

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO

CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS, MORFOFISIOLÓGICAS E
SANITÁRIAS DE CULTIVARES FORRAGEIRAS
ADUBADAS COM POTÁSSIO

Emmanuel Lievio de Lima Vêras

Campo Grande, MS
2021

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO**

CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS, MORFOFISIOLÓGICAS E SANITÁRIAS DE
CULTIVARES FORRAGEIRAS ADUBADAS COM POTÁSSIO
Forage production, morphogenic and physiological characteristics of
cultivars fertilized with potassium

Emmanuel Lievio de Lima Vêras

**Orientador: Prof. Dr. Gelson dos Santos Difante
Co-orientadora: Denise Baptaglin Montagner**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como requisito à
obtenção do título de Doutor em Ciência
Animal.

Área de concentração: Produção Animal

CAMPO GRANDE, MS 2021



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



Certificado de aprovação

EMMANUEL LIÉVIO DE LIMA VÉRAS

Características produtivas, morfofisiológicas e sanitárias de cultivares forrageiras adubadas com potássio

Productive, morpho-physiological and sanitary characteristics of forage cultivars fertilized with potassium

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Área de concentração: Produção Animal.

Aprovado em: 25-06-2021
BANCA EXAMINADORA:

Dr. Gelson dos Santos
Difante(UFMS) –
(Presidente)

Dr. Alexandre Romeiro de
Araujo EMBRAPA
Gado de Corte

Dr. Celso Dornelas
Fernandes EMBRAPA
Gado de Corte

Dr. Gustavo de Faria
Theodoro UFMS

Dr. Manuel Claudio
Motta Macedo EMBRAPA
Gado de Corte



Documento assinado eletronicamente por **Gelson dos Santos Difante, Professor do Magisterio Superior**, em 13/07/2021, às 15:49, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo de Faria Theodoro, Professor do Magisterio Superior**, em 13/07/2021, às 16:15, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Claudio Motta Macedo, Usuário Externo**, em 13/07/2021, às 17:14, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Celso Dornelas Fernandes, Usuário Externo**, em 14/07/2021, às 09:08, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Romeiro de Araújo, Usuário Externo**, em 14/07/2021, às 14:41, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2673561** e o código CRC **BEE8F9A3**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade

Universitária Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande – MS

Dedicatória

*A quem com sua fé consegue me mostrar que posso ir além de onde estou. Se não fosse o seu amor e
dedicação eu não seria tão feliz.
Mainha, te amo!*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por guiar meus caminhos e me mostrar por muitas vezes que para chegar no objetivo preciso acreditar no meu sonho, ser paciente, humilde e ir buscar!

Aos meus pais Carlos Alberto Veras e Ocivânia Vieira de Lima Veras, por todo amor dedicação, zelo e paciência. Por nunca deixar me faltar base familiar e por fazer dos meus sonhos os seus, eu amo vocês!

Ao meu querido irmão Pedro Ivan de Lima Veras que mesmo distante se faz tão presente e prestativo. Pedrinho, te amo!

A todos os meus familiares que são meus maiores exemplos de honestidade e afeto. Tio Ozéas, Tia Ana Cristina e Tia Ocineide, a vocês todo meu respeito e gratidão. Agradecimento especial dedico a minha avó, Maria Vieira de Lima, que tem o melhor colo e café do mundo, vovó obrigado!

Ao melhor presente que o MS me deu. Eric, sua companhia nos momentos alegres fizeram a diferença quando pensei que nada ia dar certo. Muito obrigado por isso, pela palavra de conforto e a paciência que é seu maior dom.

A minha melhor amiga. Danielle Maria Alves Marques, que sempre tem o abraço mais gostoso, o conselho mais sábio, e o puxão de orelha que me faz repensar, acalmar os ânimos e esfriar a cabeça.

Ao meu orientador Gelson dos Santos Difante, agradeço por toda confiança, apoio, incentivo, respeito e paciência. Por ser minha maior inspiração e referência profissional. O Admiro pelo amor à pesquisa e pela dedicação com seus orientados. Ao longo desses nove anos cresci como ser humano e profissional, dedico ao senhor. Peço em oração que por onde eu passar, daqui para a frente, consiga levar isso, essa será minha retribuição.

Aos meus colegas do GEFOR. Antonio Leandro, Ana Beatriz, Carolina Costa, Emizael Almeida, Flávia Feltrin, Iuri Vilela, Leandro Bomfim, Estevão Miranda, Jessica Gomes, Marislayne Gusmão e Fernanda Roberto, agradeço pela ajuda indispensável nas disciplinas, nas atividades de grupo, análises estatística, escrita e na coleta de dados do experimento. A vocês gratidão!

Agradecimento especial a minha amiga GEFORIANA Gabriela Aquino, que foi meu braço direito durante a fase de campo do experimento e a amizade mais afetuosa. A você Gabi todo o meu reconhecimento e consideração, te admiro muito!

Aos que passaram pelo GEFOR, Nathália Rafaela, Joelma Souza agradeço pela convivência e cuidado.

As minhas AMIGAS Fernanda Roberto, Marislayne Gusmão e Jessica Rodrigues. FF, Lay e Jéssica, a vocês eu agradeço a paciência, convivência e por ensinar que juntos somos mais fortes. Deus tinha preparado tudo que eu precisava para passar bem, confiante e esperançoso pela quarentena. Levarei para a vida!

À Embrapa Gado de Corte. Agradeço por oferecer todo o suporte necessário para a condução do experimento. Agradecimento especial aos pesquisadores Denise Baptaglin Montagner e Alexandre Romeiro de Araújo pela colaboração, auxílio e apoio durante o experimento.

Aos pesquisadores: Dr. Manuel Claudio Motta Macedo pela liberação do laboratório de solos e nutrição de plantas, pelo apoio e zelo; Dr. Valdemir Antônio Laura pela ajuda com a coleta dos dados fisiológicos; Dra. Andrea Raposo pela liberação do laboratório de fisiologia vegetal; e ao Dr. Celso Dornelas Fernandes por toda paciência, dedicação e boa vontade com as avaliações das doenças nas forrageiras. Muito obrigado!

Aos funcionários da EMBRAPA, seu Válder, Aguielson, Fábio, Rinaldo, Rodrigo “cabeça”, e Seu Eraldo pelo companheirismo e convívio. Aprender com vocês fez toda a diferença.

À Tamires Soares Yule e ao Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pernambuco pela grandiosa ajuda com a coleta de parâmetros fisiológicos, tabulação de dados e correção do material escrito. Obrigado!

A todos meus professores da pós-graduação por todo conhecimento e saber científico.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, por meio da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – FAMEZ, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e todos os funcionários pela oportunidade de aprimoramento.

À CAPES e ao CNPq pela concessão das bolsas de estudos nas modalidades doutorado e iniciação científica, e apoio financeiro para realização do projeto, sem a qual não me permitiria a dedicação exclusiva necessária ao desenvolvimento deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente me apoiaram e por ventura não citados aqui,

OBRIGADO!

O segredo de qualquer conquista é a coisa mais simples do mundo: saber o que fazer com ela.

Henry Ford

Resumo

VERAS, E. L. L. Características produtivas, morfogênicas e fisiológicas de cultivares forrageiras adubadas com Potássio. 2020. Tese, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2021.

Foram avaliadas 15 cultivares separadas por gênero e avaliadas em dois experimentos distintos conduzidos em casa de vegetação. O experimento 1 foi realizado em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x4, com as cultivares de *Panicum*: Tanzânia, BRS Quênia, Mombaça, BRS Zuri, Massai, BRS Tamani e quatro doses de K: 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³. O experimento 2 foi um fatorial 9x4, composto pelas cultivares de *Brachiaria*: Xaraés, BRS Piatã, Marandu, BRS Paiaguás, BRS Ipyorã, Basilisk, Comum, Tupi e Ruziziensis, e quatro doses de K: 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³. O primeiro corte aconteceu aos 50 dias após a semeadura e os demais cortes para quantificação da produção de forragem foram realizados a cada 28 dias durante cinco ciclos de rebrota; a morfogênese e a clorofila SPAD foram medidas semanalmente e a contagem do número de perfilhos foi realizada antes de cada corte. A coleta dos parâmetros fisiológicos (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, temperatura da folha e CO₂) foram realizadas por meio de um analisador de dossel tipo IRGA® a cada 28 dias. Após o último corte as raízes foram peneiradas, secas e pesadas para determinação da massa (g vaso⁻¹). Também foram avaliadas as severidades da mancha marrom, da mancha das folhas de bipolaris e do vírus do mosaico. Os resultados mostram que na maior dose de K avaliada foram observadas as maiores taxas de aparecimento de folhas e maior taxa de alongamento de colmo na cultivar Tupi, e maior filocrono na cultivar Ruziziensis, e na maior dose de K não houve diferença entre as cultivares para a TSeF. Maior número de perfilhos foram contabilizados nas cultivares Comum e Tupi. Na ausência de adubação e nas doses 205 e 410 mg dm⁻³ de K maior DPP foram verificados na cv. Tupi e a maior produção de forragem. Doses crescentes de K foram responsáveis por respostas lineares crescentes na fotossíntese foliar e na condutância estomática nas cvs Tanzânia, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai e Tamani. Já a transpiração e temperatura da folha revelaram uma resposta linear positiva a inclusão do K em todas as cultivares. A clorofila se ajustou a um modelo quadrático de regressão, com a máxima produção estimada na dose 106,00 mg dm⁻³ de K com 35 unidades SPAD. Na ausência de adubação e na menor dose de K foram registradas as maiores severidades causadas pela mancha marrom e mancha de bipolares em todas as cultivares. No entanto, as maiores doses de K elevaram a severidade do vírus do mosaico em todas as cultivares nos dois experimentos. A fertilização com potássio em forrageiras tropicais garante incremento nas variáveis morfogênicas, no número de folhas e perfilhos, eleva a fotossíntese e a condutância estomática, parâmetros que afetaram notavelmente a produção de forragem e garantiram crescimento mais rápido da planta. Além de proporcionar maior resistência à mancha marrom, e menores níveis de severidade causado pelo vírus do mosaico.

Palavras-chave: clorofila, densidade de perfilhos, fertilização potássica, forragem, manchas foliares

Abstract

VERAS, E. L. L. Forage production, morphogenic and physiological characteristics of cultivars fertilized with Potassium. 2020. Tesis, Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2021.

The objective was to evaluate the effect of different doses of potassium (K) on productive, morphogenic, physiological characteristics and on the incidence of diseases in different forages. Fifteen cultivars separated by gender were evaluated and evaluated in two different experiments carried out in a greenhouse. Experiment 1 was carried out in a randomized block design in a 6x4 factorial scheme, with the cultivars of *Panicum*: Tanzania, BRS Kenya, Mombasa, BRS Zuri, Massai, BRS Tamani and four doses of K: 0, 205, 410 and 820 mg dm⁻³. Experiment 2 was a 9x4 factorial, composed of *Brachiaria* cultivars: Xaraés, BRS Piatã, Marandu, BRS Paiaguás, BRS Ipyporã, Basilisk, Comum, Tupi and Ruziziensis, and four doses of K: 0, 205, 410 and 820 mg dm⁻³. The first cut took place 50 days after sowing and the other cuts to quantify forage production were performed every 28 days during five regrowth cycles; morphogenesis and SPAD chlorophyll were measured weekly and tiller numbers were counted before each cut. The collection of physiological parameters (photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, leaf temperature and CO₂) were performed using an IRGA® type canopy analyzer every 28 days. After the last cut, the roots were sieved, dried and weighed to determine the mass (g pot⁻¹). The severities of brown spot, bipolaris leaf spot and mosaic virus were also evaluated. The results show that at the highest rate of K evaluated, the highest rates of leaf appearance and the highest rate of stem elongation were observed in the Tupi cultivar, and the highest phyllochron in the Ruziziensis cultivar, and at the highest K dose there was no difference between the cultivars for the TSeF. Higher number of tillers were recorded in cultivars Comum and Tupi. In the absence of fertilization and at doses of 205 and 410 mg dm⁻³ of K higher DPP were observed in cv. Tupi and the largest forage production. Increasing doses of K were responsible for increasing linear responses in leaf photosynthesis and stomatal conductance in Tanzania, Kenya, Mombasa, Zuri, Massai and Tamani cvs. On the other hand, transpiration and leaf temperature revealed a positive linear response to the inclusion of K in all cultivars. Chlorophyll was fitted to a quadratic regression model, with maximum production estimated at the dose of 106.00 mg dm⁻³ of K with 35 SPAD units. In the absence of fertilization and at the lowest K dose, the highest severities caused by brown spot and bipolar spot were recorded in all cultivars. However, higher doses of K increased the severity of mosaic virus in all cultivars in both experiments. Potassium fertilization in tropical forages guarantees an increase in morphogenic variables, in the number of leaves and tillers, increases photosynthesis and stomatal conductance, parameters that notably affected forage production and ensured faster plant growth. In addition to providing greater resistance to brown spot, and lower levels of severity caused by the mosaic virus.

Keywords: chlorophyll, forage, leaf spots, potassium fertilization, tillers density

Lista de tabelas

Artigo 1:

Respostas morfológicas e estruturais a doses crescentes de potássio em diferentes cultivares de <i>Brachiaria</i>.....	19
Tabela 1. Características químicas do solo antes do experimento ser implantado.....	27
Tabela 2. Variáveis morfológicas de diferentes cultivares de <i>Brachiaria</i> adubadas com doses crescentes de potássio.....	32
Tabela 3. Efeito de doses crescentes de potássio sobre as características morfológicas e estruturais em cultivares de <i>Brachiaria</i>	31
Tabela 4. Características morfológicas e estruturais em cultivares de <i>Brachiaria</i> adubadas com doses crescentes de potássio.....	32
Tabela 5. Densidade populacional de perfilhos de cultivares forrageiras adubadas com potássio.....	33
Tabela 6. Produção de forragem (g/vaso ⁻¹ de MS) em cultivares forrageiras fertilizadas com potássio.....	34

Artigo 2:

Trocas gasosas e respostas produtivas em cultivares de <i>Panicum maximum</i> submetidas a doses crescentes de potássio no solo.....	47
Tabela 1. Propriedades químicas do solo no início do período experimental.....	50
Tabela 2. Variáveis fisiológicas de cultivares de <i>Panicum maximum</i> adubadas com doses de potássio	54
Tabela 3. Transpiração, temperatura foliar e concentração de clorofila em cultivares de <i>Panicum maximum</i> em função das doses crescentes de potássio avaliadas.....	56
Tabela 4. Produção de forragem (g/vaso ⁻¹) em cultivares forrageiras fertilizadas com potássio.....	57
Tabela 5. Produção de raízes (g vaso ⁻¹) de diferentes cultivares forrageiras de <i>Panicum maximum</i> adubadas com potássio.....	58

Artigo 3:

Efeito da adubação potássica na intensidade de doenças e no valor nutritivo de cultivares de <i>Brachiaria spp</i> e <i>Panicum maximum</i>.....	67
Tabela 1. Escala de notas para avaliação da severidade do mosaico (<i>Johnsongrass mosaic virus</i>) em folhas de cultivares de <i>Brachiaria spp</i> e <i>Panicum maximum</i>	72
Tabela 2. Estatística descritiva resumida dos parâmetros observados na composição química e severidade das doenças em diferentes cultivares forrageiras.....	74
Tabela 3. Severidade da mancha marrom e vírus do mosaico (<i>Johnsongrass mosaic virus</i>) em cultivares de <i>Panicum maximum</i> em resposta às diferentes doses de potássio expressas em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).....	75
Tabela 4. Correlações de Pearson entre variáveis da composição química, severidade da mancha foliar e vírus do mosaico em cultivares de <i>Panicum maximum</i>	77
Tabela 5. Severidade a mancha das folhas (<i>Bipolaris maydis</i>) e vírus do mosaico <i>Johnsongrass mosaic virus</i> em cultivares de <i>Brachiaria spp.</i> em resposta às diferentes doses de potássio expressas em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).....	78
Tabela 6. Correlações de Pearson entre variáveis da composição química, severidade da mancha foliar e vírus do mosaico em cultivares de <i>Brachiaria spp</i>	80

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
Capítulo 1:	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
1.1 Dinâmica do Potássio	3
1.2 Suprimento e demanda do K pelas raízes.....	6
1.3 Efeito do potássio na produção de forragem	7
1.3.4 Características morfogênicas e estruturais	9
1.4 Deficiência do potássio em plantas	11
1.5 Processos fisiológicos de plantas adubadas com potássio	12
1.6 Ação do potássio na interação com doenças de plantas	14
CONSIDERAÇÕES FINAIS	15
REFERENCIAS	17

Artigo 1

Respostas morfogênicas e estruturais à doses crescentes de potássio em diferentes cultivares de <i>Brachiaria</i>	24
Resumo.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.2 Delineamentos experimental	27
2.3 Avaliações	28
2.3.1 Características morfogênicas.....	28
2.3.2 Densidade populacional de perfilhos	29
2.3.3 Produção de forragem	29
2.4 Análise estatística.....	29
3. RESULTADOS	30
3.3 Produção de forragem	34
3.4 Análise de agrupamento	35
4 DISCUSSÃO	36
4.1 Variáveis morfogênicas.....	36
4.2 Densidade populacional de perfilhos	39
4.3 Produção de forragem	40
4.4 Agrupamento hierárquico.....	41

5 CONCLUSÃO	41
6 AGRADECIMENTOS	42
REFERÊNCIAS	43

Artigo 2

Trocas gasosas e respostas produtivas em cultivares de <i>Panicum maximum</i> submetidas a doses crescentes de potássio no solo	47
1. INTRODUÇÃO	48
2. MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1 Local e implantação do experimento	50
2.2 Delineamento experimental.....	51
2.2 Medidas fisiológicas.....	51
2.3 Produção de forragem	52
2.4 Produção de raiz	52
2.5 Análise estatística	53
3. RESULTADOS	53
3.1 Variáveis fisiológicas	53
3.2 Produção de Forragem	56
3.2 Produção de raiz	57
4. DISCUSSÃO.....	58
4.1 Variáveis fisiológicas	58
4.2 Produção de Forragem	60
4.2 Produção de raiz	61
5. CONCLUSÃO	62
6. AGRADECIMENTOS.....	62
REFERÊNCIAS	63

Efeito da adubação potássica na intensidade de doenças e no valor nutritivo de cultivares de <i>Brachiaria spp</i> e <i>Panicum maximum</i>.....	70
1. Resumo.....	71
2. INTRODUÇÃO.....	73
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
4. DISCUSSÃO.....	74
5. CONCLUSÃO.....	75
6. AGRADECIMENTOS.....	79
7. REFERÊNCIAS.....	84

1. INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, seu conteúdo no solo é limitado, sendo necessário a introdução deste nutriente como forma de fertilizante, afim de garantir o suprimento deste para os sistemas de produção agrícola (FORNARI et al., 2020). Grande parte da necessidade do uso da adubação química para otimizar a produção de forragem e melhorar os índices de produção pecuária está nos relatos da baixa disponibilidade natural de K nas áreas agrícolas do mundo incluindo, o sul da Austrália, China e os solos do Cerrado do Brasil (ROSOLEM, 2012; ZÖRB, 2014). Isso revela que investigar as potencialidades genéticas das plantas forrageiras para a eficiência da utilização dos macronutrientes, tem sido uma importante tarefa nos últimos anos (ZHANG et al., 2020). Evidências mostram que cultivares forrageiras possuem potencial através de mecanismos morfofisiológicos, fisiológicos e bioquímicos para aumentar a produção de massa por meio da fertilização de manutenção (GURGEL et al., 2020; MORAIS NETO et al., 2020).

A correta fertilização com K, associada à adubação de manutenção com demais macronutrientes é essencial para garantir a produtividade das pastagens (ŚWITEK et al., 2019). O Brasil tem uma área total de 158 milhões de hectares destinadas ao cultivo de plantas forrageiras (IBGE, 2019), entretanto, ainda são notificados índices produtivos insatisfatórios, com valores menores comparados aos seus principais concorrentes em todo o mundo, em que a falta de adoção de tecnologias é considerada um dos principais gatilhos do processo de degradação (GURGEL et al., 2020). Uma abordagem alternativa para otimizar a produção de forragem e, consequentemente, melhorar os índices da produção pecuária é associar estratégias de manejo do solo com as respostas produtivas das forrageiras em pastagens.

Plantas forrageiras possuem diferenças no que diz respeito à exigência, capacidade na absorção e conversão do K em tecido vegetal, que podem ser explicadas por variações na sua fisiologia, ou relacionados à quantidade e distribuição do nutriente no solo (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014). Soma-se a isso, o fato de que forrageiras comercializadas recentemente são oriundas de programa de melhoramento vegetal que envolveram plantas de *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) e *Panicum* (syn. *Megathyrsus maximus*) com diferentes requisitos nutricionais (CABRAL et al., 2020), que torna necessário investigar as respostas da fertilização potássica para essa, e, demais plantas disponíveis no mercado. Contudo, o desprendimento econômico e de mão-de-obra inviabiliza a avaliação de toda a coleção de plantas forrageiras submetidas a protocolos específicos de fertilização no campo, fazendo com que o uso de estufas do tipo casa-de-vegetação seja

ferramenta essencial para essa finalidade por permitir isolar alguns efeitos e avaliar com mais precisão algumas variáveis.

Dada a importância econômica das cultivares forrageiras para o agronegócio nacional, os gêneros *Panicum* e *Brachiaria* reúnem as espécies mais utilizadas nos sistemas de produção que utilizam pastagens, por serem as mais produtivas propagadas por sementes do mercado brasileiro, caracterizadas por contribuir significativamente para a diversificação de pastagens, e para o desenvolvimento de sistemas mais sustentáveis (JANK; VALLE; RESENDE, 2011; SILVA et al., 2016).

Normalmente, é utilizada a quantificação da massa de forragem para avaliar a resposta produtiva das culturas forrageiras, nos protocolos científicos de avaliação de plantas forrageiras, definida como, biomassa vegetal total acima do nível do solo por unidade de área (ALLEN et al., 2011). Com base nessa variável, KHAN; MULVANEY; ELLSWORTH, (2014), encontraram respostas positivas para a aplicação de K em solos intemperizados com baixa capacidade natural de fornecimento de K, com plantas nutricionalmente exigentes e alta capacidade de absorção de nutrientes em camadas mais profundas do solo. Esse estudo validou que, o uso de elevadas doses de fertilizantes potássicos pode resultar em níveis excessivos de K no solo, que compromete a absorção de outros cátions trocáveis como cálcio e magnésio.

O estudo do fluxo de tecidos por meio de processos morfogênicos é considerado ferramenta auxiliar para avaliar a dinâmica das folhas e perfilhos de plantas corrigidas com fertilizantes (MORAIS NETO et al., 2020). Por ter comprovada importância para qualificar grupos de forrageiras que têm grande versatilidade para expressar suas características genéticas quando influenciadas pelo ambiente, e disponibilidade de nutrientes. De acordo com CHAPMAN E LEMAIRE (1993), as pastagens podem ser consideradas sistemas dinâmicos, onde a mudança nas variáveis morfogênicas das plantas, ocasionadas pelo uso de fertilizantes químicos resulta em variação na estrutura do dossel, promovendo mudanças no índice de área foliar e, conseqüentemente, na quantidade e qualidade da luz interceptada.

O rearranjo na arquitetura do dossel ocasionado por mudanças no manejo, pode interferir na captação de luz pela planta e faz com que a quantificação de parâmetros fisiológicos utilizados para analisar o processo de bioconversão de energia, a exemplo da: clorofila, transpiração, condutância estomática, temperatura da folha e CO₂ (ARAÚJO et al., 2013), sejam utilizados para entender como a nutrição de plantas pode interferir nas práticas de manejo (OTTO et al., 2013). Uma vez que, plantas forrageiras podem exibir níveis distintos de sensibilidade a adubação que alteram seu padrão de crescimento (LOPES et al., 2020). O objetivo dessa revisão bibliográfica é elucidar pontos importantes e relevantes para melhor compreender os assuntos abordados nessa tese.

Capítulo 1:

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Dinâmica do Potássio

O potássio (K) é um dos macronutrientes essenciais que desempenha função em uma série de processos fisiológicos nas plantas por ser vital para o crescimento, rendimento, e resistência ao estresse hídrico nas forrageiras (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). É o cátion mais abundante nas plantas, e está associado ou envolvido em vários processos fisiológicos que asseguram o crescimento e desenvolvimento das culturas por participar dos processos de fotossíntese, respiração e melhoria na utilização do nitrogênio (HAFSI; DEBEZ; ABDELLY, 2014). A importância do K para a fotossíntese, é justificada pelo fato de que em situações de deficiência ocorre redução da atividade fotossintética e aumento da respiração da planta; essas duas condições reduzem o acúmulo de carboidratos, tendo, como consequência as reduções do crescimento e da produção de biomassa da planta (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

É o quarto nutriente mais abundante em rochas e presente nos solos, podendo atingir concentrações de 0,3 a 30 g/kg⁻¹, as quais são um pouco menores em regiões tropicais (0,9 a 19 g/kg⁻¹), onde a maior parte (98%) é encontrado na estrutura dos minerais primários e secundários (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). A maioria dos solos brasileiros é constituída principalmente por Latossolos e Argissolos, que são caracterizados por apresentar alto grau de alteração dos seus materiais constituintes, restando pouca ou nenhuma reserva mineral nas frações grosseiras dominada quase que exclusivamente por quartzo e outros materiais resistentes ao intemperismo (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

O K atua como um cofator ou ativador de enzimas do metabolismo de carboidratos e proteínas, uma das mais importantes é a piruvato-quinase, enzima principal da glicólise e respiração (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). De modo geral, as necessidades nutricionais de K estão relacionadas com quatro papéis bioquímicos e fisiológicos: ativação enzimática, processos de transporte através de membranas, neutralização aniônica e potencial osmótico (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). As principais funcionalidades desse nutriente estão relacionadas à ativação de sistemas enzimáticos, na síntese de proteínas, carboidratos e da adenosina trifosfato (ATP) (OOSTERHUIS et al., 2014); na manutenção da água na planta por meio do controle da abertura e do fechamento dos estômatos, na resistência a incidência de pragas e doenças, além da permeabilidade da membrana plasmática (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007).

Para a nutrição de plantas pode ser encontrado no solo em quatro formas principais: na forma iônica K^+ (na solução do solo 0,1-0,2%) considerado rapidamente absorvível; K trocável (1,2%); K não trocável (fixado em argilas 2:1, 1-10%), que atua como uma reserva do elemento no solo; e na sua forma indisponível (90-98%) (SMITH et al., 1994). As duas primeiras formas citadas, são utilizadas para atender requisitos imediatos das plantas em estágio vegetativo relacionadas ao crescimento, e as duas últimas são responsáveis pelo fornecimento a longo prazo (HAFSI; DEBEZ; ABDELLY, 2014).

O K não trocável em muitas situações tem contribuição significativa para o fornecimento desse nutriente para as plantas, principalmente quando o trocável é baixo (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). Contudo, a disponibilidade de K nos solos é dependente de sua mineralogia (DECHEN; NACHTIGALL, 2007). A liberação de K trocável é muito menor do que a fração do K^+ absorvido pelas plantas, conseqüentemente as concentrações do nutriente em determinados tipos de solo é um fator limitante ao crescimento (JOHNSTON, 2003).

A quantidade de K que é disponibilizada a planta, depende da intensidade do intemperismo, tempo de deposição, proporção e o tipo de minerais de argila que estão presentes no solo, apenas uma pequena fração (1-8 %) do K na superfície da argila do solo é aproveitada por plantas, seja ligado a cargas elétricas negativas (K trocável), seja na solução do solo (HAFSI; DEBEZ; ABDELLY, 2014). Como mencionado, a maior fração faz parte das composições minerais e não está disponível para as plantas, no entanto, o excesso de K, via adubação pode salinizar os solos e reduzir a absorção do cálcio e magnésio (GOUVEIA et al., 2018).

Diferente de outros nutrientes, como nitrogênio e fósforo, o teor de K na matéria orgânica do solo é extremamente pequeno, restrito apenas a fração orgânica viva. Além disso, não faz parte de nenhuma fração abiótica do solo (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). De maneira geral, solos com baixas concentrações de K costumam ser arenosos, alagados, salinos ou ácidos e em sistemas de produção agrícola intensiva torna-se um elemento limitante, onde em muitos casos, o menor fornecimento do fertilizante potássico ou aplicações desequilibradas podem resultar em um esgotamento das reservas e diminuição da fertilidade do solo (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014).

As diferentes formas de K nos solos são convertidas de forma dinâmica por processos de fixação e liberação (ASKEGAARD; ERIKSEN; OLESEN, 2003). A figura 1 explica o movimento do K no sistema planta/solo, onde na solução do solo há um gradiente de concentração que diminui devido a absorção das plantas, seja oriundo da deposição de fertilizantes aplicados ou disponível pela ação do intemperismo (YAWSON et al., 2011). Esse fenômeno opera para alcançar equilíbrio

entre as formas do nutriente disponível e a taxa de extração, que pode variar de acordo com o tipo de solo (ASKEGAARD; ERIKSEN; OLESEN, 2003).

Existe um equilíbrio entre as diferentes formas, os processos de fixação e liberação ocorrem como uma troca mantida entre a planta e a solução do solo, nas formas de K^+ trocável e não trocável (YAWSON et al., 2011). A forma trocável é a fonte de maior interesse para a nutrição vegetal, por restituir rapidamente o K retirado da solução do solo pelas plantas ou perdido por lixiviação (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007), essa forma representa a reserva imediata de K para as plantas.

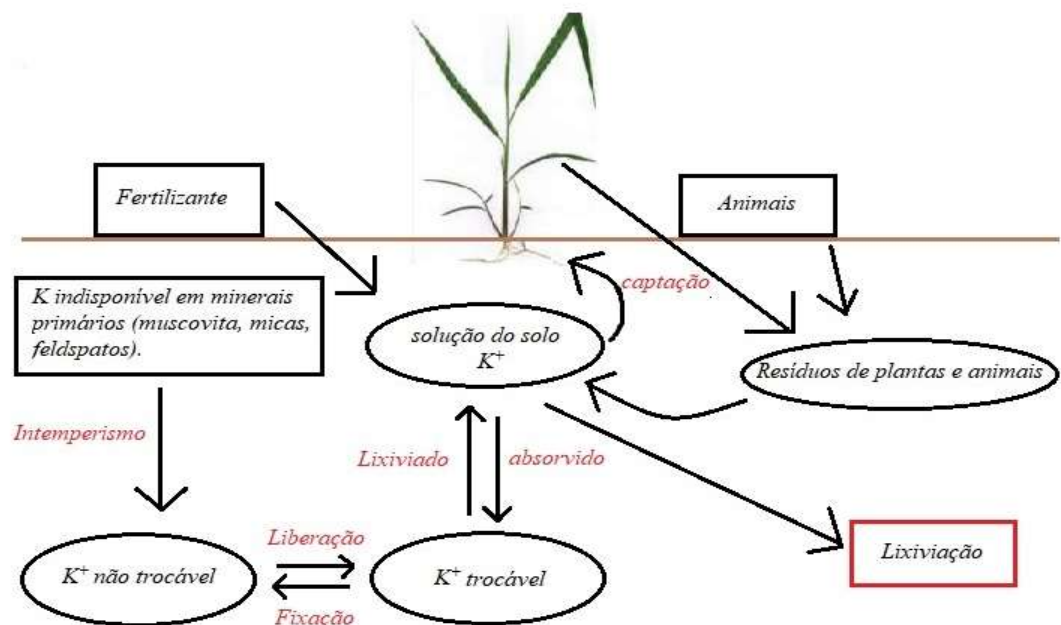


Figura 1 – Ciclo do potássio do solo, adaptado (HAFSI; DEBEZ; ABDELLY, 2014).

O processo de fixação do K no solo é relativamente rápido, enquanto a liberação é lenta devido à forte ligação entre os minerais não trocáveis fixados na argila (ÖBORN et al., 2005). Esse processo depende da concentração do nutriente no solo, da presença de ácidos orgânicos e principalmente do pH do solo (SCHNEIDER et al., 2013). O pH tem papel fundamental na liberação de K não trocável, e se desbalanceado pode ser um meio de redução da absorção de K. A calagem favorece a manutenção do teor de K trocável, pois aumenta a CTC efetiva e reduz as perdas por lixiviação (YAWSON et al., 2011); onde em certos casos, pode aumentar a disponibilidade de K nas plantas mais do que a de cálcio e magnésio, devido ao menor grau de atração do K pelas cargas negativas do solo (AHMAD e MAATHUIS, 2014). Contudo, a relação entre os teores disponíveis de (Cálcio + Magnésio) e de K não deve ser muito elevada.

1.2 Suprimento e demanda do K pelas raízes

As plantas forrageiras possuem raízes fasciculadas, que desempenham funções relacionadas ao desenvolvimento da planta, suporte estrutural e absorção de nutrientes (GURGEL et al., 2020). A morfologia do sistema radicular e os parâmetros cinéticos de absorção são os fatores relacionados as plantas que determinam a absorção do K e, conseqüentemente, influenciam seu transporte na solução do solo em direção às raízes (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). À medida que a raiz cresce absorve os nutrientes que inicialmente se encontram no trajeto do seu crescimento, com o tempo há decréscimo da concentração desses elementos junto a superfície das raízes a medida que eles são absorvidos, criando-se um gradiente de concentração entre esta região e aquela mais distante da raiz (NOVAIS; MELLO, 2007).

O desenvolvimento da raiz é influenciado particularmente pela disponibilidade de nutrientes, entretanto, grande parcela dos estudos que avaliam forrageiras tem dado maior ênfase a avaliações da parte aérea (DUPAS e MONTEIRO, 2018), que resulta na falta de informações sobre características de raízes de forragem. A produtividade da parte aérea é reflexo do que acontece com o sistema radicular, pois ambos interagem (SCARAMUZZA et al., 2007). Logo, qualquer fator que limite o crescimento de raízes irá prejudicar a produção de forragem. Com relação ao potássio e sua ação no metabolismo vegetal atenção especial deve ser dada, por ser um elemento mineral muito móvel nos tecidos (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014).

Devido a essa mobilidade, o K é facilmente perdido pelas folhas e raízes diminuindo com o avanço da idade da planta (SCARAMUZZA et al., 2007), mesmo sendo um dos nutrientes mais extraídos por plantas do solo. Sua participação no processo fotossintético é de suma importância, porque carboidratos não estruturais produzidos pela fotossíntese e armazenados nas raízes são usados após a desfolha, garantindo a rápida recuperação das plantas (VILLALBA et al., 2012). Além disso, a utilização do K é necessária para melhorar a utilização do nitrogênio pelas culturas, devido a absorção rápida do nitrato (NO_3^-) depender de um nível adequado de K no solo (FAGERIA e BALIGAR, 2005).

A formação de um sistema radicular vigoroso é fundamental para que as plantas possam suportar situações de estresse como invernos rigorosos, veranicos e o próprio pastejo (CUNHA et al., 2010). De acordo com CECATO et al., (2001) o sistema radicular das plantas forrageiras é afetado diretamente pelas condições físicas do solo, ação do animal, umidade e uso de fertilizantes; um manejo inadequado onde acontece a remoção da parte aérea pode interferir indiretamente nas propriedades físicas do solo, por afetar diretamente o desenvolvimento do sistema radicular. Um exemplo de mudança da condição física do solo é a redução no percentual de macroporos e o aumento da densidade do solo quando este é submetido ao pisoteio animal (CECATO et al., 2010);

ou ainda, quando há remoção da parte aérea por meio do corte muito drástico, que pode levar a redução nas raízes e posteriormente, na parte aérea (SCHEFFER-BASSO et al., 2002).

Uma planta bem nutrida de K apresenta sistema radicular maior que uma planta deficiente em K, porque, os mecanismos envolvidos no crescimento do sistema radicular estão relacionados com o acúmulo de carboidratos (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). A absorção do K pelo sistema radicular pode ser realizada por meio de dois mecanismos cinéticos distintos, o primeiro funciona quando há alta concentração de K^+ externo, trabalhando com alta afinidade para as maiores concentrações; o segundo opera quando há baixas concentrações de K^+ trabalhando para que a saturação ocorra com a menor disponibilidade do nutriente (NOVAIS; MELLO, 2007). Nas raízes são encontradas altas concentrações de K, e, na parte aérea, está presente em todos os compartimentos celulares (AHMAD e MAATHUIS, 2014). Entretanto, as maiores concentrações do nutriente são encontradas no vacúolo, que é o principal ativador do turgor responsável pelo aumento do conteúdo celular, e do posterior crescimento das estruturas da planta (NIEVES-CORDONES et al., 2014).

Avaliado o fornecimento das taxas de nitrogênio e potássio em capim-marandu, MEGDA e MONTEIRO (2010) observaram que os nutrientes modularam o desenvolvimento do sistema radicular da forrageira, com aumento no comprimento da raiz quando altas taxas foram fornecidas. Esse incremento resultou na exploração de maior volume do solo pelas plantas, e como consequência, maior absorção de K com diminuição no caminho a ser percorrido pelo nutriente. A rebrota com elevada taxa de alongamento de folhas e aparecimento de novos perfilhos dependerá, entre outros fatores, das reservas armazenadas na base do colmo e raízes (REZENDE et al., 2008), a partir do momento em que o K está em contato com as raízes é absorvido até ocorrer exaustão da sua concentração. Deve ser levado em consideração que o aumento na quantidade de fertilizantes para incrementar a produção de forragem e consequentemente aumentar a taxa de lotação animal (GOMIDE et al., 2019)

1.3 Efeito do potássio na produção de forragem

O uso de fertilizantes nas pastagens associada a outras práticas de manejo permitiram que pastagens nativas fossem substituídas por forrageiras do tipo C_4 que possuem alto potencial para acúmulo de forragem, especialmente as pertencentes aos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* (EUCLIDES et al., 2018). Essas plantas possuem cultivares reconhecidas como excelentes opções para diversificação das pastagens (BRAZ et al., 2017; VERAS et al., 2020). Forrageiras do gênero *Brachiaria* são as mais utilizadas no Brasil em sistemas que utilizam pastagens cultivadas,

caracterizadas por aumentar significativamente a produção de forragem e apresentarem maior valor nutritivo, contribuindo para o aumento da produtividade animal (SILVA et al., 2016).

O gênero *Panicum maximum* reúne as forrageiras mais produtivas propagadas por sementes do mercado brasileiro, e também é cultivado em outros países latino-americanos (JANK; VALLE; RESENDE, 2011). É recomendado principalmente para sistemas intensivos com solos de alta fertilidade, por ter alto potencial para produção de biomassa e ser promissor como matéria-prima para produção de biocombustíveis (TESK et al., 2020). Dado que, ao grupo de forrageiras pertencentes a esse gênero são atribuídas altas produções de forragem com boa qualidade nutricional (EUCLIDES et al., 2018). Todas essas forrageiras possuem diferenças no que diz respeito à exigência, capacidade de absorção e conversão do K em tecido vegetal o que pode ser explicado por variações na sua fisiologia ou fatores relacionados à quantidade e distribuição do nutriente no solo (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014).

A produção de biomassa de uma forrageira pode ser melhorada pela utilização eficiente e sustentável de fertilizantes (LOPES et al., 2013). A adubação potássica é considerada prática comum que pode variar em relação a dose aplicada, ao tipo do fertilizante, época de aplicação, método de mistura com o solo (PRAJAPATI e MODI, 2012) e das temperaturas do ambiente e do solo. Quando absorvido pelas plantas grande parte da atividade do K está ligada ao crescimento vegetal e associado a mudanças no turgor celular, essas mudanças envolvem captação e liberação controlada de K⁺ (KIM et al., 2010). Movimentos como a abertura e fechamento dos estômatos, crescimento da folha e do colmo exigem, além da absorção de água pelo apoplasto, grande fluxo de K⁺ (AHMAD e MAATHUIS, 2014).

Tudo isso irá depender fundamentalmente da reserva do nutriente no solo, e da expectativa de rendimento a ser obtido (ASHWORTH et al., 2019). As características da planta que influenciam a absorção de K são: a morfologia do sistema radicular, a taxa de demanda de cada cultivar e os parâmetros cinéticos de absorção (AHMAD e MAATHUIS, 2014). Entre as práticas de manejo, o fornecimento do K associada ao nitrogênio tem efeito direto na dinâmica de gerações das partes da planta, promovendo mudança nas taxas de aparecimento e alongamento de folhas e colmo (LIMA et al., 2019). Além disso, estima-se que o K em quantidades satisfatórias na planta influencia positivamente na digestibilidade de forrageiras (ASHWORTH et al., 2019).

Apesar de ser um macronutriente, ainda existem poucos relatos sobre o desempenho produtivo de forrageiras submetidas à fertilização com K (ASHWORTH et al., 2019), mesmo havendo relatos positivos do aumento da produção de massa de forragem usando K associado a outros fertilizantes (KERING et al., 2013). A fertilidade do solo é muito afetada pelas interações entre os principais

nutrientes, a exemplo do nitrogênio e potássio, que são significativos para o crescimento das plantas (BOMFIM-SILVA et al., 2013).

O aumento expressivo de crescimento da planta em resposta a adição de nitrogênio exige equilíbrio nutricional com o potássio do solo, e, se isso não ocorre, a disponibilidade desse nutriente pode torna-se deficiente devido a diluição, afetando as funções fisiológicas de ambos os nutrientes (CANTARELA, 2007). Isso pode ser melhor entendido quando são avaliados os relatos de KERING et al., (2013), que comprovaram ao fornecer exclusivamente nitrogênio (N), na quantidade de 134 kg por ha⁻¹, que nenhuma resposta adicional na produção de forragem foi observada na cultivar de *P. maximum* testada. No entanto, quando 68 kg de K ha⁻¹ foram adicionados aos 134 kg N ha⁻¹, houve aumento na produção. Esses autores destacaram que é necessário examinar o efeito separado da nutrição com K, uma vez que, pode exercer impactos inter-relacionados no crescimento do *P. maximum*.

Métodos para reduzir perdas de K para o meio ambiente e não prejudicar o rendimento das forrageiras foram investigados por (ASHWORTH et al., 2019), onde concluíram que entradas mínimas de K no sistema são necessárias para aumento das respostas no rendimento de massa de forragem da cultivar de *P. maximum* avaliada. Esses resultados remetem que, para melhorar a eficiência do uso do K, deve ser levado em consideração a inclusão combinada de macronutrientes e o histórico de fertilidade do solo.

1.3.4 Características morfológicas e estruturais

As pesquisas sobre ecofisiologia das plantas forrageiras promovem mudanças no entendimento do manejo das pastagens, aumentando a eficiência de utilização da forragem produzida (MARTUSCELLO et al., 2011). Conhecimentos básicos sobre as respostas ecofisiológicas de plantas submetidas a protocolos de fertilização, e a avaliação das variáveis morfológicas, constituem ferramenta importante para o manejo de pastagens (GARCEZ NETO et al., 2002). De modo que, o aumento do interesse em avaliar as respostas do uso fertilizantes em cultivares forrageiras ocorre porque, os macronutrientes são frequentemente o primeiro fator limitante na produção forragem (MORAIS NETO et al., 2020).

Entre os métodos utilizados para qualificar plantas quanto ao seu uso em diferentes condições de fertilização do solo se incluem a densidade de perfilhos e a morfogênese (BERGOLI et al., 2019; CABRAL et al., 2020). A morfogênese é caracterizada por representar a dinâmica de geração e expansão dos órgãos vegetais no tempo e no espaço, e pode ser expressa em termos de aparecimento, expansão de novos órgãos e senescência, podendo ser descrita por três características básicas: Taxa

de aparecimento de folhas, taxa de alongamento de folhas e duração de vida da folha; essas, podem ser influenciadas por variáveis ambientais ou pela disponibilidade de nutrientes (CHAPMAN; LEMAIRE, 1993).

A combinação das variáveis morfogênicas básicas determinam as principais características estruturais das pastagens (Davies, 1974):

- Tamanho da folha, que é determinada pela relação entre a taxa de aparecimento e alongamento da folha, uma vez que a duração do período de expansão de uma folha é uma fração constante do intervalo de aparecimento, ou seja do filocrono.

- Densidade de perfilhos, que é parcialmente relacionada com a taxa de aparecimento da folha, que determina o número potencial de sítios para o surgimento de perfilhos. Desta forma, genótipos com alta taxa de aparecimento de folhas apresentam alto potencial de perfilhamento e assim determinam uma pastagem com maior densidade de perfilhos.

- Número de folhas vivas por perfilho, que é o produto da taxa de aparecimento de folhas pela duração de vida das folhas.

São relacionados ao aumento da fertilização com potássio a melhoria no fluxo de tecidos de forrageiras induzidas por mudanças nas características estruturais, resultado da conversão e alocação de metabólitos (BONFIM-SILVA et al., 2018). O potássio tem várias funções importantes na planta: aumenta o crescimento das raízes e estimula a absorção de água e nutrientes; participa da formação de celulose; estimula pelo menos 60 enzimas envolvidas no crescimento da planta; reduz a respiração prevenindo a perda de energia; ajuda na fotossíntese e na translocação de açúcares e amido (ZAMBOLIM et al. (2012)). Essas informações são importantes para o entendimento do processo de acúmulo de forragem, podendo contribuir para gerar conhecimento básicos acerca de práticas adequadas de manejo (MARTUSCELLO et al., 2019). Ao longo dos anos, a densidade de perfilhos e a morfogênese tornaram-se métodos importantes para avaliar a dinâmica da produção de folhas e de perfilhos em forrageiras (LIMA et al., 2019).

As características morfogênicas e o valor nutritivo das cultivares Mombaça e Massai submetidas a níveis crescentes de fertilização foram estudadas por PACIULLO et al.(2017), onde destacaram que a taxa de alongamento da folha e do colmo, o comprimento final da folha e a densidade de perfilhos aumentaram linearmente à medida que doses crescentes de fertilizantes a base de potássio foram avaliadas. Esses resultados são reafirmados pelos relatos de COSTA et al., (2019), que justificam os aumentos lineares nas características morfogênicas podem estar ligados ao fato de que a baixa disponibilidade do K é responsável por limitar a adequada nutrição mineral nas forrageiras.

1.4 Deficiência do potássio em plantas

O atendimento das exigências nutricionais das plantas forrageiras é um dos fatores que interfere na produção e na qualidade das pastagens (LAVRES JUNIOR e MONTEIRO, 2003). A deficiência do potássio afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas, pode limitar a produtividade ou afetar a manutenção de áreas recém cultivadas quando ocorre déficit nutricional no estabelecimento (TANG et al., 2015). Para lidar com a carência nutricional a planta lança mão de mecanismos regulatórios que transmitem sinais para modular seu metabolismo através de cascatas de sinalização que regulam respostas para a deficiência (YOST et al., 2011; FERREIRA, 2012).

Entre os mecanismos citados estão a diminuição da condutância hidráulica da raiz para a parte aérea, que reduz o transporte de solutos pelo caule e diminui a expansão da folha em comprimento e diâmetro; que é ocasionado pela diminuição da fotossíntese (KANAI et al., 2011). Além desses, são relacionados redução na síntese do ATP, da absorção do CO₂ e da síntese das enzimas que regulam a fotossíntese, (KANAI et al., 2011). Relacionado à fotossíntese, ZHAO; OOSTERHUIS; BEDNARZ, (2001) relataram que a deficiência de K modifica a estrutura do cloroplasto das folhas, com menores grana no interior das células e preenchimento do cloroplasto com grandes grânulos de amido que continham mais plastoglobulinas e menos granum; além de redução na sacarose que tem função na regulação da abertura dos estômatos.

O impacto negativo da deficiência de K na fotossíntese, transpiração, e condutância estomática pode ser visualmente identificados através das características visuais: redução acentuada no porte; necrose nas pontas e margens das folhas mais velhas; necrose na nervura central; ondulação e queimadura nas folhas; colmos finos e mais susceptíveis ao tombamento (FERREIRA, 2012). Os sintomas são observados nas folhas mais velhas devido a estratégia de sobrevivência das plantas que mobiliza K das folhas mais velhas para as mais novas, justificado pela mobilidade do K no floema que se move facilmente para as folhas que estão em crescimento (YOST et al., 2011).

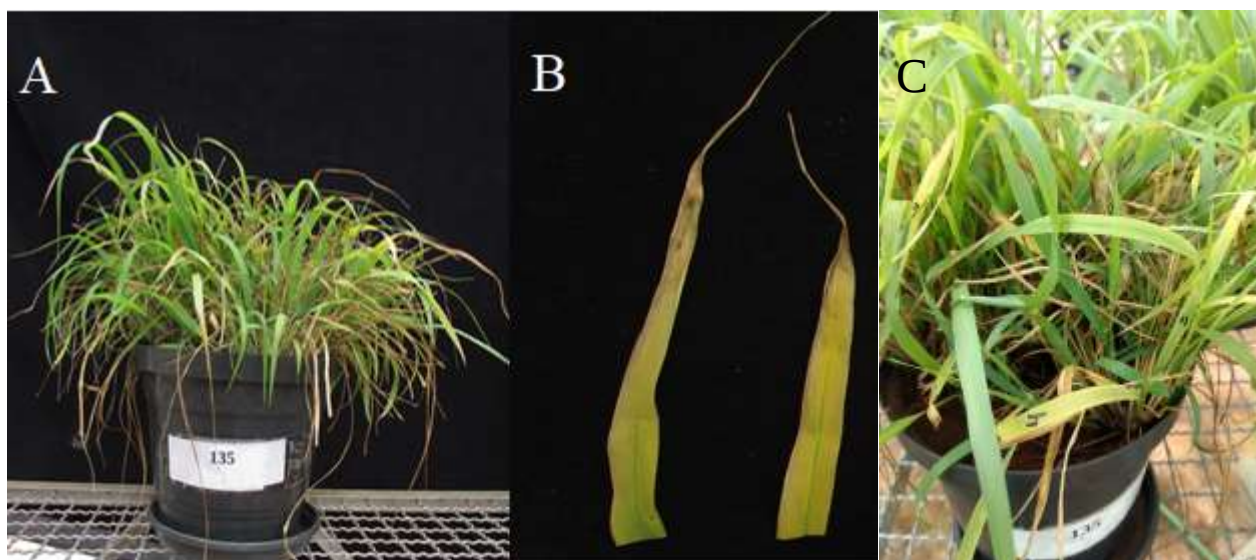


Figura 2 – Sintomas da deficiência de potássio em planta de *Panicum maximum* cv. Tamani. Na comunidade de plantas (figuras A e C) e na folha (figura B). EMBRAPA Gado de Corte. (Veras, 2020).

Uma das primeiras reações do estresse por deficiência de K nas plantas é o impacto causado pela maior quantidade de matéria seca nas raízes do que na parte aérea (GRUBER et al., 2013). No sistema radicular, a deficiência do K está associada à mudança na arquitetura e arranjo das raízes. A planta passa a produzir raízes mais longas e coberta com pelos mais densos, contrariamente, ocorre redução no número e no crescimento de raízes laterais (KELLERMEIER; CHARDON; AMTMANN, 2013). Entretanto, essas estratégias não são necessariamente acompanhadas por aumento do metabolismo do K na parte aérea, são notificadas menos exportação de fotoassimilados pelas folhas, devido a ativação de genes relacionados a sinalização do metabolismo do etileno (ARMENGAUD; BREITLING; AMTMANN, 2004).

A carência do K^+ inibe a assimilação do nitrogênio, por causar redução na atividade das enzimas do metabolismo do nitrogênio do tipo nitrato redutase e glutamato desidrogenase (HAFSI; DEBEZ; ABDELLY, 2014). WANG e WU (2010) observaram redução do conteúdo de proteína e aumento no conteúdo de aminoácidos no milho submetido a deficiência de K por cinco semanas. Os autores justificaram os resultados pela redução na atividade da nitrato redutase e diminuição na expressão de dois genes que regulam o aumento das raízes, além disso, relataram que as expressões de genes transportadores do nitrato demoraram para se restabelecer.

1.5 Processos fisiológicos de plantas adubadas com potássio

Os compostos químicos mais importantes para converter energia luminosa em energia química são os pigmentos encontrados nos cloroplastos, e as duas classes de pigmentos fotossintéticos

encontrados em plantas são clorofilas e carotenoides (ARAÚJO et al., 2013). A clorofila *a* é difundida em todas as células fotossintéticas e desempenha um papel importante no processo de bioconversão de energia, enquanto os outros pigmentos são chamados de acessórios (GIL et al., 2002). A clorofila *a* está presente em maior quantidade nas plantas e é encontrada em todos os tecidos fotossintéticos (ZOTARELLI et al., 2003).

Uma das técnicas utilizadas para avaliar o estado nutricional das plantas mensura a intensidade de cor verde nas folhas por meio de análises não destrutivas, uma vez que, há correlação significativa entre a intensidade de cor verde e o conteúdo de clorofila concentrada na folha (TAIZ et al., 2017). Para isso, um dos equipamentos utilizados para medir a clorofila é o SPAD-502[®] que faz a quantificação indireta da clorofila por meio de uma avaliação não destrutiva do tecido foliar, onde a intensidade do tom de verde nas folhas é detectada pela medição da quantidade de luz de comprimentos de onda absorvida pela folha na região do vermelho/vermelho distante (TORRES NETTO et al., 2002).

A importância dessa avaliação em plantas submetidas a protocolos de fertilização é relacionada ao estado nutricional das plantas, pois, a quantidade de clorofila ou o “enverdecimento” das folhas se correlaciona positivamente com a concentração foliar dos nutrientes responsáveis pela síntese das moléculas de clorofila (MARENCO e LOPES, 2005). Nesse sentido, há grande demanda de K durante a abertura dos estômatos das plantas (ZHANG et al., 2020), durante a fotossíntese. Onde, o K⁺ é transportado para as células guarda e o potencial osmótico nessas células regula os mecanismos de abertura e fechamento, fazendo com que a mudança na concentração de K nas células guarda seja um importante regulador do movimento estomático (BÜCHSENSCHÜTZ et al., 2005).

Os estômatos atuam na regulação da entrada de CO₂ na folha e na perda de vapor d’água para a atmosfera pela transpiração (KUWAHARA e SOUZA, 2009). O controle dessas trocas gasosas entre a folha e o ar pelos estômatos é essencial para a manutenção da atividade fotossintética e hidratação dos tecidos, devendo haver certa condutância estomática que permita o fornecimento de substrato para as reações bioquímicas da fotossíntese e impeça a perda excessiva de água e consequentemente desidratação (CHAVES et al., 2002). De maneira que, identificar quando a temperatura da folha, a quantidade de luz, CO₂, transpiração e condutância estomática são fatores limitantes para o crescimento são essenciais para se entender como a nutrição de plantas pode intensificar ou prejudicar as práticas de manejo (OTTO et al., 2013).

Os genótipos podem exibir níveis distintos de sensibilidade a adubação, incluindo alteração na condutância estomática em relação ao déficit de pressão de vapor do ar, em respostas fotoquímicas e de crescimento (CARVALHO et al., 2020). As trocas gasosas foram estudadas por LOPES et al., (2020), na cultivar Massai adubada com níveis crescentes de fertilizante e pastejada por ovinos. Os

autores observaram resposta linear com a aplicação do fertilizante para a transpiração da folha, condutância estomática, temperatura da folha, e taxa de fotossíntese. Também destacaram, que esses parâmetros asseguram melhor compreensão de como a produção de biomassa ocorre na pastagem, sendo essencial para a definição dos níveis de fertilização que sinalizam a máxima eficiência biológica da forragem.

1.6 O potássio e as doenças de plantas

O K é um nutriente importante na prevenção de doenças de plantas, uma vez que está envolvido em muitos processos celulares que influenciam a severidade da doença (ZAMBOLIM et al., 2012). Geralmente, a presença de K em níveis adequados reduz a intensidade de doenças infecciosas, como as causadas por parasitas obrigatórios e facultativos, ou seja, aumenta a resistência em altas concentrações (ZAMBOLIM et al., 2012). Por outro lado, plantas deficientes em K possuem tendência em permanecer com os estômatos abertos por mais tempo, aumentando as chances de ocorrer acúmulo de carboidratos solúveis e de aminoácidos livres, ou seja, menos proteínas estruturais, enzimáticas e protetoras, menor proteção por fenóis e fitoalexinas inibidoras do patógeno, entre outros (MALAVOLTA, 2006).

Segundo (OLIVEIRA, 2008), o K é capaz de conferir maior resistência aos tecidos, atuar na redução do potencial de inóculo e promover a rápida recuperação de injúrias, ressalta ainda, que aumentos nos níveis deste nutriente, além do ótimo, não causam efeitos substanciais nos constituintes orgânicos e na resistência a doenças. Na maioria dos casos, o efeito do K é variável ao intervalo de deficiência das culturas, ou seja, aumenta a resistência ou tolerância, da mesma forma como o crescimento da planta responde a oferta do K no solo (G. JÚNIOR et al., 2003). Na maioria dos exemplos relatados na literatura, o K decresce a severidade das doenças de plantas, principalmente quando é influenciado pela interação com outros nutrientes (GONZÁLEZ et al., 2020).

Entre as doenças fúngicas mais importantes nas culturas forrageiras do mundo ganha destaque pela incidência de registros a ferrugem foliar ou helmintosporiose causada por *Bipolares maydis* (GONZÁLEZ et al., 2020). Esse fungo foi descrito pela primeira vez em 2003, causando mancha na cultivar Tanzânia no Brasil (CHARCHAR et al., 2008), com relatos posteriores de elevada incidência em outras cultivares de *Panicum maximum* (MARCOS et al., 2015), *Paspalum atratum* Swallen cv. Pojuca e *Pennisetum purpureum* Schum, se tornando cada vez mais preocupante entre os produtores nacionais (SANTOS et al., 2015) .

Os sintomas caracterizam-se por inúmeras lesões nas folhas de tamanhos e formatos variáveis, geralmente em torno de 0,3 a 1,0 cm, que em ataques severos as lesões coalescem em largas áreas escuras e necróticas afetando toda a parte aérea da planta (MARTINEZ et al., 2010).. O fungo sobrevive em restos culturais, em sementes ou em hospedeiros alternativos, sendo as correntes de ar, gotas de chuva e as próprias sementes os principais mecanismos de disseminação do fungo *B. maydis* (MARCHI, C. E.; FERNANDES, C. D.; VERZIGNASSI, 2011).

Estudo feito por GONZÁLEZ et al. (2020), onde avaliaram o desenvolvimento da mancha foliar causada por *Bipolaris maydis* na cultura do milho doce, dependendo das doses de nitrogênio (0, 200, 400, 800 e 1.200 kg / ha), e da aplicação ou não de K (240 kg / ha). Relataram que os níveis das variáveis da doença foram mais baixos na fertilização com K, combinada com doses de 0, 200 e 400 kg / ha de N. Ponto importante destacado por esses autores foi com relação ao aumento na concentração na planta do silício quando houve aplicação de K, que é considerado nutriente benéfico a sanidade de plantas e responsável por aumentar a resistência a infecção por patógenos (FREITAS et al., 2011).

Outra doença que acomete forrageiras é o vírus do mosaico de Johnsongrass, que pertence ao gênero *Potyvirus* (família *Potyviridae*) (SILVA et al., 2016). O mosaico foliar de *Panicum maximum*, causado por Johnsongrass mosaic virus (JGMV) é predominante em gramíneas forrageiras e tem sido recorrente e mais severo a cada ano (PEREIRA et al. 2017.) O vírus é disseminado por algumas espécies de pulgões e também pode ser transmitido mecanicamente, mas não por meio de sementes (SHUKLA e TEAKLE, 1989).

Este vírus é responsável por causar sintomas de mosaico e severas perdas de rendimento em vários gêneros de importância zootécnica como *Brachiaria*, *Panicum* e *Pennisetum* (SILVA et al., 2016), onde relatos de casos confirmados foram reportados nos EUA, Colômbia, Nigéria e Austrália e Brasil (KARAN et al., 1992; SILVA et al., 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fertilização com potássio em forrageiras garante incremento em funções importantes incluindo fotossíntese, ativação de enzimas, melhora o potencial osmótico da membrana plástica e síntese proteica. Tudo isso é relatado como benéfico as plantas forrageiras e responsável por promover aumento considerável da produção primária e secundária, com incrementos na produção de folhas, colmos, estímulo ao perfilhamento e contribuição para que maior área do solo seja

explorada pelas raízes. Seu fornecimento via adubação deve ser acompanhado dos demais macronutrientes e práticas de manejo da pastagem.

No entanto, os resultados que serão apresentados nessa revisão fornecem informações úteis sobre a diversidade entre as cultivares forrageiras estudadas, quanto ao seu crescimento e desenvolvimento sob níveis de fertilização com potássio. Uma vez que em deficiência de K as plantas reduziram a produtividade desencadeada por estratégias de tolerância que envolvem modificações fisiológicas. Embora vários trabalhos sejam realizados para compreender as respostas das plantas quando submetidas a níveis crescentes de fertilização muito ainda precisa ser conhecido sobre os mecanismos pelos quais as plantas forrageiras detectam e respondem às mudanças nas concentrações de K.

Diante disso, o objetivo dessa revisão foi apresentar e discutir aspectos relacionados à resposta ao fornecimento do potássio em plantas forrageiras, no que tange os parâmetros fisiológicos e produtivos, sendo temas relevantes para melhor compreender esses assuntos que serão abordados nos capítulos seguintes no formato de artigos científicos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, I.; MAATHUIS, F. J. M. Cellular and tissue distribution of potassium: Physiological relevance, mechanisms and regulation. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 708–714, 2014.
- ALLEN, V. G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E. J.; et al. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 1, p. 2–28, 2011.
- ARAÚJO, S. A. do C. et al. Indirect method for quantifying the content of photosynthetic pigments in genotypes of dwarf elephant grass. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, n. 1, p. 43–47, 2013.
- ARMENGAUD, P.; BREITLING, R.; AMTMANN, A. The potassium-dependent transcriptome of arabidopsis reveals a prominent role of jasmonic acid in nutrient signaling. **Plant Physiology**, v. 136, n. 1, p. 2556–2576, 2004.
- ASHWORTH, A. J. et al. Switchgrass forage yield and compositional response to phosphorus and potassium. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 2, n. 1, p. 1–8, 2019.
- ASKEGAARD, M.; ERIKSEN, J.; OLESEN, J. E. Exchangeable potassium and potassium balances in organic crop rotations on a coarse sand. **Soil Use and Management**, v. 19, n. 2, p. 96–103, 2003.
- BERGOLI, T. L. et al. Tillering dynamics of Alexandergrass pasture under nitrogen fertilization. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 6, p. 2049–2056, 2019.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Interaction between nitrogen and potassium in fertilization of the piatã grass (*Urochloa brizantha*): Productive and phytometric characteristics. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 7, p. 1122–1128, 2018.
- BRAZ, T. G. dos S. et al. Partial correlation analysis in the study of morphogenesis and herbage accumulation in *Panicum maximum* cv. ‘Tanzânia’. **Ciência Rural**, v. 47, n. 9, p. 7–10, 2017.
- BÜCHSENSCHÜTZ, K. et al. Differential expression of K⁺ channels between guard cells and subsidiary cells within the maize stomatal complex. **Planta**, v. 6, n. 6, p. 968–976, 2005.
- CABRAL, C. E. A. et al. Nitrogen requirement of *Brachiaria* hybrid cv. Ipyorã. **Boletim de Indústria Animal**, v. 77, n. 1, p. 1–10, 2020.
- CARVALHO J. M.; et al. Elevated CO₂ and warming change the nutrient status and use efficiency of *Panicum maximum* Jacq. **Plos One**. v. 15, n. s/l p. 1-15. 2020.
- CECATO, U.; et al. Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em oastacross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 644-650, 2001.

- 520 CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant growth after
521 defoliation. Wellington: **SIR Publishing**, 1993.
- 522 CHARCHAR, M. J. D. A, et al. Mancha foliar em capim-elefante no Cerrado do Brasil Central
523 causada por *Bipolaris maydis*. **Pesqui Agropecu Bras.** v. 43: p. 1637-1649. 2008.
- 524 CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P.
525 P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with
526 water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, v. 89, n. 6, p. 907-
527 916, 2002.
- 528 COSTA, N. de L. et al. Acúmulo de forragem e morfogênese de *Axonopus aureus* sob adubação
529 potássica. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 8, p. 1–12, 2019.
- 530 CUNHA F. F. da et al. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações
531 nitrogenadas e manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 351-357, 2010.
- 532 DAVIES, A. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. **The Journal**
533 **of Agricultural Science.** (Cambridge), v. 82, n. 1, p.165-172, 1974.
- 534 DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS,
535 R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Ufv, Cap. 3. p. 92-129. 2007.
- 536 DUPAS, E.; MONTEIRO, F. A. Nitrogen and potassium, but not boron, change the morphology,
537 production and nutrient concentration of Tanzania guineagrass roots. **Journal of Plant**
538 **Nutrition**, v. 41, n. 17, p. 2222–2231, 2018.
- 539 ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade**
540 **do Solo**. Viçosa: UFV, 2007. Cap. 9. p. 551-594.
- 541 EUCLIDES, V. P. B. et al. Biological and economic performance of animal genetic groups under
542 different diets. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 6, p. 1683-1692, 2018.
- 543 FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants, **Advances**
544 **in Agronomy**, v. 88, n. s/l, p. 97-185. 2005.
- 545 FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho
546 híbrido BRS 1010. **Revista agroambiente**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.
- 547 FORNARI, A. J. et al. Nitrogen fertilization and potassium requirement for cereal crops under a
548 continuous no-till system. **Pedosphere**, v. 30, n. 6, p. 747-758, 2020.
- 549 FREITAS L. B DE. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres.** v. p. 58:262-
550 7. 2011
- 551 G. JÚNIOR D, P. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do
552 suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatol Bras.** v. 28 p. 286-91. 2003.
- 553 GARCEZ NETO, A.F; et al., Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv.

- 554 Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira**
 555 **de Zootecnia**, v.31, n.5, p.1890-1900, 2002.
- 556 GARCEZ, T. B. et al. Root system characteristics of Marandu palisadegrass supplied with nitrogen
 557 and magnesium rates. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.7, p.1428-1435, 2011.
- 558 GIL, P. T. de et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da
 559 produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.4, p.611-615, 2002.
- 560 GOMIDE, C. A. M. et al. Productive and morphophysiological responses of *Panicum maximum*
 561 Jacq. cv. BRS Zuri to timing and doses of nitrogen application and defoliation intensity.
 562 **Grassland Science**, v.1, n.8, p.1-7, 2019.
- 563 GONZÁLEZ, C. L.; et al. Desarrollo de la mancha foliar por *Bipolaris maydis* (teleomorfo:
 564 *Cochliobolus heterostrophus*) en maíz dulce, en función de nitrógeno, potasio y silicio en
 565 invernadero. **Cienc Tecnol Agropecu.**v. 21 p. 1-15, 2020.
- 566 GOUVEIA, A. M. de S. et al. Macro and micronutrients accumulation in radish (*Raphanus sativus*
 567 L.) subjected to potassium (K) fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v.12, n.11,
 568 p.1738-1742, 2018.
- 569 GRUBER, B. D. et al. Plasticity of the Arabidopsis root system under nutrient deficiencies. **Plant**
 570 **Physiology**, v.163, n.s/l, p.161-179, 2013.
- 571 GURGEL, A. L. C. et al. Nitrogen fertilisation in tropical pastures: What are the impacts of this
 572 practice? **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 6, p. 978–984, 2020.
- 573 HAFSI, C.; DEBEZ, A.; ABDELLY, C. Potassium deficiency in plants: effects and signaling
 574 cascades, **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 1, n. s/l, p. 1001–1023, 2014. .
- 575 IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. **Censo agropecuário**, 2019.
- 576 JANK, L.; VALLE, C. B.; RESENDE, R. M. S. Breeding tropical forages. **Crop Breeding and**
 577 **Applied Biotechnology**, v. 4, n. s/l, p. 27-34, 2011.
- 578 JOHNSTON, A. Understanding Potassium and its Use in Agriculture. **European Fertilizer**
 579 **Manufacturers Association**, v. 1, n. s/l, p. 1-41, 2003.
- 580 KANAI, S. et al. Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative
 581 sink in green house tomato prior to its effects on source activity. **Plant Science**, v. 180, n. 2, p.
 582 368-374, 2011.
- 583 KARAN M.; et al. Susceptibility of pearl millet accessions and cultivars to Johnsongrass mosaic
 584 and sugarcane mosaic viruses in Queensland. **Australas Plant Pathol.** V. 21, p. 128-140 1992
- 585 KELLERMEIER, F.; CHARDON, F.; AMTMANN, A. Natural variation of Arabidopsis root
 586 architecture reveals complementing adaptive strategies to potassium starvation. **Plant**
 587 **Physiology**, v. 161, n. s/l, p. 1421-1432, 2013 .

- 588 KERING, M. K. et al. Effect of potassium and nitrogen fertilizer on Switchgrass productivity and
 589 nutrient removal rates under two harvest systems on a low potassium soil. **Bioenergy Research**,
 590 v. 6, n. 1, p. 329–335, 2013.
- 591 KHAN, S. A.; MULVANEY, R. L.; ELLSWORTH, T. R. The potassium paradox: implications for
 592 soil fertility, crop production and human health. **Renewable Agriculture and Food Systems**,
 593 v. 29, n. 1, p. 3–27, 2014.
- 594 KIM, T. H. et al. Guard cell signal transduction network: advances in understanding abscisic acid,
 595 CO², and Ca²⁺ signaling. **Annual Review of Plant Biology**, v. 2, n. 61, p. 561–591, 2010.
- 596 KUWAHARA, F. A, SOUZA G. M.; Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência
 597 hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachioria brizantha* cv. Mg-5 vitória. **Acta**
 598 **Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 2, p. 261-267, 2009.
- 599 LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-
 600 mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de**
 601 **Zootecnia**, v. 32, n. 5, p. 1068–1075, 2003.
- 602 LIMA, K. R. et al. Morphogenesis and forage accumulation of *Urochloa ruziziensis* under nitrogen
 603 and potassium fertilization management. **Semina: Ciencias Agrarias**, v. 40, n. 4, p. 1605–1617,
 604 2019.
- 605 LOPES, M. N. et al. Fluxo de biomassa em capim-massai durante o estabelecimento e rebrotação
 606 com e sem adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 363–371, 2013.
- 607 LOPES, M. N. et al. Gas exchange in massai grass fertilized with nitrogen and grazed by sheep |
 608 Trocas gasosas em capim-massai adubado com nitrogênio e pastejado por ovinos. **Bioscience**
 609 **Journal**, v. 36, n. 1, p. 152–160, 2020.
- 610 MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres,
 611 P. 1-638. 2006.
- 612 MARCHI, C. E.; FERNANDES, C. D.; VERZIGNASSI JR. Doenças em plantas forrageiras.
 613 **Documentos EMBRAPA**, V.1 p. 1-31. 2011.
- 614 MARENCO R. A; LOPES N. F.; Fotossíntese. In: **Fisiologia Vegetal**, fotossíntese, respiração,
 615 relações hídricas e nutrição mineral. 2. ed. Viçosa: UFV, Cap. 2. p 47-106. 2005.
- 616 MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção de biomassa e morfogênese do capim-braquiária cultivado
 617 sob doses de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Revista Brasileira de Saúde**
 618 **Produção. Animal**, v.12, n.4, p.923-934, 2011.
- 619 MARTUSCELLO, J. A. et al. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses
 620 de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 76, n. s/l, p. 1–
 621 10, 2019.

- MEGDA, M. M.; MONTEIRO, F. A. Nitrogen and potassium supply and the morphogenic and productive characteristics of marandu palisadegrass. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.8, p.1666-1675, 2010.
- MORAIS NETO, L. B. de M. et al. Morphogenesis of cynodon cultivars fertilized with nitrogen. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 401-408, 2020.
- NETTO, A. T. et al. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 3, p. 203–210, 2002.
- NIEVES-CORDONES, M. et al. K⁺ uptake in plant roots. The systems involved, their regulation and parallels in other organisms. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 688–695, 2014.
- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V.; Relação solo-planta. In: NOVAES, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: UFV, Cap. 4. p. 92-129. 2007.
- NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V.; Relação solo-planta. In: NOVAES, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa: UFV, Cap. 4. p. 92-129. 2007.
- ÖBORN, I. et al. Critical aspects of potassium management in agricultural systems. **Soil use and Management**, v. 21, n. s/l, p. 102–112, 2005.
- OLIVEIRA, D. de O.; et al. Adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho. *Revista Ceres*, V. 60, n. 3, p. 380-387, 2008.
- OOSTERHUIS, D. M. et al. The physiology of potassium in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 126, n. s/l, p. 203–233, 2014.
- OTTO, M. S. G. et al. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Arvore**, v.36, v.37, n.3, p.431-439, 2013.
- PACIULLO, D. S. C. et al. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v. 72, n. 3, p. 590–600, 2017.
- PRAJAPATI, K.; MODI, H. A. The importance of potassium in plant growth – a review. **Indian Journal of Plant Sciences Jul.-Sept. & Oct.-Dec**, v. 1, n. 3, p.177-186, 2012.
- REZENDE, C. D. P. et al. Dinâmica de perfilhamento e fluxo de biomassa em capim-cameroon sob lotação rotativa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.10, p.1750-1757, 2008.
- ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.15, p.1507-1515, 2012.
- SCARAMUZZA, W. L. M. P.; et al. Características produtivas e fisiológicas do capim-mombaça

- 655 submetido a doses de potássio. **Boletim de Indústria Animal**, v. 64, n. 3, p. 213-220, 2007.
- 656 SCHNEIDER, A. et al. Kinetics of soil potassium sorption-desorption and fixation.
- 657 **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.44, n.11, p.1-4, 2013.
- 658 SHUKLA, D. D.; TEAKLE, D. S.; Johnsongrass mosaic virus. Coat protein of potyviruses:
- 659 comparison of aminoacid sequences of the coat proteins of four Australian strains of sugarcane
- 660 mosaic virus. *Arch Virol* v. 96 p. 59–74 1989.
- 661 SILVA, K. N. et al. Dessaune SN, Resende RO. Biological and molecular characterization of a
- 662 highly divergent *johnsongrass mosaic virus* isolate from *Pennisetum purpureum*. **Arch Virol**.
- 663 V. 161, p. 1981-1986. 2016.
- 664 SILVA, V. J. et al. Carbon assimilation, herbage plant-part accumulation, and organic reserves of
- 665 grazed ‘mulato II’ *brachiariagrass* pastures. **Crop Science**, v.56, n.5, p.110-119, 2016.
- 666 SMITH, C. T. et al. Understanding plant nutrient uptake and supply: opportunities for managing
- 667 site productivity. Papers presented, Omapere, Northland, New Zealand, March 1994. **New**
- 668 **Zealand Journal of Forestry Science**, v.24, n.2/3, p.129-426, 1994.
- 669 ŚWITEK, S. et al. Mineral nitrogen fertilisers remain a crucial factor even in the ecological
- 670 intensification of agriculture. **Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant**
- 671 **Science**, v.1, n.s/l, p.1-6, 2019.
- 672 TAIZ, L. et al., **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. [s.l: s.n.]
- 673 TANG, Z. H. et al. Physiological response to potassium deficiency in three sweet potato (*Ipomoea*
- 674 *batatas* [L.] Lam.) genotypes differing in potassium utilization efficiency. **Acta Physiologiae**
- 675 **Plantarum**, v. 37, n. 8, p. 208-216, 2015.
- 676 TESK, C. R. M. et al. Herbage responses of Tamani and Quênia guineagrasses to grazing intensity.
- 677 **Agronomy Journal**, v.112, n.s/l, p. 2081-2091, 2020.
- 678 TORRES NETTO, A.; et al.; Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic
- 679 pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica*
- 680 *papaya* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 3, p. 203-210, 2002.
- 681 VERAS, E. L. L. et al. Tillering and structural characteristics of *Panicum* cultivars in the Brazilian
- 682 semiarid region. **Sustainability** (Switzerland), v. 12, n. 9, p. 1-11, 2020.
- 683 VILLALBA, J. J. et al. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. [s.l: s.n.]
- 684 WANG, Y.; WU, W. H. Plant sensing and signaling in response to K⁺ deficiency. **Molecular Plant**,
- 685 v. 3, n. 2, p. 280-287, 2010.
- 686 YAWSON, D. O. et al. The dynamics of potassium (K) in representative soil series of ghana.
- 687 **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 6, n. 1, p. 48-55, 2011.
- 688 YOST, M. A. et al. Potassium management during the rotation from alfalfa to corn. **Agronomy**

- 689 **Journal**, v. 103, n. 6, p. 1785-1798, 2011.
- 690 ZAMBOLIM, L., et al. Mecanismos de ação do potássio na interação com doenças de plantas. In:
- 691 ZAMBOLIM, Laercio. Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas. Viçosa:
- 692 Editora Independente, Cap. 5. p. 1-313. 2012.
- 693 ZHANG, L. et al. H_2O_2 , Ca^{2+} , and K^+ in subsidiary cells of maize leaves are involved in regulatory
- 694 signaling of stomatal movement. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 1152, n. s/l, p. 243-
- 695 251, 2020.
- 696 ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M.; BEDNARZ, C. W. Influence of potassium deficiency on
- 697 photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants.
- 698 **Photosynthetica**, v. 39, n. s/l, p. 103-109, 2001.
- 699 ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture - status and perspectives.
- 700 **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. s/l, p. 656-669, 2014.
- 701 ZOTARELLI, L. et al. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para avaliação do
- 702 conteúdo de nitrogênio do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1117-1122,
- 703 2003.

704

705

Artigo 1

Respostas morfogênicas e estruturais a doses crescentes de potássio em diferentes cultivares de *Brachiaria*

Morphogenic and structural responses to increasing potassium doses in different cultivars of Brachiaria

Resumo

A hipótese testada foi que o fornecimento do potássio (K) pode alterar as características morfogênicas e estruturais de cultivares forrageiras do mesmo gênero, porém de espécies distintas. O experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 9x4, com nove cultivares (cvs): Xaraés, Piatã, Marandu, Paiaguás, Ipyorã, Basilisk, Comum, Tupi e Ruziziensis e quatro doses de K: 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³. Foram avaliadas as variáveis morfogênicas e estruturais. Houve interação entre dose de potássio x cultivar para a TApF, filocrono, TALC e TSeF e DPP. Na maior dose de K avaliada foram observadas as maiores TApF e TALC na cultivar Tupi, e maior filocrono para a cultivar Ruziziensis. Na maior dose de K não houve diferença entre as cultivares para a TSeF. Um maior número de perfilhos foi contabilizado nas cultivares Comum e Tupi. Na ausência de adubação potássica e nas doses 205 e 410 mg dm⁻³ de K maior DPP foram verificados na cv. Tupi, assim como a maior produção de forragem. Possivelmente a variabilidade das cultivares foi responsável por agrupá-las de acordo com os padrões de crescimento semelhante, onde as maiores TApF, TALC, DPP e produção de matéria seca das forrageiras Comum e Tupi justificam o agrupamento dessas cultivares isoladas das espécies de *B. brizantha* e da *B. decumbens*. A fertilização com K aumenta as taxas de aparecimento e alongamento de folhas que influenciam positivamente a produção de forragem. As necessidades de K diferiram entre as cultivares das espécies *B. brizantha* e *B. humidicola*, o que permitiu agrupá-las com base nas diferenças entre elas, e identificar a espécie mais exigente em potássio e suprir essa demanda;

PALAVRAS-CHAVE: densidade de perfilhos, fertilização potássica, forragem, morfogênese

1. INTRODUÇÃO

A compreensão dos processos morfofisiológicos e sua interação com a fertilidade do solo é fundamental para o entendimento dos mecanismos da planta forrageira tanto a curto quanto a longo prazo (Rodrigues et al., 2012). Na nutrição vegetal o K é um dos responsáveis por funções relacionadas ao potencial osmótico das células, e ativação de enzimas que atuam na respiração e translocação de carboidratos (Zörb et al., 2014). As mudanças produtivas na planta relacionadas ao uso do K ocorrem pelo fato de ser o nutriente primário para o crescimento celular, que atua como ativador enzimático indispensável a fotossíntese, que deve ser fornecido a planta em quantidade suficiente para prevenir perdas no seu desenvolvimento (Freitas et al., 2018).

No entanto, pouco se sabe sobre o desempenho produtivo de cultivares forrageiras adubadas com K (Lopes et al., 2018), mesmo sendo um nutriente reconhecido como essencial na produção vegetal, em que a quantidade absorvida pelas plantas é igual ou superior ao nitrogênio (Zhang et al., 2020). Isso se torna mais evidente, em regimes onde plantas são submetidas a cortes periódicos, como campos de fenos e sistemas que utilizam forrageiras no método do pastejo de lotação rotacionada, onde o K passa a ser o nutriente mais crítico para aumento da produção de forragem, e as relações inadequadas dos nutrientes podem prejudicar a nutrição mineral das plantas (Faria et al., 2015). A maior parte do K do solo (cerca de 98%) é mantida na estrutura de minerais primários sendo liberado muito lentamente, que por sua vez, pode limitar a resposta da produção de forragem de plantas com maior exigência nutricional (Sharma et al., 2013).

Até certo ponto as gramíneas forrageiras são capazes de se ajustar às diferentes disponibilidades de K no solo e desenvolvem respostas adaptativas que envolvem principalmente mudanças na parte aérea seja com estímulo do crescimento ou aumento da morte de tecidos (Cabral et al., 2020). Dessa maneira, a fertilização com K tem efeito direto na dinâmica das gerações de partes das plantas e expansão de sua forma no espaço, que pode promover mudanças na taxa de aparecimento e senescência de folhas, alongamento do colmo e número de folhas por perfilho (Lima et al., 2019).

Através do estudo da morfogênese é possível descrever os processos de crescimento, adaptação ecológica e acúmulo de forragem de determinada espécie, que contribuem para adoção do manejo eficiente e adequado a cada tipo de forrageira (Gomide et al., 2019). Outra forma de inferir sobre o padrão de desenvolvimento das gramíneas é agrupá-las de acordo com a similaridade existente entre elas, permitindo reunir um grande número de cultivares sob o mesmo protocolo de avaliação.

A formação de grupos funcionais por intermédio de análise estatística multivariada do tipo *cluster analyses*, possibilita a classificação dos indivíduos estudados de acordo com a semelhança entre si, baseadas nas respostas agronômicas e morfogênicas (Silveira et al., 2010). Isso possibilitaria melhor planejamento do processo de avaliação, gerando respostas que podem ser utilizadas para a reduzir o tempo de experimentação no campo (Rodrigues et al., 2012), uma vez que as plantas poderiam ser avaliadas com base no conhecimento de respostas prévias observadas em ambiente controlado.

Como a fertilização com K pode alterar a morfofisiologia das diferentes cultivares do gênero *Brachiaria* é importante avaliar suas respostas para elucidar como o fornecimento desse nutriente pode alterar o padrão de crescimento dessas plantas. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de K nas características morfogênicas, estruturais, e na produção de forragem em diferentes cultivares de *Brachiaria*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e implantação do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação na EMBRAPA Gado de Corte, em Campo Grande - MS, no período de julho de 2019 a janeiro de 2020, com duração de 168 dias. Foi utilizado o Neossolo Quartzarênico típico (RQo), coletado em Campo Grande – MS, na bacia córrego do Guariroba. As características químicas do solo antes do início do experimento estão apresentados na tabela 1.

783 **TABELA 1** Características químicas do solo antes do experimento ser implantado

Solo	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	S	T	t	V	m	MO	P
RQo	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----			mg.dm ⁻³			
	5,79	1,70	1,07	0,15	0,00	1,15	2,92	4,07	2,92	71,7	0,00	1,46	44,6

784 S – soma de bases (Ca + Mg + K); T – CTC potencial (H + Al + Ca + Mg + K); t - CTC efetiva (Ca + Mg + K + Al); V
 785 – Saturação por bases [(S/T) * 100]; m – Saturação por alumínio [Al/t] * 100; Ca e Mg Mehlich III; K e P Mehlich I;
 786 Al e KCl 1mol; H+Al Phmetro por solução tampão SMP; MO matéria orgânica Dakota do sul modificado
 787

788 Antes da semeadura foi realizada adubação implantação com 54,68 mg dm⁻³ de P; 1378 mg dm⁻
 789 ³ de calcário dolomítico, 67,63 mg dm⁻³ de S; 11,02 mg dm⁻³ de Zn; 11,02 mg dm⁻³ de Cu; 2,76 mg
 790 dm⁻³ de B e 1,37 mg dm⁻³ de Mo. Em seguida, o solo permaneceu incubado durante 40 dias com
 791 umidade próxima à capacidade de campo para facilitar a reação dos nutrientes com o solo. A
 792 adubação com nitrogênio (ureia) foi de 100 mg dm⁻³ de N, realizada 30 dias após a germinação e
 793 posteriormente reaplicado em cinco aplicações fornecidas junto com o potássio (KCl), de acordo
 794 com os tratamentos propostos.

795 2.2 Delineamentos experimental

796 O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 9x4, composto
 797 pelas seguintes forrageiras: *Brachiaria brizantha* cvs. Xaraés, Piatã, Marandu, Paiaguás, Ipyporã
 798 (híbrido *B. ruziziensis* e *B. brizantha*); *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; *Brachiaria humidicola*
 799 cvs. Comun e Tupi e *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruziziensis, e quatro doses de K: 0, 205, 410 e 820
 800 mg dm⁻³, com três repetições. A adubação foi parcelada em cinco aplicações e feitas após cada corte

801 Cada unidade experimental foi constituída por um vaso contendo 2,55 dm⁻³ de solo. A
 802 semeadura foi realizada no dia 30 de julho de 2019 e foram utilizadas 50 sementes por vaso. O
 803 desbaste foi feito a partir do 15º dia após a semeadura, e realizado semanalmente até atingir seis
 804 plantas por vaso. A irrigação foi realizada sempre que necessária. As plantas foram cortadas a 15
 805 centímetros acima do nível do solo, o primeiro corte foi realizado no 50º dia após a semeadura e os

806 demais com intervalo médio de 28 dias, totalizando cinco cortes. No último corte, o estrato de 0 a
807 15 cm também foi cortado.

808 **2.3 Avaliações**

809 **2.3.1 Características morfogênicas**

810 Para avaliação das características morfogênicas foram monitorados dois perfilhos por vaso,
811 escolhidos aleatoriamente, identificados com fios de cores diferentes e avaliados com régua
812 graduada em centímetros. Esses perfilhos eram substituídos a cada 28 dias após os cortes amostrais.
813 Os perfilhos marcados foram avaliados semanalmente durante todo o período experimental. Foram
814 tomadas as medidas do colmo (colmo + pseudocolmo), (distância do solo até a lígula da primeira
815 folha expandida); do comprimento da folha (da ponta da folha até sua lígula), e da taxa de
816 senescência (distância entre a lígula da folha e o ponto onde o processo de senescência progrediu).
817 Também foram anotados o número de folhas vivas por perfilho.

818 Essas medidas foram usadas para determinar as seguintes taxas de acordo com (Sbrissia e Da
819 Silva, 2008): taxa de aparecimento de folhas (TApF) – folhas perfilho/dia, quociente entre o número
820 de folhas por perfilho surgidas no período e o número de dias; filocrono (FIL) – dias: inverso da
821 taxa de aparecimento de folhas; taxa de alongamento de colmo (TAIC) – cm perfilho/dia⁻¹, variação
822 média no comprimento do colmo/pseudocolmo durante o período de avaliação; taxa de senescência
823 de folhas (TSeF) – cm perfilho/dia, produto do comprimento da folha senescente observado em todo
824 o período de avaliação; taxa de alongamento de folhas (TAlF) – cm perfilho/dia, razão do
825 alongamento total de todas as lâminas foliares (cm) pelo número de dias do período de avaliação;
826 duração de vida das folhas (DVF) – dias, obtido pela multiplicação do número de folhas vivas pelo
827 FIL; número de folhas vivas por perfilho (NFV) - contagem do número de folhas vivas, não
828 senescentes; comprimento final da folha (CFF) – cm, quociente entre o comprimento das folhas
829 avaliadas no início e final do período de avaliação.

2.3.2 Densidade populacional de perfilhos

Para avaliação da densidade populacional de perfilhos foram contados todos os perfilhos de cada unidade experimental. A primeira avaliação foi realizada no 45º dia após a semeadura e as demais com intervalo médio de 28 dias entre elas, antes de cada corte totalizando cinco avaliações.

2.3.3 Produção de forragem

A massa de forragem cortada em cada um dos vasos e em cada corte foi acondicionada em saco de papel, identificada e posteriormente seca em estufa de circulação forçada de ar até peso constante e pesadas em balança analítica. A produção de forragem de cada cultivar em cada dose de K avaliada foi obtida pelo somatório das massas de cada vaso em todos os cortes.

2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância de acordo com o seguinte: modelo.

$$Y_{ijk} = \mu + b_j + c_i + d_k + (cd)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = Valor observado no bloco j, na cultivar i, na dose k;

μ = Efeito médio geral;

b_j = Efeito do bloco j;

c_i = Efeito da cultivar i;

d_k = Efeito da dose k;

$(cd)_{ik}$ = Efeito da interação cultivar x dose;

ε_{ijk} = Erro experimental associado a observação Y_{ijk} .

Quando significativo pelo teste F, o efeito de cultivares foi avaliado pelo teste de Tukey em nível de significância de 5%. O efeito das doses de K foi analisado por equações de regressão. Os modelos linear e quadráticos foram testados e selecionou-se o modelo de acordo com a significância

dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível de 5% de probabilidade e o coeficiente de determinação (R^2).

A análise de agrupamentos hierárquicos foi realizada por meio dos métodos de Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA), Ward, ligação simples e ligação completa. O dendograma foi gerado pelo método que obteve a maior correlação da matriz cofenética com a matriz de dissimilaridade, sendo selecionado o método de UPGMA, como medida de dissimilaridade, utilizando-se a distância euclidiana média.

3. RESULTADOS

3.1 Variáveis morfológicas

Houve interação entre dose de potássio x cultivar para a taxa de aparecimento de folhas ($P=0,0003$), filocrono ($P=0,0169$), taxa de alongamento de colmo ($P=0,0001$) e taxa de senescência de folhas ($P=0,0319$), (Tabela 2).

As doses crescentes de K proporcionaram aumento linear positivo na TApF nas cultivares Basilisk, Comum, Tupi, Ruziziensis, Marandu, Xaraés, Piatã, Paiaguás e Ipyporã com um aumento estimado de 0,0001; 0,0008; 0,0021; 0,0006; 0,0008; 0,0002; 0,0006; 0,0004; 0,0003 folhas perfilho/dia respectivamente, para cada mg dm^{-3} de K adicionado ao solo. Na ausência de adubação potássica e na dose 205 mg dm^{-3} de K não houve diferença entre as cultivares para a TApF. Já nas doses 410 e 820 mg dm^{-3} de K foi verificado maior TApF na cv. Tupi.

O filocrono se ajustou a um modelo linear decrescente de regressão nas cultivares Basilisk, Comum, Tupi, Ruziziensis, Marandu, Xaraés, Piatã, Paiaguás e Ipyporã, com -0,03; -0,07; -0,08; -0,02; -0,06; -0,04; -0,10; -0,03; -0,05 dias. Na ausência de adubação e na dose 205 mg dm^{-3} de K o menor filocrono foi observado na cv. Ruziziensis, nas maiores doses avaliadas não houve diferença no filocrono entre as cultivares (Tabela 2).

TABELA 2 - Variáveis morfológicas de diferentes cultivares de *Brachiaria* adubadas com doses crescentes de potássio

Cultivares	Doses K (mg dm ⁻³)				Equação	R ²
	0	205	410	820		
	Taxa de aparecimento de folhas (folhas/ perfilho dia)					
Basilisk	0,07a	0,11a	0,11b	0,37ab	$\hat{Y}=0,0385+0,0018K$	0,87
Comum	0,13a	0,19a	0,22ab	0,27bc	$\hat{Y}=0,1482+0,0008K$	0,94
Tupi	0,12a	0,17a	0,29a	0,45 ^a	$\hat{Y}=0,1121+0,0021K$	0,99
Ruziziensis	0,09a	0,14a	0,17ab	0,21cd	$\hat{Y}=0,1093+0,0006K$	0,93
Marandu	0,07a	0,10a	0,14b	0,20cd	$\hat{Y}=0,0725+0,0008K$	0,99
Xaraés	0,07a	0,08a	0,10b	0,10d	$\hat{Y}=0,0770+0,0002K$	0,86
Piatã	0,07a	0,08a	0,12b	0,18cd	$\hat{Y}=0,06813+0,0006K$	0,98
Paiaguás	0,07a	0,10a	0,11b	0,14cd	$\hat{Y}=0,0729+0,0004K$	0,93
Ipyporã	0,07a	0,09a	0,12b	0,15cd	$\hat{Y}=0,0812+0,0003K$	0,99
	Filocrono (dias)					
Basilisk	13,43cd	9,96ab	9,38a	7,91 ^a	$\hat{Y}=7,8064-0,0329K$	0,98
Comum	16,74bc	11,22ab	7,19a	5,30 ^a	$\hat{Y}=4,9564-0,0719K$	0,99
Tupi	21,64bc	11,58ab	9,92a	8,35 ^a	$\hat{Y}=6,9686-0,0823K$	0,93
Ruziziensis	9,42d	7,33b	6,28a	6,22 ^a	$\hat{Y}=5,8310-0,0206K$	0,94
Marandu	16,32bc	12,47ab	9,38a	6,35 ^a	$\hat{Y}=6,7986-0,0604K$	0,98
Xaraés	16,00bcd	12,50ab	10,36a	8,90 ^a	$\hat{Y}=8,7889-0,0439K$	0,99
Piatã	24,27a	16,49a	12,92a	6,20 ^a	$\hat{Y}=7,3390-0,1064K$	0,98
Paiaguás	14,70cd	12,34ab	10,78a	8,80 ^a	$\hat{Y}=9,1210-0,0353K$	0,98
Ipyporã	18,67abc	15,13a	12,38a	9,11 ^a	$\hat{Y}=9,7137-0,0573K$	0,97
	Taxa de alongamento de colmo (cm perfilho/dia)					
Basilisk	0,23bc	0,40ab	0,56bc	0,69bcd	$\hat{Y}=0,2797+0,0027K$	0,94
Comum	0,21bc	0,75a	1,20a	1,87 ^a	$\hat{Y}=0,2978+0,0099K$	0,98
Tupi	0,69a	0,43ab	0,74b	0,98b	$\hat{Y}=0,5392+0,0024K$	0,56
Ruziziensis	0,53b	0,47ab	0,57bc	0,62bcd	$\hat{Y}=0,5032+0,0006K$	0,63
Marandu	0,26bc	0,28b	0,52bc	0,74bcd	$\hat{Y}=0,2296+0,0031K$	0,95
Xaraés	0,11c	0,35ab	0,42bc	0,53cd	$\hat{Y}=0,1869+0,0023K$	0,85
Piatã	0,19bc	0,25b	0,58bc	0,64bcd	$\hat{Y}=0,2044+0,0029K$	0,83
Paiaguás	0,29abc	0,41ab	0,53bc	0,87bc	$\hat{Y}=0,2708+0,0035K$	0,99
Ipyporã	0,05c	0,13b	0,22c	0,42d	$\hat{Y}=0,0441+0,0035K$	0,99
	Taxa de senescência de folhas (cm perfilho/dia)					
Basilisk	1,38b	0,68a	0,38ab	0,28 ^a	$\hat{Y}=1,1264-0,0061K$	0,75
Comum	1,57ab	0,38a	0,21b	0,20 ^a	$\hat{Y}=1,1010-0,0070K$	0,56
Tupi	1,59ab	0,44a	0,34ab	0,31 ^a	$\hat{Y}=1,1414-0,0064K$	0,54
Ruziziensis	1,41b	0,59a	0,48ab	0,34 ^a	$\hat{Y}=1,1118-0,0056K$	0,68
Marandu	1,38b	0,47a	0,32ab	0,19 ^a	$\hat{Y}=1,0437-0,0062K$	0,67
Xaraés	1,53ab	0,71a	0,36ab	0,30 ^a	$\hat{Y}=1,2621-0,0067K$	0,77
Piatã	1,61ab	0,60a	0,62ab	0,44 ^a	$\hat{Y}=1,2464-0,0059K$	0,60
Paiaguás	1,87 ^a	0,71a	0,54a	0,39 ^a	$\hat{Y}=1,4441-0,0078K$	0,65
Ipyporã	1,87 ^a	0,69a	0,66a	0,28 ^a	$\hat{Y}=1,4757-0,0083K$	0,88

Erro padrão da média TApF – 0,51. Erro padrão da média Filocrono – 1,51. Erro padrão da média TALC – 0,04. Erro padrão da média TSeF – 0,02; Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05)

A TALC nas cultivares Basilisk, Comum, Tupi, Ruziziensis, Marandu, Xaraés, Piatã, Paiaguás

e Ipyporã se ajustou a um modelo linear de regressão, com um aumento estimado de 0,002; 0,009;

0,002; 0,006; 0,003; 0,002; 0,002; 0,003; 0,003 (cm perfilho/dia), respectivamente, para cada mg

dm⁻³ de K adicionado ao solo. Na ausência de adubação potássica a maior taxa de alongamento de colmo foi verificada na cv. Tupi. Nas demais doses avaliadas, a maior TALC foi registrada na cv. Comum.

A TSeF nas cultivares Basilisk, Comum, Tupi, Ruziziensis, Marandu, Xaraés, Piatã, Paiaguás e Ipyporã se ajustou a um modelo linear decrescente de regressão, com -0,006; -0,007; -0,006; -0,005; -0,006; -0,006; -0,005; -0,007; -0,008 (cm perfilho/dia⁻¹), respectivamente, para cada mg dm⁻³ de K adicionado ao solo. Na ausência de adubação potássica e na dose 410 mg dm⁻³ de K, maiores TSeF foram observadas nas cultivares Paiaguás e Ipyporã, nas demais doses avaliadas não houve diferença entre as cultivares.

Foram verificados efeitos das doses de K na taxa de alongamento de folhas (P=0,0001), número de folhas vivas (P=0,0001), duração de vida da folha (P=0,0003) e comprimento final da folha (P=0,0001) (Tabela 3). A TALF se ajustou a um modelo linear de regressão, com um aumento estimado de 0,0014 (cm/dia) da folha para cada mg/dm⁻³ de K adicionado ao solo

O NFV se ajustou a um modelo linear de regressão, com aproximadamente 0,014 folhas por perfilhos. Já para a DVF foi observado resposta linear negativa, com valor aproximado 0,17 dias no período, enquanto o CFF foi influenciado positivamente em função das doses crescentes de K ajustado a um modelo linear de regressão com crescimento aproximado de 0,16 cm dia no período.

TABELA 3 - Efeito de doses crescentes de potássio sobre as características morfogênicas e estruturais em cultivares de *Brachiaria*

Variável	Doses K (mg dm ⁻³)				R ²	Equação
	0	205	410	810		
TALF	1,45	2,17	2,85	3,80	0,98	$\hat{Y}=1,549+0,014K$
NFV	2,02	3,23	3,81	4,57	0,91	$\hat{Y}=2,357+0,014K$
DVF	52,17	36,42	28,48	21,90	0,87	$\hat{Y}=47,193-0,173K$
CFF	12,73	21,19	27,26	39,87	0,99	$\hat{Y}=13,599+0,162K$

TALF-Taxa de alongamento de folhas (cm perfilho/dia⁻¹); DVF-Duração de vida da folha (Dias); NFV-Número de folhas vivas por perfilho; CFL-Comprimento final da folha (cm).

Houve efeito de cultivar na taxa de alongamento de folhas ($P=0,0001$), número de folhas vivas ($P=0,0001$), duração de vida da folha ($P=0,0001$) e comprimento final da folha ($P=0,0003$) (Tabela 4). Para a TAlF e CFF as maiores médias foram observadas nas cultivares Marandu e Xaraés e as menores nas cultivares Basilisk, Comum e Ruziziensis. As maiores médias de NFV e DVF foram observadas na cultivar Paiaguás; menores na cultivar Ruziziensis e intermediárias nas demais forrageiras avaliadas.

TABELA 4 - Características morfogênicas e estruturais em cultivares de *Brachiaria* adubadas com doses crescentes de potássio

	Basilisk	Comum	Tupi	Ruziziensis	Marandu	Xaraés	Piatã	Paiaguás	Ipyporã
TAlF	1,62d	1,46d	2,67bc	3,02abc	3,16a	3,53a	2,81abc	2,54bc	2,27cd
CFF	24,77b	21,38b	24,14b	22,77b	31,87a	31,57a	24,23b	24,52b	22,12b
DVF	39,13abc	27,09cd	31,45bcd	20,93d	27,08cd	34,83bcd	37,41abc	49,39a	45,37ab
NFV	3,55abc	3,72abc	3,20cd	2,56e	3,79ab	2,97de	3,75ab	3,83a	3,31bcd

TAlF - Taxa de alongamento de folha (cm perfilho/dia⁻¹), Erro padrão médio TAlF - 0,19; CFF - Comprimento final da folha (cm), Erro padrão médio CFF - 1,43. DVF - Duração de vida da folha (Dias), Erro padrão médio DVF - 3,27; NFV - Número de folhas vivas por perfilho, Erro padrão médio NFV - 0,78; Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.2 Densidade populacional de perfilhos

Houve interação entre cultivar x dose de potássio para a densidade populacional de perfilhos ($P=0,0001$). Na ausência de adubação potássica a maior DPP foi contabilizada na cultivar Tupi e a menor na cultivar Ruziziensis; nas doses 205 e 410 mg dm⁻³ foi verificado maior DPP na cultivar Tupi e menor na cultivar Xaraés; na dose de 820 mg dm⁻³ a maior DPP foi observada na cultivar Comum e menor na cultivar Xaraés, nas demais cultivares foram observados valores intermediários.

Respostas lineares crescentes na DPP foram observadas nas cvs. Basilisk, Comum, Ruziziensis, Piatã, Paiaguás e Ipyporã, com aumento estimado de 0,070; 0,160; 0,100; 0,100; 0,070 e 0,070 perfilhos por vaso, respectivamente, para cada mg dm⁻³ de K adicionado ao solo (Tabela 5).

Não foi observado efeito das doses de K na DPP para as cvs. Marandu e Xaraés, com valores médios de 30,32 e 23,30 perfilhos por vaso, respectivamente. Entretanto, a DPP na cv. Tupi

se ajustou a um modelo quadrático de regressão, o ponto de máxima estimado foi na dose de 334,35 mg dm⁻³ de K com 83,70 perfilhos por vaso.

TABELA 5 - Densidade populacional de perfilhos de cultivares forrageiras adubadas com potássio.

Cultivares	Doses K (mg dm ⁻³)				Equação	R ²
	0	205	410	820		
Basilisk	27,46cd	41,40b	37,60de	43,33c	$\hat{Y}=31,893+0,077K$	0,59
Comum	37,53b	39,46b	46,60b	63,06a	$\hat{Y}=35,013+0,162K$	0,96
Tupi	49,86a	68,20a	62,93a	53,66b	$\hat{Y}=51,832+0,359K-0,002K^2$	0,78
Ruziziensis	16,53f	29,93c	32,53de	35,80d	$\hat{Y}=21,240+0,103K$	0,74
Marandu	24,46de	31,00c	32,33def	33,46d	$\hat{Y}=30,320$	0,98
Xaraés	20,40ef	19,93d	26,20f	26,66e	$\hat{Y}=23,300$	0,99
Piatã	14,60f	30,60c	27,93ef	35,26d	$\hat{Y}=19,533+0,105K$	0,69
Paiaguás	27,13de	40,00b	35,40cd	42,20c	$\hat{Y}=30,920+0,073K$	0,59
Ipyporã	31,00c	38,06b	41,13bc	43,73c	$\hat{Y}=33,306+0,072K$	0,84

Erro padrão médio 3,28. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey (p < 0,05).

3.3 Produção de forragem

Houve interação entre dose de potássio x cultivar para a produção de forragem (g/vaso) (P<0,0001). Respostas lineares crescentes foram observadas nas cultivares Basilisk, Comum, Tupi, Marandu, Piatã, Paiaguás e Ipyporã, com um aumento estimado de 0,20; 0,18; 0,27; 0,24; 0,20; 0,18 e 0,13 gramas de matéria seca (g/vaso), respectivamente, para cada mg dm⁻³ de K adicionado ao solo (Tabela 6).

A produção de forragem (g/vaso de MS) nas cvs. Ruziziensis e Xaraés se ajustou a um modelo quadrático de regressão. Para a cv. Ruziziensis, o ponto de máxima estimado foi na dose 533 mg dm⁻³ de K com 72,60 g/vaso de MS. Já para a cv. Xaraés o ponto de máxima estimado foi da dose 576 mg dm⁻³ de K com produção 73,70 g/vaso de MS.

Na ausência de adubação potássica a maior produção de forragem (g/vaso⁻¹ de MS) foi observada na cultivar Tupi; na dose 205 mg dm⁻³ de K a maior produção de forragem foi registrada na cv. Xaraés; na dose 410 mg dm⁻³ de K maiores produções de forragem foram observadas nas cvs. Tupi, Ruziziensis e Xaraés e na maior dose a cv. Tupi teve a maior produção de forragem.

TABELA 6 - Produção de forragem (g/vaso de MS) em cultivares forrageiras fertilizadas com potássio.

Cultivares	Doses de K (mg dm ⁻³)				Equação	R ²
	0	205	410	820		
Basilisk	18,65bc	50,83bc	56,27b	58,42cb	$\hat{Y}=31,098+0,208K$	0,61
Comum	16,57c	37,57d	35,96d	50,30ef	$\hat{Y}=24,102+0,188K$	0,77
Tupi	26,01a	54,95b	79,05 ^a	78,07a	$\hat{Y}=26,355+0,821K-0,003K^2$	0,99
Ruziziensis	17,76bc	52,91b	69,05 ^a	56,90c	$\hat{Y}=18,104+1,023K-0,004K^2$	0,99
Marandu	19,60bc	46,50c	56,69b	63,00b	$\hat{Y}=29,102+0,241K$	0,78
Xaraés	22,73ab	61,83a	71,92 ^a	72,37b	$\hat{Y}=37,883+0,276K$	0,65
Piatã	19,16bc	49,33bc	56,07b	58,04cb	$\hat{Y}=30,836+0,206K$	0,64
Paiaguás	19,63b	50,60bc	54,42b	55,13e	$\hat{Y}=31,880+0,182K$	0,56
Ipyporã	16,35c	33,40d	34,47d	40,91f	$\hat{Y}=21,884+0,131K$	0,76

Erro padrão da média 0,41. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

3.4 Análise de agrupamento

Com base nos resultados das características morfogênicas, estruturais e na densidade populacional de perfilhos foi realizado o agrupamento das cultivares, em cada uma das doses de K avaliadas (Figura 1). Para a separação dos *clusters* foi escolhido o ponto de corte correspondente a 4,5 de distância euclidiana.

Na ausência de adubação potássica e na dose 410 mg dm⁻³ de K dois grupos foram formados, um composto pelas cultivares Comum e Tupi e outro formado pelas demais forrageiras avaliadas (Xaraés, Piatã, Marandu, Paiaguás, Ipyporã, Basilisk e Ruziziensis); na dose 205 mg dm⁻³ de K o primeiro grupo foi formado pelas cultivares Comum, Tupi e Ruziziensis e o segundo pelas demais cultivares. Na maior dose de K, foi formado o um grupo composto pela cv. Comum, um segundo com a cv. Tupi, e um terceiro grupo com as demais forrageiras.

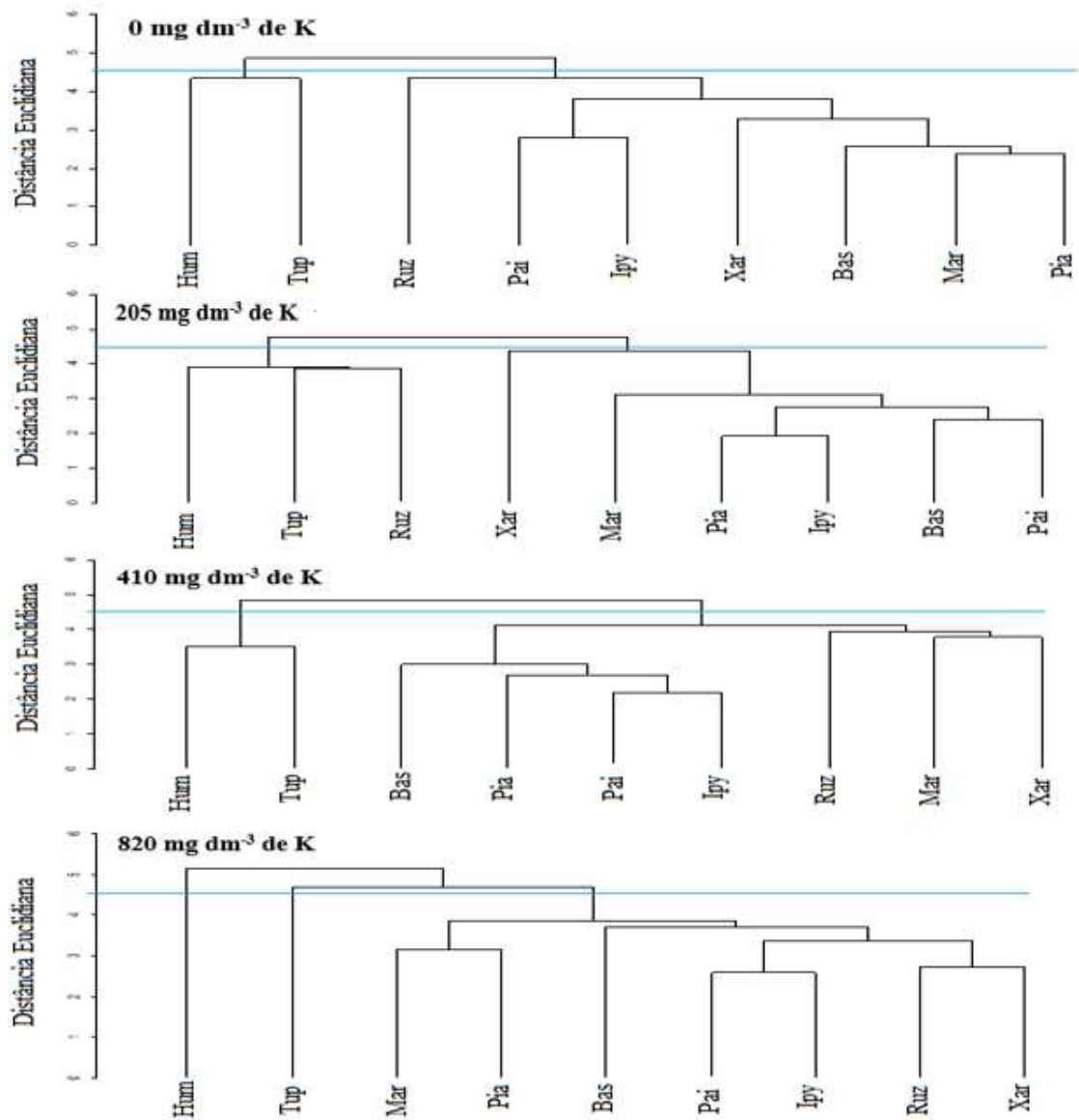


FIGURA 1 Dendrograma de agrupamento de cultivares de *Brachiaria* em função das características morfológicas, estruturais e densidade de perfilhos nas diferentes doses de potássio avaliadas. Hum – *Brachiaria humidicula* cv. Comum; Tup – cultivar Tupi; Ruz – cultivar Ruziziensis; Xar – cultivar Xaraés; Mar – cultivar Marandu; Pia – cultivar Piatã; Ipy – Cultivar BRS Ipyporã; Bas – Cultivar Basilisk; Pai – cultivar Paiaguás.

4 DISCUSSÃO

4.1 Variáveis morfológicas

O efeito linear positivo observado na TApF (Tabela 2) é explicado por essa variável ser uma das mais responsivas em plantas forrageiras ao aumento das doses de fertilizantes, principalmente K (Lima et al., 2019). Entre as cultivares, a maior TApF da cv. Tupi quando comparada as demais,

possivelmente ocorreu por essa cultivar possuir entrenós mais curtos, com menor caminho para a folha percorrer (Sales et al., 2014).

A diminuição do filocrono ocorreu devido à resposta da TApF ao aumento das doses de K, que provocaram aumento na emissão de folhas e diminuição no tempo para o aparecimento de duas folhas sucessivas (Silva et al., 2012). O menor filocrono verificado na cv. Ruziziensis na ausência de adubação e na dose 205 mg dm⁻³ de K pode estar relacionado aos menores teores de clorofila comuns a essa cultivar (Araújo et al., 2013).

O aumento linear na TALC (Tabela 2) é explicado pela tendência que as cultivares do gênero *Brachiaria* possuem em apresentar maior concentração desse nutriente na parte aérea, principalmente nas frações colmo e bainha (Freitas et al., 2018). Quando é analisado o efeito das doses de K sobre a TALC nas forrageiras, o maior alongamento do colmo na cultivar Tupi na ausência de adubação e na cv. Comum nas demais doses avaliadas, são reflexo da ação do K sobre as diferenças arquitetônicas dessas forrageiras que naturalmente emitem estolões mais longos para favorecer o cultivo em solos alagáveis (Costa et al., 2020).

A resposta linear decrescente a inclusão do K na TSeF evidencia sua baixa participação na morte de tecidos foliares. Além disso, foram observadas nas plantas que não receberam adubação potássica sintomas clássicos da deficiência nutricional de K, principalmente a clorose da folha, que por apresentar coloração diferente da normal foi contabilizada como senescência da folha e justifica a elevada morte do tecido foliar na ausência de adubação e na dose mais baixa de K.

O aumento linear na taxa de alongamento de folhas (Tabela 3), é atribuído à característica do potássio de acelerar o crescimento da lâmina, isso porque, as frações fibrosas aumentam proporcionalmente e aceleram a maturação da planta (Lima et al., 2019). Esse padrão de resposta se repetiu no CFF, com influência das maiores doses testadas no tamanho das folhas, possivelmente pelo fato do K ter fornecido aparato para que elas crescessem mais rápido. Na ausência de K houve maior duração de vida das folhas, isso mostra que na ausência de fertilização as folhas permanecem mais tempo vivas em detrimento da expansão de novas folhas, devido estratégia da planta na

1013 remobilização de nutrientes para folhas mais novas, evidenciando que quanto mais rápido o
1014 aparecimento de folhas menor tempo disponível para sua expansão completa (Lemaire et al., 2011).

1015 No geral, a maioria das variáveis morfogênicas responderam de forma positiva a inclusão das
1016 doses crescentes de K, isso mostra que o uso desse fertilizante favorece o aparecimento e aumenta
1017 a proporção de folhas vivas e verdes no dossel. De tal maneira, o NFV por ser uma variável estrutural
1018 que sofre influência da característica morfogênica DVF (Chapman e Lemaire, 1993), isso confirma
1019 que a menor duração de vida da folha na maior dose de K avaliada promoveu a maior retenção de
1020 folhas verdes, provavelmente por não estar diretamente envolvido na senescência foliar (Gomes et
1021 al., 2012). Nesse contexto, maiores quantidades de folhas verdes que permanecem menos tempo
1022 vivas, indicam momento adequado para que práticas de manejo das cultivares possam ser pensadas
1023 para se obter forragem com melhor valor nutritivo e reduzir as perdas por senescência (Costa et al.,
1024 2013).

1025 A taxa de alongamento de folhas responde ao suprimento de nutrientes e atua como agente
1026 modificador do comprimento da folha (Costa et al., 2013), portanto, os maiores CFF das cvs.
1027 Marandu e Xaraés foram influenciados pelas maiores taxas de alongamento de folhas. Forrageiras
1028 com maior CFF possuem maior chance de produzir maior massa de forragem, por essa variável ser
1029 uma das variáveis que mais podem predizer sobre o rendimento de forragem por seu efeito direto
1030 sobre a densidade de perfilhos e por ajudar a determinar o tamanho da superfície fotossintetizante
1031 do dossel (Santos et al., 2012).

1032 A maior DVF da cv. Paiaguás é indício do maior intervalo do tempo de permanência das folhas
1033 verdes na planta, que apesar de ser uma variável de natureza genética é fortemente influenciada pela
1034 fertilidade do solo, e pode variar em função da quantidade de nutrientes via adubação fornecida a
1035 planta (Martuscello et al., 2015). A DVF ajuda a entender o processo de utilização dos nutrientes na
1036 planta e sua interferência na quantidade de folhas vivas por perfilho (Cabral et al., 2012). Dessa
1037 maneira, o maior NFV verificado na cultivar Paiaguás mostra que além de apresentar maior
1038 longevidade das folhas, fez melhor uso do fertilizante para obtenção do maior número de folhas

vivas no perfilho. Isso gera a possibilidade de inferir sobre o seu manejo, podendo afirmar que essa forrageira faz uso estratégico da absorção do K do solo para utilizar na dinâmica de renovação de tecidos, somam-se a isso, os relatos de Euclides et al., (2016), que verificaram maior porcentagem de folhas na cv. Paiaguás comparado ao capim-piatã, como resultado de sua maior eficiência da rebrota no período avaliado.

4.2 Densidade populacional de perfilhos

A fertilização com K foi capaz de estimular aumentos lineares na densidade populacional de perfilhos nas cultivares Basilisk, Comum, Ruziziensis, Piatã, Paiaguás e Ipyporã (Tabela 5), que são reflexos das alterações causadas pelo K no fluxo de tecidos de perfilhos individuais, como os verificados no aparecimento de folhas e alongamento do colmo. Esses resultados estão de acordo com os relatados por (Bonfim-Silva et al., 2018), que constaram aumento considerável no número de perfilhos produzidos em resposta a fertilização potássica.

Nas cultivares Marandu e Xaraés as menores doses de K exerceram o mesmo efeito das mais elevadas que podem ser um indício de que necessitam de maiores concentrações de K no solo para estimular o perfilhamento. Isso evidencia a importância da adubação potássica para essas cultivares, principalmente em situações onde a demanda de nutrientes pela planta do solo é maior, como em sistemas intensivos de produção, onde, de acordo com os relatos de Rodrigues et al., (2006), o capim-xaraés necessitou das maiores doses de K associado a 225 mg kg⁻¹ de nitrogênio para estimular o aumento no número de perfilhos.

Contrário à isso, o comportamento quadrático da derivada da equação na cv. Tupi pode ser resultado da característica dessa forrageira de não necessitar de doses elevadas de K para atingir máxima produção de perfilhos. Por ser considerada forrageira menos exigente em fertilidade do solo, doses adequadas de K são suficientes para garantir crescimento exponencial das características

1063 estruturais da planta por sua interação com o metabolismo de outros nutrientes na planta, a exemplo
1064 do nitrogênio (Gomes et al., 2012).

1065

1066 **4.3 Produção de forragem**

1067 Pode-se admitir que o fornecimento de doses crescentes de K e sua contribuição para os
1068 aumentos lineares no número de folhas vivas e comprimento final da folha, somadas a densidade
1069 populacional de perfilhos ajudam a explicar o aumento linear da produção de forragem nas
1070 cultivares Basilisk, Comum, Xaraés, Marandu, Piatã, Paiaguás e Ipyporã (Tabela 6). De acordo com
1071 Santos et al., (2019), a extração pela planta de maiores quantidades de K garantem sua maior
1072 concentração na parte aérea e asseguram maior produção de massa de forragem, esses autores
1073 destacaram que a alta absorção e extração de K se deve entre outras particularidades, ao fato de que,
1074 quando há excesso da aplicação de fertilizantes potássicos há tendência nas plantas em requererem
1075 maiores quantidades de nitrogênio.

1076 Já nas cultivares Ruziziensis e Tupi o ajuste da produção de forragem a um modelo quadrático
1077 de regressão é um indicativo de que as maiores doses de K avaliadas excederam a eficiência máxima
1078 de conversão de K na produção de forragem (entre 530 e 575 mg dm⁻³ de k, respectivamente).

1079 Entretanto, quando se analisa o efeito isolado das doses de K sobre as cultivares forrageiras,
1080 foi registrado superioridade na produção de forragem na cv. Tupi na ausência de adubação e nas
1081 doses 205 e 820 mg dm⁻³ de K, enquanto que na dose 410 mg dm⁻³ de K nas cvs. Tupi, Ruziziensis
1082 e Xaraés que podem ser atribuídas as maiores participações do colmo na massa de forragem. Em
1083 gramíneas de hábito crescimento ereto, a participação do colmo nas relações folha/colmo e o
1084 tamanho da folha incrementam a produção de forragem (Rodrigues et al., 2008). Essas afirmações
1085 estão de acordo com os relatos de Lima et al., (2019) que associaram maior proporção do colmo e
1086 da bainha como partes da *Brachiaria* spp. mais responsivas à fertilização potássica do que as folhas.

1087

4.4 Agrupamento hierárquico

Em todos as doses de K avaliadas houve tendência no agrupamento das cultivares pertencentes ao gênero *B. brizantha*, e os demais agrupamentos formados com as cultivares Comum e/ou Tupi, majoritariamente (Figura 1). A formação de grupos distintos entre as espécies de *B. brizantha*, *B. humidicola* e *B. ruziziensis* são reflexos das diferenças entre as cultivares que apresentaram altas taxas de aparecimento de novas folhas e perfilhos e do alongamento do colmo em resposta ao uso do K (tabelas 1 e 4). Esse padrão de resposta é confirmado por Rodrigues et al., (2012), onde afirmaram que os parâmetros responsáveis pela produção de forragem são os que mais fazem uso dos recursos disponíveis, e por identificar grupos de cultivares que se assemelham quanto ao uso dos nutrientes do solo para aumentar a massa de forragem no pasto.

As maiores TApF, TAIC e DPP verificadas nas cultivares Comum e Tupi explicam a inclusão dessas cultivares em grupos com funcionalidade semelhante. Por pertencerem a mesma espécie apresentaram padrão de crescimento semelhante, e como resultado, foram encontradas maiores TApF em um cenário em que foram comparadas a forrageiras que possuem alto potencial de acúmulo de folhas como as da espécie de *B. brizantha*.

Quando plantas apresentam baixo potencial de acúmulo de folhas, como as cultivares de *B. humidicola* (Comum e Tupi), devido baixa taxa de alongamento foliar, é comum apresentarem maiores taxas de aparecimento de folhas, que sugere menor período de alongamento foliar e maior turnover de folhas, dado que, plantas com folhas mais curtas são geralmente caracterizadas por altas taxa de aparecimento de folhas, de acordo com Silveira et al., (2010).

5 CONCLUSÃO

A fertilização com K aumenta as taxas de aparecimento e alongamento de folhas que influenciam positivamente a produção de forragem. Entre as cultivares as necessidades de K diferiram entre as cultivares dos gêneros *B. brizantha* e *B. humidicola* que permitiram agrupá-las

1113 com base nas diferenças entre elas, permitindo identificar as cultivares de *B. brizantha* que possuem
1114 maior exigência ou respondem com maior eficiência ao uso desse nutriente.

1115

1116 **6 AGRADECIMENTOS**

1117 Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –
1118 Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. O apoio da Universidade Federal de Mato Grosso
1119 do Sul, do CNPq e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte).

1120

1121

1122

1123

REFERÊNCIAS

- Araújo, C.S.A., Vasquez, H.M., Netto, A.T., Campostrini E., Deminiciis, B.B., Silva, L.E. Método indireto de quantificação do conteúdo de pigmentos fotossintéticos em genótipos de capim-elefante anão. *Acta Sci - Anim Sci.* 2013; 35:43-7. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i1.15178>
- Bonfim-Silva, E.M., de Moraes, L.P.V.X.C., Pacheco A.B., Silva, T.J.A., Sousa, H.H. de F, Santo E.S. do E., Bär, C.S.L.L. Interaction between nitrogen and potassium in fertilization of the piatã grass (*Urochloa brizantha*): Productive and phytometric characteristics. *Aust J Crop Sci.* 2018;12:1122-8. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.07.PNE1048>
- Cabral, C.E.A., Cabral, C.H.A., Tesk, C.R.M., Mota, L.G., Groto, G.C., Motta, L.J.M., Lourenço, P.E.C., Motta, A.M., Barros, L.V., Silva, F.G., Abreu, J.G., Santos, A.R.M., Nitrogen requirement of *Brachiaria* hybrid cv. Ipyporã. *Bol Indústria Anim.* 2020;77. <https://doi.org/10.17523/bia.2020.v77.e1467>
- Cabral, W.B., Souza, A.L., Alexandrino E., Toral, F.L.B., Santos, J.N., Carvalho, M.V.P. Características estruturais e agronômicas da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés submetida a doses de nitrogênio. *Rev Bras Zootec.* 2012;41:846-55. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000400004>
- Chapman DF, Lemaire G. Morphogenetic and structural determinants of plant growth after defoliation. Wellington: SIR Publishing; 1993
- Costa, M.L.L. da, Moreira, G.R., Medeiros, A.N. de, Santos, M. da S., Souza, L.M. de, Barbosa, R.A., Cunha Filho, M., Pimentel, P.G., Gomes-Silva, F., Ferreira, D.S. de A., 2020. Characterization of *Brachiaria humidicola* cv. BRS Tupi. *Semin. Ciências Agrárias.* <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n1p315>
- Costa, L., Moraes, A., Carvalho, P.C.F., Monteiro, A.L.G., Oliveira, R.A., Características morfogênicas e estruturais de *Trachypogon plumosus* de acordo com a fertilidade do solo e o nível de desfolha. *Pesq Agropec Bras.* 2013;48:320-8. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000300011>

- 1158 Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., Barbosa, R.A., Do Valle C.B., Nantes, N.N. Animal
 1159 performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás
 1160 and BRS Piatã). Rev Bras Zootec. 2016;45:85-92. [https://doi.org/10.1590/S1806-](https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000300001)
 1161 [92902016000300001](https://doi.org/10.1590/S1806-92902016000300001)
 1162
 1163
- 1164 Faria, Á.J.G. de, Freitas, G.A., Georgetti, A.C.P., Ferreira Júnior. J.M., Silva, M.C.A., Silva, R.R.,
 1165 da., Adubação nitrogenada e potássica na produtividade do capim Mombaça sobre adubação
 1166 fosfatada. J Bioenergy Food Sci. 2015;02:98-106. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v2i3.24>
 1167
- 1168 Freitas., D.C., Bonfim-Silva E.M., Silva, T.J.A., Sousa, H.H. de F., Koetz M., Schlichting A.F.,
 1169 Guimarães S.L. Nitrogen and potassium fertilization on the development and chlorophyll index
 1170 of irrigated wheat in the Cerrado, Central Brazil. Aust J Crop Sci. 2018;12:44-50.
 1171 <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pne623>
 1172
- 1173 Gomes, M.B., Banys, V.L., Santos J., Castro, A.L.A., Saenz, E.A.C., Fialho C.A. Morfogênese na
 1174 germinação e na fase de estabelecimento da *Brachiaria ruziziensis* submetida à adubação
 1175 nitrogenada e potássica. Cienc Rural. 2012;42:2235-41. [https://doi.org/10.1590/S0103-](https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000108)
 1176 [84782012005000108](https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000108)
 1177
- 1178 Gomide, C.A.M., Paciullo, D.S.C., Morenz, M.J.F., Costa, I.A., Lanzoni, C.L., Productive and
 1179 morphophysiological responses of *Panicum maximum* Jacq. cv. BRS Zuri to timing and doses of
 1180 nitrogen application and defoliation intensity. Grassl Sci. 2019.
 1181 <https://doi.org/10.1111/grs.12226>
 1182
- 1183 Lemaire, G., Hodgson, J., Chabbi A. Grassland productivity and ecosystems services. 2011.
 1184 <https://doi.org/10.2989/10220119.2014.955878>
 1185
- 1186 Lima, K.R., Carvalho, C.A.B., Azevedo, F.H.V., Campos, F.P., Silva, A.B., Dias, A.C.C.,
 1187 Morphogenesis and forage accumulation of *Urochloa ruziziensis* under nitrogen and potassium
 1188 fertilization management. Semin Agrar. 2019; 40:1605-17. [https://doi.org/10.5433/1679-](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n4p1605)
 1189 [0359.2019v40n4p1605](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n4p1605)
 1190
- 1191 Lopes, G.H.L., Vilar, C.C., Ushiwata S.Y., Reis R de G.E., Silveira, D. da S., Tafarel, A.H.,

- 1192 Produção De *Urochloa Brizantha* cv. Marandu Submetida à Adubação Potássica de
 1193 Estabelecimento. Rev Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias. 2018;2:1-8
 1194
- 1195 Martuscello J.A., Silva, L.P., Cunha, D. de N.F.V., Batista, A.C. dos S., Braz, T.G. dos S., Ferreira
 1196 P.S. Adubação nitrogenada em capim-massai: Morfogênese e produção. Cienc Anim Bras.
 1197 2015;16:1-13. <https://doi.org/10.1590/1089-68916i118730>
 1198
 1199
- 1200 Rodrigues C.S., Nascimento Júnior D., Detmann E., Silva S.C., Lana Sousa B.M., Silveira M.C.T.
 1201 Grupos funcionais de gramíneas forrageiras tropicais. Rev Bras Zootec. 2012.
 1202 <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000600010>
 1203
- 1204 Rodrigues, R.C., Alves, A.C., Plese L.P.M., Luz P.H.C., Densidade populacional de perfilhos,
 1205 produção de massa seca e área foliar do capim-Xaraés cultivado sob doses de nitrogênio e
 1206 potássio. Bol Indústria Anim. 2006
 1207
- 1208 Rodrigues, R.C., Mourão, G.B., Brennecke K., Henrique P., Luz, D.C., Herling V.R., Produção de
 1209 massa seca , relação folha / colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv .
 1210 Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio Rev Bras de Zootecnia.
 1211 2008
 1212
- 1213 Sales, E.C..J, Dos Reis S..T, Júnior, V.R.R, Monção F,P., Matos. V.M., Pereira, D.A., De Aguiar
 1214 A.C.R., Da Silva A.A.P., Características morfogênicas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv.
 1215 Marandu submetida a diferentes doses de nitrogênio e alturas de resíduos. Semin Agrar.
 1216 2014;35:2673-84. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n5p2673>
 1217
- 1218 Santos, G.O., Faria, R.T., Rodriguês, G.A., Dantas, G.F., Costa, N.R., Productivity and nutrient
 1219 extraction by *Brachiaria brizantha* fertigated with treated sewage effluent. Aust J Crop Sci.
 1220 2019;13:494-501. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.04.p989>
 1221
- 1222 Santos, M.E.R., Da Fonseca D.M., Gomes, V.M., Da Silva S.P., Silva, G.P., Castro, M.R.S., Anna
 1223 E. Correlações entre características morfogênicas e estruturais em pastos de capim-braquiária.
 1224 Cienc Anim Bras. 2012;13:49-56. <https://doi.org/10.5216/cab.v13i1.13041>
 1225

- 1226 Sbrissia, A.F., Silva, S.C.. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos
 1227 de capim-marandu. Rev Bras Zootec. 2008. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982008000100005>
 1228
- 1229 Sharma, S., Chander, G., Verma, T.S., Verma, S. Soil Potassium Fractions in Rice-Wheat Cropping
 1230 System After Twelve Years Of Lantana Residue Incorporation In A Northwest Himalayan Acid
 1231 Alfisol. J Plant Nutr. 2013; 36:1809-20. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.815202>
 1232
- 1233 Silva, T.C., Perazzo A.F., Macedo C.H.O., Batista E.D., Pinho R.M.A., Bezerra H.F.C., Santos
 1234 E.M., Morfogênese e estrutura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao corte e adubação
 1235 nitrogenada. Arch Zootec. 2012; 61:91-102. <https://doi.org/10.4321/s0004-05922012000100010>
 1236
- 1237 Silveira, M.C.T, Nascimento, D., Da Silva S.C., Euclides, V.P.B., Montagner D.B., Sbrissia, A.F.,
 1238 Rodrigue,s C.S., Sousa, B.M.L., Pena, K. da S., Vilela, H,H. Morphogenetic and structural
 1239 comparative characterization of tropical forage grass cultivars under free growth. Sci Agric.
 1240 2010;67:136-42. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162010000200002>
 1241
- 1242 Zhang, L., Li D., Yao, Y., Zhang S. H₂O₂, Ca²⁺, and K⁺ in subsidiary cells of maize leaves are
 1243 involved in regulatory signaling of stomatal movement. Plant Physiol Biochem. 2020.
 1244 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.04.045>
 1245
- 1246 Zörb C., Senbayram M., Peiter E. Potassium in agriculture - Status and perspectives. J Plant Physiol.
 1247 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>
 1248
 1249
 1250
 1251
 1252
 1253
 1254
 1255
 1256
 1257
 1258
 1259

Artigo 2

Trocas gasosas e respostas produtivas em cultivares de *Panicum maximum* submetidas a doses crescentes de potássio no solo

*Gas exchanges and productive responses in cultivars of *Panicum maximum* submitted to increasing doses of potassium in the soil*

Resumo

Os mecanismos de ação do potássio (K) sobre a fotossíntese e demais parâmetros fisiológicos são fundamentais para o entendimento do processo de produção de biomassa. O objetivo foi avaliar o efeito do K sobre as trocas gasosas, produção de forragem e de raiz em seis cultivares de *Panicum maximum*. O experimento foi realizado em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x4, sendo as forrageiras: Tanzânia, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai, Tamani e quatro doses de K: 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³. Houve interação entre dose de potássio x cultivar na taxa de fotossíntese foliar (A), condutância estomática (gs), e concentrações de dióxido de carbono (Ci) com respostas lineares na A e Ci nas cvs Tanzânia, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai e Tamani. Transpiração e temperatura da folha revelaram uma resposta linear positiva a inclusão do K em todas as cultivares. A clorofila se ajustou a um modelo quadrático de regressão, com a máxima produção estimada na dose 530,00 mg dm⁻³ de K com 35 SPAD. Houve interação entre cultivar x dose de potássio para a produção de forragem e raízes, onde as maiores produções de forragem foram observadas nas cvs. Tanzânia, Quênia, Mombaça, e Zuri, enquanto a produção de raiz variou entre as doses de K avaliadas. A aplicação de doses crescentes de K é ineficiente para melhorar as concentrações de dióxido de carbono nas forrageiras, entretanto eleva a fotossíntese e a condutância estomática, parâmetros que afetaram notavelmente a produção de forragem e garantiram crescimento mais rápido da planta.

PALAVRAS-CHAVE: clorofila SPAD, condutância estomática, forragem, fotossíntese foliar, produção de raiz

1. INTRODUÇÃO

O aumento da produção de biomassa é reflexo das condições adequadas dos fatores abióticos e do manejo da fertilidade do solo, especialmente, o suprimento de nutrientes (Lopes et al., 2020). O potássio está envolvido em muitos processos fisiológicos importantes da planta que garantem o seu crescimento, onde muitas dessas funções dependem de altas concentrações desse nutriente (Ahmad e Maathuis 2014). É um constituinte essencial das proteínas, com grande influência no processo de fotossíntese foliar, que quando interage positivamente com outros fatores a exemplo da luz, temperatura e concentração de CO₂, tem efeito benéfico sobre o aumento da produção de forragem (Guo et al., 2019).

A extração de K pela planta varia de acordo com a quantidade disponível no solo, da exigência da cultivar, e a absorção durante a fase de crescimento é influenciada pelas condições ambientais (Oosterhuis et al., 2014). Junto do nitrogênio (N) é o elemento mineral extraído em maior quantidade nas plantas (Ahmad e Maathuis 2014). A intensificação do uso de forrageiras pela agropecuária moderna prioriza o uso de cultivares com características fisiológicas capazes de responder de forma eficiente ao manejo da fertilidade do solo adotado (Lopes et al., 2020). Nesse caminho, as cultivares da espécie *P. maximum* suprem a carência do mercado por plantas mais produtivas e de melhor qualidade nutricional (Euclides et al., 2018), entretanto, a demanda por K por esse grupo de plantas é maior quando comparada a outros gêneros (Silveira et al., 2017).

Essa condição fez com que relatos de baixo desempenho agrônômico dessas plantas poderia ser desencadeado pelos impactos negativos da deficiência de fertilizantes potássicos sobre a produção de forragem (Guo et al., 2019). Paralelamente, os sintomas visuais comuns na planta deficiente em K costumam demorar mais a aparecer no grupo de forrageiras que compõem o gênero *P. maximum*, provavelmente justificado pelo suprimento ideal de outros nutrientes, a exemplo do N e fósforo (Lu et al., 2019).

Um dos principais prejuízos econômicos ocasionados pelo déficit de K é a diminuição da produção de biomassa ocasionada pela desregulação da abertura e fechamento dos estômatos

(Nieves-Cordones et al., 2014), que dependem das altas concentrações de K nas células guarda para que ocorra ativação da fotossíntese através da radiação luminosa (Tang et al., 2015). Neste processo, a clorose nas bordas da lâmina foliar, gradualmente se desenvolve em necrose e se espalha para o centro da folha (Lu et al., 2016). Neste processo ocorre uma redução na taxa de fotossíntese líquida devido limitações nas funções desempenhados pelos estômatos seguido por diminuição da absorção de água pelas raízes (Coffey et al., 2018).

Os estômatos atuam na regulação da entrada de CO₂ na folha e na perda de vapor d'água para a atmosfera pela transpiração (Taiz e Zeiger 2017). O controle das trocas gasosas entre folha e ar pelos estômatos é essencial para a hidratação dos tecidos (Silveira et al., 2017), devendo haver certa condutância estomática, necessária para o fornecimento de substrato para as reações químicas da fotossíntese, que impeçam a perda excessiva de água e desidratação (Kuwahara e Souza 2009). Isso é justificado pelo fato da disponibilidade de K na planta influenciar na atividade de mais de 60 enzimas envolvidas em uma variedade de processos metabólicos, principalmente relacionados a síntese de carboidratos (Tang et al. 2015).

A avaliação das trocas gasosas em forrageiras torna possível quantificar as respostas da planta em termos de concentração interna de CO₂ na folha, condutância estomática, fotossíntese foliar, entre outros parâmetros de fundamental importância para entender os reflexos da adubação sobre o potencial de produção da planta forrageira (Lopes et al., 2011a). Muitos estudos avaliaram a resposta produtiva das gramíneas ao aumento das doses de fertilizantes, no entanto o conhecimento dessas estratégias sobre os parâmetros fisiológicos e seus reflexos sobre a produção de massa de forragem e de raízes ainda são pouco elucidativos.

A hipótese testada foi que o fornecimento do K no solo resulta em melhorias nas trocas gasosas, aumento na produção de forragem e de raízes nas forrageiras avaliadas. Diante disso, o objetivo foi avaliar o efeito do K sobre as trocas gasosas, produção de forragem e de raízes em seis cultivares de *Panicum maximum*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e implantação do experimento

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente a EMBRAPA Gado de Corte, localizada em Campo Grande – MS. O período experimental ocorreu entre julho de 2019 a janeiro de 2020, totalizando 168 dias.

O solo experimental foi classificado como Neossolo Quartzarênico típico (RQo), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2013), coletado em Campo Grande – MS, na bacia córrego do Guariroba. A coleta foi feita na camada de 0-20 cm de profundidade, passado em peneira com malha de 4 mm, seco ao ar (Terra fina seca no ar – TFSA) e novamente passado em peneira com malha de 2 mm. Amostras foram coletadas para análise química antes da adubação (Tabela 1).

TABELA 1 - Propriedades químicas do solo no início do período experimental

Solo	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	S	T	t	V	m	MO	P
	CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----								-----%-----			mg.dm ⁻³
RQo	5,79	1,70	1,07	0,15	0,00	1,15	2,92	4,07	2,92	71,7	0,00	1,46	44,6

S – soma de bases (Ca + Mg + K); T – CTC potencial (H + Al + Ca + Mg + K); t - CTC efetiva (Ca + Mg + K + Al); V – Saturação por bases [(S/T) * 100]; m – Saturação por alumínio [Al/t] * 100; Ca e Mg Mehlich III; K e P Mehlich I; Al e KCl 1mol; H+Al Phmetro por solução tampão SMP; MO matéria orgânica Dakota do sul modificado

Antes da semeadura foi realizada adubação implantação com 54,68 mg dm⁻³ de P; 1378 mg dm⁻³ de calcário dolomítico, 67,63 mg dm⁻³ de S; 11,02 mg dm⁻³ de Zn; 11,02 mg dm⁻³ de Cu; 2,76 mg dm⁻³ de B e 1,37 mg dm⁻³ de Mo. Em seguida, o solo permaneceu incubado durante 40 dias com umidade próxima à capacidade de campo para facilitar a reação dos nutrientes com o solo. A adubação com nitrogênio (ureia) foi de 100 mg dm⁻³ de N, realizada 30 dias após a germinação e posteriormente reaplicado em cinco aplicações fornecidas junto com o potássio (KCl), de acordo com os tratamentos propostos.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 6x4, com seis cultivares (cvs) da espécie *Panicum maximum* cvs. Tanzânia, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai e Tamani, e quatro doses de potássio (K): 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³, com três repetições. A solução de K foi aplicada com auxílio de pipeta graduada de acordo com os tratamentos propostos, sendo que a primeira foi realizada 28 dias após o plantio e as demais sempre após os cortes de avaliação, com intervalos de 28 dias.

Cada unidade experimental foi constituída por um vaso contendo 2,55 dm³ de solo. A semeadura foi realizada no dia 30 de julho de 2019 e foram utilizadas 50 sementes por vaso. O desbaste foi feito a partir do 15º dia após a semeadura, e realizado semanalmente até atingir seis plantas por vaso. A irrigação foi feita sempre que necessária, com quantidade de água suficiente para manter o solo com umidade próxima a capacidade de campo.

O primeiro corte foi feito no 50º dia após a semeadura e os demais com intervalo médio de 28 dias, totalizando cinco cortes. A altura do resíduo para corte estabelecida para as plantas de maior porte (Tanzânia, Quênia, Mombaça e Zuri) foi de 20 centímetros a partir do nível do solo, e as demais (Massai e Tamani) cortadas a 15 centímetros.

Após a última amostragem, um sexto corte foi feito rente ao solo, esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar, pesado e o valor da massa de forragem somado para contabilizar a produção de forragem.

2.2 Medidas fisiológicas

Para avaliação das trocas gasosas nas forrageiras foi utilizado um analisador de gás a infravermelho LI-6400 (Li-cor, Lincoln NE, USA), com radiação fotossinteticamente ativa de 1000 μmol m⁻²s⁻¹. As avaliações foram feitas semanalmente após cada corte, com um intervalo de 28 dias entre cortes, totalizando cinco medições. Em cada unidade experimental foram escolhidos dois perfilhos representativos e em cada um desses foi identificada a segunda folha mais

1395 jovem completamente expandida (língua visível). A câmara de medição era posicionada na parte
1396 central da folha sempre entre 9 horas da manhã e 14 horas da tarde (horário de Brasília) por ser
1397 considerado horário com maior atividade fotossintética. As variáveis analisadas foram a taxa de
1398 fotossíntese foliar (A , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), concentração de
1399 dióxido de carbono (C_i , ppm), transpiração da folha (E , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e temperatura da folha
1400 (TFOL, em °C).

1401 A estimativa da concentração de clorofila, expressa em unidades SPAD, foi realizada por
1402 meio do aparelho Chlorophyll meter SPAD-502 (Soil and plant analysis development®), após cada
1403 corte, uma folha de um perfilho de cada unidade experimental foi escolhida e marcada com caneta
1404 permanente para ser monitorada semanalmente, na altura do terço médio.

1405

1406 **2.3 Produção de forragem**

1407 Para avaliação da massa de forragem, toda a biomassa aérea de cada unidade experimental
1408 era cortada na altura pré-estabelecida para cada cultivar, esse processo foi repetido por cinco vezes
1409 a cada 28 dias. Onde, toda massa amostrada era acondicionada em um saco de papel, identificada e
1410 posteriormente seca em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até obtenção de peso constante.
1411 Após seco esse material era levado ao laboratório, retirado do saco e pesado em balança analítica
1412 de precisão (0,01 g). A produção de forragem de cada cultivar em cada dose de K avaliada foi obtida
1413 pelo somatório das massas de todos os vasos em todos os cortes.

1414

1415 **2.4 Produção de raiz**

1416 Ao final das medições a irrigação foi suspensa com a finalidade de paralisar os processos
1417 respiratórios e enzimáticos, para caracterizar o sistema radicular (produção de raiz). Todo o
1418 conteúdo dos vasos (raiz e solo) foi colocado em bandeja de madeira destorroado e separado do solo
1419 usando um conjunto de peneiras de alumínio com malha de 2,00 e 1,00 mm. Após esse

procedimento, o material foi colocado em sacos de papel, identificado e levado a estufa de circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas. Após seco o material foi retirado do saco e pesado em balança analítica de precisão (0,01 g), para estimar a produção de raiz em gramas (g).

2.5 Análise estatística

Todos os resultados foram submetidos às análises de variância e regressão. O modelo matemático utilizado continha o efeito fixo das cultivares, das doses de potássio e a interação entre elas. O efeito das forrageiras foi avaliado pelo teste de Tukey a significância de 5%. O efeito das doses de K foi analisado por análise de regressão. Os modelos lineares e quadráticos foram testados e selecionou-se o modelo de acordo com a significância dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível de 5% de probabilidade e o coeficiente de determinação (R^2).

3. RESULTADOS

3.1 Variáveis fisiológicas

Houve interação entre dose de potássio x cultivar para a taxa de fotossíntese foliar ($P=0,0001$), condutância estomática ($P=0,0011$) e concentração de dióxido de carbono ($P=0,0001$) (Tabela 2). Doses crescentes de K proporcionaram aumento linear positivo na taxa de fotossíntese foliar nas cultivares Tanzânia, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai e Tamani com um aumento estimado de 0,287; 0,246; 0,207; 0,109; 0,269; 0,238 $\mu\text{mol} / \text{m}^2\text{s}^{-1}$, respectivamente, para cada mg/dm^{-3} de K adicionado ao solo. Na ausência de adubação potássica não houve diferença entre as cultivares na taxa de fotossíntese foliar, na dose 205 mg/dm^{-3} de K maior taxa de fotossíntese foliar foi verificada na cultivar Zuri, menor na Mombaça e intermediária nas demais. Nas doses 410 e 820 mg/dm^{-3} de K maior taxa de fotossíntese foliar foi estimada na cultivar Tanzânia, menor na Mombaça e intermediária nas demais.

A condutância estomática se ajustou a um modelo linear crescente de regressão nas cultivares Tanzânia, Quênia, Mombaça, Massai e Tamani, com 0,002; 0,002; 0,023; 0,032; 0,002

1446 mmol / m⁻²s⁻¹, respectivamente. Entretanto, na cultivar Zuri a condutância estomática pode ser
 1447 explicada por meio de uma equação quadrática de regressão com ponto de máxima estimado na dose
 1448 446,5 mg/dm⁻³ de K com 0,010 mmol / m⁻²s⁻¹ de gs. Na ausência de adubação e nas doses 205, 410
 1449 e 820 mg/dm⁻³ de K não houve diferença entre as cultivares para a condutância estomática.

1450

1451 **TABELA 2** -Variáveis fisiológicas de cultivares de *Panicum maximum* adubadas com doses de
 1452 potássio

Cultivares	Doses K (mg dm ⁻³)				Equação	R ²
	0	205	410	820		
	Taxa de fotossíntese foliar (A, µmol m ⁻² s ⁻¹)					
Tanzânia	17,82 ^a	32,47ab	50,63a	64,93a	$\hat{Y}=20,824+0,287K$	0,95
Quênia	13,29 ^a	26,61ab	37,47ab	54,36ab	$\hat{Y}=15,243+0,246K$	0,98
Mombaça	13,08 ^a	20,20b	27,43b	38,60c	$\hat{Y}=12,017+0,207K$	0,99
Zuri	13,45 ^a	39,45a	31,97ab	47,01b	$\hat{Y}=26,528+0,109K$	0,78
Massai	13,35 ^a	21,95ab	35,46ab	56,75ab	$\hat{Y}=12,535+0,269K$	0,99
Tamani	13,38 ^a	32,18ab	39,09ab	54,83ab	$\hat{Y}=17,758+0,238K$	0,94
	Condutância estomática (gs, mmol m ⁻² s ⁻¹)					
Tanzânia	2,81 ^a	5,08a	5,20a	7,34a	$\hat{Y}=3,293+0,0025K$	0,92
Quênia	1,73 ^a	4,32a	5,16a	6,11a	$\hat{Y}=2,580+0,0024K$	0,82
Mombaça	1,78 ^a	4,35a	5,52a	5,97a	$\hat{Y}=2,721+0,0023K$	0,77
Zuri	1,75 ^a	4,59a	5,32a	2,93b	$\hat{Y}=1,820+0,082K-0,004K^2$	0,99
Massai	1,34 ^a	3,49a	4,57a	6,85a	$\hat{Y}=1,746+0,032K$	0,97
Tamani	1,76 ^a	3,35a	4,12a	5,86a	$\hat{Y}=2,048+0,0024K$	0,97
	Concentração de dióxido de carbono (Ci, ppm)					
Tanzânia	130,03a	129,27a	129,80a	130,33a	$\hat{Y}=129,86$	0,97
Quênia	130,62a	130,40a	130,78a	130,70a	$\hat{Y}=130,18$	0,97
Mombaça	132,07a	130,55a	130,86a	125,00a	$\hat{Y}=130,61$	0,94
Zuri	129,81a	129,49a	129,51a	120,81a	$\hat{Y}=126,97$	0,91
Massai	130,12a	127,21a	129,88a	119,43a	$\hat{Y}=124,22$	0,91
Tamani	130,44a	133,30a	129,39a	129,79a	$\hat{Y}=130,98$	0,97

1453 Ppm – Partes por milhão. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de
 1454 Tukey (P < 0,05).

1455

1456 Não foi observado efeito das doses de K nas concentrações de dióxido de carbono nas
 1457 cultivares Tanzânia, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai e Tamani com valores médios de 129, 130,
 1458 130, 126, 124, 130 ppm de equivalente CO₂, respectivamente. Na ausência de adubação e nas doses
 1459 205, 410 e 820 dm⁻³ de K não houve diferença entre as cultivares para essa variável.

Foram verificados efeitos das doses de potássio na transpiração ($P=0,0001$), temperatura da folha ($P=0,0001$) e concentração de clorofila ($P=0,0001$) (Figura 1). O efeito das doses de K na transpiração foliar se ajustou a um modelo linear crescente de regressão com aumento estimado de $0,0018 \text{ mmol m}^{-2} \text{ g}^{-1}$ na transpiração para cada mg/dm^{-3} de K adicionado ao solo.

A temperatura da folha se ajustou a um modelo linear crescente de regressão com aumento de $0,004 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para cada mg/dm^{-3} de K adicionado ao solo. Já para a concentração de clorofila foliar os resultados se ajustaram a um modelo quadrático de regressão, com ponto de máxima estimado na dose $574,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de K, com teor de 29,84 clorofila (em valores SPAD) por folha avaliada.

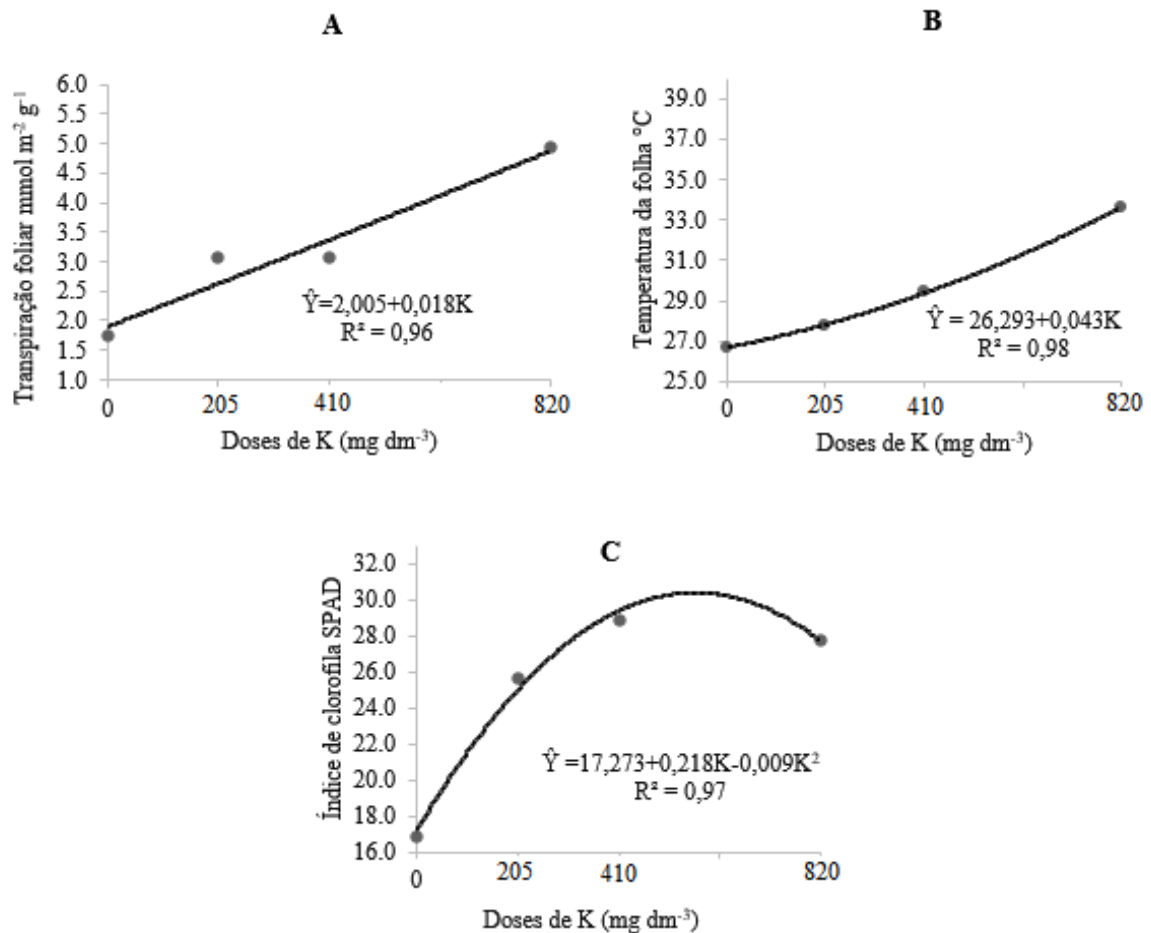


FIGURA 1 Transpiração foliar (A); (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{ g}^{-1}$); temperatura foliar (B) (TFOL, $^{\circ}\text{C}$) e índice de clorofila (C) (SPAD), em forrageiras do gênero *Panicum maximum* em resposta às diferentes doses de potássio avaliadas.

Foram verificados efeitos da cultivar na transpiração foliar ($P=0,0005$) e na concentração de clorofila ($P=0,0012$), não foram verificadas diferenças entre as cultivares na temperatura da folha ($P=0,2686$) (Tabela 3). Maior transpiração da folha foi observada nas cultivares Quênia e Mombaça, menor nas cvs. Massai e Tamani, e intermediárias nas demais. Maiores concentrações de clorofila ($P=0,0001$) foram estimadas na cultivar Massai e menores nas demais.

TABELA 3 - Transpiração, temperatura foliar e concentração de clorofila em cultivares de *Panicum maximum* em função das doses crescentes de potássio avaliadas

	Tanzânia	Quênia	Mombaça	Zuri	Massai	Tamani	R ²
E	3,24ab	3,78a	3,76a	3,40ab	2,84b	2,95b	0,96
TFOL	28,39a	29,21a	29,91a	29,94a	27,21a	27,65a	0,98
Clorofila	25,15b	24,80b	22,82b	23,68b	27,54a	23,24b	0,84

Transpiração foliar – (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{g}^{-1}$), Temperatura foliar (TFOL, expressa em °C), Clorofila expressa em unidades SPAD. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.2 Produção de Forragem

Houve interação entre dose de potássio x cultivar para a produção de forragem (g/vaso) ($P=0,0001$) (Tabela 4). Respostas lineares crescentes foram observadas nas cultivares Tanzânia, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai e Tamani, com um aumento estimado de 0,16; 0,20; 0,16; 0,14; 0,10 e 0,12 gramas de matéria seca (g/vaso^{-1}), respectivamente, para cada mg dm^{-3} de K adicionado ao solo. Na ausência de adubação potássica a maior produção de forragem foi observada na cultivar Mombaça, menores produções nas cvs. Massai e Tamani e intermediária nas demais. Nas doses 205 e 164 mg dm^{-3} de K maiores produções de forragem foram contabilizadas nas cvs. Quênia, Mombaça e Zuri, enquanto na dose 410 mg dm^{-3} de K as maiores produções de forragem foram observadas nas cvs. Mombaça e Zuri, menores nas cvs. Massai e Tamani e intermediárias nas demais.

1499

1500 **TABELA 4** - Produção de forragem (g/vaso⁻¹) em cultivares forrageiras fertilizadas com potássio

Cultivares	Doses K (mg dm ⁻³)				R ²	Equação
	0	205	410	820		
Tanzânia	25,72bc	42,82bc	46,46b	48,37bc	0,61	$\hat{Y}=26,182+0,169K$
Quênia	30,79b	49,30a	54,50a	67,29a	0,91	$\hat{Y}=35,636+0,206K$
Mombaça	33,68a	48,25a	48,44b	62,76a	0,90	$\hat{Y}=36,450+0,161K$
Zuri	28,07b	48,55a	55,28a	55,72a	0,64	$\hat{Y}=36,376+0,143K$
Massai	16,97c	30,54b	34,37d	36,79c	0,73	$\hat{Y}=21,914+0,108K$
Tamani	18,54c	36,05c	41,10c	41,62d	0,64	$\hat{Y}=25,443+0,123K$

1501 Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P< 0,05).

1502

1503 **3.3 Produção de raiz**

1504 Houve interação entre cultivar x dose de potássio (P=0,0001) para a produção de raízes

1505 (Tabela 5). Respostas lineares crescentes foram observadas nas cvs. Quênia, Zuri, Massai e Tamani

1506 com um aumento estimado de 0,080; 0,156; 0,147 e 0,098 g vaso⁻¹ de raízes, respectivamente para

1507 cada mg dm⁻³ de K adicionado ao solo. A massa seca de raízes, nas cvs. Tanzânia e Mombaça, se

1508 ajustou a um modelo quadrático de regressão. Para a cv. Tanzânia, o ponto de máxima estimado foi

1509 na dose de 505 mg de K dm⁻³ com uma massa de raízes de 33,80 g vaso⁻¹, já para a cv. Mombaça o

1510 platô da curva foi estimado na dose 547 mg dm⁻³ que promove um valor médio na massa de raízes

1511 de 55,50 g vaso⁻¹.

1512 Na ausência de adubação potássica, as maiores massas de raízes foram registradas nas

1513 cultivares Quênia, Mombaça e Tamani, e menor nas demais. Na dose 205 mg de K dm⁻³ maior

1514 produção de raiz foi verificadas nas cvs. Zuri e Tamani, menor na cv. Tanzânia e produção

1515 intermediária nas demais; na dose 410 mg de K dm⁻³ a maior produção de raiz foi verificada na cv.

1516 Mombaça e menor nas demais, enquanto na maior dose de K avaliada maiores produções de raízes

1517 foram contabilizadas nas cvs. Mombaça, Zuri, Massai e Tamani.

1518

1519

TABELA 5 - Produção de raízes (g vaso) de diferentes cultivares forrageiras de *Panicum maximum* adubadas com potássio.

Cultivar	Doses K (mg dm ⁻³)				Equação	R ²
	0	205	410	820		
Tanzânia	9,08b	22,00d	34,90b	23,45c	$\hat{Y}=8,072+0,509K-0,0025K^2$	0,96
Quênia	20,92a	28,41c	31,57b	35,05b	$\hat{Y}=23,225+0,0803K$	0,87
Mombaça	24,06a	33,98bc	56,68a	44,64a	$\hat{Y}=21,448+0,585K-0,0026K^2$	0,86
Zuri	12,99b	42,97a	34,08b	45,55a	$\hat{Y}=22,6913+0,1562K$	0,55
Massai	12,98b	37,33ab	35,32b	42,12a	$\hat{Y}=21,3620+0,1474K$	0,63
Tamani	20,94a	40,88a	35,64b	41,65a	$\hat{Y}=27,716+0,0984K$	0,52

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

4. DISCUSSÃO

4.1 Variáveis fisiológicas

Na ausência de adubação o comportamento semelhante entre as cultivares foi reflexo da ação comum entre as plantas ocasionada pela deficiência de K sobre a taxa de fotossíntese que tem sua produção reduzida, e todos os processos dependentes de ATP são retardados (Ahmad e Maathuis 2014). Nas demais doses de K as maiores taxas de fotossíntese foliar foram observadas nas cvs. Zuri e Tanzânia, que podem ser tendência da reorientação das folhas em direção as fontes luminosas para aumentar a interceptação de luz (Prajapati e Modi 2012). Por outro lado, o aumento linear na taxa de fotossíntese é justificado pela alta demanda por K exigido pelas forrageiras para ativação das enzimas responsáveis pela produção das moléculas de ATP (adenosina trifosfato), onde o maior estímulo no local de produção de ATP é mantido com íons K (Prajapati e Modi 2012).

A condutância estomática revelou uma resposta linear conforme os níveis de K foram aumentados nas cvs. Tanzânia, Quênia, Mombaça, Massai e Tamani ocasionados pela alta taxa de fotossíntese foliar (Pompeu et al., 2010), uma vez que, para esse grupo de plantas, maior atividade fotossintética demanda maior quantidade de K para regulação da dinâmica de abertura e fechamento estomático (Tränkner et al., 2018). Em contrapartida, na cv. Zuri o platô na condutância estomática

revela que o suprimento de $446,5 \text{ mg/dm}^{-3}$ de K mostrou-se adequado para o funcionamento das células guarda dos estômatos acumulassem água e aumentassem o tamanho.

O fornecimento de doses crescentes de K no solo revelou ineficiência entre as forrageiras nas concentrações de dióxido de carbono revelando que mesmo quando há maior abertura estomática favorecida pelas altas doses de K não acontece maiores absorções de CO_2 do ambiente externo (Lopes et al., 2020).

A taxa de transpiração foliar revelou uma resposta linear ao fornecimento de K no solo que é reflexo do aumento na condutância estomática observada na Tabela 2, que segundo Pompeu et al. (2010) promove melhor eficiência no uso da água, que induz o aumento na absorção do K resultando em aumento da produção de biomassa no dossel, fato evidenciado nesse estudo e comprovado com os dados de produção de forragem (Tabela 4). O aumento linear na temperatura da folha foi influenciado pela transpiração, que é o mecanismo primário de regulação da temperatura da folha, dissipando parte da energia proveniente da radiação solar, que contribui para redução do aquecimento das folhas (Xie et al., 2020).

As concentrações de clorofila responderam de forma quadrática aos níveis de K (Figura 1), onde a identificação do ponto máximo de 29,84 unidades SPAD na dose $574,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de K foi citado por Lopes et al. (2020), como maturidade fotossintética que são atribuídas ao melhor aproveitamento do K no solo devido aumento da biomassa radicular, citado por (Lopes et al., 2011b), e comprovados nesse estudo (Tabela 5).

Também é enfatizado que, apesar dessas leituras sejam relacionadas à taxa fotossintética da folha e suprimento de N, podem ser usadas como indicador de saúde das plantas, ligados aos sintomas de deficiência como a clorose das folhas (Santos et al., 2020) comum em plantas deficientes em K (Hafsi et al., 2014).

As maiores taxas de transpiração foliar nas cvs. Quênia e Mombaça, e menores nas cvs. Massai e Tamani (Tabela 3) são justificadas pelo maior comprimento e largura das folhas nas plantas de maior porte. Está bem documentado que o aumento na transpiração foliar é desencadeado

pela maior demanda hídrica quando ocorre aumento da fotossíntese líquida do dossel influenciada pelo maior tamanho da área da folha disponível para captação de energia (Silva et al., 2020).

A ausência de resposta na temperatura da folha nas cvs. Quênia e Mombaça uma vez que houve aumento da taxa de transpiração foliar, provavelmente ocorreu devido ao vapor d'água liberado pelo sistema de resfriamento da casa de vegetação, que segundo relatos de Mendes e Marengo (2014), é responsável por manter a temperatura das folhas constante pela falta de variação na umidade relativa do ar.

Os maiores níveis SPAD verificados na cultivar Massai em relação as demais é resultado da elevada quantidade de folhas novas atribuídas a maior capacidade de perfilhamento dessa cultivar (Véras et al., 2020), que possuem alta capacidade fotossintética e resultam em aumento na intensidade do tom verde na folha.

4.2 Produção de Forragem

A resposta linear crescente na produção de forragem em todas as cultivares (Tabela 4) pode ser justificada pelo aumento da atividade fotossintética e condutância estomática (Tabela 2), que segundo relatos de Hafsi et al. (2014), são responsáveis por promover o incremento na área foliar com o aumento das reservas de K na planta justificado pela maior quantidade de carboidratos, açúcares e fotoassimilados nas zonas de crescimento da folha resultado do aumento da atividade fotossintética e incremento na produção de biomassa do dossel.

Além disso, Ashworth et al. (2019), associaram o aumento na produção de forragem em cultivares de *P. maximum*, a extração de outros macronutrientes do solo quando altas doses de K estão disponíveis, enfatizando que entradas mínimas de K são necessárias para aumento na massa de forragem, e que maiores respostas em rendimento são obtidos quando são aplicados K e N em conjunto.

De maneira geral, tanto na ausência de adubação quanto nas demais doses de K avaliadas as

1593 cvs. Massai e Tamani tiveram menor produção de forragem em comparação a Tanzânia, Quênia,
1594 Mombaça e Zuri, reflexo das diferenças genéticas que conferem ao Massai e Tamani menor porte,
1595 e menor participação da fração colmo na massa de forragem (Martuscello et al., 2019).

1596

1597 **4.2 Produção de raiz**

1598 O aumento linear na massa de raiz nas cultivares Quênia, Zuri, Massai e Tamani com
1599 o aumento das doses de K (Tabela 5) pode ser parcialmente atribuído a maior disponibilidade de
1600 íons de K^+ no solo que favorecem o desenvolvimento de um sistema radicular mais longo e coberto
1601 com pelos mais densos (Hua et al. 2009). Para Prajapati e Modi (2012) são estimulados a crescer
1602 pelo acúmulo de K nas raízes que produz um gradiente de pressão osmótica responsável por atrair
1603 água para as raízes. A maior quantidade de água que chega as raízes além de aumentar o fluxo de
1604 água no xilema eleva as taxas de transpiração foliar (Sitko et al., 2019), fato comprovado nesse
1605 estudo.

1606 No entanto essa respostas não se repetiram nas cultivares Tanzânia e Mombaça, onde
1607 o ajuste dos dados a uma equação quadrática de regressão indicou que para essas cultivares
1608 aproximadamente 545 mg/dm^{-3} de K no solo foram suficientes para o aumento máximo na produção
1609 de raízes. Isso indica que doses mais elevadas podem ter efeito prejudicial justificado pela salinidade
1610 do KCL sobre as raízes, esse fertilizante contem aproximadamente 47% de cloro que pode ser
1611 considerado tóxico (Silva et al., 2008).

1612 Quando se avalia o efeito das doses de K sobre a massa de raízes das cvs. avaliadas é possível
1613 inferir que a grande variação nos resultados pode ter ocorrido em função da plasticidade da raiz
1614 comum em plantas quando altas doses de fertilizantes de K são aplicados no solo (Yang et al., 2003),
1615 que se torna mais evidente na presença de K devido a uma continua produção de novos meristemas
1616 que influenciam a morfologia da raiz (Yang et al., 2003).

5. CONCLUSÃO

As trocas gasosas na folha indicaram que a aplicação de doses crescentes de K são ineficientes para melhorar as concentrações de dióxido de carbono nas forrageiras, entretanto elevam a fotossíntese e a condutância estomática, parâmetros que afetaram notavelmente a produção de forragem e de raízes e garantiram crescimento mais rápido da planta nos períodos avaliados.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. O apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, da Universidade Federal de Pernambuco, do CNPq e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte).

1643

1644

1645

1646 **REFERÊNCIAS**

1647 Ahmad, I., Maathuis, F.J.M., Cellular and tissue distribution of potassium: Physiological relevance,
 1648 mechanisms and regulation. J. Plant Physiol. 2014. 12:1-7.

1649 <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.016>

1650 Ashworth, A.J., Moore, P.A., King, R., Pote, D.H., Douglas, J.L., Jacobs, A.A., Pratt, E.,
 1651 Switchgrass Forage Yield and Compositional Response to Phosphorus and Potassium.
 1652 Agrosystems, Geosci. Environ. 2019. 2:1–8. <https://doi.org/10.2134/age2019.02.0010>

1653 Coffey, O., Bonfield, R., Corre, F., Sirigiri, J.A., Meng, D., Fricke, W., Root and cell hydraulic
 1654 conductivity, apoplastic barriers and aquaporin gene expression in barley (*Hordeum vulgare*
 1655 L.) grown with low supply of potassium. Ann. Bot. 2018. 122:1131–1141.
 1656 <https://doi.org/10.1093/aob/mcy110>

1657 EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária / Embrapa Solos. Sistema Brasileiro de
 1658 Classificação de Solos. 3. ed. Brasília, DF, 2013. 356 p.

1659 Euclides, V.P.B., Carpejani, G.C., Montagner, D.B., Nascimento Junior, D., Barbosa, R.A., Difante,
 1660 G.S., Maintaining post-grazing sward height of *Panicum maximum* (cv. Mombaça) at 50 cm
 1661 led to higher animal performance compared with post-grazing height of 30 cm. Grass Forage
 1662 Sci. 2018. 73:174–182. <https://doi.org/10.1111/gfs.12292>

1663 Guo, J., Jia, Y., Chen, H., Zhang, L., Yang, J., Zhang, J., Hu, X., Ye, X., Li, Y., Zhou, Y., Growth,
 1664 photosynthesis, and nutrient uptake in wheat are affected by differences in nitrogen levels and
 1665 forms and potassium supply. Sci. Rep. 2019. 9:1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37838-3>

1667 Hafsi, C., Debez, A., Abdelly, C., Potassium deficiency in plants: Effects and signaling cascades.
 1668 Acta Physiol. Plant. 2014. 22:1-16 <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1491-2>

1669 Hua, H.B., Li, Z.H., Tian, X.L., Mechanism of Tolerance to Potassium Deficiency Between
 1670 Liaomian 18 and NuCOTN99B at Seedling Stage. Acta Agron. Sin. 2009. 35:475–482.
 1671 [https://doi.org/10.1016/S1875-2780\(08\)60069-3](https://doi.org/10.1016/S1875-2780(08)60069-3)

1672 Kuwahara, F.A., Souza, G.M., Fósforo como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica
 1673 sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachioria brizantha* cv. Mg-5 vitória. Acta Sci. -
 1674 Agron. 2009. 31:261–267. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i2.836>

- 1675 Lopes, M.N., Cândido, M.J.D., Pompeu, R.C.F.F., da Silva, R.G., Bezerra, F.M.L., Componentes
1676 estruturais do resíduo pós-corte em capim-massai adubado com cinco doses de nitrogênio. Rev.
1677 Cienc. Agron. 2011a. 42:518-525 <https://doi.org/10.1590/s1806-66902011000200035>
- 1678 Lopes, M.N., Cândido, M.J.D., Pompeu, R.C.F.F., da SILVA, R.G., de LACERDA, C.F., Bezerra,
1679 M.A., Neto, L.B.M., Carneiro, M.S.S., Gas exchange in massai grass fertilized with nitrogen
1680 and grazed by sheep. Biosci. J. 2020. 36:152-160 <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n1a2020-42411>
- 1682 Lopes, M.N., Duarte Cândido, M.J., Fernandes, R.C., Pompeu, F., Gregório Da Silva, R.,
1683 Wellington, J., Lopes, B., Marcus, F., Bezerra, L., Brasileira De Zootecnia, R., Biomass
1684 components in Massai grass during establishment and regrowth under five nitrogen fertilization
1685 levels. 2011b. 40:1629-1637 <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000800002>
- 1686 Lu, Z., Lu, J., Pan, Y., Li, X., Cong, R., Ren, T., Genotypic variation in photosynthetic limitation
1687 responses to K deficiency of Brassica napus is associated with potassium utilisation efficiency.
1688 Funct. Plant Biol. 2016. 43:880–891. <https://doi.org/10.1071/FP16098>
- 1689 Lu, Z., Xie, K., Pan, Y., Ren, T., Lu, J., Wang, M., Shen, Q., Guo, S., Potassium mediates
1690 coordination of leaf photosynthesis and hydraulic conductance by modifications of leaf
1691 anatomy. Plant Cell Environ. 2019. 42:2231–2244. <https://doi.org/10.1111/pce.13553>
- 1692 Martuscello, J.A., Rios, J.F., Ferreira, M.R., Assis, J.A., Braz, T.G.S., Cunha, D.N.F. V., 2019.
1693 Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e
1694 intensidades de desfolhação. Bol. Indústria Anim. 2019. 76:1-10.
1695 <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1441>
- 1696 Mendes, K.R., Marengo, R.A., Is stomatal conductance of Central Amazonian saplings influenced
1697 by circadian rhythms under natural conditions Theor. Exp. Plant Physiol. 2014. 26:115–125.
1698 <https://doi.org/10.1007/s40626-014-0010-6>
- 1699 Nieves-Cordones, M., Alemán, F., Martínez, V., Rubio, F., 2014. K⁺ uptake in plant roots. The
1700 systems involved, their regulation and parallels in other organisms. J. Plant Physiol. 2014. 171:
1701 688–695. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.09.021>
- 1702 Oosterhuis, D.M., Loka, D.A., Kawakami, E.M., Pettigrew, W.T., The physiology of potassium in
1703 crop production, Advances in Agronomy. 2014. 126:203-233 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1>
- 1705 Pompeu, R.C.F.F., Cândido, M.J.D., Lopes, M.N., Gomes, F.H.T., Lacerda, C.F., Aquino, B.F.,
1706 Magalhães, J.A., Características morfofisiológicas do capim-aruaana sob diferentes doses de
1707 nitrogênio. Rev. Bras. Saúde e Produção Anim. 2010. 11:1187–1210.
- 1708 Prajapati, K., Modi, H.A., The Importance of Potassium in Plant Growth – a Review. Indian J. Plant

- 1709 Sci. 2012. 1:177-186.
- 1710 Santos, L.F. de M., Lapaz, A. de M., Ribeiro, F.V., Ribeiro, I.V., Meirelles, G.C., Lira, M.V. da
 1711 silva, Soares Filho, C.V., Bonini, C.S.B., dos Reis, A.R., Moreira, A., Heinrichs, R., Effect of
 1712 Sulfur Sources on *Megathyrsus Maximus* ‘Mombaça’ Grass Cultivated in a Typic Ultisol.
 1713 Commun. Soil Sci. Plant Anal. 2020. 1:839-852.
 1714 <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1729792>
- 1715 Silva, M.A.G. da, Boaretto, A.E., Fernandes, H.G., Scivittaro, W.B., Efeito do cloreto de potássio
 1716 na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum annuum* L., em ambiente
 1717 protegido. Acta Sci. Agron. 2008. 23:1085–1089.
 1718 <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v23i0.2563>
- 1719 Silva, P.S.S., Leite, R.D.C., Carneiro, J.S. da S., Freitas, G.A. de, Silva, R.R. da, Mombaça grass
 1720 development with partial replacement of potassium fertilizer by sodium chloride and the effects
 1721 of adding calcium. Trop. Grasslands-Forrajes Trop. 2020. 8:195–202.
 1722 [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)195-202](https://doi.org/10.17138/tgft(8)195-202)
- 1723 Silveira, M.L., Vendramini, J.M.B., da Silva, H.M.S., Borges, B.M.M.N., Ribeirinho, V.S.,
 1724 Lacerda, J.J.J., Azenha, M. V., Viegas, P.R.A., Aguiar, A.D., Potassium and phosphorus
 1725 fertilization impacts on bermudagrass and limpograss herbage accumulation, nutritive value,
 1726 and persistence. Crop Sci. 2017. 57:2881–2890. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.03.0147>
- 1727 Sitko, K., Gieroń, Ż., Szopiński, M., Zieleźnik-Rusinowska, P., Rusinowski, S., Pogrzeba, M.,
 1728 Daszkowska-Golec, A., Kalaji, H.M., Małkowski, E., Influence of short-term macronutrient
 1729 deprivation in maize on photosynthetic characteristics, transpiration and pigment content. Sci.
 1730 Rep. 2019. 9:1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50579-1>
- 1731 Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A., Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal, Artmed.
 1732 2017.
- 1733 Tang, Z.H., Zhang, A.J., Wei, M., Chen, X.G., Liu, Z.H., Li, H.M., Ding, Y.F., Physiological
 1734 response to potassium deficiency in three sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam.) genotypes
 1735 differing in potassium utilization efficiency. Acta Physiol. Plant. 2015. 37:1-10
 1736 <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1901-0>
- 1737 Tränkner, M., Tavakol, E., Jákl, B., 2018. Functioning of potassium and magnesium in
 1738 photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. Physiol. Plant. 163:414–431.
 1739 <https://doi.org/10.1111/ppl.12747>
- 1740 Vêras, E.L. de L., Difante, G., Gurgel, L., Costa, A., Rodrigues, J.G., Costa, C., Neto, J.V.E.,
 1741 Pereira, M. de G., Costa, P.R., Tillering and Structural Characteristics of *Panicum* Cultivars in
 1742 the Brazilian Semiarid Region. Sustainability. 2020.1-11 <https://doi.org/10.3390/su12093849>

- Xie, K., Lu, Z., Pan, Y., Gao, L., Hu, P., Wang, M., Guo, S., 2020. Leaf photosynthesis is mediated by the coordination of nitrogen and potassium: The importance of anatomical-determined mesophyll conductance to CO₂ and carboxylation capacity. *Plant Sci.* 290: 110:126. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110267>
- Yang, X.E., Liu, J.X., Wang, W.M., Li, H., Luo, A.C., Ye, Z.Q., Yang, Y., 2003. Genotypic differences and some associated plant traits in potassium internal use efficiency of lowland rice (*Oryza sativa* L.). *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 67:273:282. <https://doi.org/10.1023/B:FRES.00000003665.90952.0c>

1777
1778
1779
1780
1781

1782 **Artigo 3**

1783 **Efeito da adubação potássica na intensidade de doenças e no valor nutritivo de** 1784 **cultivares de *Brachiaria spp* e *Panicum maximum***

1785 *Effect of potassium fertilization on disease intensity and nutritive value of cultivars of Brachiaria*
1786 *spp and Panicum maximum*

1787 **Resumo**

1788 O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do K sobre a severidade de doenças e seus reflexos no
1789 valor nutritivo em diferentes forrageiras tropicais. Foram avaliadas as severidades da mancha
1790 marrom (*Panicum maximum*), mancha foliar (*Brachiaria spp.*) e do vírus do mosaico em 15
1791 cultivares forrageiras adubadas com doses crescentes de K. As forrageiras foram separadas por
1792 gênero e avaliadas em dois experimentos distintos conduzidos simultaneamente. O experimento 1
1793 foi realizado em delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 6x4, com as cultivares
1794 de *Panicum*: Tanzânia, BRS Quênia, Mombaça, BRS Zuri, Massai, BRS Tamani e quatro doses de
1795 K: 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³, onde foram avaliadas a severidade causada pela mancha marrom e
1796 pelo vírus do mosaico. O experimento 2 foi um fatorial 9x4, composto pelas cultivares de
1797 *Brachiaria*: Xaraés, BRS Piatã, Marandu, BRS Paiaguás, BRS Ipyporã, Basilisk, Comum, Tupi e
1798 Ruziziensis, e quatro doses de K: 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³, foi avaliado o grau de severidade da
1799 mancha foliar e vírus do mosaico. Nos dois experimentos foram verificadas interações entre dose
1800 de potássio x cultivar (P<0,05) para todas as doenças avaliadas. Na ausência de adubação e na menor
1801 dose de K foram registradas as maiores severidades causadas pela mancha marrom em todas as
1802 cultivares de *Panicum* e mancha foliar em todas as cultivares de *Brachiaria spp.*. No entanto, as
1803 maiores doses de K elevaram a severidade do vírus do mosaico em todas as cultivares nos dois
1804 experimentos. O aumento da fertilidade do solo, através da aplicação de doses crescentes de K,
1805 proporcionou maior resistência à mancha marrom e a mancha foliar e aumentou os níveis de
1806 severidade causado pelo vírus do mosaico

1807

1808 **PALAVRAS-CHAVE:** *adubação, doenças, forrageiras, mancha foliar, mosaico*

1809
1810
1811

1812 1. INTRODUÇÃO

1813 As cultivares forrageiras pertencentes aos gêneros *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) e
1814 *Panicum* (syn. *Megathyrsus maximus*) são as mais utilizadas em sistemas de produção que utilizam
1815 pastagens cultivadas, por serem mais produtivas, fáceis de manejar, devido à relativa abundância de
1816 folhas, e contribuírem para o aumento da produtividade animal (Jank et al., 2010; Silva et al., 2016;
1817 Paraíso et al., 2019). As pastagens no Brasil compreendem área estimada em 160 milhões de
1818 hectares (IBGE, 2019), desse total, há predominância no cultivo de forrageiras pertencentes a
1819 espécies de *Brachiaria* seguido do *Panicum maximum* (Jank et al., 2010; Tesk et al., 2020).

1820 Ainda são notificados registros de grandes áreas de pastagens estabelecidas com
1821 poucas cultivares de reprodução apomítica (Lara et al., 2019), que representam extensos
1822 monocultivos clonais pouco variáveis e extremamente vulneráveis geneticamente, o que facilita a
1823 ocorrência e propagação de patógenos (Marcos et al., 2015). Este fato acarreta risco ao ecossistema
1824 em que se encontram, por existirem relatos sobre o aumento na incidência e severidade de doenças,
1825 devido à deficiência de nutrientes no solo (González et al., 2020), onde o aumento da resistência da
1826 planta devido à melhoria nos níveis de fertilidade do solo é associado, dentre outros benefícios, à
1827 maior densidade de células na epiderme das folhas que atuam como barreira física a penetração de
1828 fungos (Romero et al., 2011).

1829 Entre os constituintes da parede celular que tem por função proteger as plantas da
1830 entrada de patógenos podem ser citados a cutina, ácidos fenólicos complexos e carboidratos (Taiz e
1831 Zeiger., 2017). Com relação aos carboidratos, altos níveis de K na planta são responsáveis pela
1832 ativação de mais de 60 enzimas envolvidas em processos metabólicos relacionados à sua síntese
1833 (Oosterhuis et al., 2014). Além disso, altas concentrações de K estimulam aumento na síntese de

1834 compostos com alto peso molecular como proteínas, amido e celulose (Sharma et al., 2013),
1835 enquanto reduz a formação de açúcares solúveis e ácidos orgânicos considerados indispensáveis ao
1836 crescimento celular de patógenos e alimentação de insetos (Oosterhuis et al., 2014).

1837 Entre as doenças que podem acometer plantas forrageiras merecem destaque a mancha foliar,
1838 causada por *Bipolaris maydis* (Marcos et al., 2015), e o vírus do mosaico (Trucco et al., 2019). O
1839 fungo *B. maydis* foi descrito pela primeira vez em 2003 causando mancha foliar na cv Tanzania-1
1840 (Charchar et al., 2008), hoje considerada a mais susceptível, e posteriormente foi relatado em outros
1841 genótipos de *Panicum*, *Brachiaria* spp., *Paspalum* spp. e *Pennisetum* (Anjos et al., 2004; Charchar
1842 et al., 2008). As plantas infectadas apresentam inicialmente manchas castanhas, pequenas e elípticas
1843 que aumentam de tamanho com a evolução da doença, podendo ocorrer a formação de longas áreas
1844 necróticas (Maia et al., 2018).

1845 O vírus do mosaico pertence ao gênero *Potyvirus* (família *Potyviridae*), foi primeiro
1846 descrito na Austrália como vírus do mosaico do milho anão e depois, como uma cepa do vírus do
1847 mosaico da cana-de-açúcar, mais tarde identificado no Brasil recebendo nomenclatura específica
1848 pela EMBRAPA Gado de leite, *Johnsongrass mosaic virus* - JGMV (Silva et al., 2016). Folhas
1849 sintomáticas apresentam estrias e manchas cloróticas (as vezes necróticas), podendo ocasionar
1850 redução na produção de forragem; não pode ser transmitido por meio de sementes, apenas
1851 mecanicamente (Trucco et al., 2019).

1852 São comuns os relatos da diminuição na incidência e severidade de doenças devido ao
1853 aumento da fertilidade do solo pela adubação em outras culturas (Santos et al., 2011; Asghar et al.,
1854 2019; González et al., 2020). No entanto, existem poucas informações disponíveis sobre os
1855 benefícios do K na redução da severidade de doenças foliares em plantas forrageiras e
1856 principalmente, seus reflexos sobre a qualidade da forragem.

1857 A hipótese testada foi que o fornecimento de doses crescentes de K no solo resulta em
1858 redução da severidade da doença na planta pela mancha marrom e mancha foliar, redução da
1859 severidade do vírus do mosaico e que as doenças não tem influência sobre o valor nutritivo das

1860 plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do potássio sobre a incidência de
1861 doenças e seus reflexos sobre o valor nutritivo em diferentes forrageiras tropicais.

1862

1863 2. MATERIAL E MÉTODOS

1864

1865 O experimento foi realizado em casa de vegetação da EMBRAPA Gado de Corte,
1866 localizada em Campo Grande – MS, no período de junho de 2019 a janeiro de 2020 totalizando 168
1867 dias. Foi avaliado o desenvolvimento da mancha marrom (agente causal em fase de identificação)
1868 em seis cultivares de *Panicum maximum*, da mancha foliar causado por *Bipolaris maydis* em nove
1869 cultivares de *Brachiaria* spp. e do vírus do mosaico (*Johnsongrass mosaic virus*) ambos os gêneros.
1870 Para a realização dos estudos, as forrageiras foram divididas por gênero e avaliadas em dois
1871 experimentos conduzidos simultaneamente.

1872 O solo experimental foi coletado em Campo Grande – MS, classificado como Neossolo
1873 Quartzarênico (Embrapa, 2018) com a seguinte composição química: pH (CaCl₂) = 5,79; Ca²⁺
1874 (cmol_cdm⁻³) = 1,70; Mg²⁺ (cmol_cdm⁻³) = 1,07; K⁺ (cmol_cdm⁻³) = 0,15 Al³⁺ (cmol_cdm⁻³) = 0,00;
1875 H⁺+Al (cmol_cdm⁻³) = 1,15; Soma de bases (cmol_cdm⁻³) = 2,92; CTC potencial (cmol_cdm⁻³) = 4,07;
1876 CTC efetiva (cmol_cdm⁻³) = 2,92; Saturação por bases (%) = 71,7; saturação por alumínio (%) = 0,00;
1877 matéria orgânica (%) = 1,49 e P (mg.dm⁻³) = 44,6.

1878 Antes da semeadura, foi realizada adubação de implantação com 0,139 mg dm⁻³ de P;
1879 1389 mg dm⁻³ de calcário dolomítico, 67,63 mg dm⁻³ de S; 11,02 mg dm⁻³ de Zn; 11,02 mg dm⁻³ de
1880 Cu; 2,76 mg dm⁻³ de B e 1,37 mg dm⁻³ de Mo. Após a adubação, o solo foi incubado por 40 dias
1881 próximo a capacidade de campo, para reação dos nutrientes com solo. Cada unidade experimental
1882 foi constituída por um vaso contendo 2,55 dm⁻³ de solo, devidamente identificado, onde foram
1883 semeadas 50 sementes. Transcorridos 15 dias da semeadura realizou-se o desbaste permanecendo
1884 seis plantas por vaso.

Os experimentos foram delineados em blocos casualizados em esquema fatorial. O primeiro foi um fatorial 6x4 composto por seis cultivares (cvs) da espécie *Panicum maximum* cvs. Tanzânia-1, BRS Quenia, Mombaça, BRS Zuri, Massai e BRS Tamani, e quatro doses de K: 0, 41, 82 e 164 mg dm⁻³, com três repetições. O segundo experimento foi um fatorial 9x4 composto pelas forrageiras das espécies: *Brachiaria brizantha* cvs. Xaraés, BRS Piatã, Marandu, BRS Paiaguás, BRS Ipyporã (híbrido *B. ruziziensis* e *B. brizantha*); *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk; *Brachiaria humidicola* cvs. Comum e Tupi e *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruziziensis, e quatro doses de K: 0, 205, 410 e 820 mg dm⁻³, com três repetições.

A cada 28 dias toda a forragem de cada unidade experimental foi cortada em alturas pré-estabelecidas. Todas as cultivares de *Brachiaria spp.* foram cortadas a altura de 15 cm a partir do nível do solo; e as de *Panicum maximum* de menor porte Massai e Tamani manejadas a 15 cm, e as demais (Tanzânia-1, Quênia, Mombaça e Zuri) com 20 centímetros de resíduo após o corte. Esse material foi acondicionado em sacos de papel, seco, moído e encaminhado para determinação da composição química. O intervalo entre os cortes foi considerado ciclo de rebrota.

Após cada corte, foram feitas adubações com cloreto de potássio (KCl) diluído em água e aplicado no solo com o auxílio de uma pipeta graduada em mililitros de acordo com os tratamentos propostos. A adubação nitrogenada foi igual para todos os tratamentos e correspondeu a 100 mg dm⁻³ de N. Para avaliação da severidade da mancha marrom e da mancha foliar foi utilizado a escala diagramática elaborada por Martinez-Franzener, (2006) e modificada por Fernandes et al. (2011), (Figura 1).

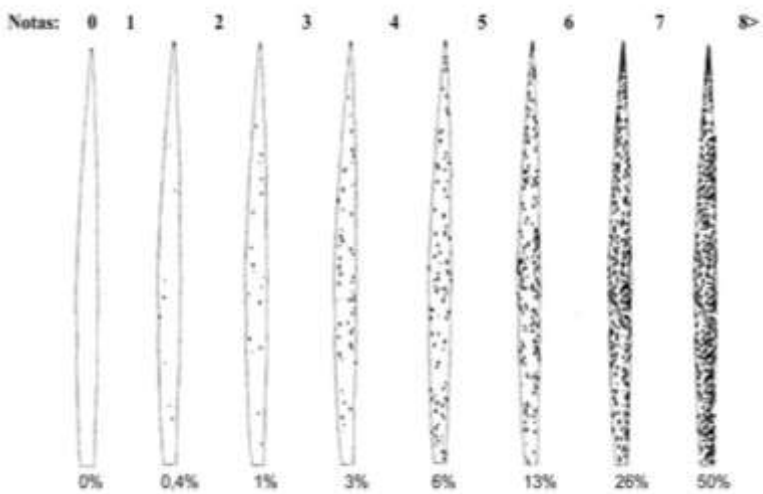


Figura 1. Escala diagramática de avaliação da mancha foliar causada por *Bipolaris maydis* em *Panicum maximum*, proposta por Martinez-Franzener (2006), modificada por Fernandes et al. (2011).

A quantificação dos sintomas causados pelo vírus do mosaico (*Johnsongrass mosaic virus*) foi feita com base em escala diagramática (Tabela 1), previamente elaborada com cinco níveis de severidade, expressas em notas:

Tabela 1. Escala de notas para avaliação da severidade do mosaico (*Johnsongrass mosaic virus*) em folhas de cultivares de *Brachiaria spp* e *Panicum maximum*.

Escala (Nota)	Descrição
1	Plantas sem sintomas aparente (porém podem conter vírus em estado latente), parecendo sadias, sem descoloração, deformação de tecidos ou nanismo.
2	Plantas com sintomas leve de mosaico ou amarelecimento, sem deformação ou nanismo.
3	Plantas com sintomas fortes de mosaico, deformação moderada e nanismo leve
4	Plantas com mosaico intenso e/ou necrose de tecidos, deformação de órgãos bem pronunciada e forte nanismo.
5	Todos os sintomas muito fortes com necrose e morte da planta em estágios mais avançados.

1916 Realizaram-se três avaliações das doenças, imediatamente antes dos cortes 2, 3 e 4. Com os
 1917 dados de severidade ao longo do tempo foram calculadas a área abaixo da curva de progresso da
 1918 doença (AACPD) para todas as doenças avaliadas (Shaner e Finney, 1977), expressas pela fórmula:

$$1919 \quad AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1}) \times 0,5] \times [t_{i+1} - t_i]$$

1920 Onde, n é o número de avaliações, x é a severidade da doença e $[t_{i+1} - t_i]$ é o intervalo de avaliações
 1921 consecutivas.

1922 As amostras de planta inteira, cortadas e acondicionadas em sacos de papel, foram secas em
 1923 estufas de circulação forçada de ar a 55 °C, até obtenção de peso constante, em seguida moídas em
 1924 moinho de facas tipo Willey com peneira de 1 mm. Em laboratório quantificaram-se a matéria seca
 1925 – MS, teor de proteína bruta – PB, fibra em detergente neutro – FDN, fibra em detergente ácido –
 1926 FDA, matéria mineral – MM, porcentagens da digestibilidade da matéria orgânica - DIG_{MO}, teor de
 1927 lignina – LIG, sílica e celulose usando o sistema de espectroscopia de reflectância de luz próxima
 1928 do infravermelho (NIRS), de acordo com os procedimentos descritos por Marten et al., (1984). Para
 1929 essas análises curvas de calibração no NIRS foram feitas usando um software modelo 5000 (FOSS,
 1930 Hilleroed, Dinamarca) tipo V1.02.

1931 As correlações foram obtidas pela análise de correlação de Pearson e teste *t*, considerando
 1932 significância para $P \leq 0,05$. O critério de classificação do coeficiente de correlação foi *r* maior que
 1933 70% significando associação forte, e moderado quando o *r* foi menor ou igual a 70% e maior que
 1934 30%.

1935 Os dados obtidos com a avaliação das doenças foram transformados para
 1936 $\sqrt{SEV+0,04}$ e submetidos às análises de variância e regressão. O modelo matemático continha o
 1937 efeito fixo das cultivares, das doses de potássio e a interação entre elas. O efeito das cultivares foi
 1938 avaliado pelo teste de Tukey à significância de 5%. O efeito das doses de K foi analisado por
 1939 equação de regressão. Os modelos lineares e quadráticos foram testados e selecionou-se o modelo

de acordo com a significância dos coeficientes de regressão, adotando-se o nível de 5% de probabilidade e o coeficiente de determinação (R^2).

3. RESULTADOS

Na estatística descritivas das doenças e da composição química das forrageiras avaliadas nos experimentos 1 e 2 (Tabela 2), foram observados maiores coeficientes de variação para a severidade da mancha marrom para as cvs de *Panicum maximum* e mancha foliar para as cvs. de *Brachiaria* spp. e para o teor de Sílica. Os demais parâmetros avaliados apresentaram pouca variação.

TABELA 2 – Estatística descritiva resumida dos parâmetros observados na composição química e severidade das doenças em diferentes cultivares forrageiras.

Variáveis	Experimento	N	Média $\pm$ DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
Mancha marrom	1	79	26,72 $\pm$ 26,01	5,60	76,93	97,36
Mancha foliar	2	104	19,56 $\pm$ 22,20	5,60	109,86	113,50
Vírus do mosaico	1	71	69,52 $\pm$ 10,12	56,28	98,17	14,56
	2	108	70,45 $\pm$ 11,24	56,28	100,21	15,96
Matéria seca (%)	1	72	91,65 $\pm$ 1,29	89,52	93,20	0,89
	2	96	90,88 $\pm$ 0,78	88,17	92,69	0,86
Matéria mineral (%)	1	72	5,56 $\pm$ 1,29	3,48	8,91	23,24
	2	96	5,97 $\pm$ 5,97	3,58	9,51	21,44
Proteína bruta (%)	1	72	7,61 $\pm$ 1,61	5,13	12,10	21,25
	2	96	8,96 $\pm$ 2,66	5,05	16,51	29,73
FDN (%)	1	72	71,18 $\pm$ 1,61	62,93	80,57	6,13
	2	96	68,22 $\pm$ 5,67	50,84	77,14	8,31
FDA (%)	1	72	38,93 $\pm$ 2,09	34,50	44,73	5,38
	2	96	35,63 $\pm$ 3,02	27,90	41,49	8,48
DIGMO (%)	1	72	43,95 $\pm$ 5,26	35,10	55,49	11,97
	2	96	51,29 $\pm$ 5,27	37,59	65,43	10,29
Lignina (%)	1	72	3,52 $\pm$ 0,55	2,30	4,90	15,66

	2	96	$3,63 \pm 0,49$	2,47	4,66	13,66
Celulose (%)	1	72	$33,95 \pm 1,94$	27,52	38,75	5,73
	2	96	$30,45 \pm 3,68$	21,26	37,58	12,12
Sílica (%)	1	72	$1,61 \pm 1,03$	0	4,44	63,91
	2	96	$0,76 \pm 0,99$	-0,01	3,14	116,99

N = número de observações; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação

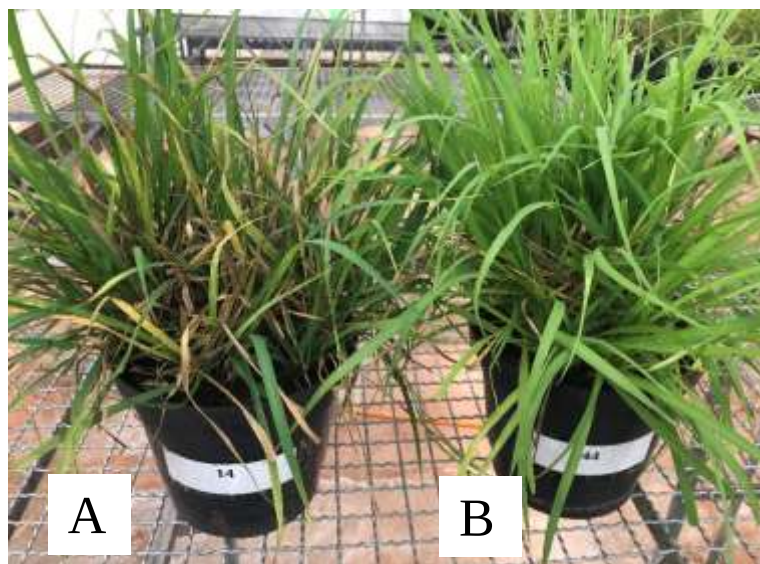
Houve interação entre dose de potássio x cultivar para a severidade a mancha marrom

($P=0,0001$) e vírus do mosaico ($P=0,0001$) nas cultivares de *Panicum maximum*, experimento 1, (Tabela 3). A aplicação de doses crescentes de K no solo foi responsável pela diminuição da mancha marrom nas cvs. Tanzânia-1, Quênia, Mombaça, Zuri, Massai e Tamani. Na ausência de adubação potássica, uma maior severidade da mancha marrom foi observada na cv. Massai, menor na Tanzânia-1 e intermediária nas demais; já na dose de 205 mg dm^{-3} de K, maior severidade a mancha marrom foi observada na cv. Mombaça, menor na Tanzânia-1 e valores intermediários nas demais. As forrageiras avaliadas nas doses 410 e 820 mg dm^{-3} de K não expressaram sintomas da doença.

TABELA 3 – Severidade da mancha marrom e vírus do mosaico (*Johnsongrass mosaic virus*) em cultivares de *Panicum maximum* em resposta às diferentes doses de potássio expressas em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).

Cultivares	Doses K (mg dm^{-3})				Equação	R^2
	0	41	82	164		
Mancha marrom (AACPD)						
Tanzânia-1	36,53c	5,60c	5,60 ^a	5,60a	$\hat{Y}=24,160-0,150K$	0,89
Quênia	50,20b	24,05b	5,60 ^a	5,60a	$\hat{Y}=39,742-0,256K$	0,72
Mombaça	54,62b	71,28a	5,60 ^a	5,60a	$\hat{Y}=61,284-0,376K$	0,61
Zuri	60,92ab	5,60c	5,60 ^a	5,60a	$\hat{Y}=59,016-0,183K$	0,89
Massai	69,18a	22,12b	5,60 ^a	5,60a	$\hat{Y}=50,361-0,344K$	0,65
Tamani	58,23ab	27,01b	5,60 ^a	5,60a	$\hat{Y}=59,276-0,254K$	0,69
Vírus do mosaico (AACPD)						
Tanzânia-1	62,06a	78,98a	93,72 ^a	91,93a	$\hat{Y}=71,140+0,043K$	0,99
Quênia	58,20a	67,74a	65,91b	68,87b	$\hat{Y}=61,430+0,052K$	0,68
Mombaça	67,74a	71,60a	72,28ab	70,13b	$\hat{Y}=71,717+0,052K$	0,63
Zuri	67,74a	72,50a	74,77ab	72,16b	$\hat{Y}=68,216+0,136K$	0,88
Massai	58,20a	68,87a	76,58ab	60,13b	$\hat{Y}=57,579+0,416K-0,002K^2$	0,98
Tamani	58,20a	72,72a	65,02b	67,74b	$\hat{Y}=60,519+0,183K-0,008K^2$	0,60

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).



1974

1975 Figura 1 – Sintomas de mancha marrom em *Panicum maximum* cv Massai na ausência e adubação
1976 potássica (A), e com aplicação de 410 mg dm^{-3} de potássio ao solo (B).

1977

1978 Os resultados da infecção pelo vírus do mosaico se ajustaram a um modelo linear crescente de
1979 regressão nas cultivares Tanzânia-1, Quênia, Mombaça e Zuri. Entretanto, nas cvs. Massai e Tamani,
1980 os resultados observados para o vírus do mosaico podem ser explicados por meio de equação
1981 quadrática de regressão com ponto de máxima estimado na cv. Massai quando aproximadamente
1982 $436,05 \text{ mg dm}^{-3}$ de K fossem adicionados ao solo com severidade a doença de 75,13. E na cv. BRS
1983 Tamani, o ponto de máxima foi estimado na dose $522,35 \text{ mg dm}^{-3}$ de K com média de severidade a
1984 doença de 70,09.

1985

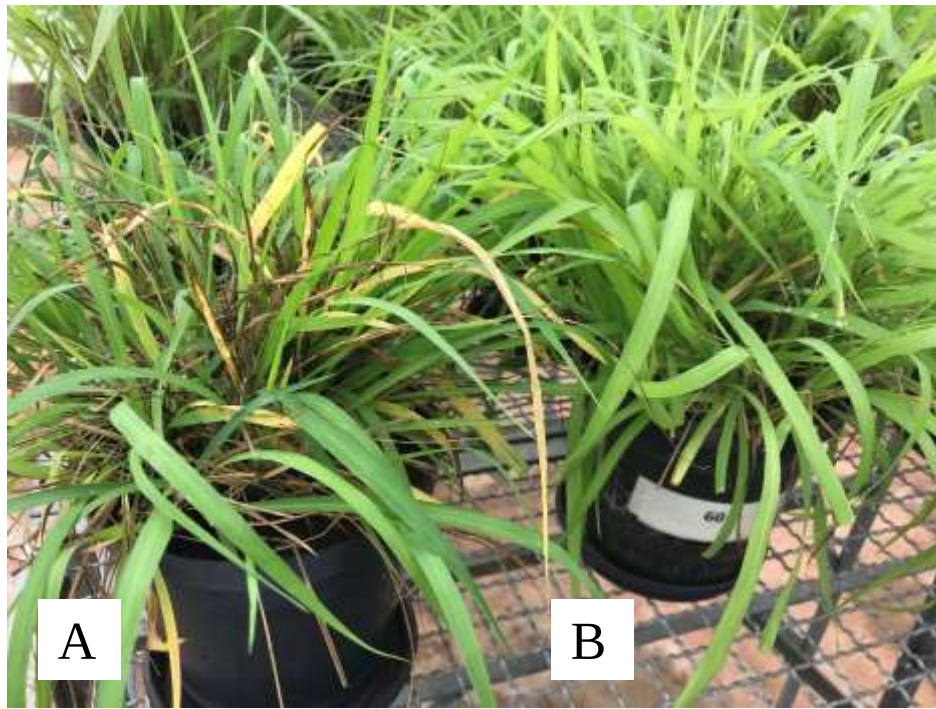


Figura 2 – Sintoma de vírus do mosaico *Johnsongrass mosaic virus*, em função da ausência de adubação (A) e do fornecimento de 820 mg dm^{-3} de K (B) em *Panicum maximum* cv Tamani.

As respostas observadas da infecção por mancha marrom correlacionaram-se negativamente com o teor de MS, FDN, MM e celulose, e positivamente com PB e Sílica, e não mostrou correlação com FDA, DIG_{MO} e lignina (Tabela 4). Já o vírus do mosaico correlacionou-se negativamente com MS, PB, e MM e positivamente com FDN e celulose, no entanto não mostrou correlação significativa com FDA, DIG_{MO} , lignina e sílica.

TABELA 4 – Correlações de Pearson entre variáveis da composição química, severidade da mancha marrom e vírus do mosaico em cultivares de *Panicum maximum*.

Variáveis											V.
	MS	FDN	FDA	PB	MM	DIG_{MO}	LIG	CEL	Sílica	M. Marrom	mosaico
MS	1,00	0,78*	-0,12*	-0,75*	-0,89*	0,37 ^{ns}	0,46*	0,71 ^{ns}	-0,89*	-0,61*	-0,42*
FDN	-	1,00	0,34 ^{ns}	-0,41*	-0,75*	-0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,87*	-0,71*	-0,53*	0,41*
FDA	-	-	1,00	0,27 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,78*	0,85*	0,44*	0,18 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}

PB	-	-	-	1,00	0,72*	-0,43*	0,55*	-0,48*	0,78*	0,51*	-0,50*
MM	-	-	-	-	1,00	-0,46*	0,56*	-0,70*	0,92*	-0,61*	-0,41*
DIG _{MO}	-	-	-	-	-	1,00	-0,89*	-0,07 ^{ns}	-0,39*	-0,28 ^{ns}	0,03 ^{ns}
LIG	-	-	-	-	-	-	1,00	0,05*	0,48*	0,28 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
CEL	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,75*	-0,39*	0,24*
Silica	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,57	-0,37 ^{ns}
M. Marrom	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,48*
V. mosaico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

2000 Asteriscos indicam significância a $P < 0,05$ (*); ns = não significativo; MS = Matéria seca; FDN = Fibra em detergente
 2001 neutro; FDA – Fibra em detergente ácido; PB = Proteína Bruta; MM = Matéria Mineral; DIG_{MO} = Digestibilidade da
 2002 matéria orgânica; LIG = Lignina; CEL = Celulose; M. Marrom = Mancha marrom; V. mosaico = Vírus do mosaico.
 2003

2004 No experimento 2 foram verificadas interações entre dose de potássio x cultivar para a mancha
 2005 foliar ocasionada por *Bipolaris maydis* ($P=0,0001$) e para vírus do mosaico *Johnsongrass mosaic*
 2006 *virus* ($P=0,0001$), (Tabela 5). Os resultados para a severidade da mancha foliar se ajustaram ao
 2007 modelo linear decrescente de regressão para as cvs. Basilisk, Tupi, Ruziziensis, Xaraés, Piatã,
 2008 Paiaguás e Ipyporã, onde os valores observados reduziram a medida em que se aumentaram as doses
 2009 de K avaliadas.

2010 Nas cvs. Comum e Marandu, os resultados se ajustaram a uma equação quadrática de regressão,
 2011 com ponto mínimo estimado na dose de 591,75 mg dm⁻³ de K com valor médio de 2,62 de severidade
 2012 da doença para a cv. Comum, e na dose 529,9 mg dm⁻³ de K com aproximadamente 5,04 de severidade
 2013 da doença na cv. Marandu. Uma maior severidade da mancha foliar foi observada na cv. Basilisk nos
 2014 tratamentos onde houve ausência de adubação potássica e onde foi aplicada a maior dose de K, entre
 2015 as doses intermediárias (205 e 410 mg dm⁻³ de K) não houve diferença entre as cultivares para a
 2016 severidade da mancha foliar.

2017

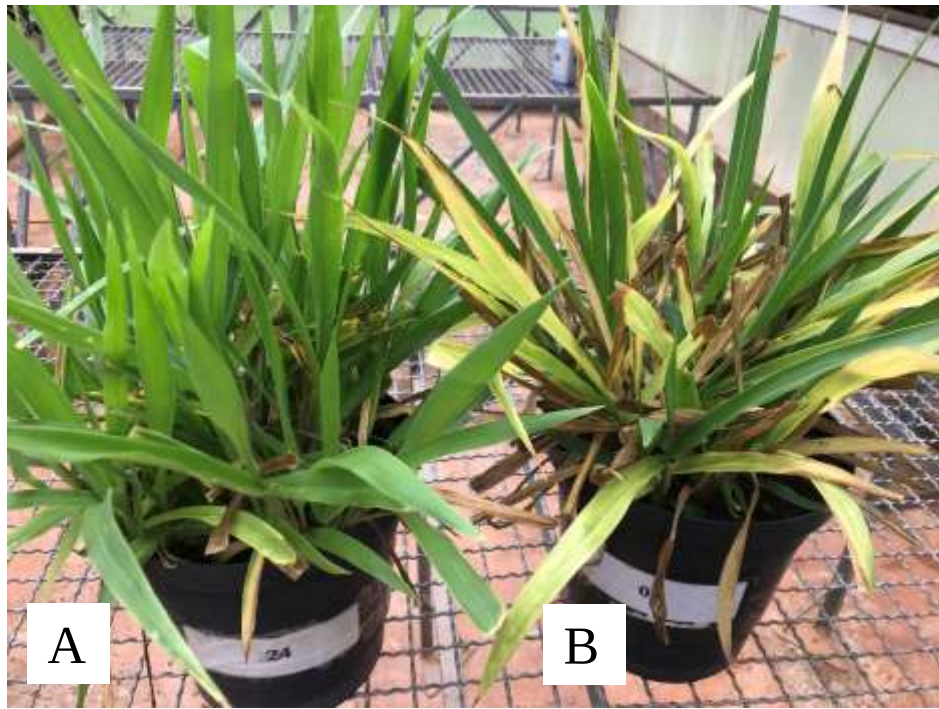


Figura 3 - Sintoma de mancha foliar (*Bipolaris maydis*), em função do fornecimento de 205 mg dm⁻³ de potássio (A) e da ausência de adubação (B) na cultivar Ipyporã (híbrido *B. ruziziensis* e *B. brizantha*).

As respostas observadas para a severidade do vírus do mosaico se ajustaram a uma equação de regressão com comportamento linear crescente para as cvs. Basilisk, Comum, Tupi, Ruziziensis, Marandu, Xaraés e Ipyporã (Tabela 5). Entre as cultivares não houve diferença na ausência de adubação para a severidade do vírus do mosaico, já para as doses 205 e 410 mg dm⁻³ de K, uma maior severidade da doença foi verificada na cv. Marandu e menor severidade na cv. Comum, valores intermediários foram observados nas demais cultivares. Na dose 820 mg dm⁻³ de K uma maior severidade da doença foi verificada nas cvs. Marandu e Xaraés e menor severidade nas cvs. Basilisk, Piatã e Paiaguás.

TABELA 5 – Severidade da mancha foliar (*Bipolaris maydis*) e do vírus do mosaico *Johnsongrass mosaic virus* em cultivares de *Brachiaria* spp. em resposta às diferentes doses de potássio expressas em área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)

Doses K (mg dm⁻³)

	0	205	410	820		
Cultivares	Mancha foliar (AACPD)				Equação	R ²
Basilisk	99,12a	5,60a	5,60 ^a	22,12a	$\hat{Y}=60,026-0,403K$	0,68
Comum	33,33cd	5,60a	11,75 ^a	5,60b	$\hat{Y}=30,057+0,463K-0,001K^2$	0,74
Tupi	40,35c	22,12a	17,90 ^a	14,04b	$\hat{Y}=32,216-0,091K$	0,61
Ruzizienses	17,90d	5,60a	5,60 ^a	5,60b	$\hat{Y}=12,980-0,060K$	0,89
Marandu	69,45ab	5,60a	17,90 ^a	9,45b	$\hat{Y}=26,131+0,572K-0,005K^2$	0,97
Xaraés	71,31b	5,60a	5,60 ^a	5,60b	$\hat{Y}=59,016-0,183K$	0,89
Piatã	21,67cd	5,60a	5,60 ^a	5,60b	$\hat{Y}=15,246-0,078K$	0,89
Paiaguás	32,08cd	15,97a	18,27 ^a	5,60b	$\hat{Y}=28,175-0,142K$	0,86
Ipyporã	27,01cd	5,60a	5,60 ^a	5,60b	$\hat{Y}=19,290-0,101K$	0,64
Vírus do mosaico (AACPD)						
Basilisk	58,20a	74,65ab	63,54cd	72,38de	$\hat{Y}=59,016+0,183K$	0,72
Comum	63,98a	56,28c	56,28d	84,21abc	$\hat{Y}=55,318+0,137K$	0,83
Tupi	56,28a	70,80abc	70,80abcd	79,21bcd	$\hat{Y}=60,404+0,123K$	0,82
Ruzizienses	60,13a	65,02bc	67,74cd	75,45cde	$\hat{Y}=60,546+0,091K$	0,99
Marandu	67,39a	79,98a	83,51a	91,61a	$\hat{Y}=76,809+0,051K$	0,99
Xaraés	65,02a	76,70ab	82,48ab	93,86a	$\hat{Y}=67,416+0,168K$	0,96
Piatã	58,20a	79,54ab	68,87bcd	65,46de	$\hat{Y}=61,313+0,316K-0,001K^2$	0,60
Paiaguás	59,68a	72,84ab	74,09abc	68,99de	$\hat{Y}=60,454+0,319K-0,001K^2$	0,94
Ipyporã	60,13a	77,16ab	62,06cd	83,64abc	$\hat{Y}=62,630+0,113K$	0,67

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na coluna diferem pelo teste de Tukey (P < 0,05).

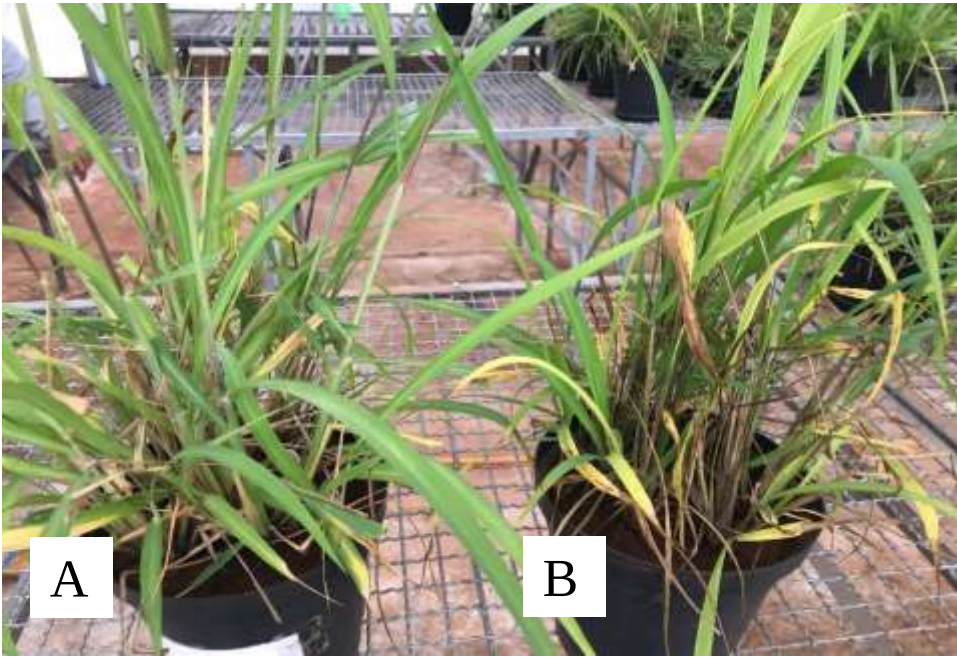


Figura 4 – Sintoma de vírus do mosaico *Johnsongrass mosaic virus*, em função do fornecimento de potássio no solo (A) e da ausência de adubação potássica (B).

A mancha foliar correlacionou-se positivamente com PB, MM e Sílica, e não mostrou correlação significativa com MS, FDN, FDA, DIG_{MO}, LIG e celulose (Tabela 6). Já o vírus do

2046 mosaico correlacionou-se negativamente com PB, DIG_{MO}, e sílica, e de forma positiva com FDN e
 2047 celulose, ao passo que, não mostrou correlação significativa com MS, FDA e LIG.

2048

2049 TABELA 6 – Correlações de Pearson entre variáveis da composição química, severidade da
 2050 mancha foliar e vírus do mosaico em cultivares de *Brachiaria* spp.

Variáveis	MS	FDN	FDA	PB	MM	DIG _{MO}	LIG	CEL	Sílica	M. folhas	Vírus
MS	1,00	0,77*	0,64*	-0,54*	-0,58*	0,02 ^{ns}	0,54*	0,75*	-0,71*	-0,27 ^{ns}	0,33 ^{ns}
FDN	-	1,00	0,83*	-0,85*	-0,89*	-0,37*	0,72*	0,93*	-0,89*	-0,41 ^{ns}	0,45*
FDA	-	-	1,00	-0,85*	-0,62*	-0,24 ^{ns}	0,91*	0,96*	-0,57*	-0,13 ^{ns}	0,27 ^{ns}
PB	-	-	-	1,00	0,87*	0,57*	-0,57*	-0,79*	0,87*	0,42*	-0,53*
MM	-	-	-	-	1,00	0,55*	-0,45*	-0,75*	0,90*	0,46*	-0,47*
DIG _{MO}	-	-	-	-	-	1,00	-0,03 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,41*	0,17 ^{ns}	-0,39*
LIG	-	-	-	-	-	-	1,00	0,88*	-0,47*	-0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}
CEL	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,75*	-0,22 ^{ns}	0,37*
Sílica	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,45*	-0,46*
M. foliar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,37 ^{ns}
Vírus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

2051 Asteriscos indicam significância a $P < 0,05$ (*); ns = não significativo; MS = Matéria seca; FDN = Fibra em detergente
 2052 neutro; FDA – Fibra em detergente ácido; PB = Proteína Bruta; MM = Matéria Mineral; DIGMO = Digestibilidade
 2053 da matéria orgânica; LIG = Lignina; CEL = Celulose; M. folhas = Mancha foliar; Vírus = Vírus do mosaico.

2054

2055 4. DISCUSSÃO

2056 Foi possível observar que as maiores doses de K avaliadas foram responsáveis por
 2057 uma redução na severidade da mancha marrom e da mancha foliar, com redução nas manchas
 2058 necróticas e descoloração do dossel, que pode estar relacionado a maior síntese de compostos de
 2059 alto peso molecular, consequência das altas concentrações de K responsáveis por reduzir os
 2060 sintomas prejudiciais de doenças fúngicas em plantas, como citado por Amtmann et al. (2008).

2061 O aumento da severidade ocasionado pelo vírus do mosaico nas cultivares Tanzania-
 2062 1, Quênia, Mombaça e Zuri indicou que a ação do patógeno foi influenciada pelo status nutricional
 2063 das plantas, que aumentou de maneira proporcional ao fornecimento do fertilizante no solo com
 2064 sintomas generalizados em todas as doses de K avaliadas. Isabella et al. (2017) também verificaram

2065 a influência da alta concentração foliar de NPK sobre o aumento do vírus disseminado pela mosca
2066 branca.

2067 Entretanto, nas cvs. Massai e Tamani, o ajuste dos resultados a uma equação quadrática
2068 indicou que as doses 435 e 520 mg dm⁻³ de K, respetivamente, foram suficientes para a máxima
2069 replicação viral do patógeno. Entre as forrageiras, a severidade média da doença na cv. Tanzania-1
2070 foi muito expressiva, fato que possibilita inferir que a mesma é mais suscetível ao vírus do mosaico
2071 quando comparada as demais cultivares de *Panicum*.

2072 Os resultados da correlação sugerem que o aumento da mancha marrom reduziu a
2073 porcentagem de matéria seca, entretanto, Anjos et al., (2004) quando estudaram a ocorrência de *B.*
2074 *maydis* na cv. Pojuca observaram que embora o surgimento de lesões cloróticas e necróticas comuns
2075 nesse tipo de doença, pudessem influenciar de forma negativa a porcentagem de matéria seca, esta
2076 característica também é influenciada pela fase de desenvolvimento da planta.

2077 O mesmo padrão de resposta era esperado nas correlações entre mancha marrom e FDN, e,
2078 mancha marrom e celulose, uma vez que, durante o processo de infecção os patógenos produzem
2079 enzimas extracelulares que atuam na degradação e consequente redução dos componentes da parede
2080 celular (celulose, hemicelulose e lignina) (Cano et al., 2004). Entretanto, verificou-se que os teores
2081 médios de FDN se mantiveram dentro do limite considerado satisfatório para forrageiras manejadas
2082 sob efeito de adubação, de acordo com Alencar, et al., (2014), que podem ser reflexo do rápido
2083 alongamento da folha dos capins devido ao aumento da adubação potássica, onde a participação do
2084 constituinte parede celular é maior e consequentemente, a FDN (Gerdes et al., 2000).

2085 Quanto ao resultado das correlações negativas entre o vírus do mosaico e matéria mineral, é
2086 possível que ocorreu redução de minerais como potássio, magnésio e ferro nos tecidos infectados,
2087 devido a processos metabólicos de produção de compostos bioquímicos, para defesa das células
2088 hospedeiras ao agente infeccioso citados por Martinez et al. (2010), que pode ocorrer tanto em
2089 cultivares de maior resistência ao ataque de patógenos como naquelas suscetíveis.

2090 Para as cultivares de *Brachiaria*, a redução na severidade da mancha foliar nas cvs. Basilisk,
2091 Tupi, Ruziziensis, Xaraés, Piatã, Paiaguás e Ipyporã, com o incremento das doses de K podem estar
2092 relacionadas a ação sistêmica do nutriente na melhoria da fotossíntese, e translocação de nutrientes
2093 citadas por Huber et al., (2011), como inibidor da ação do fungo *B. maydis* que afeta a
2094 permeabilidade da membrana e prejudicam a translocação de nutrientes. Nas cultivares Marandu e
2095 Comum, foi possível observar a eficiência da fertilização com K na redução da severidade causada
2096 pela mancha foliar, podendo assim melhorar a saúde da planta mas não controlar completamente a
2097 doença.

2098 O mesmo padrão nos resultados de severidade causada pelo vírus do mosaico nas cultivares do
2099 gênero *Panicum* se repetiu nas cultivares de *Brachiaria* spp. O aumento nos sintomas foi
2100 proporcional ao aumento das doses de K aplicadas ao solo. Tal fato se assemelha aos mencionados
2101 por Wagner et al. (2017), onde a aplicação combinada de níveis crescentes de NPK apesar de
2102 contribuir para o melhor rendimento da cultura com maior altura e maior proporção de folhas verdes,
2103 também contribuiu para que plantas acometidas com a doença apresentassem sintomas mais
2104 drásticos.

2105 Apesar da variação entre as forrageiras, majoritariamente, os maiores graus de severidade do
2106 vírus do mosaico foram observados na cv. Marandu, evidenciando um baixo grau de resistência
2107 dessa cultivar à doença. Entretanto, os valores diferiram pouco dos observados nas demais
2108 cultivares, o que gerou dúvida quanto a sua menor resistência ao vírus, reforçado pela falta de
2109 identificação de uma forrageira que apresentasse um maior grau de resistência.

2110 O manejo da fertilidade do solo por meio do aumento da fertilização potássica influenciou
2111 negativamente a resposta das forrageiras para o vírus do mosaico e positivamente a resistência para
2112 as manchas marrom e mancha foliar. Dessa forma, era esperado que houvesse redução na quantidade
2113 de PB, entretanto, os teores de proteína das cultivares de *Brachiaria* não foram influenciados, o que
2114 indica que mesmo com a presença de manchas e lesões presentes em todos os níveis de K avaliados,

2115 não houve comprometimento do teor de PB nessas forrageiras, o que também foi observado no teor
2116 de PB nas cultivares de *Panicum maximum*.

2117 Isso ajuda a explicar a correlação positiva entre a mancha foliar e PB, revelando que,
2118 independente da presença do patógeno, não houve prejuízo no conteúdo de proteína bruta nas
2119 forrageiras, provavelmente justificado pela característica benéfica do K de melhorar a absorção de
2120 demais nutrientes do solo (Hou et al., 2019). Além disso, a ausência de correlação entre mancha
2121 foliar e a FDA, pode remeter a possibilidade de que a presença do fungo na planta tenha causado
2122 maiores danos sobre outros componentes da parede celular, com menor ação sobre a lignina e
2123 celulose, uma vez que, são os principais representantes da FDA (Martinez et al., 2010).

2124

2125 5. CONCLUSÃO

2126 O aumento da fertilidade do solo por meio da aplicação de doses crescentes de K
2127 proporcionou maior resistência à mancha marrom e a mancha foliar, e menor resistência ao vírus do
2128 mosaico, devido a clorose das folhas presente em todas as doses de K avaliadas.

2129 A clorose e a necrose, comuns entre as doenças avaliadas, não promoveram alterações em
2130 aspectos relacionados à qualidade da forragem, sem comprometer os teores de proteína bruta e de
2131 FDN (componentes de parede celular).

2132

2133 6. AGRADECIMENTOS

2134 Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –
2135 Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. O apoio da Universidade Federal de Mato Grosso
2136 do Sul, do CNPq e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte).

2137

2138 7. REFERÊNCIAS

2139

- 2140 Alencar C.A.B, Martins C.E, Oliveira R.A, Cóser A.C, Cunha F.F. Bromatologia e digestibilidade
 2141 de gramíneas manejadas por corte submetidas à adubações nitrogenadas e estações anuais.
 2142 Biosci J. 2014;30:8-15.
- 2143 Amtmann A, Troufflard S, Armengaud P. The effect of potassium nutrition on pest and disease
 2144 resistance in plants. In: Physiologia Plantarum; Physiol Plant; 2008;1:682-91.
 2145 <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2008.01075.x>
- 2146 Anjos J. R. N, Charchar M.J.A, Teixeira R.N, Anjos S.S.N. Ocorrência de *Bipolaris maydis* causando
 2147 mancha foliar em *Paspalum atratum* cv. Pojuca no Brasil. Fitopatol Bras. 2004;29:656-8.
 2148 <https://doi.org/10.1590/s0100-41582004000600010>
- 2149 Asghar M, Qadeer B.m.M, Chaudhary S, Ali M.A. Evaluation of difenoconazole along with
 2150 macronutrients spray for the control of brown leaf spot (*Bipolaris oryzae*) disease in rice (*Oryza*
 2151 *sativa*) crop. Sarhad J Agric. 2019;35:1-6. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2019/35.1.1.6>
- 2152 Cano C.C.P, Cecato U, Canto M.W do, Santos G.T dos, Galbeiro S, Martins E.N, Mira R.T. Valor
 2153 nutritivo do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) pastejado em diferentes
 2154 alturas. Rev Bras Zootec. 2004;33:1959-68. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000800006>
- 2155 Charchar MJ d. A, Anjos JRN dos, Silva MS, Silva WA de M. Mancha foliar em capim-elefante no
 2156 Cerrado do Brasil Central causada por *Bipolaris maydis*. Pesqui Agropecu Bras. 2008;43:1637-
 2157 9. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008001100025>
- 2158 Embrapa Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2018. Disponível em:
 2159 <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>
- 2160 Fernandes, C.D.; Chermouth, K.S.; Jank, L.; Mallmann, G.; Fernandes, E.T.; Queiróz, C.A.; Carvalho,
 2161 C.; Quetez, F.A.; Silva, M.J.; Batista, M.V. Reação de híbridos de *Panicum maximum* à mancha
 2162 das folhas em condições de infecção natural. In: International Symposium on Forage Breeding,
 2163 3., 2011, Bonito. Anais. Bonito: Embrapa Gado de Corte, 2011:59-61.
- 2164

- 2165 Gerdes L, Werner J.C, Colozza M.T, Possenti R.A, Schammas E.A. Avaliação de características
 2166 de valor nutritivo das gramíneas forrageiras Marandu, Setária e Tanzânia nas estações do Ano.
 2167 Rev Bras Zootec. 2000;29:955-63. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982000000400003>
- 2168 González L.C, Leonides De M.P. R, Silva C. C.N, Barbosa da S. J. F. G. Desarrollo de la mancha
 2169 foliar por *Bipolaris maydis* (teleomorfo: *Cochliobolus heterostrophus*) en maíz dulce, en función
 2170 de nitrógeno, potasio y silicio en invernadero. Cienc Tecnol Agropecu. 2020;21:1-15.
 2171 https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1508
- 2172 Guo, Y., Gao, P., Li, F. *et al.* Effects of AM fungi and grass endophytes on perennial ryegrass
 2173 *Bipolaris sorokiniana* leaf spot disease under limited soil nutrients. *Eur J Plant Pathol* **154**, 659–
 2174 671 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10658-019-01689-z>
- 2175 Gupta, P. K., Chand, R., Vasistha, N. K., Pandey, S. P., Kumar, U., Mishra, V. K., et al. (2018a). Spot
 2176 blotch disease of wheat: the current status of research on genetics and breeding. *Plant Pathol.*
 2177 67, 508–531. doi: 10.1111/ppa.12781
- 2178 Hou W, Xue X, Li X, Khan M.R, Yan J, Ren T, Cong R, Lu J. Interactive effects of nitrogen and
 2179 potassium on: Grain yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of rice in low potassium
 2180 fertility soil in China. *F Crop Res.* 2019;236:14-23. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.03.006>
- 2181 Huber D, Römheld V, Weinmann M. Relationship between Nutrition, Plant Diseases and Pests.
 2182 Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants: Third Edition. Elsevier Inc.; 2011;9:283-98. .
 2183 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00010-8>
- 2184 IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados definitivos. Censo Agropecuário. 2019. Disponível em:
 2185 <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>
- 2186 Isabella, K.E, Hassan W, Vitalis O, Hannington O, Moses W. Effect of modified spacing
 2187 arrangements, fertilizer use and legume intercrop on prevalence of cassava brown streak disease
 2188 in Western Kenya. *African J Agric Res.* 2017;12:3181-3198.
 2189 <https://doi.org/10.5897/ajar2017.12667>
- 2190 Jank L, Martuscello JA, Euclides VPB, Valle CB do, Resende RMS. *Panicum maximum*. Plantas

- 2191 Forrageiras. 2010:166-96
- 2192 Lara L.A., Santos MF, Jank L, Chiari L, Vilela M de M, Amadeu RR, dos Santos JPR, Pereira G da
 2193 S, Zeng Z-B, Garcia AAF. Genomic Selection with Allele Dosage in *Panicum maximum* Jacq.
 2194 2019;9:2463-75. <https://doi.org/10.1534/g3.118.200986>
- 2195 Maia N. da C, Souza P.N da C, Godinho B.T.V, Moreira S.I, de Abreu L.M, Jank L, Cardoso P.G.
 2196 Fungal endophytes of *Panicum maximum* and *Pennisetum purpureum*: Isolation, identification,
 2197 and determination of antifungal potential. Rev Bras Zootec. 2018;47.
 2198 <https://doi.org/10.1590/rbz4720170183>
- 2199 Marchi, C.E., Fernandes, C.D.; Verzignassi, J.R. **Doenças em plantas forrageiras**. 2011 Disponível
 2200 em: <http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/doc/DOC184.pdf>
- 2201 Marcos M.F, Jank L., Fernandes C.D, Verzignassi J.R, Mallmann G., Queiróz C.A, Batista M.V.
 2202 Reação à *Bipolaris maydis*, agente causal da mancha foliar, em híbridos apomíticos de *Panicum*
 2203 *maximum*. Summa Phytopathol. 2015;41:197-201. <https://doi.org/10.1590/0100-5405/2078>
- 2204 Marten G.C, Brink G.E, Buxton D.R, Halgerson J.L, Hornstein J.S. Near Infrared Reflectance
 2205 Spectroscopy Analysis of Forage Quality in Four Legume Species. Crop Sci. 1984;24:1179-82.
 2206 <https://doi.org/10.2135/cropsci1984.0011183X002400060040x>
- 2207 Martinez A.S, Franzener G, Stangarlin J.R. Damages caused by *Bipolaris maydis* in *Panicum*
 2208 *maximum* cv. Tanzânia. Semin Agrar. 2010;31:863-70. [https://doi.org/10.5433/1679-](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4p863)
 2209 [0359.2010v31n4p863](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2010v31n4p863)
- 2210 Martinez, A.S. Avaliação do dano provocado por *Bipolaris maydis* em *Panicum maximum* cv.
 2211 Tanzânia-1.2006. 33p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste
 2212 do Paraná, Marechal Candido Rondon.
- 2213 Oosterhuis D.M, Loka D.A, Kawakami E.M, Pettigrew W.T. The physiology of potassium in crop
 2214 production. Elsevier; 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1>
- 2215 Paraíso I.G.N, Silva D.S.M, Carvalho, A.P.S, Sollenberger L.E., Pereira D.H, Euclides V.P.B,
 2216 Pedreira B.C. Herbage Accumulation, Nutritive Value, and Organic Reserves of Continuously

- 2217 Stocked ‘Ipyporã’ and ‘Mulato II’ *Brachiaria* grasses. Crop Sci. 2019;59:2903-14.
 2218 <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.06.0399>
- 2219 Romero A., Munévar F., Cayón G. Silicon and plant diseases. A review El silicio y las enfermedades
 2220 de las plantas. Una revisión. 2011;36:16-24 Disponível em:
 2221 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362015000500002&lng=es&nr
 2222 [m=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025859362015000500002&lng=es&nr)
- 2223 Santos G.R dos, Castro Neto M.D de, Ramos L.N, Sarmento R.A, Korndörfer G.H, Ignácio M. Effect
 2224 of silicon sources on rice diseases and yield in the State of Tocantins, Brazil. Acta Sci Agron.
 2225 2011;33. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i3.6573>
- 2226 Savary S, Castilla N.P, Elazegui F.A, Teng P.S. Multiple effects of two drivers of agricultural change,
 2227 labour shortage and water scarcity, on rice pest profiles in tropical Asia. F Crop Res.
 2228 2005;91:263-71. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.017>
- 2229 Shaner G, Finney R.E. The Effect of Nitrogen Fertilization on the Expression of Slow-Mildewing
 2230 Resistance in Knox Wheat. 1977. Disponível em:
 2231 <https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1977Articles/Phyto>
 2232 [o67n08_1051.PDF](https://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1977Articles/Phyto)
- 2233 Sharma S, Chander G, Verma T.S, Verma S. Soil Potassium Fractions in Rice-Wheat Cropping
 2234 System After Twelve Years of Lantana Residue Incorporation in a Northwest Himalayan Acid
 2235 Alfisol. J Plant Nutr. 2013;36:1809-20. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.815202>
- 2236 Silva K.N, Melo F.L, Orílio A.F, Nagata T, Silva M.S, Fernandes C.D, Fragoso R.R, Dessaune S.N,
 2237 Resende R.O. Biological and molecular characterization of a highly divergent *johnsongrass*
 2238 *mosaic virus* isolate from *Pennisetum purpureum*. Arch Virol. 2016;161:1981-6.
 2239 <https://doi.org/10.1007/s00705-016-2832-9>
- 2240 Silva V.J, Pedreira C.G.S, Sollenberger L.E, Silva L.S, Yasuoka JI, Almeida ICL. Canopy height and
 2241 nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of ‘Mulato II’
 2242 *Brachiaria* grass. Crop Sci. 2016;56:2054-61. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.12.0764>

- 2243 Skoracka, A., Lewandowski, M., Rector, B.G., Szydło, W. and Kuczyński, L. (2017) Spatial and host-
 2244 related variation in prevalence and population density of wheat curl mite (*Aceria tosichella*)
 2245 cryptic genotypes in agricultural landscapes. *PLoS One*, **12**, e0169874.
- 2246 Taiz L, Zeiger E, Moller IM, Murphy A. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 2017
- 2247 Tesk C.R.M, Cavalli J., Pina D.S, Pereira D.H, Pedreira C.G.S, Jank L., Sollenberger L.E, Pedreira
 2248 B.C. Herbage responses of Tamani and Quênia guineagrasses to grazing intensity. *Agron J*. 2020.
 2249 <https://doi.org/10.1002/agj2.20189>
- 2250 Trucco V, Cabrera Mederos D, Lenardon S, Giolitti F. First report of *johnsongrass mosaic virus* in
 2251 Argentina. *Australas Plant Dis Notes*. 2019a;14:12-5. [https://doi.org/10.1007/s13314-019-0365-](https://doi.org/10.1007/s13314-019-0365-2)
 2252 [2](https://doi.org/10.1007/s13314-019-0365-2)
- 2253 Wagner S.O, Iwanne L.C, Jessica R.S.O, Maria C.B.S.L, Thatiana M.S.A, Newton P.S, Emmanuella
 2254 V.N.S. Biological control of the bacterial wilt *Ralstonia solanacearum* by bioprotector with fungi
 2255 chitosan from *Cunninghamella elegans* on tomatoes. *African J Agric Res*. 2017;12:42-9.
 2256 <https://doi.org/10.5897/ajar2016.11748>
- 2257 Wosula, E.N., McMechan, A.J., Oliveira-Hofman, C., Wegulo, S.N. and Hein, G.L. (2016)
 2258 Differential transmission of two isolates of Wheat streak mosaic virus by five wheat curl mite
 2259 populations. *Plant Dis*. **100**, 154–158.