

**TAYSSA MENEZES FRANCO**

**PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA EM ÁREA COM REJEITO DE MINERAÇÃO  
DE FERRO SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Rubens Alves de Oliveira

Coorientadores: Fernando França da Cunha  
Odilon Gomes Pereira  
Paulo Roberto Cecon  
Carlos Augusto B. de Alencar

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus**

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T     | Franco, Tayssa Menezes, 1996-                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| F825p | Produção do capim-mombaça em área com rejeito de mineração de ferro                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 2023  | submetido a diferentes lâminas de água: / Tayssa Menezes Franco. - Viçosa, MG, 2023.                                                                                                                                                                                                                                               |
|       | 1 dissertação eletrônica (79 f.): il. (algumas color.).                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|       | Orientador: Rubens Alves de Oliveira                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|       | Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.                                                                                                                                                                                                                                |
|       | Referências bibliográficas: .                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|       | DOI: <a href="https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.229">https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.229</a>                                                                                                                                                                                                                               |
|       | Modo de acesso: World Wide Web.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|       | 1. Fertilidade do solo; 2. Solos - Descontaminação - Mariana (MG); 3. Solos - Teor de metais pesados; 4. Rejeitos (Metalurgia); 5. <i>Megathyrsus maximus</i> ; I. Oliveira, Rubens Alves de II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola III. Título |
|       | CDD 22. ed. 631.42                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

**TAYSSA MENEZES FRANCO**

**PRODUÇÃO DO CAPIM-MOMBAÇA EM ÁREA COM REJEITO DE MINERAÇÃO  
DE FERRO SUBMETIDO A DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 TAYSSA MENEZES FRANCO  
Data: 23/05/2023 15:18:22-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Tayssa Menezes Franco**  
Autora

Documento assinado digitalmente  
 RUBENS ALVES DE OLIVEIRA  
Data: 23/05/2023 18:13:41-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

---

**Rubens Alves de Oliveira**  
Orientador

*Ao meu esposo, Marcus Lima, meu alicerce e minha  
fonte de amor, inspiração e coragem.*

*À minha filha, Ana Elisa (TEA), que me ensinou a  
mais pura forma do amor, sem precisar de palavras.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, criador do Universo, pelo sopro de vida e por sempre estar ao meu lado.

Aos meus familiares, principalmente à minha mãe, Maria Menezes, à minha avó-mãe, Terezinha Batista e à minha irmã Thalyssia Jayne por todas as orações, pelo amor e pelo apoio durante esta caminhada.

À família do meu esposo, por todo incentivo e carinho durante estes dois anos.

Ao meu esposo, Marcus Lima, por ser meu maior incentivador, meu companheiro, minha fonte de paz e amor nos dias difíceis, meu melhor amigo, meu parceiro de profissão e o melhor pai que Ana Elisa poderia ter.

À minha filha, Ana Elisa, por ser diariamente a minha fonte de energia e exaustão, por ser o motivo do choro de alegria e de preocupação e por ser meu anjo de “coração azul”, que me ensina a buscar pela minha melhor versão diariamente.

Aos amigos que a Engenharia Agrícola me deu, Glória Milena e Felipe Viana, por terem sido meus irmãos, meus confidentes e muitas vezes minha mão de obra durante a pesquisa.

Aos meus estagiários, Vinícius e Thais, por terem me ajudado no momento em que fiquei sozinha com minha filha e por terem sido, por dias, meus olhos, meus braços e minhas pernas na área experimental e no laboratório.

Ao José Antônio, funcionário da Área Experimental de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa (UFV), MG, por seu profissionalismo e por ter feito eu me sentir em casa, mesmo que sob muito trabalho em dias de sol e chuva.

Aos meus colegas do Centro de Referência em Recursos Hídricos da UFV, Milena, Adelaide, Inácio, Lucas, Layane, Carla, Herli, Robson, Rafael, Fernanda e Policarpo, por fazerem os meus dias mais leves e mais produtivos.

Ao meu ilustríssimo orientador, professor Rubens Alves de Oliveira, por toda disponibilidade, pelos ensinamentos, pela orientação e pela amizade. Agradeço por ter estado ao meu lado durante toda a jornada, por ter sido família, conselheiro e fonte de inspiração.

Aos meus coorientadores, Fernando França da Cunha, Odilon Gomes Pereira, Paulo Roberto Cecon e Carlos Augusto Brasileiro de Alencar pela orientação, disponibilidade e parceria.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

*The task of the modern educator is not to cut down  
jungles, but to irrigate deserts.*

C. S. Lewis, in *The Abolition of Man*.

## RESUMO

FRANCO, Tayssa Menezes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2023 **Produção do capim-mombaça em área com rejeito de mineração de ferro submetido a diferentes lâminas de água.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Coorientadores: Fernando França da Cunha, Odilon Gomes Pereira, Paulo Roberto Cecon e Carlos Augusto Brasileiro de Alencar.

Após a catástrofe do rompimento da Barragem do Fundão em Mariana, MG, ocorrida em 2015, surgiu o desafio de usar o Tecnossolo formado pela deposição do rejeito de mineração de ferro nas margens do rio Doce para promover produção agrícola. As características físico-hídricas e estruturais e as propriedades químicas do Tecnossolo se distinguem das do solo natural e podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas. O cultivo de plantas forrageiras tornou-se uma boa opção por causa do seu rápido crescimento e de sua alta produção de biomassa, da incorporação de carbono ao solo, da melhoria do aporte de matéria orgânica e da estabilização das partículas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a produtividade e a qualidade da forragem do capim *Megathyrsus maximum* cv. Mombaça, cultivado em rejeito de mineração de ferro sob diferentes lâminas de irrigação. Sendo assim, foi realizado um experimento na Área de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Viçosa, com a utilização de 21 lisímetros de drenagem, sendo 18 preenchidos com rejeito e três com solo. Foram analisados cinco ciclos de cultivos do capim, abrangendo as estações de verão, outono e inverno do ano de 2022. O experimento foi distribuído em delineamento inteiramente casualizado com 7 tratamentos e 3 repetições, sendo seis tratamentos compostos por lâminas de 20, 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc), obtida do tratamento-controle (tratamento-controle: plantas cultivadas em solo). Os parâmetros analisados foram: altura do dossel forrageiro; produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida; produtividade da água de irrigação; percentual de matérias mineral e orgânica; percentual de fibras insolúveis em detergente neutro e em detergente ácido; percentual de proteína bruta; concentração de ferro (Fe) e chumbo (Pb) no solo e na matéria seca de raízes e da parte aérea; e fator de transmissão de Fe e Pb. Também foram obtidas as curvas de coeficiente de cultura do tratamento-controle. A maior produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida ( $9,79 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi obtida no ciclo 1 com o tratamento L40% da ETc, aplicando  $2,1 \text{ mm d}^{-1}$ . Este mesmo tratamento conferiu boa qualidade da forragem para a maioria dos caracteres avaliados nas estações do verão/outono e outono, com exceção da fibra insolúvel em detergente neutro nos ciclos realizados no verão com teores acima de 70%, e da matéria orgânica que ficou abaixo de 90% em todos os ciclos. O Tecnossolo não foi tóxico para



desenvolvimento das plantas quanto aos teores de Fe e Pb. Mas, o estudo sinaliza que o Tecnosolo diminuiu a capacidade produtiva em 37,39% nos ciclos das estações do verão/outono e outono ao compararmos o tratamento controle (S100% da ETc) com o tratamento L100% da ETc. Considerando-se o intervalo de cortes como referência à altura das plantas de 0,90 a 1,0 m e rebaixamento de 0,15 m, recomenda-se os seguintes valores médio de Kc: 1,2 no verão e 1,5 no outono e no inverno, para o capim mombaça cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Palavras-chave: Estresse hídrico. *Megathyrsus maximus* (jacq.). Tecnosolo. Metais pesados.

## ABSTRACT

FRANCO, Tayssa Menezes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2023. **Production of mombaça grass in an area with iron mining tailings subjected to different water depths.** Adviser: Rubens Alves de oliveira. Co-advisers: Fernando França da Cunha, Odilon Gomes Pereira, Paulo Roberto Cecon and Carlos Augusto Brasileiro de Alencar.

After the catastrophe of the Fundão Dam collapse in Mariana, MG, in 2015, the challenge arose to use the technosol formed by the deposition of iron mining tailings on the banks of the Doce River to promote agricultural production. The physical-hydric and structural characteristics and chemical properties of the technosol differ from those of natural soil and can affect plant growth. The cultivation of forage plants has become a good option because of the rapid growth and high production of biomass, the incorporation of carbon to the soil, the improvement in the contribution of organic matter and the stabilization of particles. Considering this, the objective of this research was to evaluate the productivity and forage quality of *Megathyrsus maximum* cv. Mombasa grass, grown on iron mining tailings under different irrigation slopes. Therefore, an experiment was carried out in the Irrigation and Drainage Area of the Federal University of Viçosa, using 21 drainage lysimeters, 18 of which were filled with tailings and three with soil. Five grass cultivation cycles, covering the summer, autumn and winter seasons were analyzed in the year 2022. The experiment was distributed in an, with 7. The experiment was distributed in an entirely randomized design with 7 treatments and 3 replications, with six treatments consisting of 20, 40, 60, 80, 100 and 120% of crop evapotranspiration (ETc) obtained from the control treatment (control treatment: plants grown in soil). The characters analyzed were: forage canopy height; productivity of forage dry matter that can be consumed; water use efficiency; percentage of mineral matter and organic; percentage of insoluble fiber in neutral detergent and acid detergent; percentage of crude protein; iron (Fe) and lead (Pb) concentration in the soil, in root and aboveground dry matter; and the Fe and Pb transmission factor. The crop coefficient curves of the control treatment were also obtained. The technosol was not toxic for plant development in terms of Fe and Pb contents. However, the study indicates that the Technosol reduced the productive capacity by 37.39% in the summer/autumn and autumn season cycles when comparing the control treatment (S100% of ETc) with the L100% of ETc treatment. Considering the range of cuts as a reference to plant height from 0.90 to 1.0 m and lowering of 0.15 m, the following average Kc values are recommended: 1.2 in summer and 1.5 in autumn and in winter, for mombasa grass cultivated in an oxisol in a Red-Yellow Latosol (LVA).

**Keywords:** Water Stress. *Megathyrus maximus* (jacq.). Technosol. Heavy Metals.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 - Vista da estação lisimétrica antes da semeadura do capim-mombaça (A) e visão da casa de coleta da água de drenagem (B). .....                                                                     | 272 |
| Figura 2 - Coleta de amostras de solo e do rejeito de mineração de ferro.....                                                                                                                                | 223 |
| Figura 3 - Disposição dos sulcos de semeio nos lisímetros contendo rejeito de mineração (A) e solo (B).....                                                                                                  | 235 |
| Figura 4 - Vista geral da demarcação dos sulcos de semeio nas linhas de bordadura.....                                                                                                                       | 256 |
| Figura 5 - Semeadura manual no solo (A) e no rejeito de mineração de ferro (B).. .....                                                                                                                       | 26  |
| Figura 6 - Diagrama da área experimental de cada tratamento.. .....                                                                                                                                          | 267 |
| Figura 7 - Vista geral da área e acompanhamento do crescimento do capim-mombaça aos 30 (A) e 40 (B) dias após o semeio.. .....                                                                               | 287 |
| Figura 8 - Vista da área cultivada no dia do corte de uniformização da pastagem (A) e pastagem com metade da área após o corte (B).....                                                                      | 28  |
| Figura 9 - Montagem das estruturas de cobertura dos lisímetros (A) e disposição das estruturas já montadas (B). .....                                                                                        | 29  |
| Figura 10 - Vista da estrutura de cobertura dos lisímetros com o plástico enrolado.....                                                                                                                      | 29  |
| Figura 11 - Medição da altura do dossel antes do corte da forragem. ....                                                                                                                                     | 33  |
| Figura 12 - Detalhe do momento do corte do capim-mombaça com 0,15 m de resíduo.....                                                                                                                          | 33  |
| Figura 13 – Detalhe da destilação (A) e titulação (B) para posterior determinação da concentração de proteína bruta. ....                                                                                    | 39  |
| Figura 14 - Amostras de ASA em sacos de TNT em seus respectivos coletores, momento da aplicação da $\alpha$ -amilase termoestável (A) e arranjo dos coletores momento antes da entrada na autoclave (B)..... | 41  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 15 - Detalhamento da amostra com material de 0 a 0,40 m para avaliação do sistema radicular.....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 44 |
| Figura 16 - Detalhe do sistema radicular após lavagem de plantas cultivadas em solo (A) e em rejeito de mineração de ferro (B), ambas irrigadas com 100 % da ETc.....                                                                                                                                                                                                                                | 44 |
| Figura 17 - Variação diária da radiação solar global ( $\text{MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ ) e da precipitação pluvial (mm) em cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4; e c5= ciclo 5) no período de janeiro a setembro de 2022. ....                                                                                                  | 46 |
| Figura 18 - Variação diária das umidades relativas médias máximas (%) e mínimas (%) em cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4; e c5= ciclo 5) no período de janeiro a setembro de 2022.....                                                                                                                                      | 47 |
| Figura 19 - Variação diária das temperaturas médias máximas ( $^{\circ}\text{C}$ ) e mínimas ( $^{\circ}\text{C}$ ) em cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4; e c5= ciclo 5) no período de janeiro a setembro de 2022. ....                                                                                                     | 47 |
| Figura 20 – Variação diária da evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura (ETc) de plantas de capim-mombaça cultivadas em solo, durante cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4; e c5= ciclo 5), para condições edafoclimáticas do município de Viçosa, MG, no período de janeiro a julho de 2022. .... | 50 |
| Figura 21 - Evolução do coeficiente de cultura (Kc) de plantas de capim-mombaça cultivadas em solo em cinco ciclos de cultivo (A = ciclo 1; B = ciclo 2; C = ciclo 3; D = ciclo 4; e E = ciclo 5) e suas respectivas estações do ano, para condições edafoclimáticas do município de Viçosa, MG.....                                                                                                 | 51 |
| Figura 22 - Estimativa da altura do dossel (AD), produtividade da matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF) e produtividade da água de irrigação ( $\text{WP}_{\text{Irr}}$ ) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, em função das lâminas de irrigação, em quatro ciclos consecutivos.....                                                         | 61 |
| Figura 23 - Estimativa da Matéria mineral (% $\text{MM}_{\text{MS}}$ ) e Matéria orgânica (% $\text{MO}_{\text{MS}}$ ) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, em função de lâminas de irrigação, em quatro ciclos consecutivos.....                                                                                                                                | 64 |
| Figura 24 - Estimativa dos teores de fibra insolúvel em detergente neutro (% $\text{FDN}_{\text{MS}}$ ), fibra insolúvel em detergente ácido (% $\text{FDA}_{\text{MS}}$ ) e proteína bruta (% $\text{PB}_{\text{MS}}$ ) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, em função das lâminas de irrigação, em quatro ciclos consecutivos. ....                            | 66 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Distribuição Granulométrica e resultado das análises físico-hídricas do rejeito e do solo na camada de 0-20 cm.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 24 |
| Tabela 2 - Características química do rejeito e do solo em amostras na camada de 0 – 20 cm .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 24 |
| Tabela 3 - Lâminas de irrigação aplicadas em cada ciclo de cultivo e irrigação total por tratamento.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 54 |
| Tabela 4 - Resumo da ANOVA das variáveis AD, MSF, WPIRRI, %MMMS, %MOMS, %FDNMS, %FDAMS e %PBMS de plantas de capim-mombaça, em quatro ciclos de cultivo.....                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 54 |
| Tabela 5 - Valores médios de AD, MSF, WP <sub>Irr</sub> , %MM <sub>MS</sub> , %MO <sub>MS</sub> , %FDN <sub>MS</sub> , %FDA <sub>MS</sub> e %PB <sub>MS</sub> para comparação de S100% aos demais tratamentos (L20, L40, L60, L80, L100 e L120%), em quatro ciclos de cultivo.....                                                                                                                                                            | 55 |
| Tabela 6 - Valores médios do fator de transferência solo-raízes (FT <sub>solo-raízes</sub> ) e solo-parte aérea (FT <sub>solo-parte aérea</sub> ) para Pb e Fe encontrados no sistema radicular - C <sub>raízes</sub> (a 0,40 m de profundidade) e na parte aérea - C <sub>parte aérea</sub> (colmo + folhas) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, sob diferentes lâminas de irrigação (L% da ETc). ..... | 68 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                  | <b>15</b> |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>                                                                                        | <b>17</b> |
| <b>2.1 Mineração de ferro em Minas Gerais e o caso da Barragem do Fundão .....</b>                                         | <b>17</b> |
| <b>2.2 Aspectos gerais sobre a espécie <i>Megathyrus maximus</i> cv. Mombaça .....</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>2.3 Influência da evapotranspiração no manejo da irrigação de pastagem .....</b>                                        | <b>20</b> |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                                                                         | <b>22</b> |
| <b>3.1 Área experimental .....</b>                                                                                         | <b>22</b> |
| <b>3.2 Solo.....</b>                                                                                                       | <b>22</b> |
| <b>3.3 Procedimentos experimentais.....</b>                                                                                | <b>25</b> |
| <b>3.4 Delineamento experimental e análise estatística.....</b>                                                            | <b>27</b> |
| <b>3.5 Manejo e condução da irrigação .....</b>                                                                            | <b>30</b> |
| <b>3.6 Parâmetros avaliados .....</b>                                                                                      | <b>32</b> |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                     | <b>45</b> |
| <b>4.1 Elementos Meteorológicos .....</b>                                                                                  | <b>45</b> |
| <b>4.2 Curvas de evapotranspiração (ET<sub>o</sub> e ET<sub>c</sub>) e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) .....</b> | <b>49</b> |
| <b>4.3 Análise de produção e qualidade da forragem .....</b>                                                               | <b>53</b> |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>                                                                                                  | <b>70</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                                                                     | <b>71</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os três maiores países produtores de minério de ferro do mundo, juntamente com a China e a Austrália (DUARTE, 2020). O faturamento do mercado exportador brasileiro do primeiro trimestre de 2022 foi de 56,2 bilhões de reais. Desse montante, 58% foi obtido com a mineração de ferro, com participações relevantes dos estados do Pará (41%) e de Minas Gerais (36%) (IBRAM, 2022). Em Minas Gerais a extração do minério de ferro ocorre no Quadrilátero Ferrífero, região localizada na porção centro-sul, composta pelos municípios de Belo Horizonte, Itabira, Ouro Preto e Congonhas (ROESER; ROSNER, 2010).

Apesar de um contexto economicamente próspero, a indústria mineradora, também, ocasiona ônus ao meio ambiente, que vão desde a total alteração da paisagem (FARIAS et al., 2019), até a produção de grandes quantidades de resíduo tóxico (rejeito de mineração) que são armazenados em barragens (DE ANDRADE, 2018). Essas, por sua vez, possuem riscos frequentes de desabamentos (CAETANO et al., 2022), como no caso do rompimento da Barragem do Fundão em Mariana, MG, em 2015, no qual foram liberados mais de 45 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito de mineração de ferro, que percorreram quase 700 km, espalhando-se até chegar ao estado do Espírito Santo e destruindo áreas agropecuárias e urbanas (SILVA et al., 2019).

No momento em que houve a mistura do rejeito de mineração com o solo local, formou-se um novo perfil denominado Tecnossolo (VICENTE et al., 2021). Muitos estudos apontam que os Tecnossolos, se não analisados e corrigidos previamente e posteriormente revegetados, podem diminuir sua capacidade produtiva, pois possuem pouca matéria orgânica e nutrientes, além de conter metais pesados. Ademais, apresentam alta variabilidade no tamanho das partículas e na distribuição dos poros, o que resulta em altas densidades, selamento superficial, endurecimento do rejeito e, consequentemente, baixa capacidade de retenção de água (SILVA et al., 2015; MARQUES et al., 2017; ALMEIDA et al., 2018; QUEIROZ et al., 2018; SANTOS et al., 2019; BATISTA et al., 2020).

Diante desses entraves, crescem gradativamente as buscas por soluções econômicas e socioambientais viáveis. Uma das opções mais promissoras é o estabelecimento de uma cobertura do solo bem-sucedida, com plantas de rápido crescimento e alta produção de biomassa, o que reduz a erosão, aumenta a estabilidade da superfície e incorpora carbono no solo, contribuindo, assim, para a sucessão ecológica (ESCOBAR et al., 2015; QUADROS et al., 2016).

Sendo assim, o cultivo de plantas forrageiras tornou-se uma opção de grande interesse para os pesquisadores, uma vez que essas atuam fortemente na extração e ciclagem de



nutrientes, o que reflete diretamente em sua considerável produção de biomassa (rica em lignina), tanto nas raízes, quanto na parte aérea. Com isso, todos esses fatores agem em concomitância com sua excelente adaptação a ambientes adversos e sua perenidade, de forma a melhorar o aporte de matéria orgânica ao solo e, conseqüentemente, para a estabilização das partículas (CARNEIRO et al., 2008; MARQUES et al., 2014; FIGUEIREDO et al., 2018).

Vale salientar que a produção de pastagem já fazia parte do setor econômico agropecuário leiteiro da região, com destaque para as plantas do gênero *Megathyrsus maximus*, como a cultivar Mombaça, por requerer solos de média a alta fertilidade e ter alta produtividade (EUCLIDES, 2014). É importante ressaltar também que o estabelecimento das poaceas não se restringe apenas ao solo onde é cultivada, mas também às características climáticas do local.

A cultivar Mombaça é uma forrageira tropical responsiva ao manejo de irrigação e adubação e apresenta produtividade diferenciada em função da sazonalidade, com aumento da produção na estação primavera/verão e diminuição da produção na estação outono/inverno (PANTOJO DE SOUZA, 2018). A produção do capim-mombaça pode variar entre valores de 30,6 e 32,0% na primavera e no verão (62,6% do total anual) e 20,7 e 16,7% no outono e no inverno (37,4% do total anual), respectivamente (JESUS et al., 2021).

Nesse contexto, para que se possa testar a hipótese de que o rejeito de mineração de ferro possui potencial para o cultivo de capim irrigado, deve-se não somente escolher a espécie apropriada, como também entender a dinâmica da água no contínuo solo-planta-atmosfera. Sendo assim, há um apelo para intensificar a aplicação da irrigação, considerando a própria composição do Tecnosolo e também os períodos de estiagens (FARIAS FILHO et al., 2018). Deve-se ressaltar que o pasto irrigado pode mitigar a sazonalidade climática, embora não a elimine (JESUS et al., 2021). No entanto a irrigação pode trazer muitos benefícios, como reduzir o desequilíbrio da oferta e a qualidade da forragem, aumentar a produtividade total, a relação folha:colmo e o teor de proteína bruta e manter a perenidade da pastagem (SANCHES et al., 2015).

Diante do exposto, o objetivo geral desta pesquisa foi obter as lâminas de água para otimizar a produção da forragem tropical *Megathyrsus maximum* cv. Mombaça, cultivada em rejeito de mineração de ferro sob diferentes lâminas de irrigação.

E os objetivos específicos foram:

- Avaliar qual a lâmina de irrigação ideal para assegurar o estabelecimento, a produtividade e a qualidade do capim-mombaça cultivado em Tecnosolo.

- Avaliar se as características químicas do Tecnossolo afetam o crescimento e a qualidade das plantas de capim-mombaça.
- Avaliar se o Tecnossolo afetou a produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida em relação à produtividade das plantas de capim-mombaça cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).
- Determinar a demanda hídrica de plantas de capim-mombaça cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Mineração de ferro em Minas Gerais e o caso da Barragem do Fundão**

O Quadrilátero Ferrífero perfaz uma área de aproximadamente 7.000 km<sup>2</sup> do estado de Minas Gerais, estendendo-se entre Ouro Preto, Itabira, Belo Horizonte, e Congonhas (ROESER; ROESER, 2010). Essa região tem recebido muita atenção devido a sua contribuição para a economia nacional, possuindo forte mercado de exportação. No primeiro trimestre de 2022, o Quadrilátero Ferrífero foi responsável por produzir 36% de um total de 58% do faturamento de toda a indústria de mineração (IBRAM, 2022). Esta atividade também influencia a economia regional, por proporcionar empregos e geração de renda para milhares de brasileiros (BRASIL, 2011; DE ANDRADE, 2018; BARBOSA et al., 2022).

Outro fato relevante que marcou essa região, mais especificamente o município de Mariana, MG, foi o rompimento da barragem de contenção de rejeito de mineração de ferro (Barragem do Fundão), em 2015. Esse ano ficou marcado pelo maior desastre ambiental mineralógico do mundo, no qual foram despejados mais de 45 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito, que se alastrou por quase 700 km, até chegar ao estado do Espírito Santo, devastando áreas de vegetação nativa, pasto para pecuária de leite e de corte e muitas propriedades (BRASIL, 2015; LOPES, 2017; SILVA et al., 2019).

É imprescindível frisar que em todas as áreas afetadas pela deposição do rejeito de mineração formou-se um novo ambiente, com atributos químicos e físicos muito diferentes do solo da região (SILVA et al., 2017). Com isso, formou-se um novo perfil denominado Tecnossolo (SILVA et al., 2021).

As principais características físicas que distinguem o Tecnosolo do solo da região são: maior densidade do solo ( $D_{\text{Srejeito}}: 1,95$ ;  $D_{\text{Solo}}: 1,17$  em  $\text{Mg m}^{-3}$ ), maior densidade de partículas ( $D_{\text{Prejeito}}: 3,01$ ;  $D_{\text{Solo}}: 2,53$   $\text{Mg m}^{-3}$ ) e menor porosidade total ( $P_{\text{Trejeito}}: 0,35$ ;  $P_{\text{Solo}}: 0,54$   $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) com textura arenosa, uma vez que antes a textura predominante era argilosa. O aumento de quase 70% no valor da densidade do material evidencia a ausência de estrutura e, consequentemente, afeta diretamente a porosidade do Tecnosolo. Com base nesses valores, constata-se que o Tecnosolo, de maneira geral, apresenta elevado grau de adensamento e baixa porosidade total. Ademais, também possui elevadas quantidades de Fe, Pb, Mn e As, e baixa CTC, SB e MO (BRADY; WEIL, 2013; SILVA et al., 2021).

As constituições químicas e físicas do Tecnosolo citadas são os principais fatores que afetam diretamente a relação água-solo-planta-atmosfera e, consequentemente, tornam evidentes os questionamentos sobre o seu potencial produtivo. Alguns estudos enfatizam que esse tipo de solo necessita, ainda mais, de ações para correção dos atributos químicos, físicos e biológicos, a fim de proporcionar um ambiente mais equilibrado e propício ao estabelecimento de novas vegetações (MELGAR-RAMÍREZ et al., 2012; JAIN et al., 2016).

## 2.2 Aspectos gerais sobre a espécie *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça

O capim *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça foi lançado pela EMBRAPA Gado de Corte, em 1993. É uma forrageira tropical perene de metabolismo  $\text{C}_4$ , com altura que pode chegar a 2 m. Seu hábito de crescimento é cespitoso, possui folhas longas, finas (3 cm) e quebradiças, com pouca pilosidade. Seu colmo é levemente arroxeadado, e em sua parte basal se originam as inflorescências do tipo panículas (BOTREL et al., 1998; RUGGIERI, 2014; DA SILVA FLORENTINO et al., 2022).

Essa cultivar tem grande repercussão na pecuária brasileira, por apresentar um dos maiores potenciais de produção de matéria seca anual ( $33 \text{ t ha}^{-1}$ ) em diversas condições de clima e solo, como em ambientes subtropicais e tropicais. Sua forragem dispõe de boa aceitabilidade, palatabilidade, digestibilidade e bom valor nutritivo. A altura de entrada (momento ideal para o corte) para essa cultura é de 90 a 100 cm (momento em que ocorre 95% da interceptação luminosa) (CARNEVALLI, 2003). Seu melhor desenvolvimento ocorre em solos de média a alta fertilidade, e ela é resistente à cigarrinha-das-pastagens (FREITAS et al., 2007; GALINDO et al., 2018; VILELA, 2019; DA COSTA et al., 2021).

O valor nutritivo padrão encontrado na matéria seca da forragem de capim-mombaça para a Região Sudeste do Brasil inclui em média 11,29% de proteína bruta, 9,43% de matéria

mineral, 90,57% de matéria orgânica, 65,60% de fibra insolúvel em detergente neutro e 36,69 % de fibra insolúvel em detergente ácido (VALADARES FILHO et al., 2018).

A proteína bruta é o resultado do teor de N do alimento multiplicado por 6,25 (fator de conversão da concentração de nitrogênio em equivalentes proteicos), sem distinguir a origem de N. Os minerais representam tudo aquilo que não é orgânico na matéria seca da forragem. A fibra insolúvel em detergente neutro representa os carboidratos estruturais mais a lignina, é lentamente digestível e ocupa espaço no trato digestivo. A fibra insolúvel em detergente ácido abrange, além do conteúdo celular, a hemicelulose (DE MEDEIROS et al., 2015).

Todavia, é sabido que a máxima produtividade e qualidade da forragem é obtida por meio da interação entre seu potencial genético e o manejo adotado em decorrência das condições edafoclimáticas. Sendo assim, fatores como a umidade do solo de cultivo afetam diretamente o manejo de irrigação e, conseqüentemente, a adubação. Outro fator atuante é o clima, uma vez que os períodos de sazonalidade tendem a ser um dos grandes gargalos para a oferta de forragem o ano todo. Os principais fatores atenuantes da sazonalidade produtiva das forrageiras são as limitações de luz, a irregularidade da distribuição da precipitação e a baixa temperatura (mínima para plantas C<sub>4</sub> é de 19°C) (VALENTE et al., 2011; DANTAS et al., 2016).

Nesse sentido, os estresses abióticos têm despertado interesse de vários pesquisadores, por serem responsáveis pelos fortes impactos sobre o crescimento e a produtividade das plantas. O estresse hídrico por déficit hídrico se destaca por ser comum nos ecossistemas e por ocasionar sérias disfunções sobre a anatomia, a fisiologia e a bioquímica das plantas (ARAUJO JÚNIOR et al., 2019). Vale salientar que algumas forrageiras podem desenvolver mecanismos de tolerância ao déficit hídrico, ou até mesmo se adaptar a essa condição. Mesmo as plantas tolerantes podem apresentar alterações em seu crescimento e desenvolvimento (PIMENTEL et al., 2016).

O déficit hídrico pode provocar diversos danos à perenidade das forrageiras, o que tem potencial de induzir as plantas a desenvolverem estratégias morfológicas e fisiológicas que possam retardar esses prejuízos. Dessa forma, as forrageiras passam a diminuir a área foliar a fim de favorecer o aumento do sistema radicular, para se adaptarem à pouca disponibilidade hídrica (ARAUJO JÚNIOR et al., 2019). Porém, essa adaptação gera ônus a processos essenciais, como diminuição da competição por luz, baixa taxa fotossintética, elevada senescência das folhas, baixo perfilhamento e ramificações, ocasionando redução significativa na produtividade e na qualidade da forragem (ARAUJO et al., 2010; SANTOS et al., 2012).

Portanto, o conhecimento do desempenho das plantas forrageiras em condições de estresse hídrico é de grande valia para auxiliar no entendimento do efeito do período “seco” sobre a dinâmica da água no solo e sobre a produção de forragem, permitindo, assim, o uso de práticas de manejo viáveis para melhorar o cultivo durante esse período (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2019).

### **2.3 Influência da evapotranspiração no manejo da irrigação de pastagem**

A grande demanda internacional por proteína animal bovina, atrelada à vasta extensão territorial e às características climáticas relativamente favoráveis, tem tornado o cenário da pecuária brasileira cada vez mais forte (GARCIA et al., 2011; DA SILVA FLORENTINO et al., 2022). Atualmente o País possui o maior rebanho comercial do mundo, que somado à pecuária de leite e de corte contam com mais de 214 milhões de cabeças, em mais de 200 milhões de hectares de pastagem, o que o mantém no topo do mercado exportador dessa proteína (CARAMORI et al., 2022).

Ademais, 99% da produção pecuária do Brasil é adepta do sistema de rebanho a pasto, devido ao baixo custo de produção, ao alto potencial produtivo e à adequação a distintas regiões climáticas do País (MOREIRA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016; BRIGHENTI et al., 2019; KIRCHNER et al., 2019). Porém, um dos maiores gargalos desse modelo de produção é a dificuldade de oferecer a forragem o ano todo, devido aos longos períodos de seca e baixas temperaturas (GARCIA et al., 2011).

Sendo assim, diante do cenário de escassez hídrica que cresce de forma preocupante em várias regiões do Brasil e do mundo, torna-se indispensável o uso da técnica de irrigação, bem como o seu manejo correto, a fim de obter a produtividade da água de irrigação, haja vista que, em muitos casos, a quantidade de água aplicada para alcançar a máxima lucratividade é menor do que a necessária para atender totalmente à evapotranspiração da cultura (SILVA et al., 2021).

Contudo, ressalta-se que para empregar um bom plano de eficiência que maximize a produtividade da água de irrigação, é necessário conhecer o consumo hídrico da cultura. Para isso, as informações sobre vários parâmetros, como a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e o coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) são indispensáveis (SILVA et al., 2018). Deve-se salientar que a importância de saber sobre a ET não se restringe apenas à elaboração de projetos de irrigação, mas, também, está interligada à gestão de reservatórios, à outorga e ao planejamento do uso dos recursos hídricos (GARCIA et al., 2018).

A  $ET_c$  é o termo utilizado para se referir à quantidade de água consumida pelas plantas (GONÇALVES et al., 2019). A lisimetria é o método direto mais utilizado para determinação da  $ET_c$  (SILVA et al., 2018). O objetivo é conhecer alguns termos do balanço hídrico do volume amostrado em um reservatório impermeável contendo um volume de solo. Os lisímetros de pesagem e de drenagem são os mais usados (SCHWENCK et al., 2020).

Por outro lado, a  $ET_o$  é um termo utilizado para expressar a evapotranspiração de uma cultura hipotética por meio do poder evaporante da atmosfera. O método de Penman- Monteith, parametrizado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (ALLEN et al., 2006), tem boa precisão e vem sendo amplamente utilizado para obtenção da  $ET_o$ . Consiste em um modelo matemático que necessita de dados climáticos do local de cultivo, sendo geralmente obtidos em estações meteorológicas (GARCIA et al., 2019).

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é obtido pela razão entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, correlacionando-as à fase de desenvolvimento e às condições climáticas do local de estudo, podendo ser adotado em outras localidades, desde que compartilhe dos mesmos padrões climáticos (KOBAYASHI et al., 2018). O  $K_c$  varia de acordo com o estágio fenológico de cada cultura, pois em cada estágio há a interação entre a mudança de área foliar, o grau de cobertura, a altura da planta, a resistência do dossel à perda de água e o albedo sobre a  $ET_c$  em relação à  $ET_o$  (SCHWENCK et al., 2020). Por isso, quanto maior o valor de  $K_c$ , maior a necessidade de irrigação (DA CONCEIÇÃO et al., 2016).

O  $K_c$  é fundamental para o planejamento racional da irrigação em gramíneas forrageiras, já que é utilizado na equação de determinação da evapotranspiração real da cultura ( $ET_c$ ); essa última, por sua vez, é empregada na equação da irrigação total necessária (ITN) (BERNARDO et al., 2019). Dessa maneira, a obtenção do coeficiente de cultura é importante para quantificar o consumo de água, no que tange às relações hídricas (SANTANA et al., 2016).

Mesmo sabendo da importância de obter a  $ET_c$ , a  $ET_o$  e o  $K_c$  para o manejo da irrigação, ainda são emergentes os estudos que demonstram o efeito do manejo hídrico para as forrageiras tropicais no Brasil (OLIVEIRA et al., 2015; DANTAS et al., 2016). Esse cenário evidencia a necessidade de execução de trabalhos que mostrem a tendência de produção e desenvolvimento dessas culturas quando em excesso ou escassez hídrica (SCHWENCK et al., 2020).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área experimental

O estudo foi conduzido na Área Experimental de Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa, MG, durante o período de 27 de outubro de 2021 a 8 de agosto de 2022. As coordenadas geográficas são: latitude 20° 46' 08'' S; longitude 42° 52' 44'' O; e altitude de 675 m.

#### 3.2 Solo

O rejeito de mineração de ferro foi obtido na Barragem de Germano, no município de Mariana, MG, com a colaboração da Fundação Renova. As coordenadas geográficas dessa barragem são: latitude 20° 13' 01'' S; longitude 43° 28' 10'' O; e altitude de 893 m. O material foi utilizado para preencher 18 lisímetros de drenagem, com dimensões de 1,40 m de comprimento x 1,00 m de largura e 0,90 m de profundidade.

Na Figura 1 (A) são mostrados os lisímetros já preenchidos com rejeito de mineração de ferro e material de solo, com visão ao fundo da casa de coleta de água de drenagem. Na Figura 1 (B) são mostrados os recipientes destampados, nos quais eram coletadas as drenagens dos lisímetros. Esses recipientes permaneceram fechados para reduzir a evaporação. A estação lisimétrica já estava com todos os lisímetros preenchidos e em pousio desde julho de 2019.

Figura 1 - Vista da estação lisimétrica antes da semeadura do capim-mombaça (A) e visão interna da casa de coleta da água de drenagem (B).



A



B

Fonte: A autora.

Durante o preenchimento dos 21 lisímetros, alguns procedimentos foram adotados para melhorar a infiltração de água e o escoamento na tubulação de drenagem. Da profundidade de 0,90 m dos lisímetros, utilizou-se 0,10 m para formação de uma camada de brita encobrindo a rede de drenagem de PVC existente no fundo. Sobre essa camada foi adicionada outra de areia, com 0,10 m de espessura. Por fim, completou-se o volume dos 18 lisímetros com 0,65 m de rejeito da mineração de ferro e o de três lisímetros com material de solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, deixando-se 0,05 m de espaço livre até a borda.

Foram realizadas coletadas na camada de 0-20 cm, tanto de rejeito de mineração quanto de solo, para caracterização físico-hídrica e química, conforme a Figura 2. Vale salientar que primeiramente procedeu-se à coleta das amostras de solo e que após a higienização dos trados coletaram-se as amostras do rejeito de mineração de ferro. Tomou-se esse cuidado para que não houvesse mistura entre as amostras e possível contaminação.

Figura 2 - Coleta de amostras de solo e do rejeito de mineração de ferro.



Fonte: A autora.

A análise dos atributos físico-hídricos, bem como a obtenção dos valores de retenção de água na Capacidade de Campo (CC) e no Ponto de Murcha Permanente (PM), foi realizada no Laboratório de Física do Solo, e a análise química, em Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante, ambos pertencentes ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.



Tabela 1 – Distribuição granulométrica e resultado das análises físico-hídricas do rejeito e do solo na camada de 0-20 cm.

| Amostra | Areia grossa                     | Areia fina | Silte | Argila | CC                            | PM   | Dp                             | Ds   | PT    | DTA                 | Classe Textural |
|---------|----------------------------------|------------|-------|--------|-------------------------------|------|--------------------------------|------|-------|---------------------|-----------------|
|         | ----- dag kg <sup>-1</sup> ----- |            |       |        | ----- g g <sup>-1</sup> ----- |      | ----- g cm <sup>-3</sup> ----- |      | %     | mm cm <sup>-1</sup> |                 |
| Rejeito | 108,0                            | 583,0      | 244,0 | 65,0   | 0,15                          | 0,06 | 2,78                           | 1,66 | 40,00 | 1,6                 | Franco-Arenosa  |
| Solo    | 126,0                            | 115,0      | 53,0  | 706,0  | 0,31                          | 0,21 | 2,63                           | 1,07 | 59,00 | 1,07                | Muito Argilos a |

CC = Teor de água na Capacidade de Campo; PM = Teor de água no Ponto de Murcha Permanente; Dp = Densidade de partícula; e Ds = Densidade do solo; PT = Porosidade total; DTA = Disponibilidade total de água no solo.

Tabela 2 - Características química do rejeito e do solo em amostras na camada de 0 – 20 cm.

| Camada<br>(0-20 cm) | pH<br>H <sub>2</sub> O | P<br>-----                                     | K <sup>+</sup><br>mg dm <sup>-3</sup> ---- | Na <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al | SB  | t    | T   | V    |
|---------------------|------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------|-----|------|-----|------|
|                     |                        | ----- Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                                            |                 |                  |                  |                  |      |     |      |     | %    |
| Rejeito             | 5,6                    | 49,9                                           | 62,0                                       | 6,6             | 2,3              | 0,5              | 0,0              | 1,8  | 3,0 | 3,0  | 4,8 | 62,7 |
| Solo                | 5,1                    | 40,6                                           | 134,<br>0                                  | 12,6            | 2,6              | 0,7              | 0,0              | 4,6  | 3,6 | 3,6  | 8,2 | 48,3 |
| Camada<br>(0-20 cm) | ISNa                   | P-rem                                          | S                                          | B               | Cu               | Mn               | Fe               | Zn   | Cr  | Ni   | Cd  | Pb   |
|                     | %                      | mg dm <sup>-3</sup>                            | ----- mg dm <sup>-3</sup> -----            |                 |                  |                  |                  |      |     |      |     |      |
| Rejeito             | 0,5                    | 50,1                                           | 3,3                                        | 0,4             | 1,6              | 59,5             | 114,6            | 17,1 | 0,0 | 0,21 | 0,1 | 1,3  |
| Solo                | 0,6                    | 21,5                                           | 23,2                                       | 2,1             | 1,0              | 18,7             | 30,7             | 6,4  | 0,0 | 0,02 | 0,0 | 1,3  |

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn -Mn - Cu -Cd - Pb - Ni - Cr - Extrator Mehlich-1 Ca<sup>2+</sup> - Mg<sup>2+</sup> - Al<sup>3+</sup> - Extrator: KCl - 1 mol/L, H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0 SB = Soma de Bases Trocáveis, t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V= Índice de Saturação por Bases m= Índice de Saturação por Alumínio, ISNa - Índice de Saturação por Sódio MO (Mat. Orgânica) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black, P-rem = Fósforo Remanescente S - Extrator - Fosfato monocálcico em ácido acético, B - Extrator água quente N - N total - Digestão sulfúrica - Destilação Kjeldhal.

Não foi necessário realizar calagem, uma vez que as saturações por bases (V%) eram de 62,7 e 48,3% para o solo e o rejeito de mineração, respectivamente (Tabela 2), e o V% desejado para o cultivo do capim-mombaça é de 45% (ALVAREZ et al., 1999).

A adubação de estabelecimento foi realizada com base na análise química, conforme a Tabela 2. Nos lisímetros com rejeito de mineração foram aplicados 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, tendo como fonte o superfosfato simples, e 200 kg ha<sup>-1</sup> de N, tendo como fonte o sulfato de amônio, uma vez que o rejeito estava com baixos teores de enxofre. Por outro lado, nos lisímetros preenchidos com solo foi aplicada a mesma dose de N, tendo como fonte a ureia.

Quanto à adubação potássica, foram aplicados  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , tendo como fonte o cloreto de potássio. Nos lisímetros com rejeito de mineração de ferro, a aplicação ocorreu após a vegetação ter coberto 60% da área útil dos lisímetros, uma vez que a textura é franco-arenosa. Já nos lisímetros com solo, a aplicação do cloreto de potássio foi no momento da semeadura, devido à sua textura muito argilosa. A adubação de manutenção com N e K ocorreu sempre sete dias depois do corte da forragem e seguiu as recomendações de Alvarez et al. (1999).

### 3.3 Procedimentos experimentais

No experimento foram utilizadas sementes da Poaceae forrageira tropical *Megathyrus maximum* cv. Mombaça com valor cultural de 76%. Primeiramente, foi realizada a descompactação do solo e do rejeito contidos dentro dos lisímetros e, também, da área de bordadura (0-20 cm), com uso de uma enxada. Após a adubação de estabelecimento, procedeu-se à semeadura em 8 de novembro de 2021. Em cada lisímetro, as sementes foram distribuídas em três sulcos espaçados de 0,46 m, como mostra a Figura 3 (A e B).

Figura 3 - Disposição dos sulcos de semeio nos lisímetros contendo rejeito de mineração (A) e solo (B).



A



B

Fonte: A autora.

É importante ressaltar que na Figura 4 estão apresentadas as demarcações dos sulcos de semeio nas linhas de bordadura, porém também houve semeadura transversalmente, seguindo o mesmo padrão de espaçamento. A emergência das plântulas ocorreu aos nove dias após a semeadura.

Figura 4 - Vista geral da demarcação dos sulcos de semeio nas linhas de bordadura.



Fonte: A autora.

Quanto à densidade de semeadura, seguiu-se a recomendação de  $12,0 \text{ kg ha}^{-1}$  (COSTA et al., 2001). As sementes foram pesadas e distribuídas de maneira homogênea ao longo dos sulcos de semeio, conforme a Figura 5 (A, B).

Figura 5 – Semeadura manual no solo (A) e no rejeito de mineração de ferro (B).



A



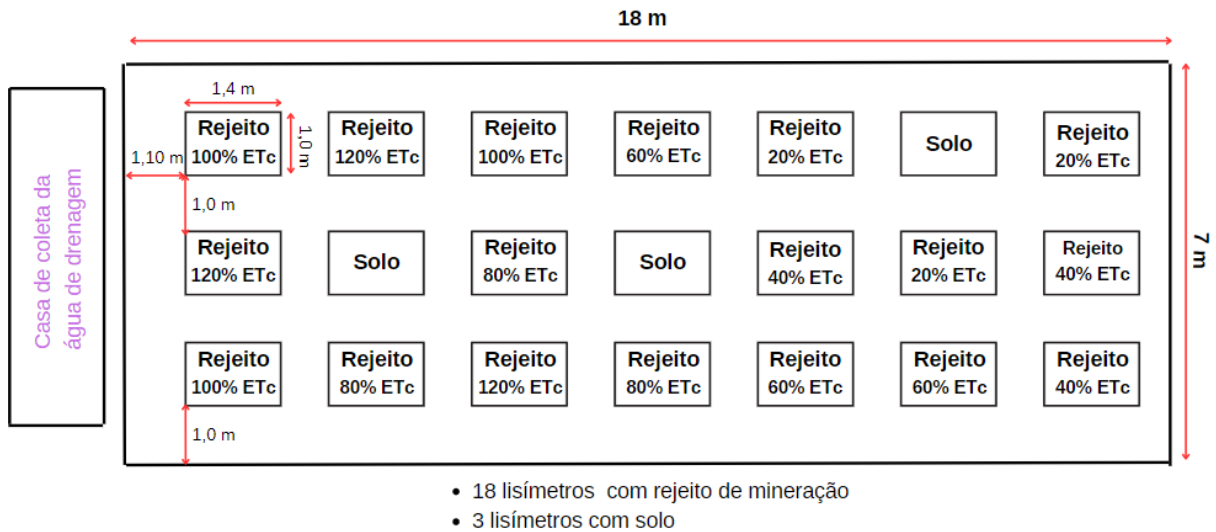
B

Fonte: A autora.

Na estação lisimétrica existente foram utilizados 21 lisímetros, em uma área de 18,0 m de comprimento por 7,0 m de largura, conforme Figura 6.



Figura 6 – Diagrama da área experimental de cada tratamento.



Fonte: A autora.

### 3.4 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos compostos de diferentes lâminas de irrigação mais o tratamento controle com três repetições, totalizando 21 unidades experimentais.

Os dados coletados foram submetidos às análises de variância e, posteriormente, ao teste de média de Dunnett (5% de significância), para comparar as plantas cultivadas em rejeito de mineração de ferro com o tratamento-controle. Para avaliar o efeito das seis lâminas de irrigação aplicadas nas plantas cultivadas em rejeito de mineração, empregou-se a análise de regressão, tendo os modelos sido escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” em nível de 5% de significância, no coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{S.Q. regressão} / \text{S.Q. tratamento}$ ). Utilizou-se o programa estatístico SPEED stat (CARVALHO et al., 2020).

Para melhor visualização do crescimento do capim no período de estabilização, tem-se na Figura 7 (A e B) a área com 30 e 40 dias após a semeadura (DAS), respectivamente. Aos 45 DAP foi aplicada uma dose de  $1,0 \text{ L ha}^{-1}$  do inseticida Klorpan, para o controle de cigarrinha (*Deois flavopicta*). A aplicação do produto, também, ocorreu sempre 15 dias após os cortes, de forma preventiva.

Figura 7 - Vista geral da área e acompanhamento do crescimento do capim-mombaça aos 30 (A) e 40 (B) dias após o semeio.



A



B

Fonte: A autora.

Na Figura 8 (A, B), tem-se a visão geral do capim no dia do corte de uniformização, aos 68 dias após a semeadura. É importante ressaltar que os lisímetros ficaram descobertos durante todo o período de estabelecimento da cultura. A remoção das plantas espontâneas foi frequentemente realizada por meio da monda, para não danificar o sistema radicular do capim.

Figura 8 – Vista da área cultivada no dia do corte de uniformização da pastagem (A) e pastagem com metade da área após o corte (B).



A



B

Fonte: A autora.

Após o corte de uniformização do capim, o material vegetal foi descartado. A partir desse momento os lisímetros foram cobertos pelas estruturas, para que não houvesse interferência da precipitação no manejo da irrigação, conforme a Figura 9 (A, B). Quanto ao manejo da irrigação realizado na área com os lisímetros ainda descobertos e após a cobertura, o tópico 3.4 traz detalhes importantes.



Figura 9 - Montagem das estruturas de cobertura dos lisímetros (A) e disposição das estruturas já montadas (B).



Fonte: A autora.

As coberturas eram metálicas com filme plástico transparente e possuíam duas calhas laterais para coleta e condução da água da chuva para a bordadura. Quando não havia previsão de chuva, o plástico era enrolado e preso na estrutura metálica, conforme a Figura 10.

Figura 10 - Vista da estrutura de cobertura dos lisímetros com o plástico enrolado.



Fonte: A autora.

### 3.5 Manejo e condução da irrigação

No estágio inicial do experimento (período de estabelecimento) foram realizadas irrigações uniformes em todos os tratamentos, de forma a assegurar a uniformidade de germinação e o estabelecimento da forrageira, tendo sido utilizado para isso a irrigação manual com uso de regador. A forrageira passou por um período de estabelecimento de 68 dias, com reposição da lâmina de água equivalente a 100% da ETc e manejo diário da irrigação, tendo sido computados os valores de precipitação pluvial, uma vez que os lisímetros estavam descobertos nesse período.

No final do período de estabelecimento, as plantas foram cortadas em uma altura de 0,15m, sendo, então, aplicadas as irrigações diferenciadas com uso de regador, que se estenderam até o final do experimento.

Diariamente, no período entre 7 e 9 horas, coletavam-se as águas de drenagem dos lisímetros com solo (tratamento-controle, identificado como S100%), uma vez que eles-eram irrigados com 40% a mais da ETc. Após a coleta, realizava-se a quantificação média da água drenada pelo método gravimétrico, com o auxílio de balança modelo Toledo – PRIX 3/16. Em seguida, aplicava-se a equação 1 para obtenção da ETc média.

$$ETc = I - D \quad (1)$$

em que

- ETc = evapotranspiração da cultura, mm d<sup>-1</sup>;
- I = lâmina de irrigação aplicada, mm d<sup>-1</sup>; e
- D = lâmina de água drenada, mm d<sup>-1</sup>.

De posse do valor da ETc média, calculavam-se as lâminas de água a ser aplicadas nas plantas cultivadas em rejeito de mineração de ferro, de modo a repor 20, 40, 60, 80, 100 e 120% da ETc (tratamentos L20, L40, L60, L80, L100 e L120%, respectivamente).

Após o início da aplicação dos tratamentos, foi estabelecido que o critério de cortes para os próximos quatro ciclos seria a altura de 0,90 a 1,00 m atingida pela pastagem contida nos lisímetros com solo. A partir desse momento, o capim de todos os lisímetros foram cortados e as amostras analisadas.

Vale destacar que a lâmina de água drenada foi misturada com a água de irrigação e aplicada aos respectivos lisímetros, a fim de diminuir a perda de nutrientes por lixiviação. Nos

dias em que houve drenagem nos lisímetros referentes ao tratamento L120%, o processo de reposição de água foi semelhante à reposição dos lisímetros com solo.

Durante o experimento foram obtidos dados diários de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar do banco de dados digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cuja estação meteorológica automática se encontra a 750 e 24 m de distância horizontal e vertical, respectivamente, da área experimental. Esses dados foram utilizados no cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (FAO 56), parametrizado por Allen et al. (2006), para intervalo de tempo de 24 horas, conforme a equação 2.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (2)$$

em que

- ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;
- R<sub>n</sub> = saldo de radiação à superfície, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;
- G = densidade do fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;
- T = temperatura do ar a 2 m de altura, °C;
- u<sub>2</sub> = velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;
- e<sub>s</sub> = pressão de vapor de saturação, kPa;
- e<sub>a</sub> = pressão parcial de vapor, kPa;
- Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C<sup>-1</sup>; e
- γ = coeficiente psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>.

Os valores diários de K<sub>c</sub> foram calculados pela relação entre a média dos três valores diários de evapotranspiração da cultura, obtidos por meio do balanço hídrico nos três lisímetros preenchidos com solo, e os valores diários de evapotranspiração de referência, calculados por meio da equação de Penman-Monteith FAO-56. Isso permitiu conhecer a variação do K<sub>c</sub> ao longo de cada ciclo de corte e rebrota, considerando os cinco ciclos estudados. Foi utilizado o método de DOORENBOS & PRUITT (1977), no qual utiliza quatro períodos diferentes em dias sendo inicial (t<sub>i</sub>), crescimento (t<sub>c</sub>), intermediário (t<sub>n</sub>) e final (t<sub>f</sub>), respectivamente e considerando as fases inicial (K<sub>ci</sub>), intermediária (K<sub>cn</sub>) e final (K<sub>cf</sub>) dos coeficientes de cultura, conforme a equação 3.



$$Kc(t) = \begin{cases} Kc_i, t \leq t_1 \\ Kc_i + \frac{Kc_n - Kc_i}{t_2 - t_1}(t - t_i), t_1 < t < t_2 \\ Kc_n, t_2 \leq t \leq t_3 \\ Kc_n + \frac{Kc_f - Kc_n}{t_4 - t_3}(t - t_3), t_3 < t \leq t_4 \end{cases} \quad (3)$$

Em que

$t$  = dias após o corte;

$t_1$  =  $t_i$ ;

$t_2$  =  $t_i + t_c$ ;

$t_3$  =  $t_i + t_c + t_n$ ;

$t_4$  =  $t_i + t_c + t_n + t_f$ .

### 3.6 Parâmetros avaliados

Os parâmetros de produção avaliados foram: altura do dossel forrageiro (AD) em m; produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF) em t ha<sup>-1</sup>; e produtividade da água de irrigação (WP<sub>Irr</sub>) em kg mm<sup>-1</sup>. Já os parâmetros de qualidade da forragem foram: percentual de matéria mineral (% MM<sub>MS</sub>) e matéria orgânica (% MO<sub>MS</sub>); percentual de fibra insolúvel em detergente neutro (% FDN<sub>MS</sub>); percentual de fibra insolúvel em detergente ácido (% FDA<sub>MS</sub>); e percentual de proteína bruta (% PB<sub>MS</sub>). Em relação à toxicidade dos metais pesados, foi obtida a concentração de ferro (Fe) e chumbo (Pb) no solo (C<sub>solo</sub>), em mg kg<sup>-1</sup>; na matéria seca de raízes (C<sub>raízes</sub>), em mg kg<sup>-1</sup>; e na parte aérea (colmo + folhas) (C<sub>parte aérea</sub>), em mg kg<sup>-1</sup>. Também foi calculado o fator de transmissão de Fe e Pb na relação solo-planta (FT<sub>solo-planta</sub>), tanto para o sistema radicular, quanto para a parte aérea. Somente as análises dos teores de metais foram realizadas no último corte (quinto corte). Todas as outras variáveis foram obtidas ao fim dos quatro primeiros cortes.

A altura média do dossel forrageiro foi mensurada semanalmente, a fim de verificar com maior segurança o momento da realização do corte do capim (0,90 a 1,00 m de altura). Para isso, tomou-se como parâmetro-base as plantas cultivadas no tratamento-controle. Utilizou-se

uma fita métrica graduada em centímetros, que foi fixada a um cano de PVC, para proporcionar estabilidade na leitura. A fita milimetrada foi ajustada do solo ao ápice da folha mais alta de cada linha de semeio, conforme Figura 11. Vale ressaltar que cada lisímetro continha três linhas de semeio.

Figura 11 - Medição da altura do dossel antes do corte da forragem.



Fonte: A autora.

Após obtenção dos dados de altura do dossel, foram realizados os cortes do capim com uso de tesoura de poda, na altura de resíduo preestabelecida (0,15 m), conforme a Figura 12.

Figura 12 – Detalhe do momento do corte do capim-mombaça com 0,15 m de resíduo.



Fonte: A autora.

Depois do corte do capim, toda biomassa fresca da parte aérea foi acondicionada em sacos plásticos identificados, para posterior pesagem. Após a obtenção da biomassa fresca total da parte aérea, deu-se início ao processo de secagem do material. Foram separadas amostras para cada unidade experimental (500 g de forragem picotada). Essas amostras foram acondicionadas em sacos de papel craft, previamente identificados, e secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, por 24 horas. Depois da separação das amostras de capim picotado ainda fresco, realizaram-se os procedimentos para obtenção das amostras secas em estufas.

As amostras acondicionadas dentro dos sacos de papel foram levadas para uma estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, por 72 horas, para determinação do percentual de Amostra Seca ao Ar (% ASA). Os pesos dos sacos foram descontados no cálculo da %ASA.

Primeiramente foi realizada a redução do teor de umidade das amostras em estufa com circulação forçada de ar, pelo método INCT-CA G-001/1 (DETMANN et al., 2012).

A secagem do capim a 55 °C foi necessária, para que fosse possível o posterior processamento mecânico e para diminuir as perdas de compostos voláteis e evitar alterações químicas, permitindo, assim, a análise dos seus componentes, segundo o método do INCT-CA G-001/1 (DETMANN et al., 2012). A quantidade de material seco (expresso em g) obtido logo após a secagem em estufa de circulação forçada a 55 °C é denominada de ASA (massa de amostra seca em equilíbrio com a umidade relativa do ar) e o percentual de “amostra seca ao ar (em estufa de circulação forçada a 55 °C)” de %ASA, calculados conforme as equações 4 e 4.1, respectivamente.

$$ASA = (PF + ASA) - PF \quad (4)$$

em que

ASA = massa de amostra seca a 55°C em equilíbrio com a umidade relativa do ar (g); e

PF = peso fresco da amostra (g).

$$\%ASA = \frac{ASA}{PF} 100 \quad (4.1)$$

em que

%ASA = percentual de “amostra seca ao ar (em estufa de circulação forçada a 55 °C)”;

ASA = massa de amostra seca a 55 °C em equilíbrio com a umidade relativa do ar (g); e

PF = peso fresco da amostra (g).

Depois da obtenção da ASA das amostras, foi realizado o processo de diminuição das partículas a 1,0 mm, com o uso de um moinho de facas. Após a moagem, a coleta foi realizada com pincéis, de modo que sobrava o mínimo possível de amostra seca no moinho. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em potes de plástico identificados. As amostras moídas foram utilizadas para posterior determinação da massa de “amostra seca” em estufa a 105 °C (ASE), do percentual da amostra seca em estufa a 105 °C (%ASE), do percentual de produção de matéria seca (%PMS), do percentual de fibra insolúvel em detergente neutro (%FDN<sub>MS</sub>) e ácido (%FDA<sub>MS</sub>) e do percentual de proteína bruta (%PB<sub>MS</sub>).

Para determinação da ASE e do %ASE, foram acondicionados 2 g de amostras moídas em cadinhos de porcelana (previamente secados e pesados), que foram levados à estufa sem circulação de ar a 105 °C, por 16 horas, seguindo o Método INCT-CAG-003/1 (DETMANN et al., 2012), conforme as equações 5 e 5.1, respectivamente.

$$ASE = (CAD + ASE) - CAD \quad (5)$$

em que

ASE = massa de “amostra seca” em estufa a 105°C (g); e

CAD = peso do cadinho de porcelana após o processo de limpeza e secagem a 105°C, por 16 horas (g).

$$\%ASE = \frac{ASE}{ASA} 100 \quad (5.1)$$

em que

%ASE = percentual de “amostra seca em estufa”;

ASE = massa de “amostra seca” em estufa a 105°C (g); e

ASA = massa de amostra seca a 55°C em equilíbrio com a umidade relativa do ar (g).

Posteriormente, foi realizado o cálculo da concentração de matéria seca (%PMS), utilizando a metodologia para amostras com alto teor de umidade, como é o caso das forragens frescas. Sendo assim, realizou-se a ponderação dos resultados de %ASA e %ASE, conforme a equação 6.

$$\%PMS = \frac{(\%ASE - \%ASA)}{100} \quad (6)$$

em que

%PMS = percentual de produção de matéria seca;

%ASA = percentual da amostra seca ao ar; e

%ASE = percentual de “amostra seca em estufa”.

Com a %PMS, calculou-se a produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF), em t ha<sup>-1</sup>, e, em seguida, estimou-se a produtividade da água de irrigação WP<sub>Irr</sub> em kg mm<sup>-1</sup>. A produtividade da água de irrigação foi determinada pela relação entre a produção de massa seca de forragem e a quantidade de água total aplicada por ciclo, fórmula adaptada dos métodos de Pereira et al. (2009) e Mota et al. (2020), conforme a equação 7.

$$WP_{Irr} = \frac{MSF}{TAI} \quad (7)$$

em que

WP<sub>Irr</sub> = Produtividade da água de irrigação, em kg mm<sup>-1</sup>;

MSF = matéria seca de forragem (kg); e

TAI = total de água de irrigação utilizada (mm).

Após a determinação do %ASE, os cadinhos de porcelana com as amostras foram levados para a mufla, a 600 °C, por 3 a 4 horas, para determinação das cinzas ou da matéria mineral, conforme o método INCT-CA m-001/1 (DETMANN et al., 2012), e os cálculos foram realizados de acordo com as equações 8, 8.1 e 8.2, respectivamente. O método consiste, basicamente, na incineração do alimento em altas temperaturas por tempo suficiente para que ocorra a combustão total da matéria orgânica (SILVA et al., 2003).

$$MM = (CAD + MM) - CAD \quad (8)$$

em que

MM = massa de matéria mineral ou cinzas (g); e

CAD = peso do cadinho de porcelana após o processo de limpeza e secagem a 105°C, por 16 h (g).

$$\%MM_{ASA} = \left( \frac{MM}{ASA} \right) 100 \quad (8.1)$$

em que

$\%MM_{ASA}$  = percentual de matéria mineral com base na massa de amostra seca ao ar;

MM = massa de matéria mineral ou cinzas (g); e

ASA = massa de amostra seca a 55°C em equilíbrio com a umidade relativa do ar (g).

$$\%MM_{MS} = \left( \frac{\%MM_{ASA}}{\%ASE} \right) 100 \quad (8.2)$$

em que

$\%MM_{MS}$  = percentual de matéria mineral com base na matéria seca;

$\%MM_{ASA}$  = percentual de matéria mineral com base na massa de amostra seca ao ar; e

$\%ASE$  = % de “amostra seca em estufa”.

Após esses procedimentos, foi possível determinar a concentração de matéria orgânica. Por definição, o teor de matéria orgânica de um alimento corresponde ao complemento da sua porção não orgânica, que é representada pela MM (DETMANN et al., 2012), conforme a equação 9.

$$\%MO_{MS} = 100 - \%MM_{MS} \quad (9)$$

em que

$\%MO_{MS}$  = percentual de matéria orgânica com base na matéria seca; e

$\%MM_{MS}$  = percentual de matéria mineral com base na matéria seca.

As análises de proteína bruta, fibra insolúvel em detergente neutro e fibra insolúvel em detergente ácido foram realizadas no Laboratório de Forragicultura e Microbiologia da Silagem, pertencente ao Departamento de Zootecnia da UFV.

Os teores de proteína bruta contidos na parte aérea (colmo + folha) foram obtidos a partir da determinação do nitrogênio total (DETMANN et al., 2012). Resumidamente, o processo é formado de algumas etapas.

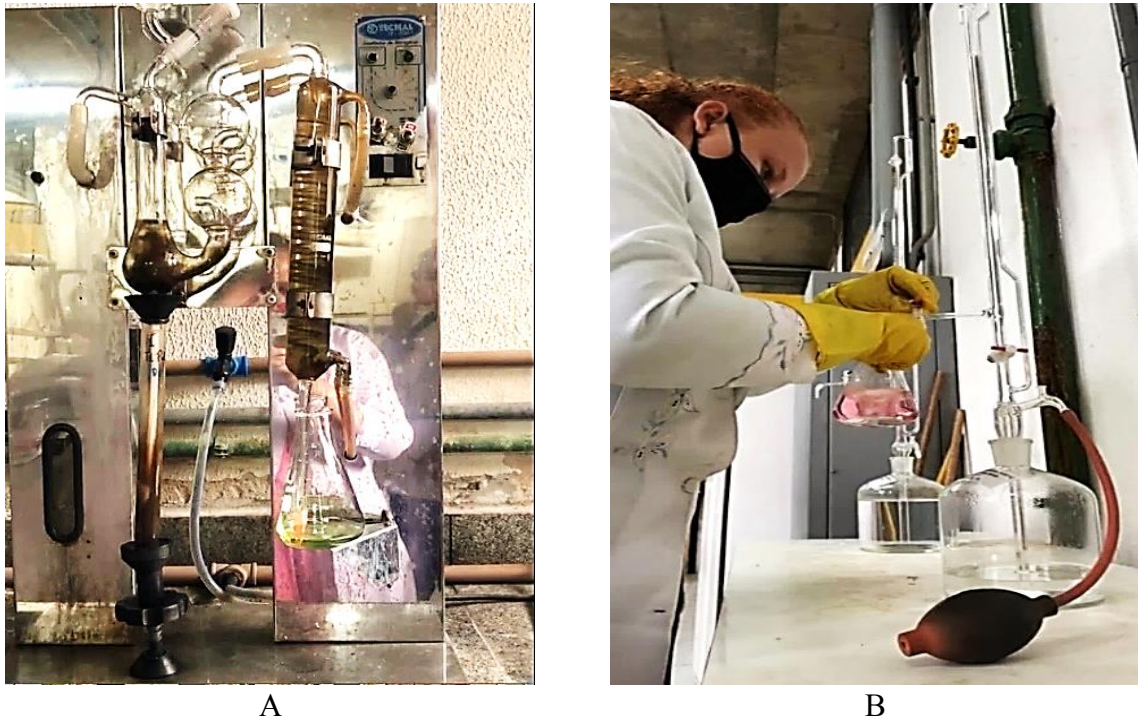
Na etapa 1, foi realizado o acondicionamento de 150 a 300 mg de amostras de ASA em tubos de ensaio. Posteriormente, foram adicionados às amostras 2 g de mistura digestora e 5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Na etapa 2, as amostras foram levadas para o bloco digestor, onde foram aquecidas lentamente até 400 °C, ao ponto de a mistura ficar translúcida. Após a retirada das amostras, elas ficaram sobre a bancada até que a temperatura diminuísse para 100 °C, e em seguida foram adicionados 20 mL de água destilada.

Na terceira etapa, as amostras passaram pelo processo de destilação. Nesse processo, primeiramente foram separados 21 Erlenmeyers (identificados de acordo com o número de amostras) contendo solução de ácido bórico ( $40 \text{ g L}^{-1}$ ), todos previamente identificados. Em seguida, os tubos de ensaio que haviam passado pelo processo de digestão foram acoplados ao destilador e também os Erlenmeyers correspondentes a cada amostra dos tratamentos, conforme a Figura 13 (A). Em cada amostra destilada foram adicionados 25 mL de solução de  $\text{NaOH}$  ( $500 \text{ g L}^{-1}$ ). A destilação ocorreu até o volume da solução de cor verde contida no Erlenmeyer chegar a 100 mL.

Após a destilação, as soluções contidas nos Erlenmeyers foram levadas para a realização da quarta etapa, ou seja, a titulação com ácido clorídrico médio (HCl). A titulação foi considerada completa quando ocorreu a mudança de cor verde para rosa, conforme a Figura 13 (B). Após a titulação, foram anotados os valores das quantidades de HCl utilizado em cada titulação, o fator de correção da normalidade do ácido e a própria normalidade do ácido.

Figura 13 - Detalhe da destilação (A) e titulação (B) para posterior determinação da concentração de proteína bruta.



Fonte: A autora.

É importante ressaltar que foram separados dois tubos de ensaio sem amostras de capim, mas que passaram por todos os processos (digestão, destilação e titulação), com o objetivo de eliminar a interferência e os contaminantes dos reagentes (DETMANN et al., 2012).

Chegando ao fim do processo laboratorial, o próximo passo foi a determinação da concentração de nitrogênio, conforme a equação 10.

$$\%N_{ASA} = \frac{(V - B) Ne f 14 100}{ASA} \quad (10)$$

em que

- $\%N_{ASA}$  = percentual de nitrogênio com base na amostra seca ao ar;
- $V$  = volume da solução do ácido clorídrico utilizado na titulação (mL);
- $B$  = volume do ácido clorídrico utilizado na titulação do branco (mL);
- $Ne$  = normalidade esperada da solução de ácido clorídrico;
- $f$  = fator de correção da normalidade do ácido clorídrico; e
- $ASA$  = massa de amostra seca ao ar (g).



Em seguida, foram calculadas as correções da amostra para a umidade residual e a conversão em equivalentes proteicos, de acordo com as equações 11 e 12, respectivamente.

$$\%N_{MS} = \frac{\%N_{ASA}}{\%ASE} 100 \quad (11)$$

em que

- $\%N_{MS}$  = percentual de nitrogênio com base na matéria seca;
- $\%N_{ASA}$  = percentual de nitrogênio com base na amostra seca ao ar; e
- $\%ASE$  = percentual de amostra “seca em estufa”.

$$\%PB_{MS} = \%N_{MS} f \quad (12)$$

em que

- $\%PB_{MS}$  = percentual de proteína bruta com base na matéria seca;
- $\%N_{MS}$  = percentual de nitrogênio com base na matéria seca; e
- $f$  = fator de conversão da concentração de nitrogênio em equivalentes proteicos (6,25).

A fibra insolúvel em detergente neutro ( $\% FDN_{MS}$ ) é a quantificação da fração fibrosa da forragem, insolúvel em meio neutro, composta por hemicelulose, celulose e lignina. Para determinação da  $\%FDN_{MS}$ , primeiramente foram confeccionados sacos de TNT (tecido não tecido, com 10 x 5 cm). Os sacos foram selados nas duas laterais e numerados com grafite 6B. Em seguida, eles foram lavados com água destilada em ebulição e com detergente neutro, retirados do detergente também com água destilada fervente e imergidos em acetona por 5 minutos.

Depois desse preparo, os sacos de TNT foram acondicionados em bandejas plásticas e, em seguida, levados à estufa de circulação forçada de ar a 60 °C, por 24 h. Após a retirada, eles foram acondicionados em dessecadores (20 minutos) e pesados, para obtenção do peso seco ou tara dos sacos de TNT (g).

Dentro de cada saco de TNT foram acondicionadas amostras com aproximadamente 800 mg da ASA. Os sacos foram selados totalmente, ficando, assim, prontos para passar pelo processo de  $FDN_{MS}$  e, posteriormente, pela  $FDA_{MS}$ , de acordo com o método utilizando autoclave – INCT – CA F 002/1 (DETMANN et al., 2012).

Sendo assim, os sacos de TNT foram acondicionados em coletores universais, preenchidos com a solução de detergente neutro ( $100\text{mL g}^{-1}$ ) em temperatura ambiente. Em seguida, aplicou-se a  $\alpha$ -amilase termoestável ( $250 - 500\mu\text{L g}^{-1}$  de amostra). Os coletores foram então tampados e levados à autoclave a  $105^\circ\text{C}$ , por 1 hora, conforme a Figura 14 (A, B).

Figura 14 - Amostras de ASA em sacos de TNT em seus respectivos coletores, no momento da aplicação da  $\alpha$ -amilase termoestável (A), e arranjo dos coletores momento antes da entrada na autoclave (B).



13 A



13B

Fonte: A autora.

Após 1 hora na autoclave, os sacos de TNT foram lavados em água destilada fervente e posteriormente imergidos em acetona por mais 5 minutos. Logo após, os sacos foram levados em bandejas plásticas à estufa de circulação forçada de ar por 48 horas, a  $60^\circ\text{C}$ , em seguida, em bandejas de alumínio, à estufa não ventilada por 2 horas, a  $105^\circ\text{C}$ , e acondicionados em dessecador, para obtenção dos pesos dos sacos de TNT + ASA (g). Prontamente, calculou-se a  $\%FDN_{MS}$ , conforme as equações 13 a 13.2 e segundo o método INCT-CA F 002/1 (DETMANN et al., 2012).

$$FDN = (tara\ do\ saco + FDN) - tara\ do\ saco \quad (13)$$

em que

$$FDN = \text{massa de fibra insolúvel em detergente neutro (g).}$$

$$\%FDN_{ASA} = \frac{FDN}{ASA} 100 \quad (13.1)$$

em que

$\%FDN_{ASA}$  = percentual de fibras insolúveis em detergente neutro com base na amostra seca ao ar;

$FDN$  = massa de fibra em detergente neutro (g); e

$ASA$  = massa de amostra seca ao ar.

$$\%FDN_{MS} = \frac{\%FDN_{ASA}}{\%ASE} 100 \quad (13.2)$$

em que

$\%FDN_{MS}$  = percentual de fibras insolúveis em detergente neutro com base na matéria seca;

$\%FDN_{ASA}$  = percentual de fibras insolúveis em detergente neutro com base na amostra seca ao ar; e

$\%ASE$  = percentual de amostra “seca em estufa”.

Já a fibra insolúvel em detergente ácido ( $\%FDA_{MS}$ ) é referente ao teor da parte não digestível da forragem, sendo composta por celulose e lignina. Para sua determinação, foi necessário usar os saquinhos com amostras manuseados na  $FDN_{MS}$  e repetir os processos descritos anteriormente, com diferenças na solução utilizada, pois nesse momento foi utilizada a solução em detergente ácido, e não foi aplicada a  $\alpha$ -amilase termoestável. No final do procedimento, os sacos de TNT e as amostras foram novamente pesados e, em seguida, determinou-se a concentração de  $FDA_{MS}$ , conforme as equações 14 a 14.2 (DETMANN et al., 2012).

$$FDA = (tara\ do\ saco + FDN) - tara\ do\ saco \quad (14)$$

em que

$FDA$  = massa de fibra insolúvel em detergente ácido (g).

$$\%FDA_{ASA} = \frac{FDA}{ASA} 100 \quad (14.1)$$

em que

$\%FDA_{ASA}$  = percentual de fibras insolúveis em detergente ácido com base na amostra seca ao ar;

FDA = massa de fibra em detergente ácido (g); e

ASA = massa de amostra seca ao ar.

$$\%FDA_{MS} = \frac{\%FDA_{ASA}}{\%ASE} 100 \quad (14.2)$$

em que

$\%FDA_{MS}$  = percentual de fibras insolúveis em detergente ácido com base na matéria seca;

$\%FDA_{ASA}$  = percentual de fibras insolúveis em detergente ácido com base na amostra seca ao ar; e

$\%ASE$  = percentual de amostra “seca em estufa”.

Ao final do quinto corte foram coletadas amostras de solo, da parte aérea (500 g) e do sistema radicular das plantas na camada 0,40m em todos os tratamentos. As amostras foram enviadas para o Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal do Departamento de Solos da UFV, para análise química dos teores de Fe e Pb.

As raízes foram coletadas com o uso de um tubo de aço de 150 mm de diâmetro e 90 cm de comprimento. O tubo foi introduzido no solo (0,40 m) de forma a se localizar na linha de semeio central de cada lisímetro. Em seguida, foram cavadas trincheiras ao redor do tubo, para facilitar sua remoção.

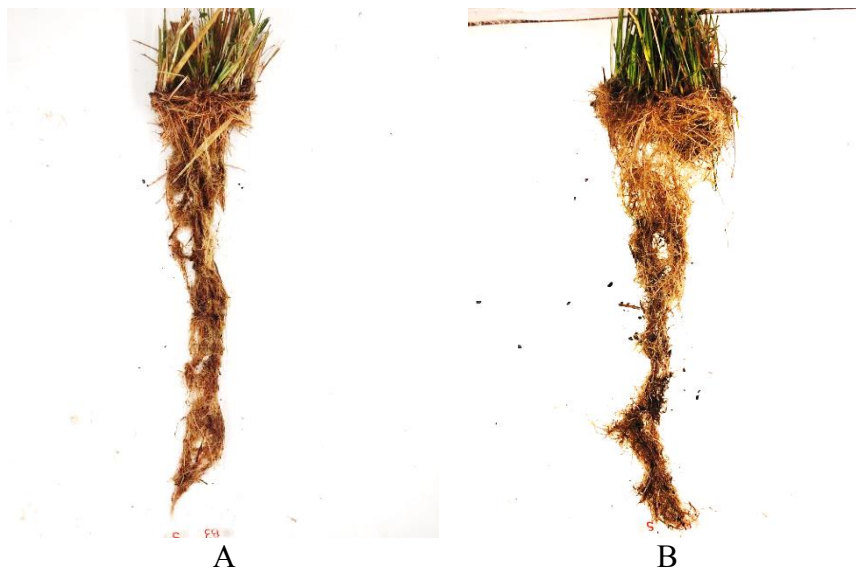
A amostra do sistema radicular foi retirada do tubo ainda envolta pelo torrão de solo, conforme a Figura 15. Após a remoção dos torrões, esses foram submetidos à lavagem com água corrente e, em seguida, ao peneiramento (peneira de 2 mm). As raízes coletadas após a lavagem foram postas para secar ao ar livre, conforme a Figura 16 (A, B).

Figura 15 – Detalhamento da amostra com material de 0 a 0,40 m para avaliação do sistema radicular.



Fonte: A autora.

Figura 16 - Detalhe do sistema radicular após lavagem de plantas cultivadas em solo (A) e em rejeito de mineração de ferro (B), ambas irrigadas com 100 % da ETc.



Fonte: A autora.

As amostras de raízes e de parte aérea (500 g) foram acondicionadas em sacos de papel craft e enviadas para o Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante, pertencentes ao Departamento de Solos da UFV.

De posse dos resultados das análises químicas de Fe e Pb em tecido vegetal e no rejeito de mineração, foi possível calcular o fator de transferência solo-plantas (para as raízes e parte aérea para Fe e Pb, conforme a equação 15).

$$FT_{solo-planta} = \frac{C_{planta}}{C_{total-solo}} \quad (15)$$

em que

$FT_{solo-planta}$  = fator de transferência solo-planta;

$C_{planta}$  = concentração do metal na planta ou parte dela ( $\text{mg kg}^{-1}$ ); e

$C_{total-solo}$  = concentração total do metal no solo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

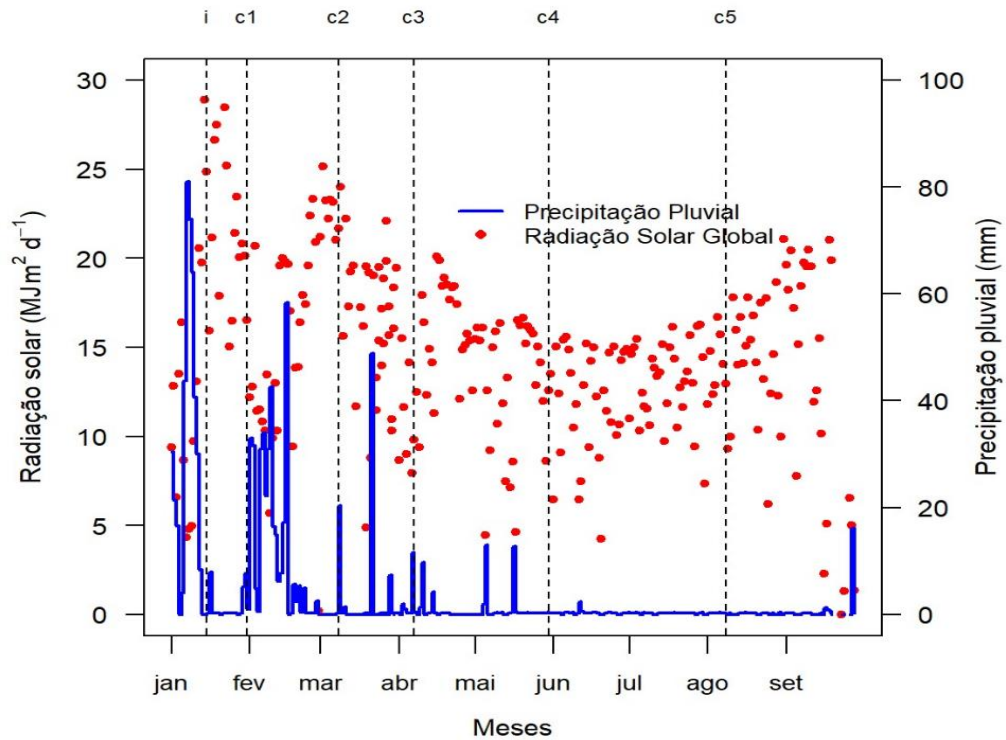
É importante ressaltar que no total foram analisados cinco ciclos de cultivo das plantas de capim-mombaça, de 16 de janeiro a 8 de agosto de 2022. Em todos os ciclos foram obtidos dados de ETc (evapotranspiração da cultura) e de ETo (evapotranspiração de referência), para posterior cálculo do Kc (coeficiente de cultura). Porém, as coletas de biomassas de capim para determinação das variáveis de produção e de qualidade da forragem ocorreram apenas nos quatro primeiros ciclos, pois as plantas não atingiram a altura de corte preestabelecida, por causa das baixas temperaturas.

Cada ciclo e o período em dias e respectivas estações foram: ciclo 1 - de 16 a 31 de janeiro (verão), ciclo 2 - de 1 fevereiro a 8 de março (verão), ciclo 3 - de 9 de março a 7 de abril (verão/outono), ciclo 4 - de 8 de abril a 30 de maio (outono) e ciclo 5 de 31 de maio a 8 de agosto (outono/inverno).

##### 4.1 Elementos Meteorológicos

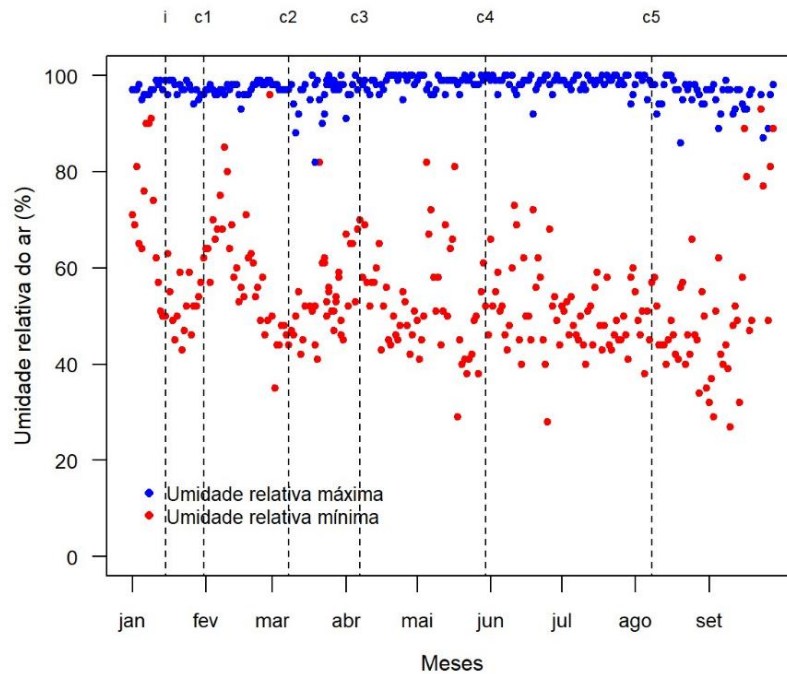
Nas Figuras 17, 18 e 19 estão os dados meteorológicos de radiação solar global, precipitação, umidade relativa do ar e temperatura em todos os cinco ciclos de cultivo. A análise desses elementos se faz fundamental para entender os efeitos dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração da cultura e o coeficiente de cultura, os parâmetros de produção e de qualidade da forragem.

Figura 17 - Variação diária da radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) e da precipitação pluvial (mm) em cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4 e c5= ciclo 5), no período de janeiro a setembro de 2022.



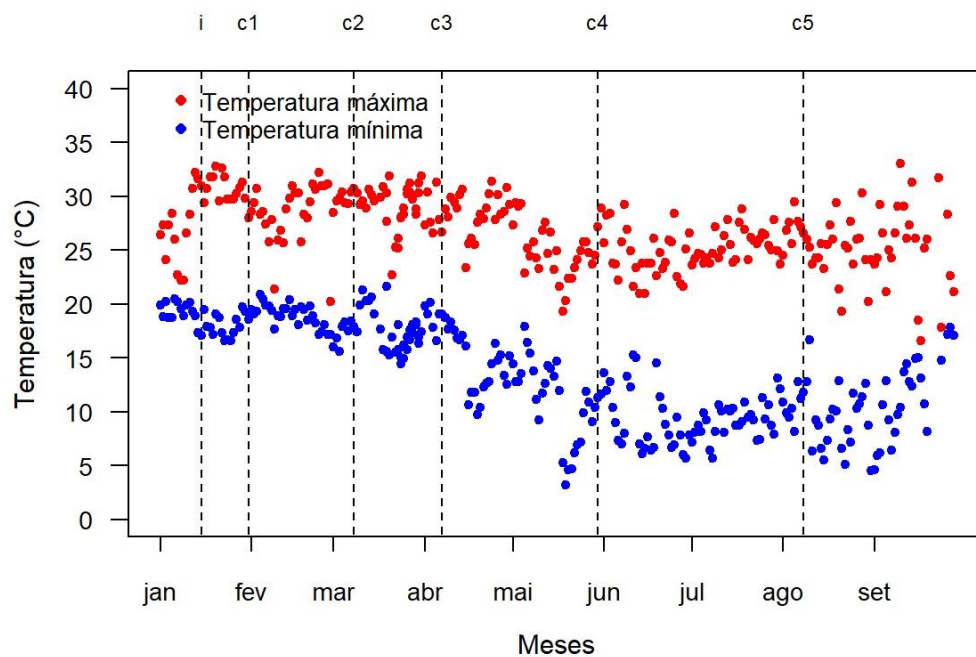
Fonte: A autora.

Figura 18 - Variação diária das umidades relativas médias máximas (%) e mínimas (%) em cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4 e c5= ciclo 5), no período de janeiro a setembro de 2022.



Fonte: A autora.

Figura 19 - Variação diária das temperaturas médias máximas (°C) e mínimas (°C) em cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4 e c5= ciclo 5), no período de janeiro a setembro de 2022.



Fonte: A autora.



A normal climatológica (1991 a 2020) para a cidade de Viçosa apresenta precipitação mensal acumulada variando de 99,2 mm (outubro) a 236 mm (janeiro) no período chuvoso e de 7,7 mm (julho) a 58 mm (abril) no período seco (INMET, 2022). Na Figura 17, percebe-se que o mês de janeiro de 2022 foi atípico, com precipitação pluvial de 438,23 mm, 71,65 % superior à normal climatológica.

Em fevereiro (ciclo 2), a precipitação acumulada também foi elevada (374 mm), sendo 220 % maior que a máxima da normal climatológica (116,9 mm), e a distribuição das chuvas ocorreu durante todo o ciclo. Em abril (final do ciclo 3 e ciclo 4 completo), a precipitação acumulada foi de 32,4 mm, ou seja, 44,3 % menor que a normal climatológica (58 mm). Já no mês de julho, que abrangeu metade do ciclo 5, o valor da precipitação acumulada foi próximo de 6 mm, sendo menor 22% da normal climatológica (7,7 mm) (INMET, 2022).

Ainda na Figura 17, observam-se os valores diários de radiação solar global durante os ciclos de cultivo. No ciclo 1, ocorreram os maiores valores, com máxima de  $43,21 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$  e mínima de  $15,04 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ . No ciclo 2, os valores variaram de  $23,31 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$  a  $5,68 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ . No ciclo 3, o valor máximo foi de  $19,85 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$  e mínimo de  $7,95 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ . Durante o ciclo 4, esses valores variaram de  $20,00 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$  a  $4,45 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ , e por fim, no ciclo 5, de  $16,67 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$  a  $4,23 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ .

Diante desses dados, constatou-se que a variação da radiação solar global foi de 25,19, 17,63, 11,9, 15,55 e 12,44  $\text{MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$  para cada ciclo, respectivamente, e que houve uma diferença de 50,6 % de radiação solar do período de início ao fim do experimento. É importante destacar que esse elemento climático é de suma importância para o crescimento e a produção das pastagens, pois atua sobre o processo fotossintético, sobre a necessidade hídrica das plantas, bem como sobre sua evapotranspiração (BORGES et al., 2010; PANTOJO DE SOUZA et al., 2018).

É importante ressaltar também que as condições climáticas podem ser um dos principais fatores atuantes sobre a variação de produção e qualidade da forragem no decorrer dos ciclos (FÁVARO et al., 2020). Inclusive, variáveis como a radiação e a temperatura, principalmente, influenciaram diretamente sobre o período total de cada ciclo, uma vez que houve uma grande diferença, por exemplo, entre o ciclo 1 (16 dias) e o ciclo 5 (69 dias). Sendo assim, a perenidade e a produtividade das gramíneas forrageiras podem ser influenciadas pelo manejo cultural adotado, bem como pelos fatores climáticos como a precipitação (que se relaciona diretamente com a umidade relativa do ar, uma vez que os lisímetros estavam cobertos), a radiação, a temperatura, entre outros fatores (CANDIDO et al., 2005; CUTRIM JUNIOR et al., 2011).

De acordo com a normal climatológica de 1991 a 2020, os dados médios da umidade relativa (UR %) do ar foram de 80,1 % (janeiro), 78,9 % (fevereiro), 82,4 % (março), 82,85% (somando os meses de abril e maio) e de 82,15 % (somando os meses de junho e julho) (INMET, 2022).

Por outro lado, os valores médios de UR% durante os ciclos 1 e 2 foram de 79,0 e 83%, respectivamente, próximo à normal climatológica (80,1 e 78,9%, respectivamente). Já nos ciclos 3 e 4, os valores foram de 77,6 e 75,5% (6,5 e 8,89% menor que a normal climatológica). Por fim, no ciclo 5, a umidade relativa média obtida foi de 74,63% (9,15% a menor que a normal), conforme a Figura 18.

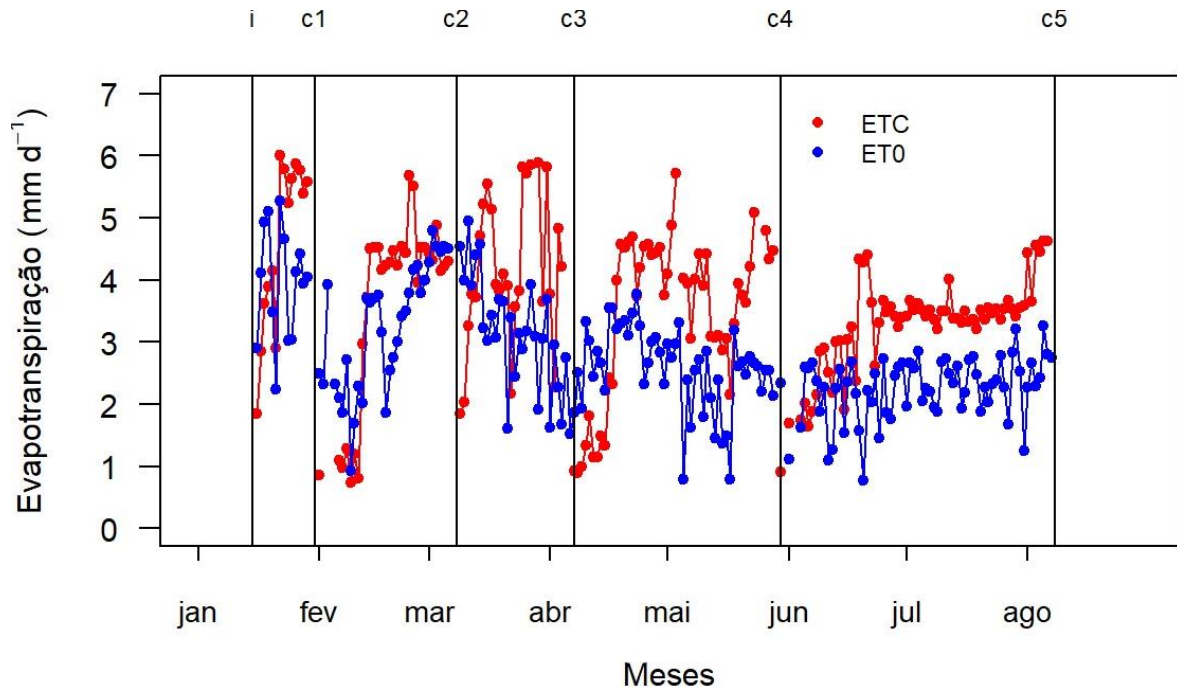
Na Figura 19 estão as médias das temperaturas máxima e mínima durante os ciclos de cultivo, cujas variações foram de 30,6 a 18,0 °C no ciclo 1, de 28,4 a 18,0 °C no ciclo 2, de 28,8 a 17,0 °C no ciclo 3, de 26,4 a 12,5 °C no ciclo 4 e de 25,2 a 9,4 °C no ciclo 5.

É importante destacar que durante os dois últimos ciclos foram obtidos valores de temperatura mínima inferiores aos dados das Normais Climatológicas (1991 a 2020) obtidas no Instituto Nacional de Meteorologia (15,3 e 11,6 °C, respectivamente) (INMET, 2022). O capim cv. Mombaça é uma forrageira tropical, portanto uma planta de metabolismo C<sub>4</sub>, exigente em temperatura e luminosidade, sendo a faixa ótima de 30 a 35 °C, mas tolerando até a mínima de 19 °C (VALENTE et al., 2011; CARDOSO, 2021).

#### **4.2 Curvas de evapotranspiração (ET<sub>o</sub> e ET<sub>c</sub>) e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>)**

Observa-se na Figura 20, os valores diários da evapotranspiração de referência e da evapotranspiração da cultura das plantas de capim-mombaça cultivadas em solo durante cinco ciclos de cultivo.

Figura 20 – Variação diária da Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) de plantas de capim-mombaça cultivadas em solo, durante cinco ciclos de cultivo (i = início dos tratamentos; c1 = ciclo 1; c2 = ciclo 2; c3 = ciclo3; c4 = ciclo 4 e c5= ciclo 5), para condições edafoclimáticas do município de Viçosa–MG, no período de janeiro a agosto de 2022.



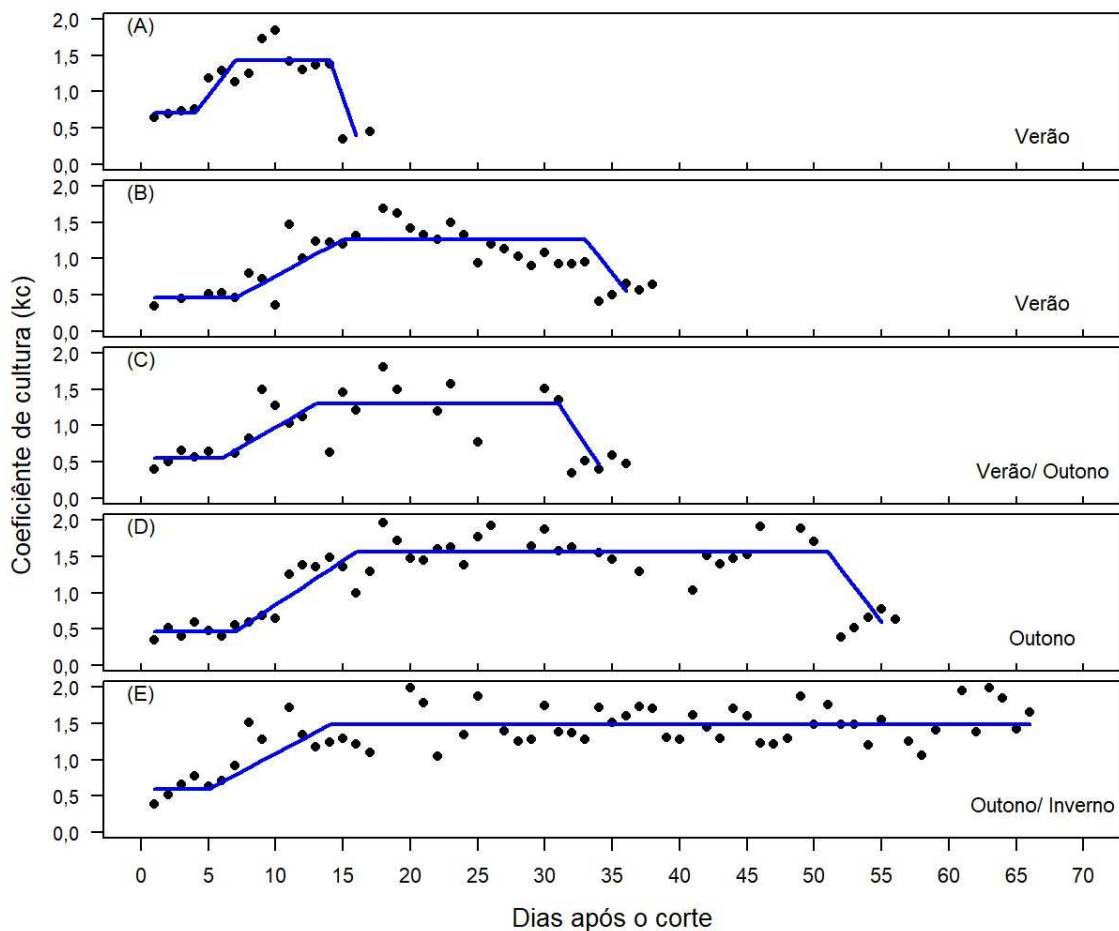
Fonte: A autora.

Os valores máximos acumulados de ET<sub>o</sub> foram de 55,3; 106,8; 96,0; 132,3; e 274,7 nos ciclos 1, 2, 3, 4, 5, respectivamente. Já os valores máximos acumulados de ET<sub>c</sub> foram de 64,6; 108,1; 110,3; 168,9; e 216,7 nos ciclos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, ou seja, quanto maior foi o período do ciclo, maior foi a demanda hídrica do capim. Os valores médios diários de ET<sub>o</sub> foram 3,68; 3,05; 3,2; 2,54; 3,98 mm d<sup>-1</sup> e de ET<sub>c</sub> foram 4,3; 3,08; 3,67; 3,24 e 3,14 mm d<sup>-1</sup>, ambos referentes aos ciclos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

A evapotranspiração de referência foi superior à evapotranspiração da cultura durante a primeira semana após o corte, com valores máximos médios de 4,5 e 2,5 mm d<sup>-1</sup> no ciclo 1 e no ciclo 5, respectivamente. Ao fim da primeira semana após os cortes, a evapotranspiração da cultura ultrapassou a evapotranspiração de referência, alcançando valores médios máximos superiores a 5 mm d<sup>-1</sup> nos três primeiros ciclos de cultivo, e valores médios máximos de 3,5 mm d<sup>-1</sup> no ciclo 4. A ET<sub>c</sub> foi inferior nos primeiros dias de cada ciclo, pois o corte diminuiu drasticamente a área foliar, ocasionando a diminuição da parte aérea, resultando em menor exigência hídrica pela cultura (JULIANA et al., 2018). Por outro lado, o aumento da ET<sub>c</sub> ocorreu para que as plantas pudessem atingir o desenvolvimento vegetativo pleno (SCHWENCK et al., 2020).

Na Figura 21 observa-se os resultados do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) para o capim-mombaça (dias após o corte) cultivado em solo durante cinco ciclos de cultivos, distribuídos nas estações de verão, outono e inverno.

Figura 21 - Evolução do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) de plantas de capim-mombaça cultivadas em solo em cinco ciclos de cultivo (A = ciclo 1; B = ciclo 2; C = ciclo 3; D = ciclo 4; e E = ciclo 5) e suas respectivas estações do ano, para condições edafoclimáticas do município de Viçosa, MG.



Fonte: A autora.

No ciclo 1 (A), obteve-se  $K_{ci}$  de 0,71,  $K_{cn}$  de 1,43 e  $K_{cf}$  de 0,46. No ciclo 2 (B) obteve-se valores de  $K_c$  equivalentes a 0,46, 1,26 e 0,56 no período inicial, médio e final, respectivamente. No ciclo 3 (C) obteve-se  $K_{ci}$  de 0,46,  $K_{cn}$  de 1,3 e  $K_{cf}$  de 0,47. No ciclo 4 (D) os valores de  $K_c$  inicial, médio e final foram de 0,47, 1,56 e 0,6, respectivamente. No ciclo 5 (E) os valores de  $K_c$  foram de  $K_{ci} = 0,6$ ;  $K_{cn} = 1,8$ . Neste ciclo não foi calculado o  $K_c$  final, pois não houve corte em sequência.

Ressalta-se que o ciclo 1 foi curto, com apenas 16 dias, e os ciclos 2 e 3 foram médios, com 35 e 29 dias, respectivamente. Já os ciclos 4 e 5 foram muito longos, com 52 e 69 dias, respectivamente. Esse resultado pode ter ocorrido, principalmente, por causa da variação de temperatura em cada estação, tendo nos ciclos 4 e 5 as médias de temperaturas mínimas sido inferiores aos 19 °C tolerados pelas gramíneas tropicais forrageiras, citado anteriormente.

Em um estudo realizado em Piracicaba, SP, observou-se que plantas de capim-mombaça tiveram ciclos médios quando a temperatura média mínima estava acima de 15°C, mas quando estava abaixo o ciclo se alongava, em média, para 69 dias, o que indica estacionalidade de produção da gramínea forrageira (MOTA et al., 2020). Na presente pesquisa, observou-se que a estacionalidade de produção (redução acentuada do crescimento e produção de forragem) ocorreu do fim de outono até o início do inverno, conforme a Figura 21 (D) e (E).

Ainda analisando a Figura 21, fica evidente que, apesar da discrepância de dias entre os ciclos, o comportamento de coeficiente de cultura ( $K_c$ ) foi semelhante. De maneira geral, o  $K_c$  seguiu uma tendência média de 0,5 no  $K_c$  inicial na primeira semana, seguido de um crescimento até o  $K_c$  médio de 1,4, com oscilações de  $\pm 0,2$  e o  $K_c$  médio final foi de 0,5.

Comparando os resultados de  $K_c$  obtidos na presente pesquisa com a recomendação de Alencar et al. (2009), na qual determinou um  $K_c$  médio prático para forrageiras em condições de pastejo de 0,8, percebe-se que na primeira semana após o corte, o  $K_c$  do capim-mombaça foi 37,5 % menor e no período de estabilização foi 75% maior. O aumento do  $K_c$  no período de estabilização pode ter sido influenciado pelo efeito Oasis. Pode-se dizer que o efeito Oasis ocorre quando uma área irrigada está próxima a uma extensa área seca da qual origina-se uma certa quantidade de calor sensível e este é transportado horizontalmente (advecção) às folhas das plantas irrigadas, ocasionando o aumento da evapotranspiração da cultura e, consequentemente, do  $K_c$  (BERNARDO et al., 2019). Mas, apesar do  $K_c$  ter se mantido relativamente alto em relação ao  $K_c$  único para as forrageiras citado anteriormente, não se distanciou dos valores obtidos por um trabalho com área de bordadura de 12 x 12 m para essa mesma cultura em Piracicaba, SP, no qual variou de 0,58 a 1,4 (aos 32 dias após o corte), com picos indo até 1,7 (SANCHES et al., 2017).

Esses resultados enfatizam a importância de conhecer a variação do coeficiente de cultura durante todo o ciclo, para que o manejo da irrigação seja realizado corretamente, indicando o uso de uma menor lâmina de irrigação no início da rebrota e aumento da lâmina no período de estabilização.

Uma variação semelhante de  $K_c$  de 0,7 (aos sete dias após o corte) a 1,2 (aos 20 dias após o corte) foi encontrada em plantas de capim-Mombaça cultivadas no semiárido mineiro

(MOTA et al., 2020). Apesar da semelhança entre os resultados de Kc, é possível notar que a diferença está contida no número de dias para obtenção do Kc no período de estabilização. Ressalta-se que o coeficiente de uma mesma cultura pode ser influenciado tanto pelo comprimento do ciclo como pelas condições climáticas locais (BERNARDO et al., 2019).

Além do mais, outras peculiaridades foram observadas, como no ciclo 1 (Figura 21 A), em que o número de dias após o corte foi menor e o Kc ficou em torno de 0,7 nos quatro primeiros dias, aumentando a seguir e estabilizando no valor de 1,4.

### 4.3 Análise de produção e qualidade da forragem

Abaixo, na tabela 3, estão apresentadas as lâminas de água totais aplicadas por tratamentos nos ciclos 1, 2, 3 e 4, bem como a irrigação total aplicada no experimento.

Tabela 3 – Lâminas de irrigação aplicadas em cada ciclo de cultivo e irrigação total por tratamento.

| ciclo | Lâminas de irrigação (mm ciclo <sup>-1</sup> ) |        |       |        |        |        |        |
|-------|------------------------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
|       | S100%                                          | L20%   | L40%  | L60%   | L80%   | L100%  | L120%  |
| 1     | 77,87                                          | 15,57  | 31,15 | 46,62  | 62,29  | 77,87  | 95,86  |
| 2     | 153,11                                         | 30,62  | 61,25 | 91,87  | 122,49 | 153,11 | 195,14 |
| 3     | 151,6                                          | 25,28  | 50,56 | 75,84  | 101,12 | 151,6  | 158,8  |
| 4     | 487,14                                         | 42,57  | 85,14 | 127,71 | 170,29 | 212,86 | 487,14 |
| Total | 869,72                                         | 114,04 | 228,1 | 342,04 | 456,19 | 595,44 | 936,94 |

Para avaliar a significância (5% de probabilidade) dos efeitos dos tratamentos sobre as variáveis de produção e a qualidade da forragem, foi realizado o resumo dos quadrados médios das análises de variâncias para os quatro ciclos de cultivo (ANOVA), conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo da ANOVA das variáveis AD, MSF, WPIRRI, %MMMS, %MOMS, %FDNMS, %FDAMS e %PBMS de plantas de capim-mombaça, em quatro ciclos de cultivo.

| Quadrados Médios |    |                        |                           |                               |                         |
|------------------|----|------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Ciclo 1          |    |                        |                           |                               |                         |
| F.V.             | GL | AD (m)                 | MSF (t ha <sup>-1</sup> ) | WPIRRI (kg mm <sup>-1</sup> ) | MM <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 0,00591 <sup>Ns</sup>  | 3,56719 <sup>Ns</sup>     | 1.153,37 <sup>**</sup>        | 0,27391 <sup>Ns</sup>   |
| RESÍDUO          | 14 | 0,00348                | 2,11859                   | 134,863                       | 0,50789                 |
| CV (%)           | -  | 5,92                   | 17,11                     | 16,73                         | 6,34                    |
| F.V.             | GL | MO <sub>MS</sub> (%)   | FDN <sub>MS</sub> (%)     | FDA <sub>MS</sub> (%)         | PB <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 0,27391 <sup>Ns</sup>  | 14,71790 <sup>Ns</sup>    | 11,87929 <sup>Ns</sup>        | 0,62296 <sup>Ns</sup>   |
| RESÍDUO          | 14 | 0,50781                | 14,94688                  | 8,34505                       | 0,54845                 |
| CV (%)           | -  | 0,80                   | 5,39                      | 7,14                          | 9,81                    |
| Ciclo 2          |    |                        |                           |                               |                         |
| F.V.             | GL | AD (m)                 | MSF (t ha <sup>-1</sup> ) | WPIRRI (kg mm <sup>-1</sup> ) | MM <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 0,00054 <sup>Ns</sup>  | 0,67383 <sup>Ns</sup>     | 1.246,35 <sup>**</sup>        | 1,95639 <sup>Ns</sup>   |
| RESÍDUO          | 14 | 0,00332                | 1,22883                   | 164,92                        | 1,12521                 |
| CV (%)           | -  | 5,80                   | 16,55                     | 15,5                          | 7,75                    |
| F.V.             | GL | MO <sub>MS</sub> (%)   | FDN <sub>MS</sub> (%)     | FDA <sub>MS</sub> (%)         | PB <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 1,956391 <sup>Ns</sup> | 14,93688 <sup>Ns</sup>    | 39,34208 <sup>Ns</sup>        | 1,19511 <sup>Ns</sup>   |
| RESÍDUO          | 14 | 1,125215               | 14,36532                  | 19,18797                      | 0,769047                |
| CV (%)           | -  | 1,22                   | 5,35                      | 10,62                         | 11,42                   |
| Ciclo 3          |    |                        |                           |                               |                         |
| F.V.             | GL | AD (m)                 | MSF (t ha <sup>-1</sup> ) | WPIRRI (kg mm <sup>-1</sup> ) | MM <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 0,024405 <sup>*</sup>  | 1,686763 <sup>Ns</sup>    | 9151,742 <sup>**</sup>        | 2,440415 <sup>Ns</sup>  |
| RESÍDUO          | 14 | 0,006478               | 1,027775                  | 303,2148                      | 1,079557                |
| CV (%)           | -  | 10,14                  | 16,61                     | 21,06                         | 8,77                    |
| F.V.             | GL | MO <sub>MS</sub> (%)   | FDN <sub>MS</sub> (%)     | FDA <sub>MS</sub> (%)         | PB <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 2,440415 <sup>Ns</sup> | 424,443 <sup>Ns</sup>     | 160,9002 <sup>Ns</sup>        | 1,620943 <sup>Ns</sup>  |
| RESÍDUO          | 14 | 1,079557               | 245,5098                  | 83,76539                      | 0,735665                |
| CV (%)           | -  | 1,18                   | 32,02                     | 22,43                         | 6,77                    |
| Ciclo 4          |    |                        |                           |                               |                         |
| F.V.             | GL | AD (m)                 | MSF (t ha <sup>-1</sup> ) | WPIRRI (kg mm <sup>-1</sup> ) | MM <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 0,035229 <sup>**</sup> | 4,426820 <sup>**</sup>    | 2271,597 <sup>**</sup>        | 0,3063091 <sup>Ns</sup> |
| RESÍDUO          | 14 | 0,001167               | 1,184883                  | 26,65712                      | 0,4487518               |
| CV (%)           | -  | 4,33                   | 24,21                     | 15,13                         | 0,766                   |
| F.V.             | GL | MO <sub>MS</sub> (%)   | FDN <sub>MS</sub> (%)     | FDA <sub>MS</sub> (%)         | PB <sub>MS</sub> (%)    |
| TRAT.            | 6  | 0,306309 <sup>Ns</sup> | 340,3391 <sup>**</sup>    | 19,84001 <sup>Ns</sup>        | 3,917535 <sup>**</sup>  |
| RESÍDUO          | 14 | 0,448752               | 8,446195                  | 7,109354                      | 0,248342                |
| CV (%)           | -  | 0,77                   | 7,45                      | 8,88                          | 4,54                    |

<sup>Ns</sup> = F não significativo a 5% de probabilidade; <sup>\*</sup> = significativo a 1 % de probabilidade; <sup>\*\*</sup> = significativo a 5% de probabilidade; F.V. = fonte de variação, altura do dossel forrageiro (AD, em m), produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF, em t ha<sup>-1</sup>), produtividade da água de irrigação (WPIRRI, em kg mm<sup>-1</sup>), teores de matéria mineral (MM<sub>MS</sub>, em %), matéria orgânica (MO<sub>MS</sub>, em %), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN<sub>MS</sub>, em %) e em detergente ácido (FDA<sub>MS</sub>, em %) e proteína bruta (PB<sub>MS</sub>, em %); TRAT = tratamentos.

No primeiro ciclo analisado, observou-se que não houve diferença significativa em nenhum dos tratamentos, com exceção da WPIRRI. No segundo ciclo, houve um padrão estatístico semelhante. Em relação ao terceiro ciclo, houve resultados significativos tanto para o WPIRRI quanto para a altura do dossel forrageiro (AD). Já no quarto ciclo, as diferenças entre os tratamentos tornaram-se mais acentuadas e compreenderam as variáveis AD, produtividade de matéria seca de forragem (MSF), WPIRRI, fibra insolúvel em detergente neutro (%FDN<sub>MS</sub>) e proteína bruta (%PB<sub>MS</sub>), de acordo com a Tabela 4.

De posse desses resultados, procedeu-se à aplicação do teste de médias Dunnett, a fim de comparar o tratamento-controle (S100%) com as demais médias dos outros tratamentos (L20, L40, L60, L80, L100 e L120%), conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios de AD, MSF,  $WP_{Irr}$ ,  $\%MM_{MS}$ ,  $\%MO_{MS}$ ,  $\%FDN_{MS}$ ,  $\%FDA_{MS}$  e  $\%PB_{MS}$  para comparação de S100% aos demais tratamentos (L20, L40, L60, L80, L100 e L120%), em quatro ciclos de cultivo.

| Tratamento     | AD<br>(m) | MSF<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | $WP_{Irr}$<br>--- (kg mm <sup>-1</sup> ) --- | $MM_{MS}$<br>-----%----- | $MO_{MS}$ | $FDN_{MS}$ | $FDA_{MS}$ | $PB_{MS}$ |
|----------------|-----------|------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|-----------|------------|------------|-----------|
| <b>Ciclo 1</b> |           |                              |                                              |                          |           |            |            |           |
| S100%          | 1,03      | 7,07                         | 90,85                                        | 11,62                    | 88,38     | 69,64      | 38,03      | 7,23      |
| L20%           | 1,01      | 9,72                         | 624,48*                                      | 11,51                    | 88,49     | 73,96      | 41,44      | 8,11      |
| L40%           | 0,93      | 9,79                         | 314,29*                                      | 11,47                    | 88,43     | 69,97      | 39,46      | 8,01      |
| L60%           | 1,00      | 8,64                         | 184,92*                                      | 10,95                    | 89,05     | 69,85      | 39,35      | 7,33      |
| L80%           | 0,94      | 9,07                         | 145,55                                       | 10,85                    | 89,15     | 72,61      | 41,58      | 6,88      |
| L100%          | 1,05      | 7,49                         | 96,14                                        | 11,10                    | 88,90     | 75,02      | 43,92      | 7,85      |
| L120%          | 1,01      | 7,74                         | 80,75                                        | 11,08                    | 88,92     | 70,33      | 39,27      | 7,39      |
| <b>Ciclo 2</b> |           |                              |                                              |                          |           |            |            |           |
| S100%          | 0,99      | 6,25                         | 40,84                                        | 14,74                    | 85,26     | 67,08      | 38,00      | 7,74      |
| L20%           | 0,97      | 6,48                         | 211,60*                                      | 13,52                    | 86,48     | 70,20      | 38,86      | 8,57      |
| L40%           | 1,00      | 7,57                         | 123,60*                                      | 14,66                    | 85,34     | 74,38      | 47,89      | 7,52      |
| L60%           | 1,00      | 6,85                         | 74,51*                                       | 14,04                    | 85,96     | 72,29      | 44,60      | 8,36      |
| L80%           | 1,01      | 6,15                         | 50,24                                        | 13,10                    | 86,90     | 70,00      | 39,46      | 7,38      |
| L100%          | 1,00      | 6,74                         | 44,05                                        | 12,85                    | 87,15     | 71,07      | 39,61      | 6,70      |
| L120%          | 1,00      | 6,84                         | 35,05                                        | 1,87                     | 87,13     | 70,87      | 40,14      | 7,47      |
| <b>Ciclo 3</b> |           |                              |                                              |                          |           |            |            |           |
| S100%          | 0,93      | 7,38                         | 48,65                                        | 13,04                    | 86,96     | 67,07      | 33,13      | 12,73     |
| L20%           | 0,65*     | 4,84                         | 191,47*                                      | 11,16                    | 88,84     | 55,24      | 53,98      | 13,48     |
| L40%           | 0,72*     | 5,84                         | 115,47*                                      | 12,29                    | 87,71     | 51,22      | 46,10      | 13,47     |
| L60%           | 0,83      | 6,28                         | 82,84                                        | 12,70                    | 87,30     | 54,94      | 37,55      | 13,08     |
| L80%           | 0,80      | 6,31                         | 62,42                                        | 11,86                    | 88,14     | 45,15      | 36,93      | 12,45     |
| L100%          | 0,79      | 5,99                         | 39,50                                        | 11,32                    | 88,68     | 36,20      | 35,16      | 11,82     |
| L120%          | 0,84      | 6,10                         | 38,40                                        | 10,51                    | 89,49     | 32,72      | 42,75      | 11,62     |
| <b>Ciclo 4</b> |           |                              |                                              |                          |           |            |            |           |
| S100%          | 0,90      | 7,08                         | 14,54                                        | 13,21                    | 86,79     | 50,31      | 27,53      | 12,57     |
| L20%           | 0,58*     | 3,62*                        | 85,27*                                       | 12,40                    | 87,60     | 34,89*     | 28,43      | 11,84     |
| L40%           | 0,63*     | 4,47*                        | 56,25*                                       | 12,71                    | 87,29     | 31,36*     | 28,78      | 11,75     |
| L60%           | 0,61*     | 4,27*                        | 33,47*                                       | 1,68                     | 87,32     | 24,29*     | 28,77      | 11,09*    |
| L80%           | 0,62*     | 3,69*                        | 21,67                                        | 12,46                    | 87,54     | 38,26*     | 34,51      | 10,23*    |
| L100%          | 0,63*     | 3,75*                        | 7,70                                         | 12,26                    | 87,75     | 38,51*     | 32,75      | 9,76*     |
| L120%          | 0,63*     | 4,24*                        | 19,95                                        | 12,38                    | 87,62     | 55,13      | 29,53      | 9,59*     |

Médias seguidas de asterisco (\*) na coluna diferem do tratamento-padrão (solo - S) em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett, altura do dossel forrageiro (AD, em m), produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF, em t ha<sup>-1</sup>), produtividade da água de irrigação ( $WP_{Irr}$ , em kg mm<sup>-1</sup>), matéria mineral ( $MM_{MS}$ , em %), matéria orgânica ( $MO_{MS}$ , em %), fibra insolúvel em detergente neutro ( $FDN_{MS}$ , em %) e em detergente ácido ( $FDA_{MS}$ , em %) e proteína bruta ( $PB_{MS}$ , em %).

Ainda conforme a Tabela 5, percebeu-se que, de maneira geral, as plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração, sob as diferentes lâminas de irrigação, cresceram e se desenvolveram tão bem quanto as plantas do tratamento-controle, principalmente nos três primeiros ciclos de cultivos.



A altura do dossel (AD) forrageiro não foi afetada pelos tratamentos durante os dois primeiros ciclos de cultivo, sendo assim, todos se assemelharam estatisticamente ao tratamento-controle (S100%). No entanto, a partir do terceiro ciclo, verificou-se que as plantas submetidas a L20% e L40% se diferenciaram do tratamento-controle, obtendo alturas de 0,65 m (30% menor) e 0,72 m (22 % menor), respectivamente. Já no ciclo 4, a diferença da AD foi ainda mais brusca e ocorreu em todos os tratamentos testados com variação de alturas entre 0,58 m (L20 %) e 0,63 m (L100, L120 e L40%), conforme a Tabela 4.

A precocidade do ciclo 1 pode ter prejudicado a expressão dos efeitos dos tratamentos sob o crescimento das plantas. Porém, no ciclo 2 (ciclo médio), a frequência e a distribuição da precipitação contribuíram para que as plantas não diferissem quanto a AD, uma vez que a cobertura dos lisímetros foi realizada com sombreamento parcial das plantas por maior número de dias.

Sabe-se que as forrageiras tropicais de metabolismos C4 naturalmente se desenvolvem em regiões com abundância de água, temperatura e radiação (SANTOS et al., 2020). Sendo assim, a eficiência de interceptação luminosa pode ser um dos postos-chave no manejo dessas espécies (PEDREIRA et al., 2009). Com isso, alterações nos padrões qualiquantitativos da luz podem induzir comportamentos adaptativos, na tentativa de aproveitar o máximo de recursos naturais disponíveis (PACIULLO et al., 2017; GOMES et al., 2020a). Alguns dos mecanismos adaptativos que podem ter ocorrido foram a redução na densidade populacional de perfilhos e o estiolamento dos colmos (GOMES et al., 2020b; LOPES et al., 2017).

As estratégias de adaptação mencionadas se confirmam à medida que a produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF) se torna menor no decorrer dos ciclos. Do primeiro para o segundo ciclo, a produtividade de MSF reduziu em média 11,6% para o tratamento-controle (S100%), enquanto que, para as plantas cultivadas em rejeito de mineração com reposição de lâminas de água equivalente a 100% (L100%) e 120% (L120%), as produtividades reduziram em 10,01 e 11,62 %, respectivamente. A produtividade das plantas cultivadas sob os tratamentos de L20% e L40% reduziram em média 33,33 e 22,67 %, respectivamente.

Já comparando os ciclos 3 e 4, pode-se perceber que o tratamento controle teve redução quanto a MSF em 4,06 %, enquanto que o tratamento L100% reduziu a MSF em 37,39%. Por outro lado, nos tratamentos L20% e L40% houve redução de 25,20 e 23,45 % da sua produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida.

As grandes diminuições de produtividade de matéria seca da forragem das plantas submetidas às diferentes lâminas de irrigação ocorreram, principalmente, devido ao tipo de solo

utilizado (Tecnossolo), este por sua vez, apesar de possuir maior disponibilidade total de água ( $DTA = 1,6 \text{ mm cm}^{-1}$ ), ou seja, dispõe de um bom armazenamento hídrico em relação ao solo do tratamento controle ( $DTA = 1,07 \text{ mm cm}^{-1}$ ). Sendo assim, quanto maior a DTA, maior a quantidade de água disponível para as plantas e melhor a absorção de nutrientes.

Porém, mesmo com maior DTA, percebeu-se que no decorrer dos ciclos a produtividade de matéria seca passível de ser consumida reduziu de forma considerável, principalmente nas unidades experimentais em que eram aplicadas as maiores lâminas de água (L100% e L120%). Esse resultado pode ter ocorrido, pois o Tecnossolo também possui elevada densidade com  $1,66 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo 35,5% maior que a densidade do solo do tratamento controle ( $1,07 \text{ g cm}^{-3}$ ). Isso implica dizer que o Tecnossolo é mais propenso ao adensamento, principalmente quando é aplicada maior quantidade de água. Solos adensados podem comprometer a infiltração de água, realização de trocas gasosas, desenvolvimento de raízes e, conseqüentemente, diminuir a produtividade, além de aumentar o potencial erosivo (PROVIDELLO, 2022).

Geralmente os solos com maior predisposição ao adensamento são aqueles com partículas mais finas e expansivas, como os solos argilosos. Porém, apesar de o Tecnossolo possuir textura Franco Arenosa, este apresentou maior densidade e isso pode ter ocorrido devido a quantidade de material siltoso presente em sua composição ( $244 \text{ dag kg}^{-1}$ ). O silte é um tipo de partícula de solo com tamanho intermediário (0,005 mm a 0,05 mm) entre a areia e a argila (PINTO, 2006), podendo se acumular em camadas finas e porosas deixando o solo mais compacto e dificultando a infiltração de água e aeração do solo.

No ciclo 4, um fator que também afetou a produção de forragem foi a diminuição da radiação solar global, da temperatura e da umidade relativa do ar. Além do efeito direto do clima, existe também a influência do tipo de solo relacionando à sua textura, estrutura, permeabilidade e capacidade de reter água. Sendo assim, o conjunto textura do solo, condições de clima e água aplicada através da irrigação se torna fator determinante para a oscilação das produtividades de matéria seca de forragem (KIRCHNER et al., 2019).

Em relação à produtividade da água de irrigação ( $WP_{Irr}$ ), foi observado que, de maneira geral, as maiores eficiências foram obtidas nas menores lâminas de irrigação (L20, L40 e L60%), nos ciclos 1, 2 e 4. Contudo, no ciclo 3, esse padrão se repetiu apenas para as plantas submetidas aos tratamentos com lâmina de água equivalente a 20 e 40% da ETc.

É importante ressaltar que a  $WP_{Irr}$  deve ser analisado com a MSF, pois nem sempre essas variáveis são diretamente proporcionais. Foi possível verificar que a  $WP_{Irr}$  foi maior no tratamento com lâminas de irrigação de 20%. Porém, ao longo dos ciclos, o tratamento L20% não conseguiu sustentar produções de MSF próximas às obtidas pelo tratamento com solo e

100% da ETc. Por outro lado, o tratamento de lâmina de água equivalente a 40% da ETc também apresentou valores de  $WP_{Irr}$  e produtividade de MSF superiores aos do tratamento L20%, no decorrer dos ciclos.

No ciclo 4, por exemplo, o maior valor de  $WP_{Irr}$  ocorreu com a aplicação de lâminas de água equivalentes a 20% da ETc, mas, em contrapartida, esse mesmo tratamento reduziu a MSF em 48,8% em relação ao tratamento-controle. Sendo assim, o tratamento que proporcionou não o maior, mas o melhor,  $WP_{Irr}$  e uma boa MSF foi o L40%. Isso implica dizer que a lâmina de reposição L40% proporciona economia de 60% de água a ser aplicada e mantém boa produção de matéria seca de forragem, uma vez que esse tratamento não diferiu do controle na maioria dos ciclos de cultivo, mantendo, assim, o retorno econômico dessa pastagem irrigada.

Como abordado anteriormente, as características físico-hídricas do Tecnosolo influenciaram a dinâmica da água, no entanto, constatou-se que o manejo diário de irrigação também pode ter contribuído para os menores valores de  $WP_{Irr}$  dos tratamentos de lâminas de água equivalentes a 80, 100 e 120% da ETc. De acordo com alguns pesquisadores, irrigação com pequeno turno de rega pode diminuir a  $WP_{Irr}$  quando aplicado 100% da ETc (KOETZ et al., 2006; KIRCHNER et al., 2019).

Sabe-se que a evaporação direta da água do solo pode ser entendida como a evaporação da película de água que envolve as partículas do solo e os espaços entre elas. Diante desse conceito, entende-se que a evaporação direta da água do solo tende a decrescer à medida que a umidade do solo diminui (SOARES et al., 2001). Ao comparar as lâminas de água equivalentes a 20% e 40% da ETc, percebeu-se que o tratamento de L40% pode ter se sobressaído, pois seu baixo teor de umidade diminuiu a evaporação direta da água do solo sem ocasionar danos à produção de MSF (SILVA et al., 2021). Martins et al. (2012) ao avaliarem a eficiência do uso da água em plantas de milho (metabolismo C4) para obtenção de silagem, também verificaram que a melhor produtividade de silagem foi alcançada com a irrigação deficitária moderada de 50% da ETc.

Quanto aos teores de matéria mineral, matéria orgânica e fibra insolúvel em detergente ácido, verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos em nenhum dos quatro ciclos analisados. Em contrapartida, para os teores de fibras insolúveis em detergente neutro (FDN) e proteína bruta (PB), houve diferença estatísticas no ciclo 4. Nas plantas cultivadas em solo foram obtidos teores médios de 86,8% de matéria orgânica e 13,5% de matéria mineral na forragem seca, enquanto em rejeito de mineração de ferro os valores foram de 86,4 e 13,1%, respectivamente. Resultados semelhantes ( $MO_{MS}$  de 89,6%) foram encontrados por da Silva Florentino et al. (2022), ao testarem adubação orgânica e mineral em

plantas de capim-mombaça. Já no estudo de Garcia et al. (2011), o teor médio de matéria orgânica encontrado foi de 90,6%.

Para analisar os teores de fibra insolúvel em detergente neutro (%FDN), faz-se necessário compreender que a %FDN tem uma relação inversa ao consumo voluntário da forragem, pois quando os teores estão acima de 55-60% há redução do consumo voluntário de volumoso pelo animal (van SOEST, 1994). O que ocorreu nos ciclos 1 e 2, pois os teores de FDN foram 71% em todos os tratamentos, prejudicando a qualidade da forragem para consumo em pastejo animal, mas torna-se aceitável para a produção de silagem. Conforme Euclides (1995) e Campos et al. (2002), valores de FDN<sub>MS</sub> inferiores a 55% são raros, valores superiores a 65% são mais encontrados em tecidos novos e os teores entre 75 e 80% são mais comuns em tecidos de maturidade avançada.

Sendo assim, a qualidade da forragem foi afetada positivamente pela estação verão/outono e outono quanto a FDN (20, 40, e 80% da ETC), produzindo capim de maior palatabilidade. Resultados aproximados (FDN média = 66,2%) aos obtidos pelos ciclos 1 e 2 foram encontrados por Galindo et al. (2018), ao testarem doses e fontes nitrogenadas em capim-mombaça na estação do verão.

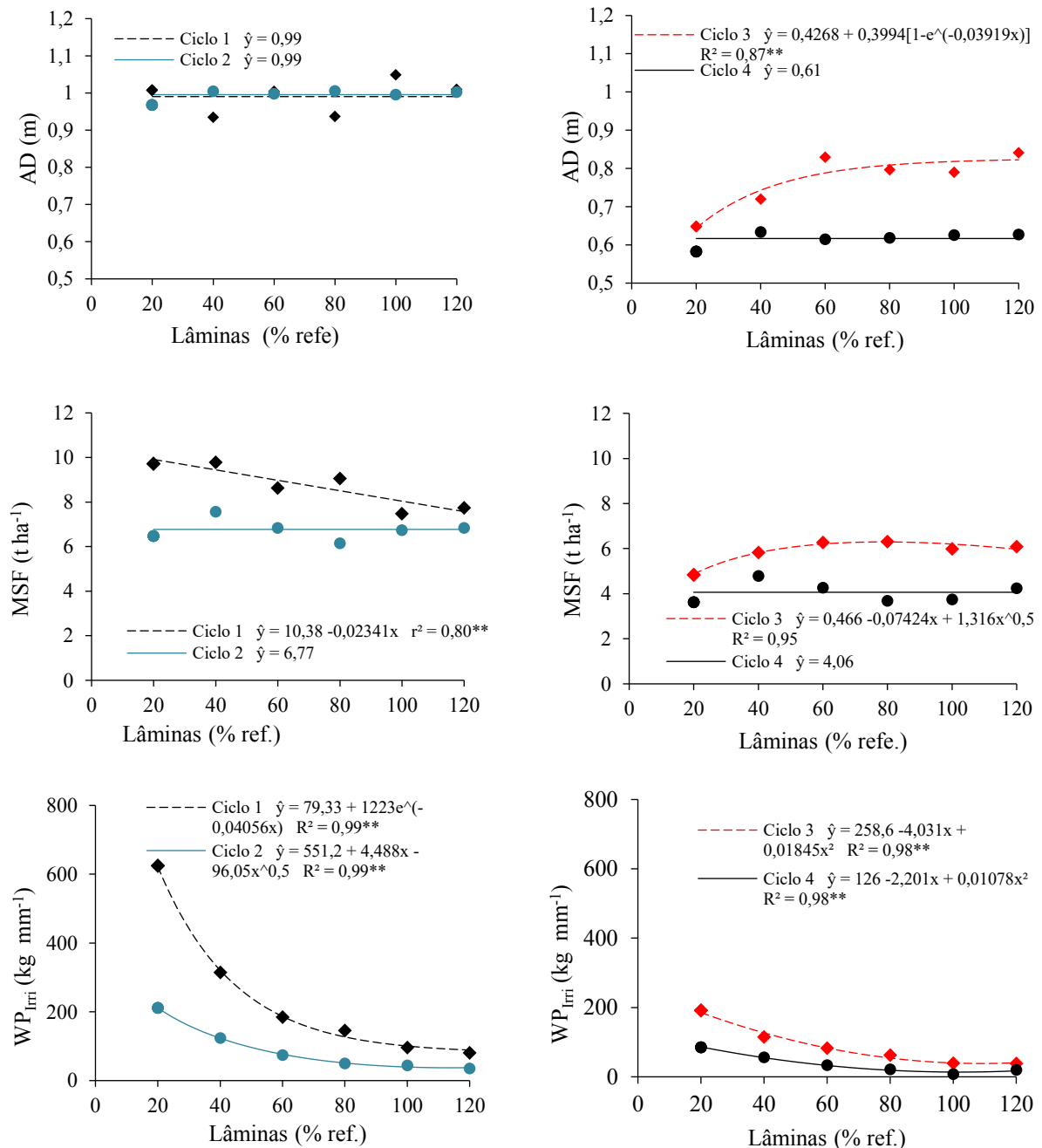
Constatou-se também que, enquanto nos dois primeiros ciclos os teores de FDN estavam elevados (70%), os de proteína bruta, nesse mesmo período, estavam relativamente baixos, mas ainda acima do limite crítico de 7%. O nível mínimo crítico de 7% é utilizado para que não haja redução da digestibilidade e ingestão da matéria seca da forragem pelo animal (van SOEST, 1994). Já no ciclo 3, os teores de PB se elevaram, mas todos os tratamentos também permaneceram iguais estatisticamente, com média de 12,66%. Teores de proteína bruta em torno de 12% são mais comumente observados em plantas de capim-mombaça e indicam boa qualidade da forragem (GARCIA et al., 2011; GALINDO et al., 2018).

Porém, no ciclo 4 observou-se diferença estatística entre o tratamento-controle (12,57% de PB) e L60, L80, L100 e L120%, sendo seus respectivos teores de proteína bruta de 11,09, 10,23, 9,76 e 9,56%. Esse fato pode ter ocorrido pois com o avanço da idade da forrageira houve diminuição da relação folha:caule, ou seja, as plantas começam a investir maior parte de seus fotoassimilados para o crescimento de caule ao invés de folhas, principalmente nas estações mais frias do ano (GARAY et al., 2017).

Para verificar o efeito das diferentes lâminas de irrigação aplicadas nas plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, realizaram-se análises de regressão das variáveis de produção e qualidade da forragem em todos os quatro ciclos de cultivos, conforme as Figuras 22, 23 e 24.

Na Figura 22 tem-se os resultados das análises de regressão para altura do dossel forrageiro (AD), produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF) e produtividade da água de irrigação ( $WP_{Irr}$ ) das plantas cultivadas em rejeito de mineração de ferro, submetidas às lâminas de irrigação (em percentagem da  $ET_c$  do tratamento-controle S100%). Quanto à altura do dossel forrageiro, percebeu-se que nos ciclos 1, 2 e 4 os tratamentos de lâminas de irrigação não influenciaram o crescimento das plantas.

Figura 22 – Estimativa da altura do dossel (AD), produtividade da matéria seca de forragem passível de ser consumida (MSF) e produtividade da água de irrigação ( $WP_{liri}$ ) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, em função das lâminas de irrigação, em quatro ciclos consecutivos.



Fonte: A autora.  $^{**}$ Significativo a 1 e a  $^{*}5\%$ , pelo teste “t”.

É importante relembrar que antes das aplicações dos tratamentos de lâminas de irrigação, todos os lisímetros estavam sendo mantidos manejados para que a reposição hídrica fosse de 100 % da  $ET_c$ , o que pode ter contribuído para a não expressão imediata do efeito dos tratamentos no ciclo 1.

Ademais, nos meses de fevereiro e março (período do ciclo 2) houve maior distribuição de chuvas, com acumulado de 374 mm. A constante previsão de chuva impunha que os lisímetros fossem cobertos por um maior número de dias, o que pode ter influenciado a radiação luminosa interceptada pelas plantas e, conseqüentemente, afetado seu crescimento. O plástico transparente das estruturas agrícolas, se não for limpo com frequência, pode impregnar poeira e reduzir substancialmente a luminosidade no interior da casa, causando problemas sérios no crescimento e no desenvolvimento vegetal, reduzindo a fotossíntese e promovendo estiolamento das plantas (BELTRÃO et al., 2002).

Em uma perspectiva diferente, o terceiro ciclo de cultivo mostrou maior suscetibilidade das plantas de capim-mombaça às lâminas de irrigação dos tratamentos de L20 e L40%, que foram as que mais afetaram o crescimento das plantas, com 0,72 e 0,65 m de AD, respectivamente. Por outro lado, a altura máxima (0,82 m) foi obtida pelas plantas submetidas a L57,9%.

No ciclo 4 (inverno) não houve interferência das lâminas de irrigação sobre a AD das plantas, com média de 0,61 m. Vale ressaltar que esse ciclo ocorreu no período em que houve queda brusca de temperatura e radiação global, dois fatores limitantes para o crescimento de plantas forrageiras tropicais. Além da influência da estação do ano, o manejo de corte adotado pode ter influenciado esse resultado, haja vista que nas condições de solo e reposição hídrica do tratamento controle, os efeitos das lâminas de irrigação não afetaram o crescimento das plantas em nenhum dos 4 ciclos.

As plantas cultivadas em Tecno solo tiveram seu crescimento afetado com o passar dos ciclos, como no ciclo 3, em que quanto menor a lâmina de água aplicada, menor a altura, o que implica dizer que as plantas precisariam de mais tempo para alcançarem a altura de corte de 0,90 a 1,0 m. Mas para fins de estudo da presente pesquisa, adotou-se a altura do tratamento controle como a altura base para a aplicação dos cortes, justamente para que pudesse ser verificado o efeito das lâminas de irrigação sobre as características de produção.

As plantas  $C_4$  são mais eficientes quando estão sob condições de intensa luminosidade e elevadas temperaturas. Neste caso, a fixação do  $CO_2$  passa pelo processo de redução e segue o ciclo do ácido dicarboxílico, diferentemente de uma planta de metabolismo  $C_3$ , que utiliza o ciclo de Calvin. Sendo assim, a adaptação à intensa luminosidade e temperatura proporciona maior eficiência no processo de fotorrespiração, pois anula parcialmente a fixação de  $CO_2$  perdido na fotossíntese, o que mantém o rendimento fotossintético e a produção (PACHECO; HELENE, 1990). Como as condições do ciclo 4 eram em suma desfavoráveis, as plantas entraram em estacionalidade.

Ainda na Figura 22, observa-se que no ciclo 1 a matéria seca de forragem não repetiu o mesmo padrão da AD, considerando a variação linear negativa da produtividade de MSF. As maiores produções de MSF ocorreram nos tratamentos L20 e L40%, com 9,72 e 9,79 t ha<sup>-1</sup> respectivamente, enquanto as lâminas de L100 e L120 % produziram 7,79 e 7,74 t ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, a produção de MSF no ciclo 2 também se manteve constante (6,77 t ha<sup>-1</sup>), conforme o mesmo padrão observado na AD, no mesmo ciclo.

Apesar disso, as produções de MSF, em todos os tratamentos, foram reduzidas em relação ao ciclo 1, principalmente nos tratamentos L20 e L40%, com diminuições de 32,7 e 27,7%, respectivamente. A maior produtividade de matéria seca de forragem passível de ser consumida alcançada no ciclo 3 foi de 6,29 t ha<sup>-1</sup> com lâmina L78,54 % da ETc, o que pode estar relacionado, de forma secundária, à maior absorção, assimilação e acúmulo de minerais, como N, P e K (SILVA et al., 2021). No entanto, no quarto ciclo as médias de MSF de todos os tratamentos não diferiram estatisticamente, alcançando produtividade de MSF no valor de 4,06 t ha<sup>-1</sup>, uma queda brusca ocasionada pelo problema de estacionalidade.

Com isso, as plantas cultivadas em Tecnossolo tendem a entrar mais precocemente em estacionalidade em comparação com as plantas cultivadas em solo, haja vista que a produtividade das plantas do tratamento controle pouco variou no decorrer dos ciclos, o que se torna um grande problema. Quando a forrageira entra em estacionalidade, sua produção de matéria seca é um terço daquela observada no período chuvoso, em virtude das condições climáticas, com baixas temperaturas, umidade do ar e precipitação, o que dificulta o desenvolvimento da forrageira (COSTA et al., 2005). Esse resultado pode ser percebido com a queda brusca de produção de MSF no ciclo 4.

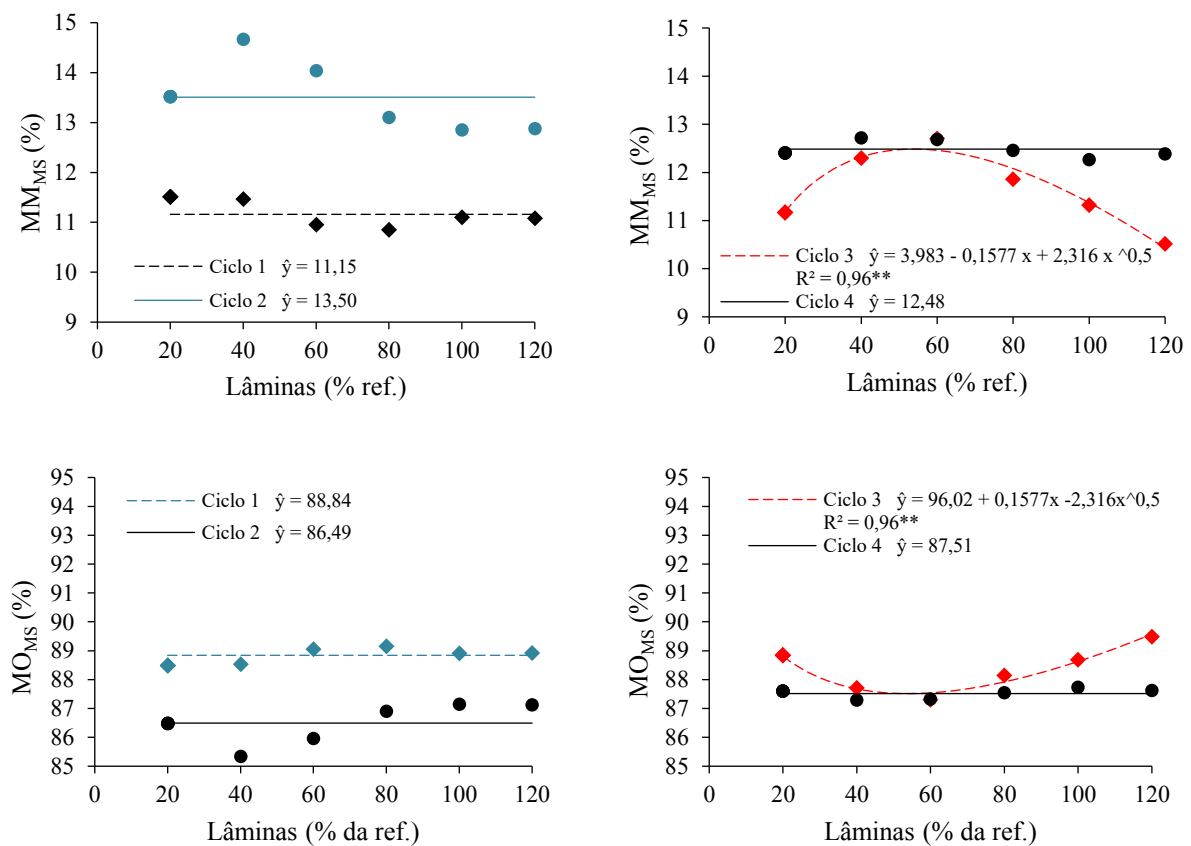
Em relação à produtividade da água de irrigação (WP<sub>Irr</sub>), notou-se que nos quatro ciclos analisados os tratamentos com aplicações das lâminas com as menores percentagens da ETc proporcionaram maiores valores de WP<sub>Irr</sub>. Essa variável está diretamente ligada ao caso do tratamento L20%, que produziu 622,73 kg mm<sup>-1</sup> no ciclo 1, mas diminuiu para 86,29 kg mm<sup>-1</sup> no ciclo 4, conforme ilustrado na Figura 22.

Esse efeito é consequência direta do manejo de corte, das características do Tecnossolo e do estresse por déficit hídrico, pois nessas condições ocorre a redução de vários processos fisiológicos e bioquímicos nas plantas, afetando a fotossíntese, o alongamento celular e até mesmo a taxa de acúmulo de forragem (DUARTE et al., 2019). Déficit hídrico ocasiona reduções em altura, índice de área foliar, apesar de ter também proporcionado maior WP<sub>Irr</sub> (ZWIRTES et al., 2015).



Em relação às variáveis que expressaram a qualidade da forragem, de acordo com a Figura 23, tornou-se perceptível que não houve interferência das lâminas de irrigação sobre os teores de matéria mineral encontrados na matéria seca de forragem das plantas de capim-mombaça nos ciclos 1, 2 e 4, sendo a média obtida em cada um de 11,15, 13,50 e 12,48 %, respectivamente.

Figura 23 – Estimativa da matéria mineral (%MM<sub>MS</sub>) e matéria orgânica (%MO<sub>MS</sub>) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, em função de lâminas de irrigação, em quatro ciclos consecutivos.



Fonte: Franco (2022). \*\* - Significativo a 1 e a \*\* - 5%, pelo teste "t.

Todavia, no ciclo 3 foi possível obter um ponto máximo de acúmulo do teor de %MM<sub>MS</sub> na matéria seca da forragem (12,48 %) com a lâmina de 53,91 % da ETC. Utilizando a equação da curva gerada pela regressão, observou-se que os tratamentos L40 e L60% proporcionaram acúmulo de %MM<sub>MS</sub> bem próximos ao ponto máximo, sendo de 12,32 e 12,46%, nesta ordem.

Mas a partir do ponto máximo, à medida que as lâminas de irrigação aumentaram, constatou-se redução do teor de matéria mineral, sendo o menor valor igual a 10,42% com aplicação da L120%. De acordo com Valadares Filho et al. (2018), o teor médio de matéria

mineral ideal contido na matéria seca de forragem do capim-mombaça para o estado de Minas Gerais é de 10,98%. Sendo assim, as plantas sob L120% estavam abaixo da média estadual.

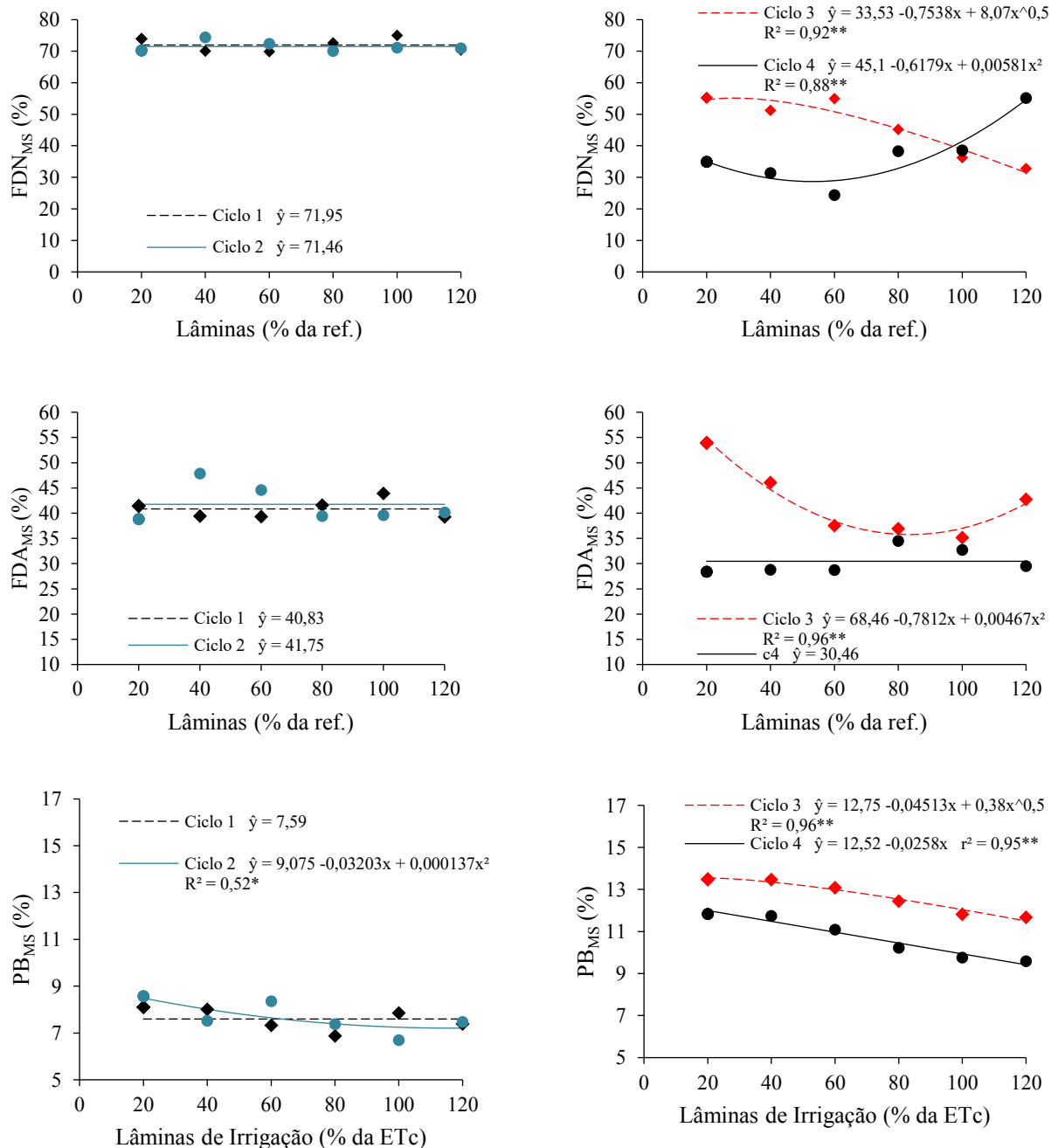
A matéria mineral é a porção da matéria seca de forragem que tem grande importância para o pastejo animal, pois é nela que são encontrados os minerais necessários para o funcionamento adequado de grande parte dos processos bioquímicos do organismo dos animais, como composição estrutural e de hormônios, participação em fluidos intra e extracelulares e catalisadores enzimáticos (DE MEDEIROS et al., 2015).

Com isso, cabe ao pasto suprir a maior parte ou a totalidade dos nutrientes para satisfazer às exigências nutricionais dos animais, principalmente no sistema de pastejo intensivo. Porém, alguns estudos apontam que nesse tipo de pastejo os minerais mais deficientes são comumente P, Na, Cu, Co, Zn, I e Se (BERCHIELLI et al., 2011).

Como a variável matéria orgânica (MO<sub>MS</sub>) está diretamente ligada às percentagens de matéria mineral, os padrões dos resultados foram bem similares, com médias constantes nos ciclos 1 (88,84 %), 2 (86,49 %) e 4 (87,51). Vale ressaltar que o teor médio ideal de matéria orgânica em matéria seca de forragem do capim-mombaça para Minas Gerais é de 90,56% (VALADARES FILHO et al., 2018). Portanto todos os tratamentos, para os três ciclos mencionados, estavam abaixo da média estadual. Contudo, no ciclo 3 foi possível obter um ponto mínimo de 87,52% com L53,91%, e teores bem próximos foram obtidos com a aplicação da L60% (87,54% de MO<sub>MS</sub>).

Na Figura 24 estão as análises de regressão para as variáveis teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN<sub>MS</sub>) e em detergente ácido (FDA<sub>MS</sub>) e proteína bruta (PB<sub>MS</sub>). O teor de fibra insolúvel em detergente neutro não foi influenciado pelos tratamentos nos ciclos 1 e 2, com valor médio de 71 % em ambos os ciclos.

Figura 24 - Estimativa dos teores de fibra insolúvel em detergente neutro (%FDN<sub>MS</sub>), fibra insolúvel em detergente ácido (%FDA<sub>MS</sub>) e proteína bruta (%PB<sub>MS</sub>) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, em função das lâminas de irrigação, em quatro ciclos consecutivos.



Fonte: A autora. \*\*Significativo a 1 e a \*\*5%, pelo teste “t”.

Contudo, ainda na Figura 24, notou-se que os teores de FDN<sub>MS</sub> no ciclo 3 diminuíram com o aumento das percentagens de reposição da ETc, com ponto máximo (55,13%) obtido com a lâmina de 28,66% da ETc. Em relação ao ciclo 4, constatou-se que a aplicação de maiores lâminas (80,100 e 120% da ETc) resultaram em maiores teores de FDN<sub>MS</sub>.

A tendência inversamente proporcional apresentada nos ciclos 3 e 4 demonstra que a lixiviação de nutrientes não foi o principal agente modulador dos valores de  $\text{FDN}_{\text{MS}}$ , uma vez que a oscilação dos resultados ocorreu a partir da lâmina equivalente a 40% da  $\text{ETc}$ . Sendo assim, as lâminas de irrigação podem ter contribuído para acentuar a diminuição da temperatura do solo, pois os ciclos 3 e 4 ocorreram no outono/inverno, com temperatura média mínima de 17 e 12,5 °C respectivamente, o que pode ter afetado a maturação fisiológica das plantas, e aumentado a relação folha: caule, principalmente das plantas manejadas com as maiores lâminas de irrigação. O avanço da maturidade dos tecidos vegetais de plantas forrageiras e a consequente redução na digestibilidade da matéria seca são fenômenos intimamente associados (CAMPOS et al., 2002).

Quanto aos teores de fibra insolúvel em detergente ácido ( $\text{FDA}_{\text{MS}}$ ), observou-se que as médias obtidas dos tratamentos não diferenciaram estatisticamente nos ciclos 1 (40,83%), 2 (41,75%) e 4 (30,46%). De acordo com Galdino et al. (2018), valores de  $\text{FDA}_{\text{MS}}$  iguais ou superiores a 40% apresentam baixo consumo e menor digestibilidade. Levando em consideração a economia na aplicação da água de irrigação, seria mais vantajoso realizar a irrigação com L40%, pois essa não diferiu estatisticamente das demais, e os teores de  $\text{FDA}_{\text{MS}}$  foram bem próximos ao desejável para uma forragem de boa qualidade nas estações verão e outono.

Baixos teores de  $\text{FDA}_{\text{MS}}$  também foram encontrados por MOCHÊ FILHO et al. (2016) com aplicação de irrigação equivalente a 50% de evaporação do tanque classe, em plantas de capim-mombaça cultivadas no estado do Piauí, com condições climáticas favoráveis ao crescimento das forrageiras tropicais e pouco variáveis durante o ano todo. Por outro lado, no ciclo 3 obteve-se um ponto mínimo do teor de  $\text{FDA}_{\text{MS}}$  (35,76 %) com irrigação de L83,71% da  $\text{ETc}$ , porém o tratamento L60% também proporcionou bons teores de  $\text{FDA}_{\text{MS}}$  (38,8%). Os tratamentos L20 e L40% elevaram os teores de  $\text{FDA}_{\text{MS}}$  para 54,8 e 45%, respectivamente, e diminuíram a qualidade da forragem.

Os tratamentos não influenciaram o teor de proteína bruta na matéria seca de forragem no ciclo 1, sendo sua média de 7,59%. Contudo, no ciclo 2 os teores de  $\text{PB}_{\text{MS}}$  diminuíram à medida que se aumentavam as lâminas de irrigação. Os tratamentos L20 e L40% proporcionaram matéria seca de forragem com teores de proteína acima de 8%, e os demais, na faixa de 7%.

Nos ciclos 3 e 4, também foram observadas diminuições nos teores de PB conforme aumentavam-se as lâminas de irrigação. O ponto máximo obtido no ciclo 3 foi de 13,5% com

L17,72% da ETc e no ciclo 4 foi de 12,04 % com 20% da ETc. Em ambos os ciclos, os menores valores de PB<sub>MS</sub> ocorreram em aplicação de lâmina de água equivalente a 120% da ETc.

A proteína bruta disponível na forragem está diretamente relacionada com o teor de N, sendo assim, nos ciclos 3 e 4, que foram os mais longos, a maior lâmina de irrigação pode ter contribuído para uma lixiviação intensa do adubo nitrogenado, reduzindo a absorção e a assimilação de N pelas plantas e, conseqüentemente, diminuindo o teor de PB<sub>MS</sub>. Teores de PB inferiores a 7% podem interferir negativamente na população desses microrganismos, ocasionando redução da digestibilidade e de ingestão de matéria seca (GALINDO et al., 2018).

Levando em consideração o tipo de solo utilizado (Tecnossolo) para o cultivo do capim-mombaça, para assegurar a qualidade da forragem em cada um dos tratamentos foi necessário analisar os teores dos principais metais encontrados no solo, sendo eles o ferro (Fe) e o chumbo (Pb), frequentemente causadores de toxicidade (BAÚ et al., 2022). Os metais são considerados uma das maiores fontes de poluição dos solos (LIMA; MERÇON, 2011; MAGNA et al., 2013; COSTA; NUNES, 2019).

Na Tabela 6 estão os valores médios dos fatores de transferência solo-planta (FT<sub>solo-planta</sub>) para Pb e Fe em matéria seca do sistema radicular e parte aérea de plantas de capim-mombaça cultivado em rejeito de mineração de ferro, sob as diferentes lâminas de irrigação.

Tabela 6 - Valores médios do fator de transferência solo-raízes (FT<sub>solo-raízes</sub>) e solo-parte aérea (FT<sub>solo-parte aérea</sub>) para Pb e Fe encontrados no sistema radicular - C<sub>raízes</sub> (a 0,40 m de profundidade) e na parte aérea - C<sub>parte aérea</sub> (colmo + folhas) de plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro, sob diferentes lâminas de irrigação (L% da ETc).

| Tratamento | Pb                             |                     |                           |                                |                          |                                |
|------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
|            | C <sub>solo</sub>              | C <sub>raízes</sub> | FT <sub>solo-raízes</sub> | C <sub>solo</sub>              | C <sub>parte aérea</sub> | FT <sub>solo-parte aérea</sub> |
|            | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                     |                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                          |                                |
| L20%       | 0,55                           | 0,75                | 1,37                      | 0,55                           | 2,30                     | 4,21                           |
| L40%       | 0,47                           | 1,15                | 2,46                      | 0,47                           | 3,22                     | 6,88                           |
| L60%       | 0,35                           | 1,40                | 3,98                      | 0,35                           | 3,12                     | 8,88                           |
| L80%       | 0,46                           | 0,47                | 1,02                      | 0,46                           | 3,20                     | 7,02                           |
| L100%      | 0,34                           | 1,00                | 2,98                      | 0,34                           | 2,53                     | 7,55                           |
| L120%      | 0,48                           | 2,35                | 4,92                      | 0,48                           | 4,02                     | 8,40                           |
| Tratamento | Fe                             |                     |                           |                                |                          |                                |
|            | C <sub>solo</sub>              | C <sub>raízes</sub> | FT <sub>solo-raízes</sub> | C <sub>solo</sub>              | C <sub>parte aérea</sub> | FT <sub>solo-parte aérea</sub> |
|            | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                     |                           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                          |                                |
| L20%       | 75,42                          | 30271,00            | 401,36                    | 75,42                          | 512,33                   | 6,79                           |
| L40%       | 74,96                          | 26946,17            | 359,47                    | 74,96                          | 360,03                   | 4,80                           |
| L60%       | 104,14                         | 29377,00            | 282,10                    | 104,14                         | 343,53                   | 3,30                           |
| L80%       | 47,09                          | 31328,83            | 665,32                    | 47,09                          | 299,08                   | 6,35                           |
| L100%      | 58,78                          | 28967,83            | 492,86                    | 58,78                          | 380,15                   | 6,47                           |

|       |       |          |         |       |        |       |
|-------|-------|----------|---------|-------|--------|-------|
| L120% | 30,16 | 32074,83 | 1063,47 | 30,16 | 327,27 | 10,85 |
|-------|-------|----------|---------|-------|--------|-------|

Fonte: dados da pesquisa.

Foi observado que os teores de Pb no solo ( $C_{\text{solo}}$ ) foram baixos, com média de  $0,44 \text{ mg kg}^{-1}$ , mas o teor encontrado na matéria seca da parte aérea das plantas  $C_{\text{parte aérea}}$  ( $3,06 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi, em média, maior que o teor encontrado nas raízes ( $C_{\text{raízes}}$ ) ( $1,19 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Logo, o  $FT_{\text{solo-planta}}$ , de maneira geral, foi maior na parte aérea do que nas raízes ( $FT_{\text{solo-raízes}}$ ), com média igual a 2,79. Em média, o  $FT_{\text{solo-parteáerea}}$  foi de 7,16, sendo o fator mínimo obtido em matéria seca da parte aérea das plantas sob L20% (4,21) e máximo obtido pelas plantas que foram submetidas a L600% (8,88), conforme a Tabela 6.

De acordo com esses resultados, as plantas de capim-mombaça cultivadas em rejeito de mineração de ferro no quinto ciclo de cultivo apresentaram teores de Pb não tóxicos para a dieta bovina. Teores  $\geq 30 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb na matéria seca da forragem são tóxicos para a alimentação bovina, podendo ocasionar problemas no trato gastrointestinal, nos rins e no sistema nervoso (NRC, 1996; TEBALDI et al., 2000).

Em comparação ao estudo desenvolvido por Nascimento (2013), a tolerância de gramíneas forrageiras ao Pb e os teores de Pb encontrados na parte aérea do capim-mombaça foram bem próximos aos encontrados no capim-tanzânia ( $C_{\text{planta}}$  de  $3,3 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb), ambos da espécie *Megathyrsus maximus*. Por outro lado, nas raízes houve grande diferença, pois a  $C_{\text{raízes}}$  do capim-tanzânia foi de  $27,2 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb.

Os teores de Fe no solo foram mais elevados e variaram de  $30,16 \text{ mg kg}^{-1}$  (L120%) a  $104,14 \text{ mg kg}^{-1}$  (L60%), sendo a média de  $65,09 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. Os  $FT_{\text{solo-raízes}}$  variaram de  $282,1 \text{ mg kg}^{-1}$  (L60%) a  $1.063,47 \text{ mg kg}^{-1}$  (L120%), variação bem maior que a encontrada no  $FT_{\text{solo-parteáerea}}$ . Os valores de  $FT_{\text{solo-parteáerea}}$  variaram de  $3,30 \text{ mg kg}^{-1}$  de Fe (L60%) a  $10,85 \text{ mg kg}^{-1}$  de Fe (L120%), com média de  $6,43 \text{ mg kg}^{-1}$ , conforme a Tabela 6. Os teores  $\geq 1000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Fe na matéria seca de forragem são tóxicos para a alimentação bovina (NRC, 1996). Portanto, as pastagens também estão dentro do limite de segurança para os teores de Fe.

A maior concentração de Fe nas raízes pode ter ocorrido porque a rizosfera recebe grandes quantidades de matéria orgânica que abriga uma intensa atividade microbiológica e bioquímica, permitindo, assim, a mobilidade de alguns dos metais para as raízes, os quais estão adsorvidos no solo, por processos de acidificação, mudança redox ou formação de complexos orgânicos. A absorção de metais pelas plantas está condicionada pela mobilidade dos contaminantes no solo e pela especiação do metal, além da característica específica de afinidade de cada espécie vegetal e suas partes analisadas (MAGNA et al., 2013).

## 5. CONCLUSÕES

O tratamento L40% da ETc proporcionou maior produtividade de matéria seca passível de ser consumida ( $9,79 \text{ t há}^{-1}$ ) no ciclo 1, aplicando  $2,1 \text{ mm d}^{-1}$ .

O tratamento L40% da ETc produziu forragem com melhor qualidade em fibras nas estações verão/outono e outono. Os maiores teores de matéria mineral foram de 13,1% no verão e matéria orgânica de 87,71% no verão/outono.

A qualidade nutricional da forragem de plantas de capim-mombaça não foi prejudicada pelas propriedades químicas do rejeito de mineração de ferro em relação aos teores de Fe e Pb.

O estudo sinaliza que o Tecnossolo diminuiu a capacidade produtiva em 37,39% nos ciclos das estações do verão/outono e outono ao compararmos o tratamento controle (S100% da ETc) com o tratamento L100% da ETc.

Considerando-se os intervalos de cortes como referência à altura das plantas de 0,90 a 1,0 m e o rebaixamento até 0,15 m, recomenda-se os seguintes valores médio de Kc: 1,2 no verão e 1,5 no outono e no inverno, para o capim mombaça cultivado em Latossolo Vermelho Amarelo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C. A. B. de; CUNHA, F. F. da; MARTINS, C. E. et al. Irrigação de pastagem: Atualidade e recomendações para uso e manejo. **R. Bras. Zootec.**, v. 38 (spe), p. 98-108, Jul. 2009.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 298(0), 2006.
- ALVAREZ V., H. V.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., H. V. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-61
- ALMEIDA, C. A.; OLIVEIRA, A. F. de; PACHECO, A. F. et al. Characterization and evaluation of sorption potential of the iron mine waste after Samarco dam disaster in Doce River basin e Brazil. **Chemosphere**, Oxford, v. 209, p. 411-420, Oct. 2018.
- ARAÚJO, S. A. do C.; VAZQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E. et al. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), em estresse hídrico. **Acta Scient. Anim. Sci.**, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.
- BARBOSA, W. F. C.; COSTA CARNEIRO JUNIOR, J. F.; MESQUITA COSTA, V. R. et al. Recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração de ferro: Uma revisão sobre técnicas e possibilidades. **Rev. Cient. Famap**, v. 2, n. 02, 2022.
- BATISTA, É. R.; CARNEIRO, J. J.; PINTO, F. A. et al. Environmental drivers of shifts on microbial traits in sites disturbed by a large-scale tailing dam collapse. **Sci. Total Enviro.**, v. 738, Oct. 2020.
- BAÚ, R. Z.; OLIVEIRA RAMOS, M. A.; ALVES RAMOS, V. A. Proposta de recuperação do solo da cidade de Brumadinho-MG. **Ensaio USF**, v. 6, n. 1, 2022.
- BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELES FILHO, J.; FIGUEIRÊDO, I. C. de M. Uso adequado de casa-de-vegetação e de telados na experimentação agrícola. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v. 6, n. 3, p. 547-552, 2002.
- BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. de. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed., FUNEP, Jaboticabal, Brasil, 2011. 616 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019. 625 p.
- BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. de; COELHO FILHO, M. A. et al. Avaliação de modelos de estimativa da radiação solar incidente em Cruz das Almas, Bahia. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v. 14, n. 1, p. 74-80, 2010.
- BOTREL, M. de A.; NOVAIS, L. P.; ALVIM, M. J. Características forrageiras de algumas gramíneas tropicais. Juiz de Fora, MG: EMBRAPA-CNPGL. Documentos 66, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 1998. 35 p.



BRADY, N. C.; WEILL, R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2013. 683 p.

BRASIL. **Laudo técnico preliminar**: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da Barragem do Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, Diretoria de Proteção Ambiental – DIPRO, Coordenação Geral de Emergências Ambientais – CGEMA, Minas Gerais, nov. 2015. 38 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Sumário mineral**. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília, DF: DNPM/DIPLAM, 2011. 128 p.

BRIGHENTI, A. M.; BENITES, F. R. G.; SOBRINHO, F. S. African star grass response to postemergence herbicides. **Ci. e Agrotec.**, v. 43, p. 1-6, 2019.

CAETANO, A. L.; DE PÁDUA, M. P.; POLO, M. et al. Crescimento, anatomia e trocas gasosas de *Cenostigma pluviosum* cultivado sob níveis reduzidos de água em rejeitos de mineração de ferro. **J. Soils and Sediments**, v. 22, n. 1, p. 381-391, 2022.

CAMPOS, F. P. de; LANNA, D. P. D.; BOSE, M. L. V. et al. Degradabilidade do capim-elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro/gás. **Sci. Agric.**, v. 59, n. 2, p. 217-225, jun. 2002.

CÂNDIDO, Magno José Duarte et al. Período de descanso, valor nutritivo e desempenho animal em pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob lotação intermitente. **R. Bras. Zoot.**, v. 34, n. 5, p. 1459-1467, out. 2005.

CARAMORI, C. H.; MAGALHÃES, G. M.; GRANDO, T. H. Tripanossomose em bovinos: Breve revisão de literatura. **Veter. e Zoot.**, v. 29, p. 1-9, 2022.

CARDOSO, M. R. de S.; NEIVA, J. N. M. Produção do capim mombaça (*Megathyrsus maximus*) com adubação fosfatada única ou parcelada. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFT, 17. **Anais...** Palmas (TO) UFT, 2021.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S. et al. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 32, n. 2, p. 621-632, abr. 2008.

CARNEVALLI, R. A. **Dinâmica da rebrotação de pastos de capim-Mombaça submetidos a regimes de desfolhação intermitente**. 2003. 136 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

CARVALHO, A. M. X. de; MENDES, F. Q. **Speed Stat**: Um programa de planilhas gratuito, intuitivo e minimalista para análises estatísticas de experimentos. **Melhoramento de Culturas e Biotecnologia Aplicada**, v. 20, n. 3, p.e327420312, 2020.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 207 p.

COSTA, N de L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A. et al. Formação e manejo de pastagens de Capim-Mombaça em Rondônia. **Embrapa**, n. 27, p. 1-2, jul. 2001.

COSTA, K. A. de P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I. P. de et al. **Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. p. 187-193

COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G. **Riscos de metais pesados no ambiente**. Fortaleza, CE: GPEAS - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, 2019. 12 p.

CUTRIM JUNIOR, José Antônio Alves et al. Características estruturais do dossel de capim-tanzânia submetido a três frequências de desfolhação e dois resíduos pós-pastejo. **R. Bras. Zoot.**, v. 40, n. 3, p. 489-497, 2011.

DA CONCEIÇÃO, GUERRA Chaiane et al. Coeficientes de cultura (KC) do feijoeiro comum irrigado. **Ver. Bras. Agric. Irrig.**, v. 10, n. 3, p. 614-620, 2016.

COSTA, K. C. G. da et al. Fosfatagem e calagem no desenvolvimento do capim-Mombaça. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. e361101313794, 2021.

DANTAS, G. de F.; FARIA, R. T. de; SANTOS, G. O. et al. Produtividade e qualidade da brachiaria irrigada no outono/inverno. **Eng. Agrí.**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 469-481, mai./jun. 2016.

DE ANDRADE, L. C. R. de. Barragens de rejeitos da mineração de ferro: Panorama geral brasileiro e avaliação de impactos associados. **Rev. Ciênc. Exatas e Tecnol.**, v. 13, n. 13, p. 29-37, 2018.

DETMANN, E.; COSTA E SILVA, L. F.; ROCHA, G. C. et al. (Org.). **Métodos para análise de alimentos**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214 p.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, 1977.179pp.

DUARTE, C. F. D.; PROCHERA, D. L.; PAIVA, L. M. et al. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 71, N. 5, p. 1669-1676, 2019.

DUARTE, Hélio A. Ferro-um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. **Química Nova**, v. 42, p. 1146-1153, 2020.

ESCOBAR, I.; SANTOS, V.; SILVA, D. K. et al. Changes in microbial community structure and soil biological properties in mined dune areas during re-vegetation. **J. Enviro. Manag.**, New York, v. 55, n. 6, p. 1433-1445, 2015.

EUCLIDES, V. P. B. **Manejo do capim-Mombaça para períodos de águas e seca**. Embrapa Gado de Corte; Campo Grande, MS, 2014.

EUCLIDES, V. P. B. Valor alimentício de espécies forrageiras do gênero *Panicum*. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (Eds.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995, p. 245-274.

FARIAS, A. R.; CASTRO, B. T. P.; FERREIRA, W. S. Impactos ambientais ocasionados pelos processos produtivos do minério de ferro. **Sci. Amaz.**, v. 8, n.1, E20-E33, 2019.

FÁVARO, V. R.; ARRUDA C. U. de; PINTO, M. G. L. et al. Produção animal e variáveis climáticas em pastagem de azevém-anual tetraploide. **Rev. Cient. Rural**, v. 22, n. 2, p. 356-369, 2020.

FIGUEIREDO, M. A.; DINIZ, A. P.; MESSIAS, M. C. T. B. et al. Propagação e implantação de gramíneas rupestres para recuperação de áreas degradadas pela mineração. **Rev. Bras. Bot.**, v. 41, n. 2, p. 287-295, 2018

FILHO, J. de A. F.; PAULA, F. L. M. de; PAULA, A. L. de. et al. Production and quality of Tifton 85 pastures overseeded with black oat: Effects of irrigation and nitrogen fertilization. **Semina: Ci. Agr.**, v. 39, n. 5, p.2071-2080, 2018.

FLORENTINO, L. da S.; SILVA, M. J. dos S.; SANTOS, R. M. dos. et al. Avaliação da produção de biomassa de forragem do capim *Panicum maximum* cv. Mombaça submetida a adubação mineral e orgânica. **Braz. Jour. Develop.**, v. 8, n. 1, p. 1131-1144, 2022.

FREITAS, K. R.; ROSA, B.; RUGGIERO, J. A. et al. Avaliação da composição químico-bromatológica do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) submetido a diferentes doses de nitrogênio. **Biosc. Jour.**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 1-10, 2007.

GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Manejo da adubação nitrogenada no capim-mombaça em função de fontes e doses de nitrogênio. **Rev. Ci. Agr.**, v. 41, n. 4, p. 900-913, 2018.

GARAY, J. R.; et al. Dry matter accumulation and crude protein concentration in *Brachiaria* spp. cultivars in the humid tropics of Ecuador. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 5, n. 2, p. 66-76, 2017.

GARCIA, A. D. B.; VIEIRA, G. H. S.; PETERLE, G. et al. Opções para Estimativa da Evapotranspiração de Referência no Norte do Espírito Santo e Leste de Minas Gerais, Brasil. **J. Exper. Agric. Intern.**, v. 29, n. 2, p. 1-14, 2018.

GARCIA, A. D. B.; VIEIRA, G. H. S.; PETERLE, G. et al. Options for reference evapotranspiration estimation in Northern Espírito Santo and Eastern Minas Gerais States, Brazil. **J. Exper. Agric. Intern.**, v. 29, n. 2, p. 1-14, 2019.

GARCIA, C. de S.; FERNANDES, A. M.; FONTES, C. A. de A. et al. Desempenho de novilhos mantidos em pastagens de capim-elefante e capim-mombaça. **R. Bras. Zootec.**, v. 40, n. 2, p. 403-410, 2011.

GOMES, F. J.; PEDREIRA, B. C.; SANTOS, P. M. et al. Efeitos do sombreamento nas características de copa e perfilhamento de capim-braquiária sob estoque contínuo em um sistema silvipastoril no bioma Amazônia. **Grass and Forage Science**, v. 75, n. 3, p. 279-290, 2020b.

GOMES, F. J.; PEDREIRA, B. C.; SANTOS, P. M. et al. Efeitos do microclima nas características do dossel de pastagens de capim-braquiária sombreadas em um sistema silvipastoril no bioma amazônico do Brasil central. **Eur. Jour. Agron.**, v. 115, p. 126029, 2020a.

GONÇALVES, L. J.; TAGLIAFERRE, C.; CASTRO FILHO, M. N. de. et al. Uso do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração da cultura em ambiente protegido. **Rev. Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 778-785, jul.-set. 2019.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Setor mineral**. Disponível em: <https://ibram.org.br/publicacoes/>. Acesso em: 05 mai. 2022.

INMET -Instituto Nacional de Meteorologia. Normal climatológica. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>. Acesso em : 05 jan. 2023.

JESUS, F. L. F. de; SANCHES, A. C., SOUZA, D. P. de. et al. Seasonality of biomass production of irrigated Mombaça ‘Guinea grass’. **Acta Agric. Scand., Section B - Soil & Plant Science**, v. 71, n. 3, p. 156-164, 2021.

JESUS, F. L. F. de. **Potencial produtivo de capim mombaça irrigado e com diferentes doses de nitrogênio e boro**. 2020. 105 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2020.

JÚNIOR, G. do N. A.; GOMES, F. T.; SILVA, M. J. da. et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Pubvet**, v. 13, n. 1, p. 148, 2019.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. et al. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Rev. Bras. Ciênc. Agr.**, v. 14, n. 2, p. 1-9, 2019.

KOBAYASHI, B. F.; VALERIANO, T. T. B.; OLIVEIRA, A. F. et al. Estimativa da evapotranspiração da cultura do trigo cultivado em UBERABA, MG. **Rev. Bras. Agric. Irrig.**, v. 12, n. 5, p. 2923-2931, 2018.

KOETZ, M.; COELHO, G.; COSTA, C. C. da. et al. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface-americana em ambiente protegido. **Eng. Agríc.**, v. 26, n. 3, p. 730-737, set./dez. 2006.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 199-205, nov. 2011.

LOPES, Cl. M.; PACIULLO, D. S. C.; ARAÚJO, S. A. do C. et al. Morfologia vegetal e acúmulo de forragem de capim-braquiária com ou sem adubação, sob diferentes regimes de luz. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1-7, 2017.

LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 1, p. 1, 14 jul. 2016.

MAGNA, G. A. M.; MACHADO, S. L.; PORTELLA, R. B. et al. Chumbo e cádmio detectados em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro-Bahia. **Química Nova**, v. 36, n. 7, p. 989-997, 2013.

MARQUES, A. R.; COUTO, F. R.; SILVA, V. de C. et al. Biological re-colonization of sub-aerial boundaries of an ‘artificial construction-niche’ contaminated by iron mine tailings: laboratory bioassays. **Environ. Earth Sci.**, v. 76, n. 480, p. 1-14, 2017.

- MARQUES, T. E. D.; BAÊTA, H. E.; LEITE, M. G. P. et al. Crescimento de espécies nativas de Cerrado e de *Vetiveria zizanioides* em processos de revegetação de voçorocas. **Ci. Flor.**, v. 24, n. 4, p. 843-856, 2014.
- MARTINS, J. D.; CARLESSO, R.; NÚBIA, P. A. et al. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 192-205, 2012.
- MEDEIROS, S. R. de; GOMES, R. da C.; BUNGENSTAB, D. J. **Nutrição de bovinos de corte**: Fundamentos e aplicações. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2015. 176 p.
- MELGAR-RAMÍREZ, R.; SÁNCHEZ, J. A.; GARCIA, I. Efeitos da aplicação de resíduos orgânicos e inorgânicos na restauração de solos de minas de enxofre. **Poluição da Água, do Ar e do Solo**, v. 223, n. 9, p. 6123-6131, 2012.
- MOCHEL FILHO, W. de J. E.; CARNEIRO, M. S. de S.; ANDRADE, A. C. et al. Produtividade e composição bromatológica de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob irrigação e adubação azotada. **Rev. Cien. Agr.**, v. 39, n.1, p. 81-88, 2016.
- MOREIRA, C. D.; PEREIRA, D. H.; COIMBRA, R. A. et al. Germinação de gramíneas forrageiras em função da inoculação de bactérias diazotróficas. **Sci. Elec. Archi**, v. 6, p. 90-96, 2014.
- MOTA, V. J. G.; CARVALLHO, A. J. de; OLIVEIRA, F. G. et al. Determinação do coeficiente de cultura do capim-mombaça manejado em diferentes estações do ano no semiárido mineiro. **IRRIGA**, v. 25, n. 1, p. 170-183, 2020.
- NASCIMENTO, Sandra Silva do. **Tolerância de gramíneas forrageiras ao chumbo e sua disponibilidade no solo**. 2013. 63 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). **Nutrient requirements of beef cattle**. 7 rev., Washington, D. C.: The National Academic Press, 1996.
- OLIVEIRA, V. da S.; MORAIS, J. A. da S.; FAGUNDES, J. L. et al. Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. **R. Cient. Eletr. Med. Vet.**, v. 26, p. 1-10, jan. 2016.
- OLIVEIRA, V. S.; MORAIS, J. A. da S.; FAGUNDES, J. L. et al. Produção e composição químico-bromatológica de gramíneas tropicais submetidas a dois níveis de irrigação. **Arch. Vet. Sci.**, v. 20, n. 2, P. 27-36, 2015.
- PACHECO, M. R. P. dos S.; HELENE, M. E. M.s. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO<sub>2</sub>. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 9, p. 204-220, ago. 990.
- PACIULLO, D. S. C., GOMIDE, C. D. M., CASTRO, C. D. et al. Morfogênese, biomassa e valor nutritivo de *Panicum maximum* sob diferentes níveis de sombreamento e doses de fertilizantes nitrogenados. **Ciência das gramíneas e Forragens**, v. 72, n. 3, p. 590-600, 2017;
- PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; SILVA, S. C. da. Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação. **R. Bras. Zoot.**, v. 38, N. 4, p. 618-625, abr. 2009.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. **Lidando com a escassez de água: Enfrentando os desafios**. Springer Science & Business Media, 2009.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3ª edição. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006.

PIMENTEL, R. M.; BAYÃO, G. F. V.; Lelis, D. L. et al. Ecofisiologia de plantas forrageiras. **Pubvet**, v. 10, p. 636-720, 2016.

PROVIDELLO, M. V. **Qualidade do solo para a cultura do milho**. 2022. 33 p. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

QUADROS, P. D. de; ZHALNINA, K.; DAVIS-RICHARDSON, A. G. et al. Coal mining practices reduce the microbial biomass, richness and diversity of soil. **Appl. Soil Ecol.**, Amsterdam, v. 98, p. 195-203, 2016.

QUEIROZ, H. M.; NÓBREGA, G. N.; FERREIRA, T. O. et al. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? **Sci. Total Environ.**, Amsterdam, v. 637, p. 498-506, Oct. 2018.

ROESER, H. M. P.; ROESER, P. A. O quadrilátero ferrífero - MG, Brasil: Aspectos sobre sua história, seus recursos minerais e problemas ambientais relacionados. **Geonomos**, v. 18, n. 1, p. 34-37, 2010.

RUGGIERI, A. C. **Manejo de pastagens - forragicultura – *Panicum Maximum Jacq***, UNESP, 2014.

SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E. et al. Productivity and nutritive value of tifton 85 grass irrigated and overseeding with oats. **Rev. Bras. Eng. Agr. Amb.**, v. 19, n. 2, p. 126-133, Feb. 2015.

SANCHES, A. C.; SOUZA, D. P. de; JESUS, F. L. de F. et al. Consumo de água de forrageiras tropicais no período de formação de pastagem. **Rev. Bras. Agric. Irrig.**, v. 11, n. 2, p. 1291, 2017.

SANTANA, M. J. de; WACHSMUTH, R.; SGOBI, M. A. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do Tifton-85 em Uberaba, MG. **Gl. Sci. Technol.**, v. 9, n. 3, p. 39-50, 2016.

SANTOS, A. R. M. dos; GOMES, F. J.; XIMENES, E. S. O. C. et al. Efeito do ambiente luminoso em forrageiras de clima tropical em sistemas silvipastoris. **Nativa, Sinop**, v. 8, n. 5, p. 633-642, set./out. 2020.

SANTOS, D. dos; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J. et al. Cultivares de trigo mantiveram um déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v.16, n. 8, p. 836-842, 2012.

SANTOS, O. S. H.; AVELLAR, F. C; ALVES, M. et al. Understanding the Environmental impact of a mine dam rupture in Brazil: Prospects for remediation. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 48, n. 2, p. 439-449, 2019.

SCHWENCK, V. A. X.; QUEIROZ, L. da S.; GARCIA, A. D. B. et al. Coeficiente de cultura por lisimetria da variedade de sorgo forrageiro SF-15 (*Sorghum bicolor* L. Moench. **Rev. Bras. Agric. Irrig.**, v. 14, n. 2, p. 3960-3967, 2020.

SILVA, A. C., Cavalcante, L. C. D., Fabris, J. D. et al. Características químicas, mineralógicas e físicas do material acumulado em terraços fluviais, originado do fluxo de lama proveniente do rompimento de barragem de rejeitos de mineração de ferro em Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brasil. *Revista Espinhaço, Diamantina*, p. 44-53, 2017.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos**. Métodos químicos e biológicos, 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235 p.

SILVA, D. L.; FERREIRA, M. C.; SCOTTI, M. R. O maior desastre ambiental brasileiro: de Mariana (MG) a Regência (ES). **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico**, Belo Horizonte, v. 24, n. 1/2, p. 136-158, 2015.

SILVA, J. C. da; SILVA, C. B. de; SANTOS, D. P. dos. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da cenoura irrigada no agreste alagoano. **Rev. Ceres**, v. 65, n. 4, p. 297-305, 2018.

SILVA, M. Z.; CAYRES, D. C.; SOUZA, L. A. M. de. Desastre socioambiental e Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) como instrumento de política pública: o caso da Barragem do Fundão, MG. **Civitas**, v. 19, n. 2, p. 464-488, maio-ago. 2019.

SILVA, P. L.; MELO, M. C.; CAMARGO, D. D. et al. Efeito de lâminas de irrigação subsuperficial na extração de nutrientes e produtividade em pastagem. **IRRIGA**, v. 26, n. 4, p. 732-744, 2021.

SOARES, W. R.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A. et al. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento ( $K_{c_{ini}}$ ) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Rev. Bras. Eng. Agrí. Amb.**, v. 5, p. 23-27, 2001.

SOUZA, D. P. de; SANCHES, A. C.; JESUS, F. L. F. de. et al. Yield and biometry of palisadegrass throughout the seasons of the year. **Austr. Jour. Crop Sci.**, v. 12, n. 12, p. 1866-1874, 2018.

TEBALDI, F. L. H.; SILVA, J. F. C. de; VASQUEZ, H. M. et al. Composição mineral das pastagens das regiões norte e noroeste do Estado do Rio de Janeiro: 1. Cálcio, fósforo, magnésio, potássio, sódio e enxofre. **Rev. Bras. Zootec.**, v. 29, n. 2, p. 603-615, abr. 2000.

VALADARES FILHO, S. C.; LOPES, S. A.; SILVA, B. de C. et al. **CQBAL 4.0**. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes, 2018.

VALENTE, T. N. P.; LIMA, E. da S.; HENRIQUES, L. T. de. et al. Anatomia de plantas forrageiras e a disponibilidade de nutrientes para ruminantes: revisão. **Vet. e Zoot.**, p. 347-358, 2011.

van SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.

VICENTE, N. M. de F.; SPERBER, C. F.; CARNEIRO, M. A. C. **Dia D do Rio Doce: Um olhar científico sobre o maior desastre socioambiental do Brasil**. Lavras, MG: Editora UFLA, 2021. 246 p.

VILELA, H. Série Gramíneas Tropicais - Gênero Panicum (*Panicum maximum*– Mombaça - Capim), Portal Agronomia, 2019. Disponível em: [http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_gramineas\\_tropicais\\_panicum\\_mombaca.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_panicum_mombaca.htm) Acesso em: 17 maio 2022.

ZWIRTES, A. L.; CARLESSO, R.; PETRY, M. T. et al. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Eng. Agríc.**, v. 35, n. 4, p. 676-688, jul.-ago. 2015.