Autores.

Os resultados para o NFEx foram opostos aos observados para o NFEm. Como apresentado na Figura 6, no ciclo 4, as doses de polímero hidroretentor provocaram um efeito quadrático no NFEx. De acordo com a equação de regressão, a dose de polímero que maximizou o NFEx foi de 20,3 kg ha⁻¹, resultando em 0,28 folhas expandidas. Em contraste, nos demais ciclos de cultivo, o capim-mombaça não apresentou alterações no NFEx em função das doses de polímero. Esse resultado sugere que, nos primeiros ciclos de cultivo, as condições climáticas e o manejo hídrico foram suficientes para permitir o crescimento normal das folhas expandidas, sem que a retenção de água adicional proporcionada pelo polímero fosse necessária para promover melhorias.

O NFV é a soma de NFEx e NFEm e está altamente correlacionada com a produtividade de forragem (COSTA et al., 2021; LAGE FILHO et al., 2021). Nos ciclos 1 e 4, não foi possível ajustar nenhum modelo de regressão aos dados de NFV do capim-mombaça. No ciclo 1, as condições climáticas iniciais, com temperaturas mais baixas, podem ter limitado o crescimento foliar, enquanto no ciclo 4, o aumento do estresse hídrico pode ter restringido a eficiência do polímero. Nos ciclos 2 e 3, as doses de polímero hidroretentor provocaram efeito quadrático no NFV. Com base nas equações de regressão e aplicando a derivada parcial, as doses de polímero que maximizaram o NFEm foram de 18,6 e 7,7 kg ha⁻¹, resultando em valores de 1,91 e 1,31 folhas vivas para os ciclos 2 e 3, respectivamente. Esses resultados indicam que o aumento da demanda hídrica devido ao clima mais quente e à maior evapotranspiração nos ciclos 2 e 3 pode ter intensificado a necessidade de retenção de água no solo. Nesse contexto, o polímero hidroretentor parece ter contribuído para manter a disponibilidade de água para as plantas, maximizando o NFV até uma dose ideal. Contudo, após esse ponto, doses mais elevadas podem ter causado saturação do solo, reduzindo o efeito positivo sobre a preservação da estrutura foliar. Estudos demonstram que o excesso de água no solo pode comprometer a aeração e causar estresse radicular, afetando negativamente a preservação das folhas (SILVA et al., 2020; GITHUI et al., 2021).

Para TAIC, verifica-se na Figura 6 que as doses de polímero hidroretentor proporcionaram aumento linear no ciclo 2. Esse efeito pode ser atribuído à maior disponibilidade de água no solo, proporcionada pelo polímero, que favoreceu o crescimento dos colmos em condições climáticas possivelmente mais favoráveis nesse período. Nos demais ciclos, nenhum modelo testado se ajustou aos dados de TAIC.

As doses de polímero hidroretentor promoveram um aumento linear na TApF durante os ciclos 1 e 2 do capim-mombaça (Figura 6). No ciclo 3, a resposta da TApF ao polímero hidroretentor seguiu um padrão quadrático, com a dose de 6,25 kg ha⁻¹ maximizando a TApF

em 0,04 folhas d^{-1} perfilho $^{-1}$. Esse incremento na TA_pF está diretamente relacionado ao perfilhamento, uma vez que cada nova folha fomenta o desenvolvimento de uma gema com potencial para originar um novo perfilho (MARTUSCELLO et al., 2019). Por outro lado, no ciclo 4, não foi possível ajustar os dados a nenhum modelo de regressão, possivelmente devido a fatores como redução na eficácia do polímero ou mudanças nas condições de cultivo.

Nos ciclos 2 e 3, as doses de polímero hidroretentor provocaram efeito quadrático na TAIF do capim-mombaça (Figura 9). As equações de regressão indicaram que as doses de 14,4 e 10,3 kg ha $^{-1}$ maximizaram a TAIF, alcançando valores de 2,78 e 3,19 cm d^{-1} perfilho $^{-1}$ para os ciclos 2 e 3, respectivamente. Esses resultados destacam o potencial do polímero hidroretentor em aumentar a disponibilidade de água no solo, promovendo maior crescimento foliar em ciclos de cultivo com condições climáticas favoráveis. Nos ciclos 1 e 4, contudo, nenhum modelo de regressão se ajustou aos dados de TAIF, sugerindo que outros fatores, como limitações climáticas ou condições do solo, podem ter restringido a resposta da planta ao polímero hidroretentor nesses períodos.

Não foi possível ajustar nenhum modelo de regressão aos dados de TSF do capim-mombaça (Figura 9), indicando que as diferentes doses de polímero hidroretentor não influenciaram essa característica morfogênica em nenhum dos ciclos de cultivo. Esse resultado sugere que as plantas não enfrentaram déficit hídrico nem excesso de água capazes de limitar seu desenvolvimento, uma vez que todos os vasos receberam volumes iguais de água em cada irrigação. A uniformidade no suprimento hídrico provavelmente atendeu às demandas das plantas, reduzindo a necessidade de respostas diferenciadas em função das doses de polímero. Estudos prévios destacam que o efeito do polímero hidroretentor é mais evidente em condições de maior variabilidade hídrica ou déficit acentuado (LAGE FILHO et al., 2021; COSTA et al., 2021), o que não foi o caso deste experimento.

No ciclo 4, observa-se na Figura 6 que a maioria das características morfogênicas do capim-mombaça não foi influenciada pelas doses de polímero hidroretentor aplicadas na semeadura. É possível que o polímero já estivesse em processo de decomposição, considerando que haviam se passado 190 dias desde sua aplicação inicial. Estudos apontam que polímeros hidroretentores tendem a perder eficácia ao longo do tempo devido à sua decomposição, especialmente em condições de cultivo contínuo e sob climas adversos, o que pode comprometer sua capacidade de reter água no solo (OSTRAND et al., 2020; SAHA et al., 2020; OLADOSU et al., 2022).

3.4. Características agronômicas

Verifica-se na Tabela 2 que não houve interação entre os fatores ciclos de cultivo e polímero hidrotentor para nenhuma das características agronômicas avaliadas. O consumo hídrico do capim-mombaça apresentou um aumento significativo ao longo dos ciclos de cultivo, com a maior demanda registrada no ciclo 4. A variação observada entre os ciclos pode ser atribuída às condições climáticas, como a temperatura do ar e a radiação solar, que foram mais altas nos ciclos posteriores, resultando em maior evapotranspiração de referência (Figura 4) e, portanto, maior consumo de água (ALLEN et al., 1998; ROCHA et al., 2025).

Tabela 3 - Quadrados médios, significância do teste F (ANOVA) e valores médios das características agronômicas consumo hídrico (CH), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de água (PA) em distintos ciclos do capim-mombaça e em função de doses de polímero hidrotentor (PH)

Variável	Quadrado Médio			CV (%)	PH (kg ha ⁻¹)	Ciclos de cultivo			
	Ciclo	PH	C x PH			1	2	3	4
CH (L vaso ⁻¹)	3,940 x 10 ^{1**}	1,462 x 10 ^{-1**}	1,995 x 10 ^{-2ns}	6,32	0	4,420 d	5,913 c	6,491 b	7,716 a
					7,5	4,260 d	5,876 c	6,395 b	7,668 a
					15	4,037 d	5,705 c	6,377 b	7,608 a
					22,5	4,169 d	5,746 c	6,364 b	7,513 a
					30	4,181 c	5,802 b	6,163 b	7,483 a
MFPA (g vaso ⁻¹)	1,018 x 10 ^{3**}	2,611 x 10 ^{1*}	4,181 x 10 ^{0ns}	8,16	0	41,289 c	47,772 b	42,625 bc	55,301 a
					7,5	39,130 c	48,965 b	43,681 bc	55,562 a
					15	39,192 c	48,944 b	44,589 bc	57,383 a
					22,5	37,118 c	47,173 b	43,520 b	54,548 a
					30	35,951 c	44,767 b	42,337 b	54,059 a
MSPA (g vaso ⁻¹)	8,307 x 10 ^{1**}	3,209 x 10 ^{0**}	3,426 x 10 ^{-1ns}	6,48	0	8,358 c	9,729 b	10,336 b	12,535 a
					7,5	7,594 c	9,782 b	10,860 b	12,446 a
					15	7,447 c	9,427 b	10,391 b	12,653 a
					22,5	7,354 c	9,873 b	10,358 b	12,234 a
					30	6,439 c	8,565 b	9,542 b	11,942 a
PA (kg m ⁻³)	8,307 x 10 ^{1**}	3,209 x 10 ^{0**}	3,426 x 10 ^{-1ns}	6,53	0	8,358 c	9,729 b	10,336 b	12,535 a
					7,5	7,594 c	9,782 b	10,860 b	12,446 a
					15	7,447 c	9,427 b	10,391 b	12,653 a
					22,5	7,354 c	9,873 b	10,358 b	12,234 a
					30	6,439 c	8,565 b	9,542 b	11,942 a

C x PH: interação entre ciclos de cultivo e polímero hidrotentor; CV: coeficiente de variação; * e **: significância a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns: não significativo; médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Fonte: Autores.

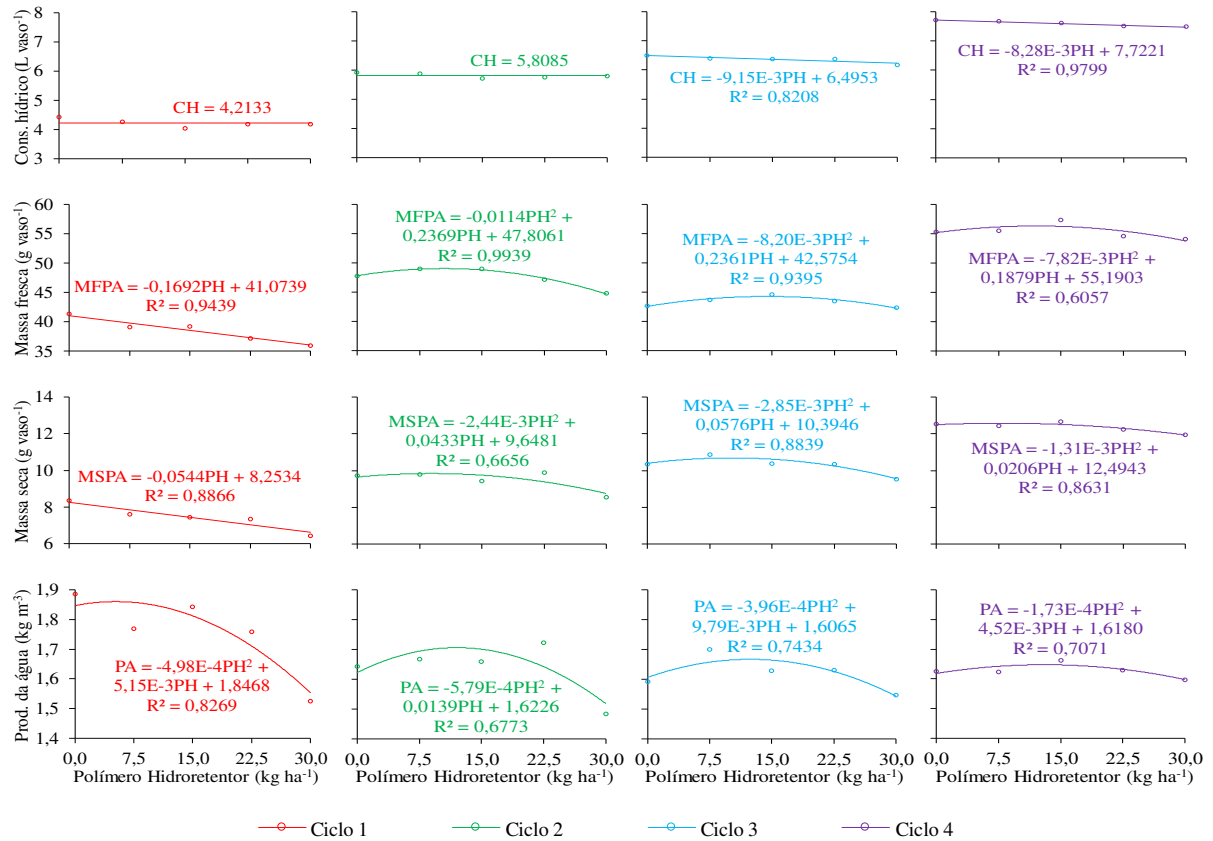
Para as produções de massas fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) do capim-mombaça, observa-se na Tabela 3 variações significativas entre os ciclos de cultivo.

Independente da dose de polímero hidroretentor utilizada, as maiores produções de biomassa foram registradas nos últimos períodos de cultivo, indicando que a planta se beneficia de condições climáticas mais favoráveis para seu desenvolvimento, como temperaturas do ar e radiação solar mais intensas (LAGE FILHO et al., 2021; ROUET et al., 2021; MARÍN et al., 2023; WU et al., 2023; KONNO et al., 2024; ROCHA et al., 2025). O aumento gradual na produção de biomassa da parte aérea do capim-mombaça também está relacionado ao seu consumo hídrico. À medida que a biomassa aumenta, a área foliar também aumenta, resultando em um maior consumo de água pela planta. De acordo com Doorenbos e Kassan (1979), essa correlação possibilita a avaliação do impacto do manejo da irrigação na produção econômica das culturas e ajuda na escolha de estratégias mais eficientes.

A produtividade do uso da água (PA) apresentou um aumento contínuo nos ciclos de cultivo, com os maiores valores registrados no ciclo 4 (Tabela 3). Independentemente da dose de polímero utilizada, os valores mais elevados de PA foram observados no final do ciclo, especialmente devido as condições climáticas mais favoráveis, como maior radiação solar e temperatura do ar (Figura 2). Esse padrão sugere que, no ciclo 4, o capim-mombaça foi mais eficiente em converter a água consumida em biomassa. Essa adaptação está relacionada à regulação do CO₂ e da temperatura foliar, bem como à redução da perda de água devido às alterações na abertura estomática (ZANDALINAS et al., 2018). Nos primeiros ciclos, o capim-mombaça enfrentou desafios relacionados à estacionalidade, o que indicou que o fator limitante para a produção deixou de ser a disponibilidade de água e passou a ser as condições climáticas. Durante esses períodos, fatores como mudanças na temperatura do ar, fotoperíodo, radiação solar e outras condições ambientais podem ter afetado diretamente o crescimento e desenvolvimento da planta (BRUNETTI et al., 2020).

Na Figura 7 são apresentadas as variações das características agrônômicas em função das doses de polímero hidroretentor nos diferentes ciclos de cultivo do capim-mombaça. O aumento das doses de polímero hidroretentor resultou em uma redução linear no consumo hídrico do capim-mombaça nos ciclos 3 e 4, o que sugere que a presença do polímero pode ter contribuído para uma maior retenção de água no solo, diminuindo a necessidade de irrigação. No entanto, nos ciclos 1 e 2, não foi possível ajustar modelos de regressão aos dados de consumo hídrico, o que pode indicar que, nesses estágios iniciais de cultivo, o efeito do polímero foi menos pronunciado ou que fatores climáticos e de manejo ainda não permitiram observar uma tendência clara de redução no consumo de água. Esses resultados reforçam a ideia de que o efeito do polímero pode ser mais evidente em momentos de maiores taxas evapotranspirométricas.

Figura 7 - Consumo hídrico (CH), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e produtividade de água (PA) em função de doses de polímero hidrorretentor (PH) para distintos ciclos do capim-mombaça



Fonte: Autores.

As doses de polímero hidrorretentor promoveram um aumento linear na MFPA durante o ciclo 1 do capim-mombaça (Figura 7), indicando que, nesse ciclo inicial, o polímero teve um efeito direto e positivo na produtividade das plantas. Nos demais ciclos, as doses de polímero hidrorretentor provocaram efeito quadrático na MFPA, sugerindo que a resposta do capim-mombaça ao polímero foi mais complexa, diante da resposta quadrática em cada ciclo e dependente da dose utilizada. Com base nas equações de regressão e aplicando a derivada parcial, as doses de polímero que maximizaram a MFPA foram de 10,4; 14,4 e 12,0 kg ha⁻¹, resultando em produtividades de 49,0; 44,3 e 56,3 g vaso⁻¹ para os ciclos 2, 3 e 4, respectivamente. Esses resultados indicam que, embora doses mais altas de polímero proporcionem um aumento na produtividade, há uma dose ótima, além da qual o efeito do polímero começa a diminuir. Esse padrão pode ser explicado pela possível redução na porosidade livre do solo em doses maiores de polímero, o que pode ocorrer devido à maior retenção de água no solo. Com isso, a capacidade do solo de permitir a aeração e a drenagem

pode ser comprometida, afetando negativamente o crescimento das raízes e, conseqüentemente, a produtividade das plantas em doses mais elevadas de polímero (ARAÚJO et al., 2024, ROCHA et al., 2025).

O comportamento da produtividade da MSPA seguiu o mesmo padrão observado para a produtividade de MFPA, com um aumento linear no primeiro ciclo e uma resposta quadrática nos ciclos subsequentes às doses de polímero hidrotentor (Figura 7). Com base nas equações de regressão, as doses de polímero que maximizaram a MSPA foram de 8,9; 10,1 e 7,9 kg ha⁻¹, resultando em produtividades de 9,8; 10,7 e 12,6 g vaso⁻¹ para os ciclos 2, 3 e 4, respectivamente. As explicações para esses resultados são as mesmas discutidas anteriormente para a MFPA, relacionadas à interação entre a dose de polímero com os fatores porosidade do solo, condições climáticas e o estágio de desenvolvimento da cultura.

Nos ciclos 1, 2, 3 e 4, as doses de polímero hidrotentor conferiram efeito quadrático na PA do capim-mombaça. Por meio das equações de regressão, foram determinadas as doses ideais de polímero para maximizar a PA: 5,2; 12,0; 12,4 e 13,0 kg ha⁻¹, resultando em valores de 1,86; 1,71; 1,67 e 1,65 kg m⁻³ para os ciclos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. O uso de polímeros hidrotentores melhora a retenção de água no substrato, aumentando sua disponibilidade para as plantas, o que favorece o crescimento foliar e a eficiência no uso da água (ARAÚJO et al., 2024; BARROS et al., 2024). Além disso, práticas agrícolas que otimizam o uso da água não apenas promovem maior produtividade em sistemas agrícolas, mas também contribuem para a conservação de recursos hídricos, reduzindo a pressão sobre os ecossistemas e favorecendo uma agricultura mais sustentável.

4. CONCLUSÃO

O estudo sinaliza que a dose de 15 kg ha⁻¹ de polímero hidroretentor (UPDT®) é mais eficiente na formação de pastagem de capim-mombaça, proporcionando melhor desempenho inicial da planta, quando cultivado em ambiente controlado dentro da casa de vegetação. O consumo hídrico aumentou progressivamente do ciclo 1 ao ciclo 4, refletindo a influência das condições climáticas mais favoráveis no final do período experimental. As características morfogênicas foram afetadas tanto pelos ciclos de cultivo quanto pelas doses de polímero, embora sem um padrão consistente nas respostas. Em contrapartida, as características agronômicas apresentaram um desempenho crescente ao longo dos ciclos, com doses de polímero entre 7,5 e 15 kg ha⁻¹ maximizando a produção. Esses resultados destacam o potencial do polímero hidroretentor em otimizar o uso da água e a produtividade em condições controladas, contribuindo para sistemas de manejo mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, M. M.; YASEEN, M.; SAQIB, S. E. Climate change impacts of drought on the livelihood of dryland smallholders: implications of adaptation challenges. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 80, 103210, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103210>
- ALENCAR, C. A. B.; OLIVEIRA, R. A.; CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; CUNHA, F. F.; FIGUEIREDO, J. L. A. Produção de capins cultivados sob pastejo em diferentes lâminas de irrigação e estações anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 680-686, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000600003>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G. Eds. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999, p. 25-32.
- ARAÚJO, E. D.; ASSIS, M. O.; GUIMARÃES, C. M.; ARAÚJO, E. F.; BORGES, A. C.; CUNHA, F. F. Superabsorbent polymers and sanitary sewage change water availability during the cowpea emergence phase. **Nativa**, v. 12, n. 1, p. 37-48, 2024. <http://doi.org/10.31413/nat.v12i1.16922>
- BAIRD, A. S.; TAYLOR, S. H.; KOK, J. P.; VUONG, C.; ZHANG, Y.; WATCHARAMONGKOL, T.; SCOFFONI, C.; EDWARDS, E. J.; CHRISTIN, P. A.; OSBORNE, C. P.; SACK, L. Developmental and biophysical determinants of grass leaf size worldwide. **Nature**, v. 592, p. 242-247, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03370-0>
- BARROS, D.; EDVAN, R.; PESSOA, J. P.; LACERDA, J.; NASCIMENTO, R.; CAMBOIM, L. F.; BEZERRA, L.; RAKTE, R. F.; SOUSA, H.; NASCIMENTO, A. M.; SILVA-FILHO, E. Potential use of hydrogel based on *Anacardium occidentale* gum in the growth of forage grasses. **Discover Plants**, v. 1, 45, 2024. <https://doi.org/10.1007/s44372-024-00041-y>
- BAUNGRATZ, A. R.; BORBA, L. P.; MENEZES, B. M.; PORSCH, J. L. M.; VENTURINI, T.; BORQUIS, R. R. A.; MESQUITA, E. E.; VALENTE, É. E. L.; MACEDO, V. P. Nutrient characterization and mineral composition of aruana in a silvopastoral system with nitrogen fertilization. **Grasses**, v. 3, n. 1, p. 11-18, 2024. <https://doi.org/10.3390/grasses3010002>
- BOGALE, G. A.; ERENA, Z. B. Drought vulnerability and impacts of climate change on livestock production and productivity in different agroecological zones of Ethiopia. **Journal of Applied Animal Research**, v. 50, n. 1, p. 471-489, 2022. <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2103563>

BOTARO, V. R.; RODRIGUES, J. S. **Hidrogéis derivados de polímeros naturais**. Sorocaba, SP: Ed UFSCar, 2020.

BRASILBOR. **Polímero vegetal, UPDT®**. São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.brasilbor.com.br/produto/updt/>. Acesso em 21 de Agosto de 2024.

BRUNETTI, H. B.; CAVALCANTI, P. P.; DIAS, C. T. S.; PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M. Climate risk and seasonal forage production of marandu palisadegrass in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 3, e20190046, 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020190046>

CARDOSO, G. S.; MACHADO, D. S.; SCHUMACHER, L. L.; FERNANDES, C. A.; ANTUNES, D. P.; SCHENKEL, M. S.; RODRIGUES, A. Z.; BRONDANI, I. L. A meta-analysis of the effects of dietary supplementation in tropical forage-fed cattle. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 5, p. 2381-2390, 2020. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n5supl1p2381>

CHANG, L.; XU, L.; LIU, Y.; QIU, D. Superabsorbent polymers used for agricultural water retention. **Polymer Testing**, v. 94, 107021, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.107021>

CHENG, M.; MCCARL, B.; FEI, C. Climate change and livestock production: a literature review. **Atmosphere**, v. 13, p. 140, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13010140>

CHOI, H.; PARK, J.; LEE, J. Sustainable bio-based superabsorbent polymer: poly (itaconic acid) with superior swelling properties. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 4, n. 6, p. 4098-4108, 2022. <https://doi.org/10.1021/acsapm.2c00021>

COSTA, A. B. G.; DIFANTE, G. S.; CAMPELO, B. A. M.; GURGEL, A. L. C.; COSTA, C. M.; THEODORO, G. F.; SILVA, Á. T. A.; EMERENCIANO NETO, J. V.; DIAS, A. M.; FERNANDES, P. B. Morphogenetic, structural and production traits of marandu grass under nitrogen rates in Neo soil. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 3, p. 658-664, 2021. <http://doi.org/10.1590/1678-4162-12301>

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 193 p.

FRANCO, T. M.; PLAZAS, G. M. R.; SILVA, V. L.; OLIVEIRA, R. A.; LIMA, M. J. A.; CUNHA, F. F.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; ALENCAR, C. A. B. Using mining waste from the Fundão Dam in Mariana for Mombasa grass production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, n. 3, p. e275196, 2024. DOI: <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v28n3e275196>

FU, B.; LI, Z.; GAO, X.; WU, L.; LAN, J.; PENG, W. Effects of subsurface drip irrigation on alfafa (*Medicago sativa* L.) growth and soil microbial community structures in arid and semi-arid areas of northern China. **Applied Soil Ecology**, v. 159, 103859, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103859>

GAFARY, R. F.; EID, S. F. M.; GAMEH, M. A.; ABDELWAHAB, M. K. Irrigation water management of canola crop under surface and subsurface drip irrigation systems at Toshka area, Egypt. **Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering**, v. 13, n. 10, p. 331-337, 2022. <https://doi.org/10.21608/jssae.2022.162492.1105>

GALVEZ, M. D. H.; MATÍAS, L.; CAMBROLLÉ, J.; GUTIÉRREZ, E.; RAMOS, I. M. P. Impact of climate change on pasture quality in Mediterranean dehesas subjected to different grazing histories. **Plant Soil**, v. 488, p. 465-483, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05986-9>

GITHUI, F.; BEVERLY, C.; AIAD, M.; MCCASKILL, M.; LIU, K.; HARRISON, M.T. Modelling waterlogging impacts on crop growth: a review of aeration stress definition in crop models and sensitivity analysis of APSIM. **International Journal of Plant Biology**, v. 13, p. 180-200, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijpb13030017>

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 341-348, 2000. <http://doi.org/10.1590/s1516-35982000000200004>

GONÇALVES, I.Z.; BARBOSA, E. A. A.; SANTOS, L. N. S.; NAZÁRIO, A. A.; FEITOSA, D. R. C.; TUTA, N. F.; MATSURA, E. E. Water relations and productivity of sugarcane irrigated with domestic wastewater by subsurface drip. **Agricultural Water Management**, 185, p. 105-115, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.01.014>.

GUIMARÃES, C. M.; CUNHA, F. F.; SILVA, F. C. S.; ARAUJO, E. D.; GUIMARÃES, A. B. F.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. J. H. Agronomic performance of lettuce cultivars submitted to different irrigation depths. **PLoS One**, v. 14, p. e0224264, 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224264>

HAZRA, D. K.; PURKAIT, A. Role of pesticide formulations for sustainable crop protection and environment management: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, n. 2, p. 686-693. 2019.

IBGE. **Portal do IBGE**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 27 de Maio de 2024.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em 15 de Março de 2024.

JESUS, F. L. F.; SANCHES, A. C.; SOUZA, D. P.; MENDONÇA, F. C.; GOMES, E. P.; SANTOS, R. C.; SANTOS, J. E. O.; SILVA, J. L. B. Seasonality of biomass production of irrigated Mombaça ‘Guinea grass’. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 71, n. 3, p. 156-164, 2021. <http://doi.org/10.1080/09064710.2020.1863456>

KONNO, T.; HOMMA, K. Impact assessment of main stem elongation and wind speed on lodging of soybean cultivar ‘Miyagishirome’. **Plant Production Science**, v. 27, n. 3, p. 185–196, 2024. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2365466>

LAGE FILHO, N. M.; LOPES, A. R.; RÊGO, A. C.; DOMINGUES, F. N.; FATURI, C.; SILVA, T. C.; CÂNDIDO, E. P.; SILVA, W. L. Effects of stubble height and season of the year on morphogenetic, structural and quantitative traits of Tanzania grass. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 9, n. 3, p. 256–267, 2021. [https://doi.org/10.17138/tgft\(9\)256-267](https://doi.org/10.17138/tgft(9)256-267)

LAMM, F. R.; COLAIZZI, P. D.; SORENSEN, R. B.; BORDOVSKY, J. P.; DOUGHERTY, M.; BALKCOM, K.; ZACCARIA, D.; BALI, K. M.; RUDNICK, D. R.; PETERS, R. T. A

2020 vision of subsurface drip irrigation in the U.S. **Transactions of the ASABE**, v. 66, n. 4, p. 1319-1343. 2021. <https://doi.org/10.13031/trans.14555>

LI, X.; SONG, X.; ZHAO, J.; LU, H.; QIAN, C.; ZHAO, X. Shifts and plasticity of plant leaf mass per area and leaf size among slope aspects in a subalpine meadow. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 20, p. 14042-14055, 2021. <https://doi.org/10.1002/ece3.8113>

LI, Y.; TAN, Y.; XU, K.; LU, C.; WANG, P. A biodegradable starch hydrogel synthesized via thiol-ene click chemistry. **Polymer degradation and stability**, v. 137, p. 75-82, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.07.015>

MARÍN, J. M. C.; JIMÉNEZ, E. O.; QUIROZ, J. F. E.; HUERTA, H. V.; ESTRADA, J. A. S. E.; MEDINA, A. A. Analysis of the growth of Chetumal grass established in a tropical climate. **Agro Productividad**, v. 16, n. 12, p. 147-153, 2023. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i12.2781>

MARTUSCELLO, J. A.; RIOS, J. F.; FERREIRA, M. R.; ASSIS, J. A.; BRAZ, T. G. S.; CUNHA, D. N. F. V. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 76, n. 5, e1441, 2019. <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1441>

MELO, M. C.; GUIMARÃES, L. C.; SILVA, P. L.; CAMARGO, D. D.; DRUMOND, L. C. D. Crescimento e produtividade de *Brachiaria adubada* e irrigada por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, v. 25, p. 112-130, 2020. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p112-130>

NIEVES, C. C.; BALDIVIESO, H. L. P.; WU, X. B.; COOPER, S. M. Environmental and landscape influences on the spatial and temporal distribution of a cattle herd in a South Texas rangeland. **Ecological Processes**, v. 9, 39, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00245-6>

OLADOSU, Y.; RAFII, M. Y.; AROLU, F.; CHUKWU, S. C.; SALISU, M. A.; FAGBOHUN, I. K.; MUFTAUDEEN, T. K.; SWARAY, S.; HALIRU, B. S. Superabsorbent polymer hydrogels for sustainable agriculture: a review. **Horticulturae**, v. 8, p. 605, 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070605>

ORDOÑES, S. R.; RUEDA, J. A.; CISNEROS, C. M. A.; HERNÁNDEZ, M. A. S.; BAUTISTA, J. H. Yield and quality of Guinea grass cv. Mombasa according to plant spacing and season of the year. **Agro Productividad**, v. 15, n. 9, p. 195-203, 2022. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i9.2286>

OSTRAND, M. S.; DESUTTER, T. M.; DAIGH, A. L. M.; LIMB, R. F.; STEELE, D. D. Superabsorbent Polymer characteristics, properties and applications. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 3, e20074, 2020. <https://doi.org/10.1002/agg2.20074>

QAMRUZZAMAN, M.; AHMED, F.; MONDAL, M. I. H. An overview on starch-based sustainable hydrogels: Potential applications and aspects. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 30, n. 1, p. 19-50, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02180-9>

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em 27 de Novembro de 2024.

ROCHA, M. O.; SIQUEIRA, A. G.; SILVA, P. A.; ALENCAR, C. A. B.; CUNHA, F. F. Performance of ‘Sabiá’ grass irrigated with drippers installed in the subsurface. **Irrigation and Drainage**, v. 74, 3081, 2025. <https://doi.org/10.1002/ird.3081>

RODRIGUES, P. E. C.; SWAROWSKY, A.; BRUM, M. L.; MARTINS, J. D.; BACKES, F. A. L.; MEZZOMO, W.; MENEGAES, J. F. Uso do hidrogel frente as características químicas e físicas de um substrato para o cultivo de plantas ornamentais. **Ensaio e Ciência**, v. 27, n. 4, p. 490-495, 2023. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2023v27n4p490-495>

ROUET, S.; BARILLOT, R.; LECLERCQ, D.; BERNICOT, M. H.; COMBES, D.; GUTIÉRREZ, A. E.; DURAND, J. L. Interactions between environment and genetic diversity in perennial grass phenology: a review of processes at plant scale and modeling. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 672156, 2021. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.672156>

RUGGIERI, A. C. et al. Grazing intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: analysis of brachiaria pastureland. **Agronomy**, v. 10, n. 11, 2020

RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. D. S.; ONGARATTO, F.; CASAGRANDE, D. R.; BARBERO, R. P.; BRITO, L. D. F.; AZENHA, M. V.; OLIVEIRA, A. A.; KOSCHECK, J. F. W.; REIS, R. A. Grazing intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: analysis of brachiaria pastureland. **Agronomy**, v. 10, n. 11, 750, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>

SAHA, A.; SEKHARAN, S.; MANNA, U. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104736, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104736>

SILVA, E. A.; SILVA, W. J.; BARRETO, A. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. B.; PAES, J. M. V.; RUAS, J. R. M.; QUEIROZ, D. S. Dry matter yield, thermal sum and base temperatures in irrigated tropical forage plants. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 3, p. 574-582, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000300014>

SILVA, J. T.; COSTA, K. A. P.; SILVA, V. C. S.; SOUZA, W. F.; TEIXEIRA, D. A. A.; SEVERIANO, E. C. Morphogenesis, structure, and dynamics of paiaguas palisadegrass tillering after intercropping with sorghum for the recovery of pasture in different forage systems. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 5, p. 1663-1675, 2020. <http://doi.org/10.14393/bj-v36n5a2020-47747>

TATAGIBA, S. D.; SILVA, A. G.; PENCHEL FILHO, R. M.; DOS REIS, E. F.; RAMOS, K. A. Disponibilidade hídrica e doses de polímero hidrorretentor na produção de mudas clonais de eucalipto. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 359- 369, 2019. <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i4.938>

UPL. UPL do Brasil Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A. **UPDT: Hidratação Dinâmica - Condicionador de Solo Classe A**. Campinas, SP: UPL do Brasil, [s.d.]. Disponível em: <http://www.upl-ltd.com/br>. Acesso em 3 de maio de 2023.

VICIEDO, D. O.; PRADO, R. M.; MARTÍNEZ, C. A.; HABERMANN, E.; PICCOLO, M. C. Short-term warming and water stress affect *Panicum maximum* Jacq. stoichiometric homeostasis and biomass production. **Science of the Total Environment**, v. 681, p. 267-274, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.108>

WANG, Y.; LIU, C.; CUI, P.; SU, D. Effects of partial root-zone drying on alfalfa growth, yield and quality under subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 245, n. 3, p. 106608, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106608>

WU, Y.; GONG, Z.; JI, L.; MA, J. Estimating daily minimum grass temperature to quantify frost damage to winter wheat during stem elongation in the central area of Huang-Huai plain in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 61072-61088, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26872-y>

ZANDALINAS, S. I.; MITTLER, R.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. **Physiologia Plantarum**, v. 162, n. 1, p. 2-12, 2017. <http://doi.org/10.1111/ppl.12540>

ZHANG, K.; XIE, H.; WEN, J.; ZHANG, J.; WANG, Z. Y.; XU, B.; CHAI, M. Leaf senescence in forage and turf grass: progress and prospects. **Grass Research**, v. 4, e004, 2024. <https://doi.org/10.48130/grares-0024-0002>