

**SÁVIO DE OLIVEIRA RIBEIRO**

**CULTIVO DO CAPIM XARAÉS EM REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO COM  
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

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

Igor Rodrigues de Assis

Odilon Gomes Pereira

Paulo Roberto Cecon

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2019**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R484c  
2019  
Ribeiro, Sávio de Oliveira, 1995-  
Cultivo do capim Xaraés em rejeito da mineração de ferro  
com diferentes lâminas de irrigação / Sávio de Oliveira Ribeiro.  
– Viçosa, MG, 2019.  
58 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Rubens Alves de Oliveira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Gramínea. 2. Degradação ambiental. 3. Deficit hídrico.  
4. Pastagens -Irrigação. 5. Rejeitos de minério de ferro.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.  
II. Título.

CDD 22. ed. 633.208

**SÁVIO DE OLIVEIRA RIBEIRO**

**CULTIVO DO CAPIM XARAÉS EM REJEITO DA MINERAÇÃO DE FERRO COM  
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

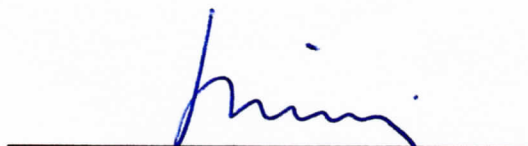
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de agosto de 2019.



Sávio de Oliveira Ribeiro

Autor



Rubens Alves de Oliveira

Orientador

Aos meu pais, Marta e Laécio,  
familiares e amigos...

Dedico

## AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de vida, amor, graça e misericórdia, que me permitiu chegar até aqui. Tudo para Sua Glória.

Aos meus pais, pelo exemplo, apoio incondicional, sustento e carinho em todo momento.

A minha namorada Gleice, pela paciência, carinho e compreensão, demonstrados nesse período de distância.

A todos os familiares, que sempre me incentivaram e apoiaram.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso.

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

Ao Professor Rubens, pela orientação, confiança, incentivo e compreensão durante esse período de muito aprendizado.

Ao professor Fernando, pelos inúmeros ensinamentos, dedicação, colaboração e assistência em todo período do curso.

Ao professor Igor, por toda ajuda, disponibilidade e engajamento, desde o início da proposta de pesquisa.

Ao professor Odilon, pelas sugestões e colaboração, permitindo o enriquecimento do trabalho.

Ao professor Cecon, pela colaboração com valiosas sugestões, sempre solícito e paciente.

Ao Pesquisador Domingos Sávio Queiroz, pela disponibilidade e correções, visando a melhoria do estudo.

À Fundação Renova, por disponibilizar o rejeito de mineração para realizar este estudo.

Aos amigos da pós-graduação, em especial aos “Juões e Juanas” pelos momentos de alegrias, incentivo e companheirismo. Aos amigos do Lab. de Forragem do Departamento de Zootecnia, por toda ajuda com análises laboratoriais. Aos funcionários do DEA (Zé Antônio, Chicão e Policarpo) e do CCA por toda ajuda e disposição. Aos colegas de república pelo apoio e convivência. Aos amigos que contribuíram para a realização do experimento, em especial Gustavo, Thallita, Rafael, Jesiele, Adelaide, Robson e Joslainy.

À Primeira Igreja Batista de Viçosa (PIBV), em especial a Juventude PIBV, pelo acolhimento, apoio e incentivo, de onde levarei grandes amigos.

A todos que contribuíram e torceram para realização desse estudo.

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

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

## **BIOGRAFIA**

SÁVIO DE OLIVEIRA RIBEIRO nasceu no dia 12 de abril de 1995 em Caculé, BA, filho de Laécio Novato Ribeiro e Marta Maria de Oliveira Ribeiro, irmão de Laécio Novato Ribeiro Filho.

Em julho de 2017, concluiu o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Em agosto de 2017, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na área de Recursos Hídricos, submetendo-se à defesa em agosto de 2019.

## RESUMO

RIBEIRO, Sávio de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2019. **Cultivo do capim Xaraés em rejeito da mineração de ferro com diferentes lâminas de irrigação.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Coorientadores: Fernando França da Cunha, Igor Rodrigues de Assis, Odilon Gomes Pereira e Paulo Roberto Cecon.

O Brasil é segundo maior produtor de minério de ferro do mundo e Minas Gerais é um dos estados que mais contribui para esse rendimento. Esta atividade gera impactos negativos, destacando-se a geração de rejeito, que é armazenado em barragens de contenção. Posteriormente à ocorrência o rompimento da Barragem de Fundão no município de Mariana, MG, um dos desafios foi recuperar a exploração agropecuária em áreas atingidas pelo rejeito, que possui propriedades físicas, químicas e estruturais diferentes do solo natural, podendo influenciar o crescimento e desenvolvimento das plantas. As gramíneas são frequentemente utilizadas na recuperação de áreas degradadas. O objetivo neste estudo foi avaliar se a aplicação de diferentes lâminas de irrigação influencia o desenvolvimento e a produtividade do capim Xaraés cultivado em rejeito da mineração de ferro. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, cujos tratamentos foram cinco lâminas de irrigação referentes à 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura e dois tratamentos adicionais constituídos por gramínea cultivada em rejeito com condicionador de solo e cultivo em solo natural, com três repetições. Foram avaliadas: a produtividade de massa seca de forragem, altura de planta, relação lâmina:colmo, teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, proteína bruta e matéria mineral em quatro ciclos e a massa seca de raízes após o último ciclo de corte. Este estudo indicou que mesmo sob condições adversas, devido à natureza do rejeito de mineração, o capim Xaraés foi capaz de produzir forragem e desenvolver o sistema radicular. A aplicação da lâmina de água correspondente a 120% da evapotranspiração da cultura resultou em maiores valores de massa seca de forragem, altura de plantas, relação lâmina:colmo e massa seca de raízes do capim Xaraés. Os teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e proteína bruta não foram afetados pelo cultivo no rejeito da mineração de ferro. O condicionador de solo apresentou potencial de utilização para incremento na produtividade do capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro, com efeito significativo a partir do terceiro ciclo de corte, após 60 dias de cultivo.

Palavras-chave: Áreas degradadas. Déficit hídrico. Gramínea. Irrigação de pastagem. Manejo de rejeito.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Sávio de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2019. **Cultivation of Xaraés grass in iron mining tailings with different irrigation depths.** Adviser: Rubens Alves de Oliveira. Co-advisers: Fernando França da Cunha, Igor Rodrigues de Assis, Odilon Gomes Pereira and Paulo Roberto Cecon.

Brazil is the second largest producer of iron ore in the world and Minas Gerais is one of the states that contributes the most to this income. This activity generates negative impacts, especially the tailings generation, which is stored in containment dams. Subsequent to the occurrence of the Fundão Dam rupture in the municipality of Mariana, MG, one of the challenges was to recover the agricultural exploitation in areas affected by the tailings, which have different physical, chemical and structural properties from the natural soil, which may influence the growth and development of the plants. Grasses are often used in the recovery of degraded areas. The objective of this study was to evaluate whether the application of different irrigation depths influence the development and yield of Xaraés grass grown in iron mining tailings. The experiment was carried out in a completely randomized design with five irrigation depths of 40, 60, 80, 100 and 120% of crop evapotranspiration and two additional treatments consisting of grass grown in tailings with soil conditioner and cultivated in natural soil, with three repetitions. Forage dry matter yield, plant height, blade: stem ratio, neutral detergent fiber content, acid detergent fiber, crude protein and mineral matter in four cycles and the root dry mass after the last cutting cycle. This study indicated that even under adverse conditions, due to the nature of the mining tailings, Xaraés grass was able to produce forage and develop the root system. The application of water depth corresponding to 120% of crop evapotranspiration resulted in higher values of forage dry mass, plant height, lamina: stem ratio and root dry mass of Xaraés grass. The contents of neutral detergent fiber, acid detergent fiber and crude protein were not affected by the iron mining tailings. The soil conditioner showed potential utilization to increase the yield of Xaraés grass grown in iron mining tailings, with significant effect from the third cutting cycle, after 60 days of cultivation.

Keywords: Degraded areas Water deficit. Grassy. Pasture irrigation. Tailings management.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução Geral.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Referências bibliográficas.....</b>	<b>12</b>
<b>2. Capítulos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Capítulo 1 – Capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro sob irrigação.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Introdução.....	15
2.1.2 Material e métodos.....	17
2.1.3 Resultados e discussão.....	24
2.1.4 Conclusões.....	37
2.1.5 Referências bibliográficas.....	37
<b>2.2 Capítulo 2 – Massa seca de raízes de capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas cultivado em rejeito de mineração de ferro e solo natural.....</b>	<b>41</b>
2.2.1 Introdução.....	41
2.2.2 Material e métodos.....	44
2.2.3 Resultados e discussão.....	50
2.2.4 Conclusões.....	54
2.2.5 Referências bibliográficas.....	55
<b>3. Conclusões gerais.....</b>	<b>58</b>

## 1. Introdução Geral

O Brasil possui grande capacidade de exploração mineral devido seu potencial geológico e sua extensão territorial. Segundo dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2019), a produção estimada do Brasil foi de 490 milhões de toneladas de minério de ferro no ano de 2018, que representa aproximadamente 19% da produção mundial, enquanto que a produção da Austrália atingiu 36%.

O Estado de Minas Gerais se destaca no setor mineral, uma vez que contribui de maneira expressiva na produção brasileira. Em 2017, a contribuição foi de 47,19% da produção mineral comercializada. Além disso, foi responsável por 50,34% da produção bruta de ferro (ANM, 2019a). O Estado tem sua importância consolidada no mercado siderúrgico e o Quadrilátero Ferrífero é a principal região, que se estende de Belo Horizonte, Itabira, Congonhas até Ouro Preto (ROESER, H.; ROESER, P., 2010).

De acordo com Andrade, Marques e Peixoto (2016), a extração de minério de ferro gera impactos negativos, dentre estes destaca-se a grande quantidade de rejeitos oriundos do processo de beneficiamento e a principal forma de disposição ao fim do processamento é a construção de barramentos, os quais requerem monitoramento constante do seu desempenho, a fim de evitar possíveis problemas estruturais e rompimentos repentinos como os que já ocorreram na história da mineração.

Em novembro de 2015, o Estado presenciou um dos maiores desastres ambientais envolvendo barragens de deposição de rejeitos. Com o rompimento da Barragem de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, MG, foram despejados mais de 50 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito no meio ambiente. O rejeito atingiu o leito do Rio Doce e percorreu mais de 600 km até atingir o seu estuário, em Linhares, Espírito Santo (ES) (FERNANDES et al., 2016; GOMES et al., 2017).

O trecho mais afetado foi 120 km entre a Barragem de Fundão e a Hidroelétrica de Risoleta Neves, MG, que conteve cerca de 10 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito. O deslocamento da lama atingiu diretamente 2.022 ha, sendo 416,1 ha de pastagem natural e cultivada, 829,5 ha de vegetação arbórea natural e silvicultura, 344 ha de cursos de água, 10 ha de edificações, 59,2 ha da barragem de rejeitos de Santarém, 77,6 ha de solo descoberto, e 286 ha da Barragem hidrelétrica de Risoleta Neves (CARMO et al., 2017). Nos municípios de Mariana e Barra Longa, MG, foi detectada redução de 11,99 km<sup>2</sup> de vegetação, 4,81 km<sup>2</sup> de pastagem e 2,66 km<sup>2</sup> de recursos hídricos (AIRES et al., 2018).

Diversos estudos abordam sobre os impactos causados pelo desastre com diferentes enfoques: conhecimento e monitoramento da área atingida, mudanças na vegetação e uso da

terra, perda de vegetação, análises de solo e rejeito, qualidade da água e atividades microbiana na água, impactos socioeconômicos oriundos da ruptura da barragem (OMACHI et al., 2018; GOMES et al., 2017; BURRITT; CHRIST, 2018; FERNANDES et al., 2016; QUEIROZ et al., 2018; CORDEIRO et al., 2019).

Após o rompimento da barragem, uma das preocupações dos órgãos responsáveis pela recuperação da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, foi quanto ao manejo do rejeito que invadiu áreas exploradas por atividades agropecuárias, sendo importante reduzir os impactos e possibilitar que as áreas voltem a ser exploradas.

O rejeito de mineração possui propriedades físicas, químicas e estruturais diferentes do solo natural, influenciando o crescimento e desenvolvimento das plantas no processo de revegetação. Tais alterações podem ser evidenciadas pela baixa retenção de água, alta densidade do solo, baixa capacidade de troca catiônica, baixo teor de matéria orgânica e baixa estabilidade de agregados do solo (SILVA et al., 2006; BARROS et al., 2018).

Vários trabalhos relatam que gramíneas têm potencial para serem utilizadas em revegetação e recuperação de áreas degradadas, até mesmo aquelas cuja degradação foi causada pela atividade mineradora (AMARAL et al., 2012; ZHANG et al., 2015; STUMPF et al., 2017). Duarte et al. (2017) afirmam que as cultivares Marandú e Xaraés são tradicionalmente mais utilizadas e pesquisadas no território nacional. Todavia, parte expressiva das pastagens brasileiras é cultivada em condições que limitam seu crescimento vegetativo, reduzindo o potencial produtivo e, conseqüentemente, o valor nutritivo da gramínea. Por isso, necessita-se de práticas de manejo que possibilitem aumento do valor nutritivo, uma vez que esse fator é muito importante para a produtividade animal esperada em condições de pastejo (MAGALHÃES et al., 2015).

No manejo adequado de pastagens busca-se o equilíbrio entre produção e qualidade da forragem, visando assegurar os requerimentos nutricionais dos animais e garantindo, simultaneamente, a persistência e a produtividade das pastagens (COSTA et al., 2017). A irrigação é uma prática fundamental que possibilita o aumento da produtividade desde que seja utilizada com manejo adequado, aplicando a água no momento e na quantidade correta, minimizando o efeito da estacionalidade da produção forrageira. Antoniel et al. (2016) avaliaram a produção de forragem com diferentes lâminas de irrigação e constataram que houve aumento de produtividade de forragem, quando as plantas receberam lâminas de irrigação próximas à 100% da evapotranspiração de referência e que plantas que não receberam irrigação tiveram sua produtividade comprometida.

A falta de água afeta a fotossíntese, respiração e divisão celular, absorção e translocação de nutrientes, prejudicando o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, a produção e a qualidade da forragem. Magalhães et al. (2015) constataram que a lâmina de irrigação influencia na qualidade da forragem, uma vez que obtiveram alteração nos teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e matéria seca. Também observaram que a adubação nitrogenada influencia os aspectos bromatológicos, aumentando o valor nutritivo e a digestibilidade da forragem.

Gomes et al. (2015) encontraram maiores valores de produtividade de matéria seca (MS) utilizando irrigação em estudo com capim Tifton 85. Os autores também verificaram que os valores de MS foram crescentes em relação às doses da adubação nitrogenada. Dessa forma, nota-se que a prática da irrigação pode expressar melhores resultados se acompanhada de adubação e correção do solo.

As raízes das plantas são consideradas importantes aliadas na recuperação de solos degradados, pois podem melhorar as propriedades físicas do solo como estabilidade de agregados, resistência ao cisalhamento e redução da compactação (STUMPF et al., 2017; LIMA et al., 2012; ZHANG et al., 2015). Dessa maneira, conhecer a distribuição e densidade do sistema radicular no perfil do solo pode trazer informações relevantes acerca do desenvolvimento da planta.

Diante do exposto, o objetivo neste estudo foi avaliar se a aplicação de diferentes lâminas de irrigação em pastagem de *Urochloa brizantha* (STAPF) Webster cv. Xaraés influencia o desenvolvimento e a produtividade dessa gramínea cultivada em rejeito de mineração de ferro.

## 1.2 Referências bibliográficas

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land use policy**, v.70, p. 63-70, 2018.

AMARAL, C. S.; et al. Crescimento de *Brachiaria brizantha* pela adubação mineral e orgânica em rejeito estéril da mineração de quartzito. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 1, p. 130-141, 2012.

ANDRADE, L. C. R.; MARQUES, E. A. G.; PEIXOTO, R. A. F. Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. *Geografias*, v. 12, n. 1, p. 32-44, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Anuário mineral brasileiro: Principais substâncias metálicas**, 34 p., 2019a.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Classificação das barragens de mineração brasileiras**. Disponível em: < <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao/classificacao-oficial-anm>>. Acesso em 01 mai 2019b.

ANTONIEL, L. S.; et al. Pasture production under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016.

BARROS, D. A.; JUNIOR, M. G. C.; DE OLIVEIRA, A. L.; DA SILVA NETO, E. C. Matéria orgânica e agregação do solo em áreas sobre influência da mineração de bauxita na região do planalto de Poços de Caldas, MG. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 2, p. 160-167, 2018.

BURRITT, R. L.; CHRIST, K. L. Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. **Journal of Cleaner Production**, v.178, p. 196-205, 2018.

CARMO, F. F.; et al. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 15, n. 3, 145-151, 2017.

CORDEIRO, M. C.; et al. Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. **Science of The Total Environment**, v. 654, p. 1209-1217, 2019.

COSTA, N. L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALH, J. A.; FOGAÇA, F. H. S.; SANTOS, F. J. S. Dinâmica do acúmulo de forragem e morfogênese de *Urochloa brizantha* cv. Xaraés sob períodos de descanso. **PUBVET**, v. 11, p. 424-537, 2017.

DUARTE, J. A. V.; et al. Altura e produtividade do capim *Urochloa brizantha* em função das estações do ano e frequências de corte. **Investigación Agraria**, v. 19, n. 1, p. 44-48, 2017.

FERNANDES, G. W.; et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.

GOMES, E. P.; et al. Produtividade de capim Tifton 85 sob irrigação e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, 2015.

GOMES, L. E. O.; et al. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 120, n. 1-2, p. 28-36, 2017.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C. D.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.1, p.71-78, 2012.

MAGALHÃES, J. A.; et al. Composição bromatológica do capim-Marandu sob efeito de irrigação e adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 933-941, 2015.

OMACHI, C. Y.; et al. Atlantic Forest loss caused by the world's largest tailing dam collapse (Fundão Dam, Mariana, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 12, p. 30-34, 2018.

- QUEIROZ, H. M.; et al. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination?. **Science of the Total Environment**, 637, 498-506, 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. 33-37, 2010.
- SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; DA COSTA, L. M.; DE BARROS, N. F. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 45-52, 2006.
- STUMPF, L.; et al. Gramíneas perenes e sua relação com a recuperação de atributos físicos de um solo degradado construído. **Interciencia**, v.42, n. 2, p. 101-107, 2017.
- U.S. Geological Survey. **Mineral commodity summaries 2019**: U.S. Geological Survey, 2019. 200 p.
- ZHANG, L.; et al. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in na opencast coal-mine dump in a loess area. **Catena**, v. 128, p. 44-53, 2015.

## 2. Capítulos

### 2.1 Capítulo 1 – Capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro sob irrigação

#### Resumo

O Brasil é segundo maior produtor de minério de ferro do mundo e Minas Gerais é o principal Estado brasileiro na exploração deste minério. Esta atividade gera impactos negativos, destacando-se o rejeito, que é armazenado em barragens de contenção. Um dos maiores desastres ambientais do país ocorreu com o rompimento da Barragem de Fundão. Posteriormente à ocorrência desse evento, um dos desafios foi recuperar a exploração agropecuária em áreas atingidas pelo rejeito. Gramíneas são frequentemente utilizadas para recuperação de áreas degradadas. O objetivo deste estudo foi avaliar se a aplicação de diferentes lâminas de irrigação em capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração influencia na produtividade e nos aspectos bromatológicos desta gramínea. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, cujos tratamentos foram cinco lâminas de irrigação referentes à 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura, dois tratamentos adicionais constituídos por gramínea cultivada em rejeito com condicionador de solo e cultivo da gramínea em solo natural, com três repetições. Foram avaliadas: a produtividade de massa seca de forragem, altura de planta relação lâmina:colmo, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, teor de proteína bruta e teor de matéria mineral durante quatro ciclos de corte. O capim Xaraés mostrou-se capaz de se estabelecer e produzir forragem, apesar das limitações de cultivo no rejeito da mineração de ferro, devido às propriedades do rejeito. As lâminas de irrigação afetaram positivamente e linearmente a produtividade de massa seca e altura de plantas de capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro. O condicionador do solo possui potencial de utilização para cultivo de pastagem em rejeito de mineração de ferro.

**Palavras-chave:** áreas degradadas; Componentes bromatológicos; irrigação de pastagem; manejo de rejeito; produtividade de forragem.

#### 2.1.1 Introdução

O Brasil é segundo maior produtor de minério de ferro do mundo. Em 2018, a produção estimada foi de 490 milhões de toneladas, que corresponde a 19,6% da produção mundial (USGS, 2019). Minas Gerais (MG) é o Estado brasileiro que mais contribui na exploração do minério, sendo que em 2017 contribuiu com 50,34% da produção bruta de ferro no país (ANM, 2019a). Uma das principais regiões de exploração mineral é conhecida como Quadrilátero

Ferrífero, que se estende de Belo Horizonte, Itabira, Congonhas até Ouro Preto (ROESER, H.; ROESER, P., 2010).

A atividade mineradora gera impactos negativos, destacando-se a grande quantidade de rejeito oriundo do processo de beneficiamento e a principal forma de disposição ao fim do processamento é a construção de barramentos (ANDRADE; MARQUES; PEIXOTO, 2016). Atualmente, Minas Gerais possui 351 barragens utilizadas nos processos de mineração (ANM, 2019b), as quais requerem monitoramento constante, a fim de evitar possíveis rompimentos repentinos como os que já ocorreram na história da mineração.

Em novembro de 2015, o Estado presenciou um dos maiores desastres ambientais com o rompimento da Barragem de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, MG, despejando mais de 50 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito no meio ambiente. O rejeito atingiu o Rio Doce até atingir o seu estuário, no Espírito Santo (ES) (FERNANDES et al., 2016; GOMES et al., 2017).

O deslocamento da lama atingiu diretamente 2.022 ha, distribuídos em pastagem natural e cultivada, vegetação arbórea natural e silvicultura, cursos de água, edificações, a barragem de rejeitos de Santarém, solo descoberto, e a Barragem da Usina Hidrelétrica de Risoleta Neves (CARMO et al., 2017; AIRES et al., 2018).

Diversos estudos abordam sobre os impactos causados pelo desastre com a barragem com diferentes enfoques: conhecimento e monitoramento da área atingida; mudanças na vegetação e uso da terra; perda de vegetação; análises de solo e rejeito; qualidade da água e atividades microbiana na água; impactos socioeconômicos oriundos da ruptura da barragem (OMACHI et al., 2018; GOMES et al., 2017; BURRITT; CHRIST, 2018; FERNANDES et al., 2016; QUEIROZ et al., 2018; CORDEIRO et al., 2019).

Após o rompimento da barragem, uma das preocupações dos órgãos responsáveis pela recuperação da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, foi quanto ao manejo do rejeito que invadiu áreas exploradas por atividades agropecuárias, sendo importante reduzir os impactos e possibilitar que as áreas voltem a ser exploradas.

Entretanto, o rejeito da mineração de ferro apresenta limitações para o crescimento e desenvolvimento das plantas, devido à baixa fertilidade, aliado a grande restrição quanto às características físicas, observadas pela baixa retenção de água, alta densidade e falta de estrutura (SILVA et al., 2006; BARROS et al., 2018).

Gramíneas perenes são frequentemente utilizadas para recuperação de áreas degradadas, principalmente devido à alta densidade do sistema radicular, inclusive em áreas degradadas pela atividade mineradora. (STUMPF et al., 2014; ZHANG et al., 2015). Resultados de Stumpf et

al. (2017) demonstram que a espécie *Urochloa brizantha* (STAPP.) Webster se destacou na recuperação dos atributos físicos do solo de áreas degradadas por causa dos atributos do seu sistema radicular. Além disso, as cultivares Marandú e Xaraés da espécie *Urochloa brizantha* são as mais utilizadas e pesquisadas no Brasil (DUARTE et al., 2017).

A irrigação é uma prática fundamental que possibilita o aumento da produtividade desde que seja utilizada com manejo adequado, aplicando a água no momento e na quantidade correta. Antoniel et al. (2016) avaliaram a produção de forragem com diferentes lâminas de irrigação e constataram que houve aumento de produtividade de forragem, quando as plantas receberam lâminas de irrigação próximas à 100% da evapotranspiração de referência e que plantas que não receberam irrigação tiveram sua produtividade comprometida.

A textura grossa e falta de estrutura do rejeito afeta a sua capacidade de armazenamento de água, a qual é importante no manejo hídrico das culturas. Atualmente, com a escassez dos recursos hídricos em vários locais, atrelado à aumentos nas tarifas de energia elétrica, procura-se tornar a prática de irrigação cada vez mais eficiente (MARTÍNEZ-ROMERO; DOMÍNGUZ; LANDEAS, 2019; CHAI et al., 2016).

Neste contexto, os objetivos neste estudo foram: (1) avaliar se a aplicação de diferentes lâminas de irrigação no capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração pode afetar o desenvolvimento, a produtividade e os aspectos bromatológicos dessa gramínea; (2) comparar o desenvolvimento, a produtividade e os aspectos bromatológicos da gramínea cultivada em rejeito com o cultivo da gramínea em solo natural e em rejeito com condicionador de solo.

## **2.1.2 Material e métodos**

### **2.1.2.1 Localização do experimento e coleta do rejeito**

O experimento foi conduzido numa estação lisimétrica, com 18 m de comprimento e 7 m de largura, com área total de 126 m<sup>2</sup>, situada na Área Experimental de Irrigação, do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa-MG. As coordenadas geográficas são latitude 20° 46' 08'' S, longitude 42° 52' 44'' O e altitude de 675 m (Figura 2.1.1).

Figura 2.1.1 – Visão geral da área experimental com capim ao final do período de estabilização, com 60 dias



Fonte: Do autor.

O rejeito da mineração de ferro foi obtido na Barragem de Germano, no município de Mariana – MG, em parceria com a Fundação Renova. As coordenadas geográficas da barragem são latitude 20° 13' 01'' S, longitude 43° 28' 10'' O e altitude de 893 m. Foram coletados 30.000 kg de rejeito de mineração, os quais foram utilizados no preenchimento de 18 lisímetros de drenagem com dimensões de 1,40 m de comprimento, 1,00 m de largura e 0,90 m de profundidade, com bordas rente ao solo, sendo que 0,15 m parte inferior foi preenchida com brita e areia. Cada lisímetro recebeu uma camada de 0,65 m de rejeito da mineração de ferro.

Da mesma forma, outros três lisímetros de drenagem foram preenchidos com brita e areia na parte inferior e completados com solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. Cada lisímetro possuía um dreno de fundo para permitir a coleta do excedente, contabilizando a lâmina de água drenada.

Após dispor o material nos lisímetros, foram coletadas amostras do rejeito e do solo para caracterização físico-química e hídrica. A análise dos atributos físicos (Tabela 2.1.1) foi realizada no Laboratório de Física do Solo e a análise química (Tabela 2.1.2) foi realizada no Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante, ambos pertencentes ao Departamento de Solos, da Universidade Federal de Viçosa - UFV. Os dados da curva de retenção de água no solo foram obtidos no Laboratório de Física do Solo do Centro de Referência em Recursos Hídricos - DEA/UFV.

Tabela 2.1.1 – Características físico-hídricas do rejeito de mineração e do solo utilizados no experimento

Amostra	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	$E_u$	CC	PM	Dp	Ds	Classificação textural
-----kg kg <sup>-1</sup> -----									--g cm <sup>-3</sup> --	
Rejeito	0,109	0,593	0,225	0,074	0,06	0,134	0,016	2,92	1,53	Franco - Arenosa
Solo	0,113	0,093	0,047	0,747	0,29	0,237	0,160	2,60	1,18	Muito Argilosa

$E_u$  – Equivalente de umidade; CC – Umidade na capacidade de campo; PM – Umidade no ponto de murcha permanente; Dp – Densidade de partícula; Ds – Densidade do solo.

Tabela 2.1.2 – Composição química do rejeito de mineração e do solo natural utilizados no experimento

Amostra	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V	
		-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								%
Rejeito	4,82	2,9	12	0,0	0,36	0,03	0,0	0,5	0,42	0,42	0,92	45,7	
Solo	6,39	4,1	112	0,50	3,40	0,79	0,00	1,9	4,48	4,48	6,38	70,2	

Amostra	m	ISNa	P-rem	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb	
		-----mg dm <sup>-3</sup> -----										
Rejeito	0,0	0,00	49,3	0,06	22,3	68,0	0,38	0,15	1,03	0,08	1,10	
Solo	0,0	0,03	13,2	0,01	6,8	44,5	1,41	-	-	-	-	

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 Al; ISNa – Índice de saturação por sódio; P-rem – Fósforo Remanescente.

### 2.1.2.2 Implantação da pastagem

A espécie forrageira utilizada neste estudo foi a *Urochloa brizantha* cv. Xaraés, devido a características como tolerância a solos mal drenados, alta produtividade, rápida rebrota e florescimento tardio, comparativamente ao capim Marandu.

A condução do experimento durou sete meses, desde a semeadura da gramínea até a realização do último corte para avaliações. O período de estabelecimento da pastagem foi de 60 dias, quando se executou o corte de uniformização a 0,25 m do solo. A partir disso, os tratamentos começaram a ser aplicados e procederam-se as avaliações durante o desenvolvimento da pastagem. Estabeleceu-se o critério do corte pela idade, sendo fixado o ciclo de 30 dias, cultivando-se a pastagem em quatro ciclos.

Antes da semeadura, o rejeito de mineração foi corrigido quanto a acidez, aplicando-se a dose correspondente a 1,21 t ha<sup>-1</sup> de calcário. A adubação de implantação consistiu em 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cuja fonte foi superfosfato simples, e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, tendo como fonte o cloreto de potássio. No entanto, não houve necessidade de correção da acidez do solo. A adubação do solo foi realizada com 70 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, cuja fonte foi superfosfato simples.

Foram utilizados 12 kg ha<sup>-1</sup> de sementes de capim Xaraés, com revestimento comercial, colhidas na safra 2017/2018, com 85% de germinação, 60% de pureza e valor cultural de 51%.

A pastagem foi semeada manualmente em linhas com espaçamento de 0,28 m, a 0,02 m de profundidade (Figura 2.1.2). O adubo fosfatado foi aplicado junto com a semente e o adubo potássico foi aplicado após a emergência das plântulas, para evitar interferência no vigor da semente por causa do efeito salino do adubo.

Figura 2.1.2 – Semeadura do capim em linhas no rejeito da mineração de ferro, junto com adubo fosfatado



Fonte: Do autor.

A adubação de manutenção foi realizada entre os ciclos de corte e rebrota, aplicando-se, em cada ciclo,  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , tendo como fonte a ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. As adubações de cobertura foram parceladas em duas vezes em cada ciclo, realizadas a lanço, na superfície do solo, realizando a irrigação dos lisímetros em seguida.

No tratamento adicional, utilizando o condicionador de solo, foi aplicado o TerraCotten, que consiste numa mistura de polímeros hidroabsorventes, fertilizantes e estimuladores de crescimento (MELO et al., 2005). Estabeleceu-se a dose de  $0,14 \text{ kg}$  por lisímetros, distribuídos entre as linhas de plantio para evitar perturbação ao sistema radicular, uma vez que a gramínea já estava implantada. A profundidade máxima de incorporação foi de  $0,20 \text{ m}$ .

### 2.1.2.3 Manejo da irrigação

No início do experimento, foram realizadas irrigações uniformes na área, visando assegurar a germinação das sementes, a uniformidade e o estabelecimento da pastagem. Após

o corte de uniformização, o manejo da irrigação foi realizado diariamente por meio dos lisímetros de drenagem. Foram utilizados os três lisímetros nos quais foi aplicada a lâmina de irrigação correspondente a 120% da evapotranspiração de cultura ( $ET_c$ ).

O manejo foi feito entre oito e dez horas da manhã, subtraindo-se o volume drenado com a irrigação do dia anterior. Essa diferença foi considerada como volume a ser aplicado para reposição de 100% da lâmina evapotranspirada pela cultura (Equação 1). A partir da lâmina de referência (100% da  $ET_c$ ), as irrigações nos demais lisímetros foram feitas relacionando-se com a porcentagem equivalente de cada tratamento. As lâminas foram convertidas em volume, distribuindo-se manualmente a água na área do lisímetro com regador.

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

em que,

$ET_c$ : evapotranspiração da cultura ( $\text{mm d}^{-1}$ );

I: lâmina de irrigação correspondente a 120% da  $ET_c$  ( $\text{mm d}^{-1}$ );

D: lâmina de água drenada ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

Nota-se que no balanço hídrico não foram considerados os eventos de precipitação pluvial, uma vez que os lisímetros foram cobertos com uma estrutura em MDF (1,60 x 1,20 m), com plástico transparente, posicionada a 0,60 m da superfície do solo para que não houvesse interferência de chuvas nas parcelas com déficit hídrico (Figura 2.1.3). Essas estruturas eram colocadas sobre os lisímetros apenas nos momentos de precipitação, sendo retiradas logo em seguida, evitando interferência do plástico no desenvolvimento da cultura.

Figura 2.1.3 – Estruturas de madeira cobrindo os lisímetros



Fonte: Do autor.

Durante os quatro ciclos de cultivo foram obtidos os dados de temperatura média diária, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação pluvial, obtidos através do banco de dados digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019), cuja estação meteorológica automática se encontrava a 750 e 24 m de distância horizontal e vertical, respectivamente, do local do experimento.

#### 2.1.2.4 Variáveis de produção

A altura do dossel foi medida em cada lisímetro no momento do corte, utilizando uma régua graduada, observando-se a altura no horizonte visual das folhas, fazendo-se quatro amostragens por lisímetro. Após a leitura, procedeu-se o corte da forragem (Figura 2.1.4). Foram coletadas duas amostras de forragem em cada unidade experimental para avaliação da produtividade e cálculo da relação lâmina:colmo. Dentro de cada lisímetro colocou-se uma moldura quadrada com dimensões de 0,50 x 0,50 m, para delimitar a área de coleta das amostras. A forragem localizada acima de 0,25 m foi cortada com uma tesoura, sendo o material acondicionado em sacos plásticos. Em seguida, as amostras foram levadas para determinação da massa fresca.

Figura 2.1.4 – Medição da altura de planta antes do corte (A) e corte da pastagem utilizando a moldura quadrada (B)



Fonte: Do autor.

Uma amostra foi acondicionada em sacos de papel para determinação de massa seca. O material de outra amostra foi separado manualmente em lâmina foliar e colmo para determinação da relação lâmina:colmo. As amostras foram pré-secas a 55 °C em estufa de circulação forçada de ar, segundo o método do INCT-CA G-001/1 (DETMANN et al., 2012). De acordo com os autores, altas temperaturas de secagem podem causar perdas de compostos voláteis ou complexar carboidratos com proteína, interferindo diretamente nas análises de composição bromatológica. A relação lâmina:colmo foi calculada, dividindo-se a massa seca de lâminas foliares pela massa seca de colmos. Os resultados de produtividade de massa seca de forragem foram expressos em t ha<sup>-1</sup>.

### **2.1.2.5 Componentes bromatológicos**

As análises destes componentes foram realizadas no Laboratório de Forragicultura e Microbiologia da Silagem, pertencente ao Departamento de Zootecnia da UFV, utilizando-se as amostras que foram previamente secas para obtenção da produtividade de massa seca de forragem, que foram trituradas em moinho de facas com peneira de 1 mm. A determinação dos teores dos componentes bromatológicos foram realizados de acordo com os métodos descritos pela Association of Official Analytical Chemists (1990).

Para os teores de matéria seca (método 934,01), as amostras foram colocadas em cadinhos de porcelana com massa previamente conhecida, submetidas a secagem em estufa a 105 °C, por 16 horas e pesagem em balança analítica. Após a determinação da matéria seca, as amostras foram encaminhadas a incineração em mufla a 600 °C, durante quatro horas para a queima total da matéria orgânica, quantificando os teores de matéria mineral (método 942,05) de cada amostra.

A fibra em detergente neutro (FDN) é a quantificação da fração fibrosa, insolúvel em meio neutro, da forragem, composta por hemicelulose, celulose e lignina. Já a fibra em detergente ácido (FDA), diz respeito ao teor da parte não digestível da forragem, sendo composta por celulose e lignina.

Para determinação da FDN (método 978.10), as amostras são acondicionadas em sacos de TNT (tecido não tecido), colocando-as individualmente em coletores universais com solução de detergente neutro, com a adição de  $\alpha$ -amilase termoestável, sem a utilização de sulfito de sódio. Em seguida, os coletores foram levados à autoclave a 105 °C, por uma hora. Posteriormente, procedeu-se a lavagem, secagem e pesagem das amostras.

A avaliação do teor de fibra em detergente ácido (método 973,18) foi realizada sequencialmente à FDN, repetindo os procedimentos de autoclavagem, lavagem, secagem e

pesagem, utilizando, desta vez, uma solução de detergente ácido, sendo desnecessária a utilização da enzima  $\alpha$ -amilase termoestável. FDA

Para os teores de proteína bruta (método 984,13), foram determinados os teores de nitrogênio total utilizando-se 0,2 g de amostra em tubo de ensaio, seguindo para as etapas de digestão, destilação e titulação. Por fim, utilizando um fator de correção, estimou-se o teor de proteína bruta presente na amostra.

#### **2.1.2.6 Delineamento experimental e análise dos dados**

O experimento foi realizado seguindo delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, tendo como tratamentos cinco lâminas de irrigação L40, L60, L80, L100 e L120, que correspondem a 40, 60, 80, 100 e 120% da ETc. Além disso, foram conduzidos dois tratamentos adicionais constituídos por gramínea cultivada em rejeito de mineração com condicionador de solo (CD40) e cultivo da gramínea em condições de solo natural (SN), aplicando-se a lâmina de água correspondente a 40 e 100% da evapotranspiração da cultura nos tratamentos adicionais, respectivamente.

Os dados foram submetidos as análises de variância e regressão. Para comparar as médias dos sete tratamentos, utilizou-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Para avaliar o efeito das cinco lâminas de irrigação, utilizou-se a análise de regressão, sendo os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” adotando o nível de 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ( $R^2 = S.Q. \text{ regressão} / S.Q. \text{ tratamento}$ ), e no comportamento dos fenômenos em estudo. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no Programa Rstudio (RSTUDIO TEAM et al., 2015), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018).

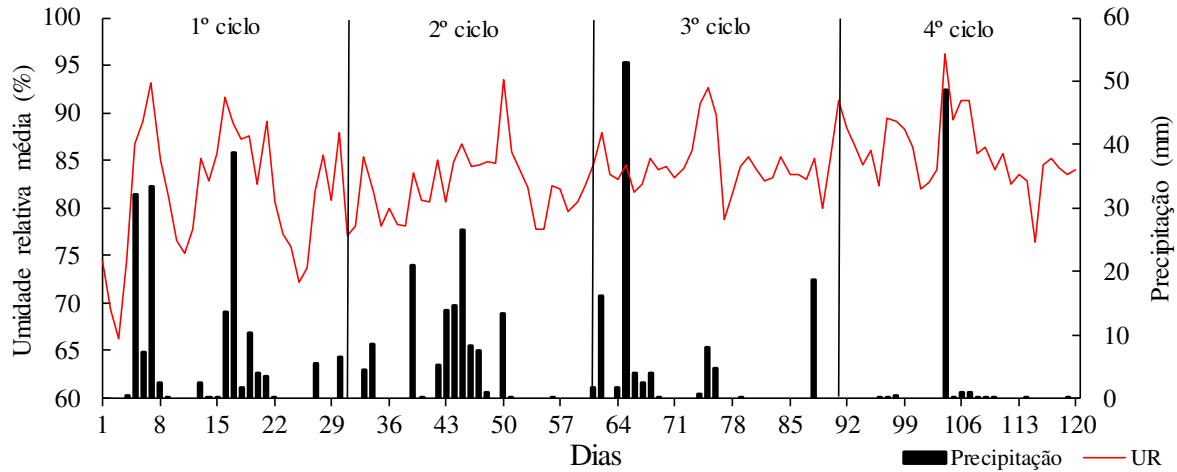
### **2.1.3 Resultados e discussão**

#### **2.1.3.1 Dados climáticos**

Os dados diários de precipitação, umidade relativa, temperatura média e radiação solar no decorrer dos quatro ciclos avaliados estão plotados nas figuras abaixo (Figuras 2.1.5 e 2.1.6).

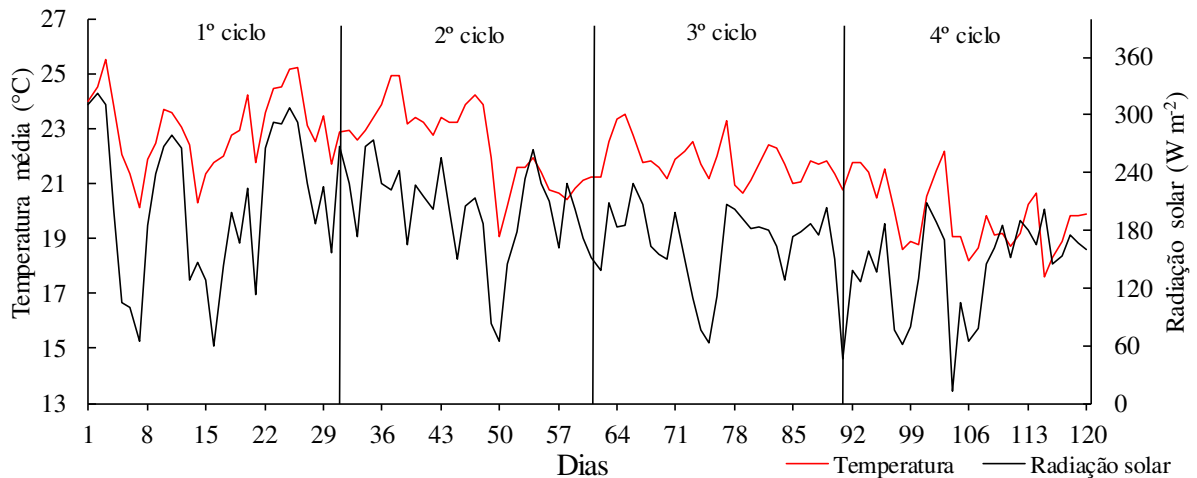
O maior evento de precipitação foi de 52,8 mm, ocorrido no 65º dia, durante o terceiro ciclo de corte do capim Xaraés. A precipitação acumulada para os quatro ciclos de corte foi de 162, 124, 115 e 53 mm, nesta ordem. Observa-se que a umidade relativa média do ar variou entre 66 e 96%, ocorrendo no segundo e centésimo quarto dia, respectivamente.

Figura 2.1.5 – Precipitação diária (mm) e umidade relativa média do ar (%) durante o período experimental.



Fonte: Do autor.

Figura 2.1.6 – Variação da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da radiação solar diária ( $\text{W m}^{-2}$ ) durante o período experimental



Fonte: Do autor.

O maior evento de precipitação foi de 52,8 mm, ocorrido no 65º dia, durante o terceiro ciclo de corte do capim Xaraés. A precipitação acumulada para os quatro ciclos de corte foi de 162, 124, 115 e 53 mm, nesta ordem. Observa-se que a umidade relativa média do ar variou entre 66 e 96%, ocorrendo no segundo e centésimo quarto dia, respectivamente.

A maior média diária de temperatura foi 25,5  $^{\circ}\text{C}$ , ocorrida no terceiro dia, durante o primeiro ciclo de corte do capim Xaraés. No dia anterior, ocorreu a maior incidência de radiação solar, com 322,40  $\text{W m}^{-2}$ . A menor radiação foi de 12,15  $\text{W m}^{-2}$ , coincidindo com o dia em que se registrou a maior umidade relativa do ar, uma vez houve chuva durante a maior parte do dia. Ressalta-se que a menor temperatura média diária (17  $^{\circ}\text{C}$ ) ocorreu no 115º dia de avaliação.

Na Tabela 2.1.3 estão os resultados de todas as variáveis analisadas pelo teste de Tukey, comparando-se todos os tratamentos, durante os quatro ciclos de corte.

Tabela 2.1.3 – Massa seca de forragem (t ha<sup>-1</sup>), altura de plantas (m), relação lâmina:colmo, FDN (%), FDA (%), Proteína bruta (%) e Matéria mineral (%) do capim Xaraés em quatro ciclos de cultivos, em rejeito de mineração submetido a diferentes lâminas de irrigação, rejeito com condicionador de solo e solo natural

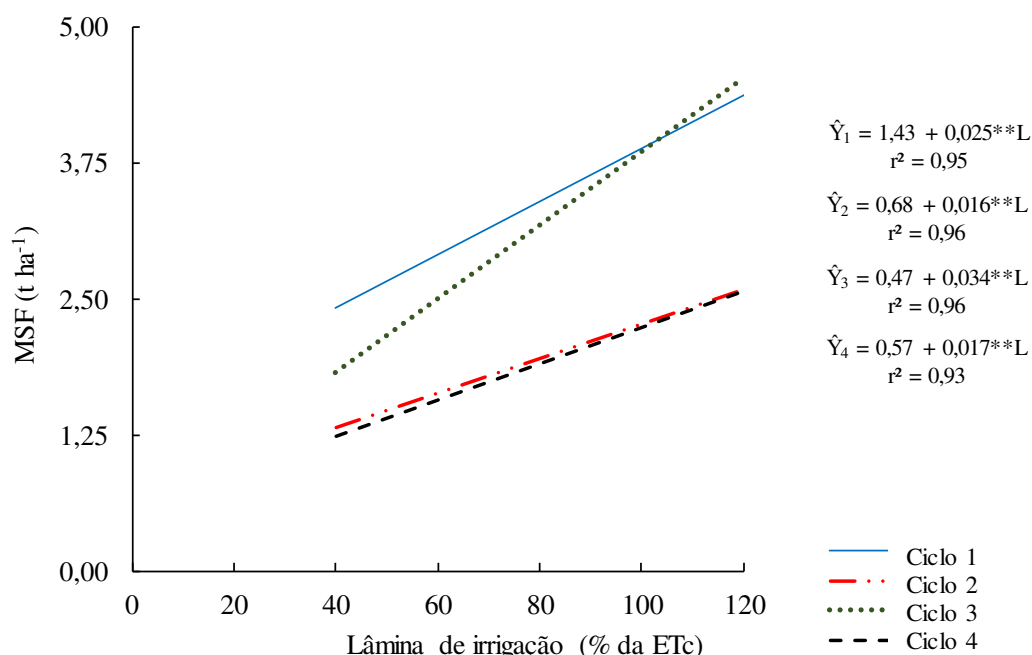
Tratamento	MSF (t ha <sup>-1</sup> )	ALT (m)	RLC	FDN (%)	FDA (%)	PB (%)	MM (%)
Ciclo 1							
L40	2,41 b	0,75 b	1,66 a	66,88 a	33,86 a	7,38 a	6,49 b
L60	2,93 b	0,80 ab	1,57 a	67,51 a	34,22 a	7,07 a	7,07 b
L80	3,54 ab	0,81 ab	1,55 a	65,84 a	33,30 a	8,27 a	7,69 ab
L100	3,62 ab	0,82 ab	1,52 a	66,28 a	32,89 a	7,93 a	7,53 ab
L120	4,53 a	0,89 a	1,60 a	64,63 a	33,84 a	7,23 a	8,68 a
CD40	3,22 b	0,83 ab	1,62 a	67,25 a	33,41 a	7,95 a	6,94 b
SN	3,61 ab	0,88a	1,65 a	65,41 a	31,89 a	8,03 a	7,75 ab
CV(%)	13,19	4,83	6,29	1,66	1,32	13,31	6,96
Ciclo 2							
L40	1,44 b	0,43 b	4,57 a	58,25 a	29,39 a	15,08 a	8,94 a
L60	1,57 b	0,42 b	4,61 a	56,24 a	27,83 a	14,79 a	8,76 a
L80	1,85 b	0,42 b	4,76 a	56,57 a	28,33 a	15,16 a	8,71 a
L100	2,18 ab	0,48 b	5,19 a	55,65 a	27,64 a	15,32 a	8,54 a
L120	2,72 a	0,58 a	4,47 a	56,74 a	28,31 a	14,25 a	9,34 a
CD40	1,81 b	0,44 b	4,38 a	55,38 a	27,17 a	15,35 a	9,85 a
SN	3,00 a	0,57 a	4,93 a	58,34 a	28,93 a	13,50 a	7,76 a
CV(%)	14,96	5,74	36,24	3,14	4,70	8,08	8,70
Ciclo 3							
L40	1,81 c	0,72 a	3,87 b	59,38 a	30,62 a	12,24 a	8,20 a
L60	2,43 bc	0,75 a	4,34 ab	58,62 a	29,15 a	10,95 a	8,11 a
L80	3,15 ab	0,79 a	4,68 ab	60,49 a	30,67 a	9,83 a	7,74 a
L100	4,23 a	0,80 a	5,81 ab	61,09 a	31,34 a	9,88 a	8,01 a
L120	4,30 a	0,80 a	6,34 a	63,57 a	32,40 a	8,08 a	8,01 a
CD40	3,45 ab	0,78 a	4,54 ab	57,84 a	28,98 a	11,50 a	8,69 a
SN	4,08 a	0,79 a	5,96 ab	59,59 a	29,66 a	10,03 a	7,16 a
CV(%)	14,25	4,84	16,35	3,25	5,26	15,13	8,88
Ciclo 4							
L40	1,28 b	0,45 c	3,30 a	55,46 a	27,96 a	14,16 a	8,89 a
L60	1,65 ab	0,47 bc	3,55 a	55,89 a	28,09 a	12,91 a	8,26 ab
L80	1,66 ab	0,52 abc	3,57 a	56,72 a	28,79 a	12,86 a	8,86 a
L100	2,34 a	0,53 ab	3,95 a	55,98 a	27,75 a	13,39 a	8,72 a
L120	2,61 a	0,58 a	3,02 a	58,50 a	30,30 a	13,79 a	8,93 a
CD40	2,27 ab	0,48 bc	3,32 a	58,69 a	30,10 a	13,98 a	8,98 a
SN	2,10 ab	0,59 a	3,95 a	58,15 a	30,16 a	12,70 a	7,36 b
CV(%)	18,26	5,69	22,62	3,55	4,17	7,23	5,63

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. L40, L60, L80, L100 e L120 – lâminas de irrigação correspondentes à 40%, 60%, 80%, 100% e 120% da evapotranspiração da cultura; CD40 – rejeito da mineração de ferro com condicionador de solo; SN – solo natural; CV – coeficiente de variação em porcentagem; MSF – massa seca de forragem; ALT – altura de plantas; RLC – relação lâmina:colmo; FDN – teor de fibra em detergente neutro; FDA – teor de fibra em detergente ácido; PB – teor de proteína bruta; MM – teor de matéria mineral.

### 2.1.3.2 Massa seca de forragem

A massa seca de forragem (MSF) foi influenciada pelas lâminas de irrigação em todos os ciclos avaliados ( $P < 0,01$ ). Observou-se resposta linear positiva da produção de MSF com o aumento da lâmina de irrigação, no intervalo de 40 a 120% da ETc (Figura 2.1.7).

Figura 2.1.7 – Massa seca de forragem (MSF) do capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas de irrigação cultivado em rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

As menores médias de MSF ocorreram no tratamento L40 em todos os ciclos, com valores médios de 2,43, 1,32, 1,83 e 1,25 t ha<sup>-1</sup>. Por outro lado, as maiores médias de massa seca ocorreram no tratamento L120, com valores iguais a 4,43, 2,84, 4,55 e 2,61 t ha<sup>-1</sup>, para os quatro ciclos estudados.

Analisando os tratamentos quantitativos e adicionais, observa-se que existem diferenças na produção de MSF pelo teste de Tukey, em todos os ciclos avaliados ( $P < 0,05$ ). No primeiro ciclo, o tratamento L120 se destacou em relação aos demais, pois foi o que obteve maior valor de massa seca, com 4,53 t ha<sup>-1</sup>, apresentando diferença significativa dos tratamentos L40, L60 e CD40, que obtiveram os valores médios de 2,41, 2,93 e 3,22 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Já no segundo ciclo, os tratamentos L120 e SN, o qual recebeu lâmina equivalente a 100% de ETc, foram considerados iguais estatisticamente entre si e produziram 2,72 e 3,00 t ha<sup>-1</sup> de MSF, nessa ordem. As médias 1,44, 1,57, 1,85 e 1,81 t ha<sup>-1</sup> dos tratamentos L40, L60,

L80 e CD40, respectivamente, não diferiram estatisticamente entre si e foram consideradas inferiores aos tratamentos L120 e SN.

A redução da MSF no segundo ciclo pode ser justificada pela morte de perfilhos visualizados em campo, ocasionada pela eliminação dos meristemas apicais devido ao corte da gramínea que foi realizado a 0,25 m da superfície do solo e como no primeiro ciclo foram observados os maiores valores de altura de planta, notou-se que a maioria do material vivo residual na parte aérea dos lisímetros não foi suficiente para continuação do desenvolvimento da gramínea. Dessa forma, observou-se a formação de perfilhos basilares e emissão de novas lâminas foliares, resultando em plantas com menores alturas que no ciclo anterior e, conseqüentemente, menores produtividades.

Adicionalmente, ao realizar o corte de uniformização e, em seguida, começar a aplicação das diferentes lâminas, observou-se que, no primeiro corte, as plantas tinham disponibilidade hídrica oriunda do período de estabelecimento da gramínea, não comprometendo o rebrotamento da gramínea. Já no segundo corte, essa disponibilidade foi baixa devido ao estresse hídrico acumulado, o que comprometeu o desenvolvimento da gramínea.

Os resultados do terceiro ciclo mostraram que os maiores valores de MSF foram obtidos nos tratamentos L100, L120 e SN, iguais a 4,23, 4,30 e 4,08 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Estes valores foram considerados iguais estatisticamente entre si e diferentes do tratamento L40 e L60. A menor produção de massa seca foi de 1,81 t ha<sup>-1</sup>, observada no tratamento L40. Neste corte, a MSF do tratamento CD40 foi 1,9 vezes significativamente maior que o L40, utilizando-se a mesma quantidade de água.

No terceiro ciclo de corte não ocorreu a remoção dos meristemas apicais e o material verde residual nos lisímetros foi maior do que no ciclo anterior. Dessa forma, o desenvolvimento da gramínea após o corte não afetado pela morte de perfilhos, resultando em maior produtividade em cada tratamento em relação aos demais ciclos.

Analisando os resultados do quarto ciclo, observou-se que os tratamentos L100 e L120 diferem estatisticamente do tratamento L40, apresentando valores médios iguais a 2,34, 2,61 e 1,28 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Santos et al. (2013) observaram que o estresse hídrico diminuiu a produção de massa seca da parte aérea das cultivares de *U. brizantha* Marandu e Piatã, quando comparadas ao tratamento sem déficit hídrico. Magalhães et al. (2015) observaram que plantas de capim Marandu que receberam lâmina correspondente a 50% da evapotranspiração de referência

obtida com uso do método do Tanque Classe A (ECA), tiveram menor produção de massa seca comparativamente ao tratamento em que as plantas receberam 80% da ECA.

Antoniél et al. (2016), estudando a produção de massa seca de forragem com a gramínea *U. brizantha* cv. Piatã, submetida a déficit hídrico, encontraram valores máximos de 2.531, 3.793, 4.918 e 4.411 kg ha<sup>-1</sup>, em quatro ciclos analisados. A produção máxima de MSF foi obtida quando a reposição de água foi feita com 83, 131, 119 e 96% da evapotranspiração de referência, respectivamente.

Pequeno et al (2015), cultivando *U. brizantha*, cultivares Marandu e Mulato II e *Cynodon* spp (Tifton 85), em dois intervalos de corte (28 e 42 dias), com e sem irrigação, observaram que a irrigação promoveu maior acúmulo de massa seca de forragem para todas as espécies, nos dois intervalos de corte. Para os capins Marandu, Mulato II e Tifton 85, irrigados e cortados aos 42 dias, por exemplo, o incremento que a irrigação promoveu foi de 29,1, 11,4 e 15,2%, respectivamente, em relação às mesmas gramíneas não irrigadas.

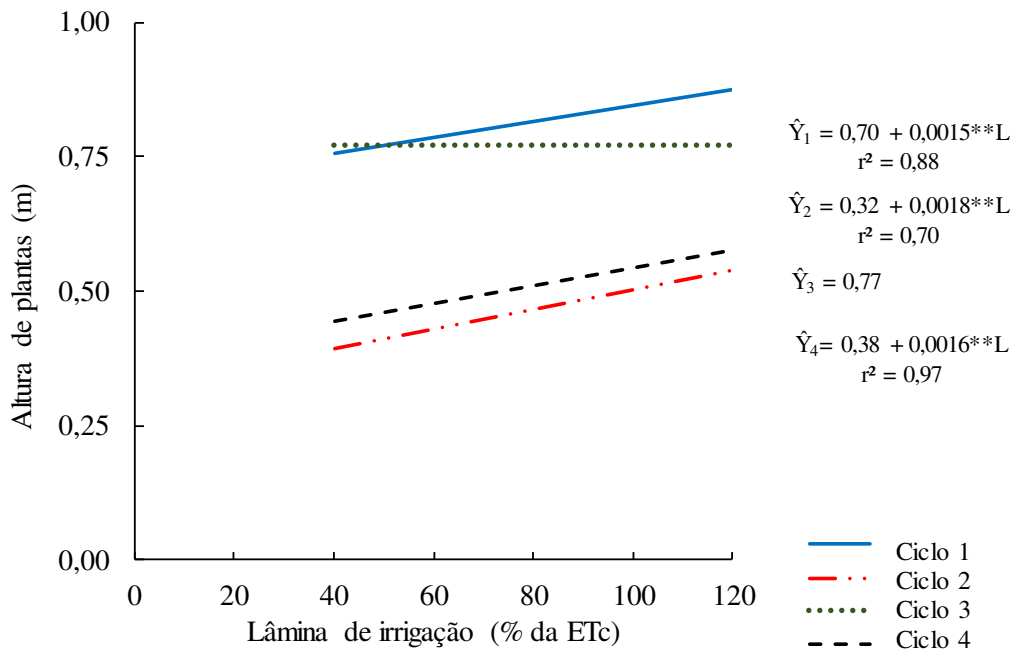
Resultados obtidos por Pezzopane et al. (2015), estudando quatro cultivares de *U. brizantha* (Xaraés, Paiaguás, Marandu e Piatã), submetidas a estresse hídrico, mostram que a massa seca de parte aérea foi de 45 a 49% menor nas gramíneas com estresse hídrico, decorrente da redução de massa seca de haste e de folhas.

Ressalta-se que o tratamento com condicionador de solo, com aplicação de água equivalente a 40% da ETc (CD40), produziu mais do que o tratamento L40 em todos os ciclos, embora fossem estatisticamente iguais nos dois primeiros ciclos. O tratamento CD40 produziu 25, 21, 48 e 44% de MSF a mais que o tratamento L40, nos quatro ciclos, respectivamente. Dessa maneira, constata-se o potencial de utilização do condicionador de solo para produção de forragem em condições de rejeito de mineração a longo prazo, mostrando ser um composto que auxilia na recuperação de áreas impactadas pela atividade mineradora.

### 2.1.3.3 Altura de plantas

As lâminas de irrigação afetaram positivamente a altura de plantas no primeiro, segundo e quarto ciclos ( $P < 0,01$ ). Dessa forma, observou-se acréscimo na altura de plantas à medida que se aumentou a reposição de água, no intervalo de 40 a 120% da ETc (Figura 2.1.8). No ciclo 3 não se verificou efeito da lâmina de irrigação para a altura de plantas, sendo a sua amostra a  $\hat{Y} = 0,77$  em média.

Figura 2.1.8 – Altura de plantas de capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas de irrigação cultivado em rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Analisando a altura de plantas em todos os tratamentos, observa-se que apenas no terceiro ciclo de corte não houve diferença entre os tratamentos ( $P > 0,05$ ) (Tabela 2.1.3). No primeiro ciclo, as plantas dos tratamentos L120 e SN obtiveram maiores alturas, com valores médios iguais a 0,89 e 0,88 m, respectivamente. Por outro lado, no tratamento L40 ocorreu menor crescimento do dossel ( $P < 0,05$ ), sendo média de altura nesse tratamento igual a 0,75 m.

A altura do capim Xaraés no segundo ciclo foi menor para todos os tratamentos em relação aos demais ciclos. As alturas de plantas nos tratamentos L120 e SN foram 0,58 e 0,57 m, respectivamente, entres as quais não foram encontradas diferenças significativas. Os demais tratamentos foram inferiores ao L120 e SN.

No terceiro ciclo, não houve diferença significativa entre as alturas de plantas dos tratamentos ( $P > 0,05$ ). A maior variação da altura foi 0,08 m, encontrada entre os tratamentos L120 e L40. Os resultados do quarto ciclo mostram que as maiores alturas de plantas foram encontradas nos tratamentos L120 e SN, com valores de 0,58 e 0,59 m, respectivamente, em relação as plantas que foram irrigadas com 40% da ETC.

Beloni et al (2018) estudaram duas cultivares de *Urochloa brizantha* (Marandu e Paiaguás), *Urochloa decumbens* cv. Brasilisk e *Dactylis glomerata* cv. Medly, e observaram que plantas que receberam irrigação total cresceram mais do que plantas submetidas a estresse hídrico.

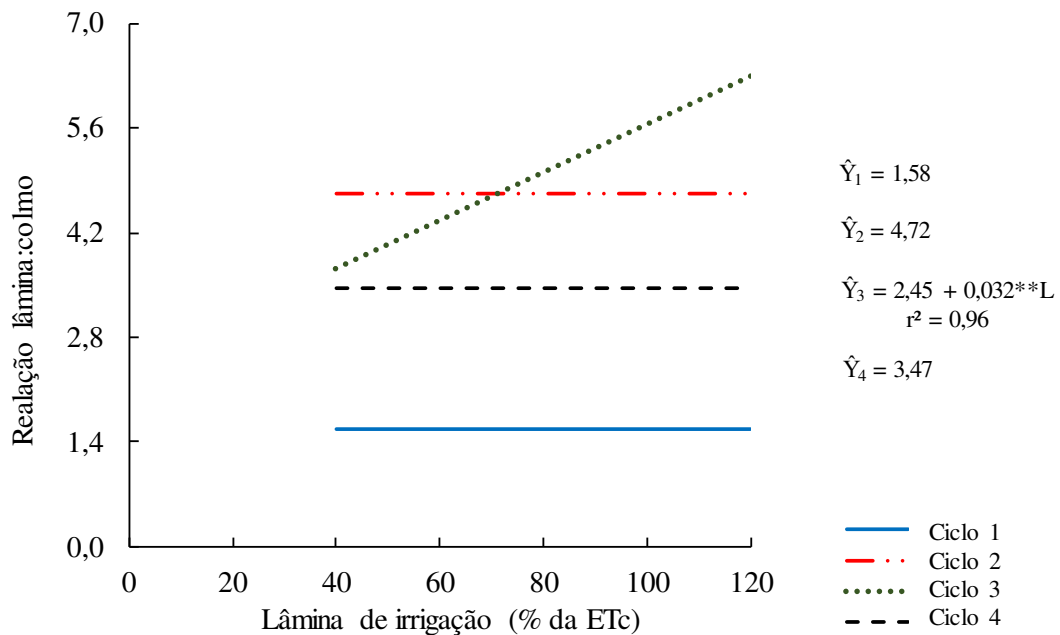
Garay et al. (2017) explicam que o crescimento das plantas pode ser afetado pela proporção entre folhas e caule. Com avanço da idade, a proporção de caule pode aumentar, reduzindo a relação folha:caule. As estações também influenciam na altura de plantas, devido à variação das condições ambientais. Os autores ainda ressaltam que a gramínea *U. brizantha* cv. Marandu, se mostrou susceptível ao déficit hídrico.

Moura et al. (2017) encontraram valores de alturas de plantas diferentes dos valores encontrados neste estudo. Os autores avaliaram a altura pré-pastejo com dois critérios: idade fixa em 30 dias (IF) e interceptação luminosa de 95%(IL95). Os autores encontraram alturas de 0,36, 0,38 e 0,46 m para os três ciclos de cultivo de capim Marandu utilizando o critério IF, enquanto que as alturas obtidas pela IL95 foram 0,32, 0,35 e 0,34 m, nos três ciclos.

#### 2.1.3.4 Relação lâmina:colmo

A relação lâmina:colmo (RLC) foi influenciada positivamente pelas lâminas de irrigação, no intervalo de 40 a 120% da ETc, apenas no terceiro ciclo (P<0,01), sendo que no ciclo 1, ciclo 2 e ciclo 4 a relação lâmina:colmo não foram influenciadas pelas lâminas e suas amostras foram  $\hat{Y}_1 = 1,58$ ,  $\hat{Y}_2 = 4,72$  e  $\hat{Y}_4 = 3,47$ , respectivamente (Figura 2.1.9).

Figura 2.1.9 – Relação lâmina:colmo (RLC) de capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas de irrigação cultivado em rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Analisando todos os tratamentos pelo teste de Tukey, apenas no terceiro ciclo foram encontradas diferenças entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ) (Tabela 2.1.3). No primeiro, segundo e quarto ciclos não se constatou diferença estatística entre os tratamentos que, provavelmente, foi provocada pela altura de corte pré-estabelecida em 0,25 m para todos os ciclos.

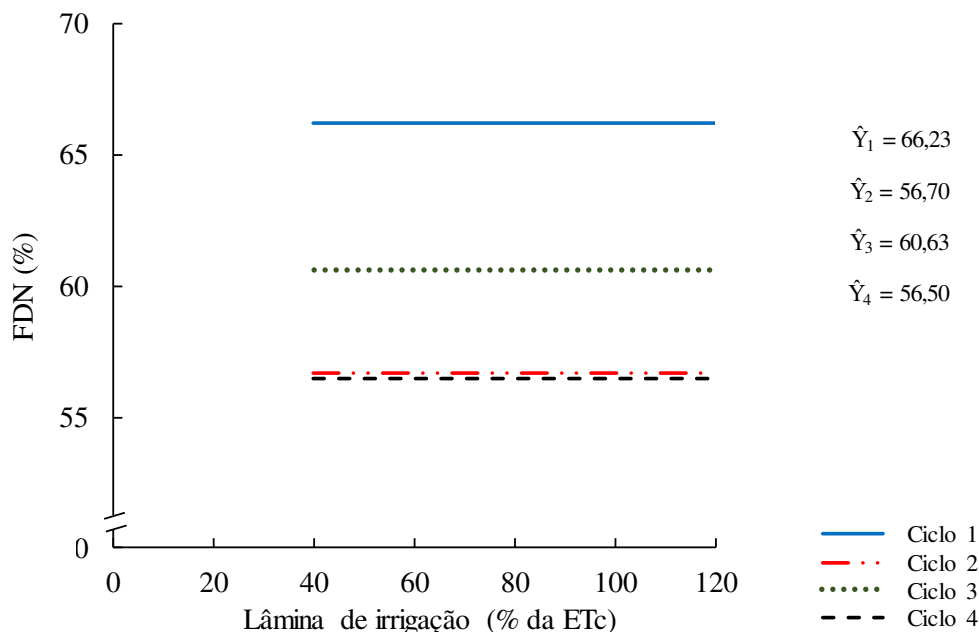
No terceiro ciclo, verifica-se que a RLC do tratamento L40 foi de 3,87, que diferiu apenas do tratamento L120, cuja RLC foi de 6,34. Magalhães et al. (2015) encontraram acréscimo da massa seca de colmos com aumento da lâmina de irrigação de 50 para 80% da evapotranspiração de referência obtida pelo método do Tanque Classe A, em estudo com capim Marandu. Os autores sugerem que o incremento de água impulsionou o crescimento das plantas, que necessitou fazer modificações estruturais em seu tecido e metabolismo.

Lopes et al. (2014), estudando a biomassa e estrutura do dossel do capim *U. decumbens* sob diferentes lâminas de irrigação e idade de crescimento, relataram que não houve interferência da lâmina de irrigação na RLC, sendo influenciada apenas pela idade de crescimento. Os autores encontraram o valor de 1,04, aos 31 dias de crescimento. Além disso, relatam que valores abaixo de 1,00 para a RLC, são considerados críticos para forrageiras. Por outro lado, intervalo de pastejo mais curto e plantas mais juvenis fazem com que haja maior proporção de folhas e menor para colmo, alterando a RLC (MOURA et al., 2017). Neste trabalho não foram encontrados valores abaixo do nível crítico.

#### **2.1.3.5 Teor de fibra em detergente neutro (FDN)**

Em nenhum dos ciclos avaliados observou-se influência das lâminas de irrigação sobre o teor de fibra em detergente neutro ( $P > 0,05$ ), apresentando os valores médios de  $\hat{Y}_1 = 66,23\%$ ,  $\hat{Y}_2 = 56,69\%$ ,  $\hat{Y}_3 = 60,63\%$  e  $\hat{Y}_4 = 56,50\%$ , para os ciclos um, dois, três e quatro, respectivamente (Figura 2.1.10). Da mesma forma, quando a comparação foi feita pelo teste de Tukey, com os tratamentos quantitativos e adicionais, não se encontrou diferença no teor de FDN em nenhum dos ciclos ( $P > 0,05$ ) (Tabela 2.1.3).

Figura 2.1.10 – Teor de fibra em detergente neutro (FDN) (%) do capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas de irrigação cultivado em rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Van Soest (1994) menciona que valores de FDN acima de 60% correlacionam-se negativamente com o consumo da forragem. Contudo, é comum que forrageiras tropicais apresentem valores acima do nível crítico.

Guerra et al. (2019) indicam que níveis elevados de FDN são consequência da redução proporcional de moléculas facilmente digeríveis, principalmente proteínas, que desempenham importante papel na nutrição dos animais. Pereira et al. (2011), Alencar et al. (2014) e Guerra et al. (2016) também encontraram valores de FDN superiores a 60%, estudando diferentes espécies do gênero *Urochloa*.

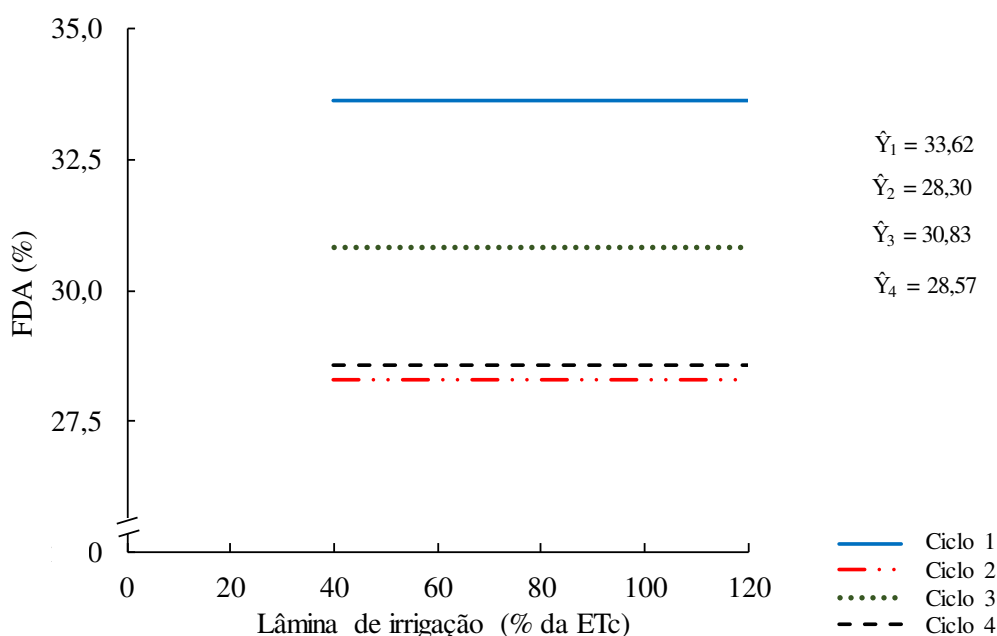
Os menores valores de FDN encontrados no segundo e quarto ciclo, podem ser explicados pela condição fisiológica da forrageira no momento do corte. Em todos os tratamentos, observou-se plantas com maior proporção de folhas em relação ao colmo, em que a maioria das folhas estavam em expansão, havia crescimento de novos perfilhos e plantas com menor altura em relação à mesma idade nos demais ciclos.

Silva et al (2018) relataram que os aspectos fisiológicos e a capacidade de desenvolvimento das plantas relacionam-se com o seu estado hídrico. Porém, os dados dos autores revelaram indícios de que a gramínea *U. brizantha* cv. Piatã tem capacidade de ajustar-se osmoticamente, a fim de manter água nos tecidos vegetais, possibilitando a planta tolerar, até certo nível, a deficiência hídrica.

### 2.1.3.6 Teor de fibra em detergente ácido (FDA)

Os resultados deste parâmetro mostraram que as lâminas de irrigação aplicadas não promoveram diferenças significativas no teor de FDA, no intervalo de 40 a 120% da ETc ( $P>0,05$ ) em nenhum dos ciclos de corte, sendo que os valores médios de FDA foram de  $\hat{Y}_1=33,62$ ,  $\hat{Y}_2= 28,30$ ,  $\hat{Y}_3= 30,83$  e  $\hat{Y}_4=28,57$ , respectivamente (Figura 2.1.11). Comparando todos os tratamentos pelo teste de Tukey, constatou-se que o teor de FDA da pastagem implantada no rejeito de mineração de ferro, com ou sem condicionador, não diferiu da pastagem implantada em solo natural ( $P>0,05$ ) (Tabela 2.1.3).

Figura 2.1.11 – Teor de fibra em detergente ácido (FDA) (%) do capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas de irrigação cultivado em rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Em estudo com capim Marandu, Magalhães et al. (2015) relataram que altos teores de FDA foram encontrados quando se utilizou maiores lâminas de irrigação, cujos valores foram de 32 e 38%, para folhas e colmo, respectivamente. Moura et al. (2017) apontaram que a redução do intervalo de pastejo e a altura de corte afetaram no crescimento e a composição bromatológica do capim Marandu. Estratégias de manejo com menor intervalo de pastejo resultam em menor alongamento do caule e, conseqüente, aumento na relação folha:colmo e no valor nutricional da forragem.

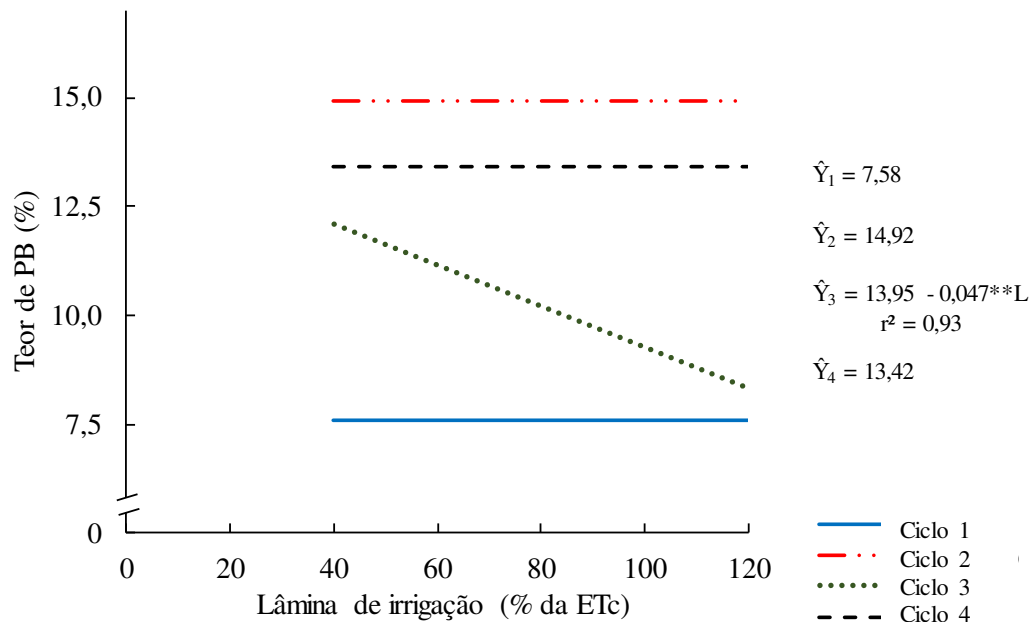
Os menores teores de FDA encontrados no segundo e quarto ciclo podem ser explicados pela condição que a forrageira se encontrava, observando-se menor crescimento das plantas,

folhas em formação e expansão. Segundo Magalhães et al. (2015), o teor de FDA é um indicativo do valor energético da forragem, sendo que quanto menor o valor de FDA, maior será o valor nutritivo da forragem. Nussio, Manzano e Pedreira (1998), citados por Alonso e da Costa (2017), sugerem o teor de 30 % de FDA como nível ideal para bom consumo animal, bem como valores acima de 40% podem interferir na digestibilidade da forrageira.

### 2.1.3.7 Proteína bruta

Em três ciclos avaliados, as lâminas de irrigação não influenciaram no teor de proteína bruta (PB) do capim Xaraés, no intervalo de 40 a 120% da ETc ( $P > 0,05$ ), apresentando valores médios de  $\hat{Y}_1 = 7,58$ ,  $\hat{Y}_2 = 14,92$  e  $\hat{Y}_4 = 13,42$  para o primeiro, segundo e quarto ciclo de corte, respectivamente. Já no terceiro ciclo, nota-se que as lâminas de irrigação influenciaram negativamente, uma vez que houve decréscimo do teor de PB com o aumento da quantidade de água aplicada ( $P < 0,01$ ) (Figura 2.1.12). Pelo teste de comparação de médias, em nenhum dos ciclos o teor de proteína bruta foi influenciado pelos tratamentos ( $P > 0,05$ ) (Tabela 2.1.3).

Figura 2.1.12 – Teor de proteína bruta (%) de capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas de irrigação cultivado em rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo ao nível de 1% de significância pelo teste t.

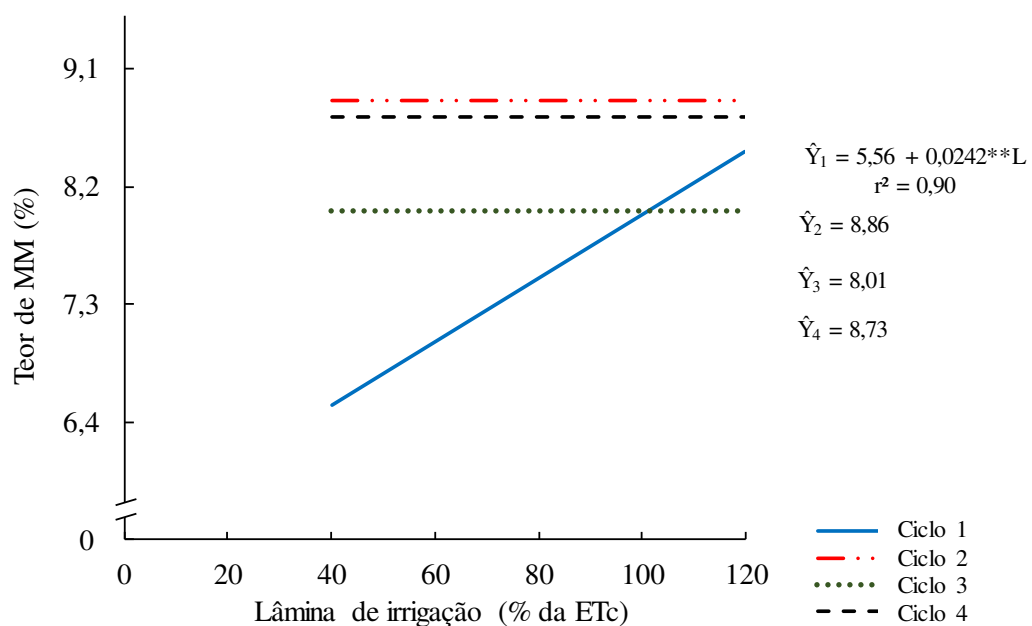
Garay et al. (2017) encontraram valores de 14,6 e 11,6% de PB para o capim Xaraés, com quatro semanas do intervalo de rebrota, em estudo no trópico úmido do Equador, nas estações chuvosa e seca, respectivamente.

Pequeno et al. (2015) notaram que a forragem do capim Marandu, Mulato II e Tifton 85 apresentaram maior concentração de PB em condições de sequeiro do que quando irrigadas, possivelmente pelo efeito de diluição, uma vez que a produção de forragem foi maior quando as plantas foram irrigadas. Os autores também observaram que o teor de PB diminuiu quando o período de descanso foi prolongado de 28 para 42 dias. Inyang et al. (2010) atribuíram o aumento no teor da PB do capim Mulato II à diminuição do acúmulo de forragem.

### 2.1.3.8 Teor de matéria mineral

No primeiro ciclo avaliado, observou-se que à medida que se aumenta a lâmina de irrigação, dentro do intervalo de 40 a 120% da ETc, eleva-se o teor de matéria mineral (MM) do capim Xaraés ( $P < 0,01$ ) (Figura 2.1.13). Por outro lado, nos demais ciclos, as lâminas de irrigação não influenciaram o teor de MM ( $P > 0,05$ ), cujos valores médios do teor de MM foram  $\hat{Y}_2 = 8,86$ ,  $\hat{Y}_3 = 8,01$  e  $\hat{Y}_4 = 8,73$  para o ciclo dois, três e quatro, respectivamente.

Figura 2.1.13 – Teor de matéria mineral (%) de capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas cultivado sobre rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Analisando todos os tratamentos pelo teste de Tukey (Tabela 2.1.3), observa-se que no primeiro ciclo o tratamento L120 apresentou diferença significativa dos tratamentos L40, L60 e CD40 ( $P < 0,05$ ). Já no quarto ciclo, o cultivo da gramínea no solo natural obteve menor teor

de MM em relação aos tratamentos cultivados no rejeito da mineração de ferro. Nos ciclos dois e três não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos ( $P>0,05$ ).

O acúmulo de minerais é importante na indicação da quantidade extraída de minerais do solo pela planta forrageira, uma vez que em sistemas de pastejo, são necessárias as devidas reposições, para se atender às exigências nutricionais e manter a produtividade da planta forrageira e a fertilidade do solo (RIBEIRO; PEREIRA, 2011). O teor de MM encontrado no tratamento SN no quarto ciclo pode ser explicado pela necessidade da planta modificar sua estrutura, devido à altura das plantas e a alta produtividade de massa seca de forragem comparativamente aos demais tratamentos neste ciclo.

#### 2.1.4 Conclusões

O capim Xaraés mostrou-se capaz de se estabelecer e produzir forragem, apesar das limitações de cultivo no rejeito da mineração de ferro, devido às propriedades do rejeito.

As lâminas de irrigação afetaram positivamente e linearmente a produtividade de massa seca e altura de plantas de capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro, sendo que os maiores incrementos foram encontrados aplicando-se a lâmina de 120% da evapotranspiração da cultura.

Os teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e proteína bruta não foram afetados pelo cultivo do capim Xaraés em rejeito da mineração de ferro, aplicando-se diferentes lâminas de irrigação e cultivo em rejeito com condicionador de solo e solo natural.

O condicionador de solo apresentou potencial de utilização para incremento na produtividade do capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro, com efeito significativo a partir do terceiro ciclo de corte, após 60 dias de cultivo.

#### 2.1.5 Referências bibliográficas

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land use policy**, v.70, p. 63-70, 2018.

ALENCAR, C. A. B.; MARTINS, C. E.; OLIVEIRA, R. A. de; CÓSER, A. C.; CUNHA, F. F. da. Bromatologia e digestibilidade de gramíneas manejadas por corte submetidas a adubações nitrogenadas e estações anuais. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 8-15, 2014.

ALONSO, R. A.; DA COSTA, L. V. C. Caracteres agronômicos de *B. brizantha* cv. Xaraés (mg5), sob diferentes doses de biofertilizante de dejetos de bovino leiteiro. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 4, p. 400-411, 2017.

ANDRADE, L. C. R.; MARQUES, E. A. G.; PEIXOTO, R. A. F. Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. **Geografias**, v. 12, n. 1, p. 32-44, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Anuário mineral brasileiro: Principais substâncias metálicas**, 34 p., 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Classificação das barragens de mineração brasileiras**. Disponível em: < <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao/classificacao-oficial-anm>>. Acesso em 01 mai 2019.

ANTONIEL, L. S.; PRADO, G. D.; TINOS, A. C.; BELTRAME, G. A.; DE ALMEIDA, J. V., & CUCO, G. P. Pasture production under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 15.ed. Washington, D.C., 1990. 1298p.

BARROS, D. A.; JUNIOR, M. G. C.; DE OLIVEIRA, A. L.; DA SILVA NETO, E. C. Matéria orgânica e agregação do solo em áreas sobre influência da mineração de bauxita na região do planalto de Poços de Caldas, MG. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 2, p. 160-167, 2018.

BELONI, T. et al. Large variability in drought survival among *Urochloa* spp. cultivars. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 4, p. 947-957, 2018.

BURRITT, R. L.; CHRIST, K. L. Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. **Journal of Cleaner Production**, v.178, p. 196-205, 2018.

CARMO, F. F.; et al. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 15, n. 3, 145-151, 2017.

CHAI, Q.; et al. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 36, n. 1, p. 3, 2016.

CORDEIRO, M. C.; et al. Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. **Science of The Total Environment**, v. 654, p. 1209-1217, 2019.

DETMANN, E.; et al. Métodos para análise de alimentos– INCT: Ciência animal. 1. ed. Visconde do Rio Branco, MG: **Suprema**, 2012. 214 p.

DUARTE, J. A. V.; et al. Altura e produtividade do capim *Urochloa brizantha* em função das estações do ano e frequências de corte. **Investigación Agraria**, v. 19, n. 1, p. 44-48, 2017.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs package (Portuguese)**. R package version 1.2.0, 2018.

FERNANDES, G. W.; et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.

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.

GOMES, L. E. O.; et al. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 120, n. 1-2, p. 28-36, 2017.

GUERRA, G. L.; et al. Nutritional evaluation of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu cultivated in soils developed from basalt and sandstone in the state of Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 469-484, 2019.

GUERRA, G. L.; et al. Supplementation of beef cattle grazing *Brachiariabrizantha* during the dry and rainy seasons: performance and carcass ultrasound prediction. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 5, 2016.

INYANG, U.; et al. Harvest frequency and stubble height affect herbage accumulation, nutritive value, and persistence of 'Mulato II' brachiariagrass. **Forage and Grazinglands**, v. 8, n. 1, p. 0-0, 2010.

LOPES, M. N.; et al. Fluxo de biomassa e estrutura do dossel em capim-braquiária manejado, sob lâminas de irrigação e idades de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 490-500, 2014.

MAGALHÃES, J. A.; et al. Composição bromatológica do capim-Marandu sob efeito de irrigação e adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 933-941, 2015.

MARTÍNEZ-ROMERO, A.; DOMÍNGUEZ, A.; LANDERAS, G. Regulated deficit irrigation strategies for different potato cultivars under continental Mediterranean-Atlantic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 164-176, 2019.

MELO, B.; et al. Uso do polímero hidroabsorvente Terracottem® e da frequência de irrigação na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista Ceres**, v. 52, n. 299, 2005.

MOURA, A. M.; et al. Pasture productivity and quality of *Urochloa brizantha* cultivar Marandu evaluated at two grazing intervals and their impact on milk production. **Animal Production Science**, v. 57, n. 7, p. 1384-1391, 2017.

OMACHI, C. Y.; et al. Atlantic Forest loss caused by the world's largest tailing dam collapse (Fundão Dam, Mariana, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 12, p. 30-34, 2018.

PEQUENO, D. N. L.; et al. Forage accumulation and nutritive value of brachiariagrasses and Tifton 85 bermudagrass as affected by harvest frequency and irrigation. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1741-1749, 2015.

PEZZOPANE, C. G.; et al. Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, 2015.

- PEREIRA, R. C.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G.; VILLELA, S. D. J.; SILVA, J. L. Produtividade, composição químico-bromatológica e extração de minerais das cultivares Marandu e Xaraés nas estações do ano. **Veterinária e Zootecnia**, v. 18, n. 4, p. 570-582, dez. 2011.
- QUEIROZ, H. M.; et al. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination?. **Science of the Total Environment**, 637, 498-506, 2018.
- RIBEIRO, K. G; PEREIRA, O. G. Produtividade de matéria seca e composição mineral do capim-tifton 85 sob diferentes doses de nitrogênio e idades de rebrotação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 811-816, 2011.
- 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. 33-37, 2010.
- P. M.; et al. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 11, p. 767-773, 2013.
- SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; DA COSTA, L. M.; DE BARROS, N. F. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 45-52, 2006.
- SILVA, J. S.; et al. Parâmetros morfológicos e fisiológicos de *Brachiaria brizantha* submetida ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, v. 7, n. 5, p. 71-81, 2018.
- STUMPF, L.; et al. Gramíneas perenes e sua relação com a recuperação de atributos físicos de um solo degradado construído. **Interciencia**, v.42, n. 2, p. 101-107, 2017.
- STUMPF, L.; et al. Perennial grasses for recovery of the aggregation capacity of a reconstructed soil in a coal mining area in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 327-335, 2014.
- TEAM, RStudio; et al. RStudio: integrated development for R. **RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com>**, v. 42, p. 14, 2015.
- U.S. Geological Survey. **Mineral commodity summaries 2019**: U.S. Geological Survey, 2019. 200 p.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2th ed. Ithaca: Cornell University, 1994. 476 p.
- ZHANG, L.; et al. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in na opencast coal-mine dump in a loess area. **Catena**, v. 128, p. 44-53, 2015.

## **2.2 Capítulo 2 – Massa seca de raízes de capim Xaraés irrigado com diferentes lâminas cultivado em rejeito de mineração de ferro e solo natural**

### **Resumo**

O Brasil é segundo maior produtor de minério de ferro do mundo e Minas Gerais (MG) é o Estado que mais contribui para essa eficiência. Um dos maiores desastres ambientais ocorreu no Estado com o rompimento da Barragem de Fundão. No entanto, um dos desafios após o desastre foi quanto ao manejo do rejeito para possibilitar que as áreas atingidas voltem a ser exploradas. Para recuperação de áreas degradadas, gramíneas são frequentemente utilizadas e as raízes são importantes aliadas na recuperação de solos degradados, pois podem melhorar as propriedades físicas do solo. As alterações causadas pela matéria orgânica favorecem a aeração e a retenção de água no solo, elementos importantes para o desenvolvimento das raízes e estabelecimento dos microrganismos que processam esse material. O objetivo neste estudo foi avaliar se a aplicação de diferentes lâminas de irrigação em pastagem de capim Xaraés cultivada em rejeito de mineração afeta a massa seca de raízes da gramínea. O experimento foi realizado em delineamento casualizado, cujos tratamentos foram cinco lâminas de irrigação (L40, L60, L80, L100 e L120) e dois tratamentos adicionais constituídos por gramínea cultivada em rejeito com condicionador de solo (CD40) e cultivo da gramínea em solo natural (SN), com três repetições. A pastagem foi cultivada em quatro ciclos de corte, avaliando-se a massa seca de raízes (MSR) em todas as unidades experimentais ao final do período experimental. O aumento da lâmina de irrigação provocou efeito crescente e exponencial na produção de MSR. A utilização do condicionador de solo aumentou a produção de raízes, uma vez que o tratamento CD40 produziu 2,5 vezes mais do que o tratamento sem condicionador, com ambos recebendo a mesma quantidade de água.

**Palavras-chave:** Áreas degradadas; déficit hídrico; gramínea; irrigação de pastagem; sistema radicular.

### **2.2.1 Introdução**

O Brasil é segundo maior produtor de minério de ferro do mundo. Em 2018, a produção estimada foi de 490 milhões de toneladas, que corresponde a 19,6% da produção mundial, perdendo apenas para a Austrália, que produziu 900 milhões de toneladas de minério de ferro (USGS, 2019).

Minas Gerais (MG) é o principal Estado brasileiro na produção de minério de ferro. Sua contribuição na produção bruta de ferro do país foi de 50,34%, em 2017 (ANM, 2019a). Uma

das principais regiões de exploração mineradora é conhecida como Quadrilátero Ferrífero, de onde se extrai ouro, minério de ferro e manganês, bauxita para produção de alumínio, calcário e rochas fosfáticas. Essa região se estende de Belo Horizonte, Itabira, Congonhas até Ouro Preto (ROESER, H.; ROESER, P., 2010).

A atividade mineradora causa grande transformação na paisagem e gera impactos negativos, dentre estes destaca-se a grande quantidade de rejeitos oriundos do processo de beneficiamento e a principal forma de disposição ao fim do processamento é a construção de barramentos (ANDRADE; MARQUES; PEIXOTO, 2016). O rejeito de mineração é definido como material oriundo do beneficiamento do minério depois de ter sido retirada a parte economicamente viável (SILVA et al., 2006).

Por causa da expressiva importância no setor mineral, Minas Gerais possui atualmente 351 barragens de mineração (ANM, 2019b), as quais requerem monitoramento constante do seu desempenho, a fim de evitar possíveis problemas estruturais e rompimentos repentinos como os que já ocorreram na história da mineração.

Em novembro de 2015, o Estado presenciou um dos maiores desastres ambientais envolvendo barragens de deposição de rejeitos. Com o rompimento da Barragem de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, MG, foram despejados mais de 50 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito no meio ambiente. O rejeito atingiu o leito do Rio Doce até atingir a sua foz, em Linhares, Espírito Santo (ES) (FERNANDES et al., 2016; GOMES et al., 2017).

O deslocamento da lama atingiu diretamente 2.022 ha, distribuídos em áreas de pastagem, vegetação arbórea natural e silvicultura, cursos de água, edificações, a barragem de rejeitos de Santarém, solos descobertos, e a Barragem hidrelétrica de Risoleta Neves, que conteve parte do rejeito (CARMO et al., 2017). Nos municípios de Mariana e Barra Longa, MG, houve redução de 19 km<sup>2</sup> entre vegetação natural, pastagem e recursos hídricos (AIRES et al., 2018).

Após o rompimento da barragem, uma das preocupações dos órgãos responsáveis pela recuperação e revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio Doce foi quanto ao manejo do rejeito que invadiu áreas exploradas por atividades agropecuárias, sendo importante reduzir os impactos e possibilitar que as áreas voltem a ser exploradas.

Diversos estudos abordam sobre os impactos causados pelo desastre com diferentes enfoques: conhecimento e monitoramento da área atingida, mudanças na vegetação e uso da terra, perda de vegetação, análises de solo e rejeito, qualidade da água e atividades microbiana na água, impactos socioeconômicos oriundos da ruptura da barragem (OMACHI et al., 2018;

GOMES et al., 2017; BURRITT; CHRIST, 2018; FERNANDES et al., 2016; QUEIROZ et al., 2018; CORDEIRO et al., 2019).

O rejeito de mineração possui propriedades físicas, químicas e estruturais diferentes do solo, influenciando o crescimento e desenvolvimento das plantas no processo de revegetação. Tais características podem ser evidenciadas pela baixa retenção de água, alta densidade do solo, baixa capacidade de troca catiônica, baixo teor de matéria orgânica e baixa estabilidade de agregados do solo (SILVA et al., 2006; BARROS et al., 2018).

Gramíneas perenes são frequentemente utilizadas para recuperação de áreas degradadas, principalmente devido à alta densidade do sistema radicular, inclusive áreas degradadas pela atividade mineradora. (STUMPF et al., 2014; ZHANG et al., 2015). Resultados de Stumpf et al. (2017) demonstram que a espécie *Urochloa brizantha* (Hochst.) Stapf se destacou na recuperação dos atributos físicos do solo de áreas degradadas por causa de sua maior densidade, volume e comprimento do sistema radicular.

O sistema radicular de plantas é considerado importante aliado na recuperação de solos degradados pois pode melhorar as propriedades físicas do solo como estabilidade de agregados, resistência ao cisalhamento e redução da compactação (STUMPF et al., 2017; LIMA et al., 2012; ZHANG et al., 2015).

As raízes das plantas são responsáveis por fornecer matéria orgânica nas camadas subsuperficiais do solo através de células de raízes mortas e exsudatos radiculares que servem de fonte de carbono para os microrganismos decompositores da matéria orgânica, promovendo mineralização dos nutrientes e melhoria na estrutura do solo (BAUMERT et al., 2018).

As alterações causadas pela matéria orgânica favorecem a aeração e a retenção de água no solo, elementos importantes para o desenvolvimento das raízes, bem como estabelecimento dos microrganismos que processam esse material. Raízes com maiores teores de lignina deixando um efeito residual por mais tempo no solo por causa do tempo de decomposição, contribuindo para permanência da matéria orgânica por mais tempo no solo, acúmulo de carbono não lábil e favorece a ciclagem de nutrientes (DE CESARO KRZYZANSKI; CARRENHO; ARAUJO, 2018).

Dessa maneira, conhecer a distribuição e a massa do sistema radicular no perfil do solo pode trazer informações relevantes acerca do desenvolvimento da planta. Assim, o objetivo neste estudo foi avaliar se a aplicação de diferentes lâminas de irrigação em pastagem de capim Xaraés cultivada em rejeito de mineração afetam a massa seca de raízes da gramínea.

## 2.2.2 Material e métodos

### 2.2.2.1 Localização do experimento e coleta do rejeito

O experimento foi conduzido numa estação lisimétrica, com área total de 126 m<sup>2</sup> (18 x 7 m), situada na Área Experimental de Irrigação, do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG. As coordenadas geográficas são latitude 20° 46' 08'' S, longitude 42° 52' 44'' O e altitude de 675 m (Figura 2.2.1).

Figura 2.2.1 – Visão geral da área experimental com capim ao final do período de estabilização, em janeiro de 2019



Fonte: Do autor.

O rejeito da mineração de ferro foi obtido em parceria com a Fundação Renova, na Barragem de Germano, no município de Mariana – MG. As coordenadas geográficas da barragem são latitude 20° 13' 01'' S, longitude 43° 28' 10'' O e altitude de 893 m. Coletou-se 30.000 kg de rejeito de mineração, que foram utilizados no preenchimento de 18 lisímetros de drenagem com dimensões de 1,40 m de comprimento, 1,00 m de largura e 0,90 m de profundidade, sendo que 0,15 m da parte inferior foi preenchida com brita e areia, completados com 0,65 de rejeito. Assim como estes, outros três lisímetros de drenagem foram preenchidos com brita e areia na parte inferior e completados com solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo. Cada lisímetro havia de um dreno de fundo, para coletar a lâmina de água drenada.

Após dispor o material nos lisímetros, foram coletadas amostras do rejeito e do solo para caracterização físico-química e hídrica. A análise física (Tabela 2.2.1) foi realizada no

Laboratório de Física do Solo e a análise química (Tabela 2.2.2) foi realizada no Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante, ambos pertencentes ao Departamento de Solos, da Universidade Federal de Viçosa - UFV. Os dados de umidade correspondente à capacidade de campo e ponto de murcha permanente foram obtidas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Referência em Recursos Hídricos - DEA/UFV.

Tabela 2.2.1 – Caracterização físico-hídrica do rejeito de mineração e do solo utilizados no experimento

Amostra	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	$E_u$	CC	PM	Dp	Ds	Classificação textural
	-----kg kg <sup>-1</sup> -----						--g cm <sup>-3</sup> --			
Rejeito	0,109	0,593	0,225	0,074	0,06	0,134	0,016	2,92	1,53	Franco - Arenosa
Solo	0,113	0,093	0,047	0,747	0,29	0,237	0,160	2,60	1,18	Muito Argilosa

$E_u$  – Equivalente de umidade; CC – Umidade na capacidade de campo; PM – Umidade no ponto de murcha permanente; Dp – Densidade de partícula; Ds – Densidade do solo.

Tabela 2.2.2 – Composição química do rejeito de mineração e do solo natural utilizados no experimento

Amostra	pH	P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	t	T	V
	(H <sub>2</sub> O)	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							
Rejeito	4,82	2,9	12	0,0	0,36	0,03	0,0	0,5	0,42	0,42	0,92	45,7
Solo	6,39	4,1	112	0,50	3,40	0,79	0,0	1,9	4,48	4,48	6,38	70,2

Amostra	m	ISNa	P-rem	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb
	-----%		-----mg dm <sup>-3</sup> -----								
Rejeito	0,0	0,00	49,3	0,06	22,3	68,0	0,38	0,15	1,03	0,08	1,10
Solo	0,0	0,03	13,2	0,01	6,8	44,5	1,41	-	-	-	-

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 Al; ISNa – Índice de saturação por sódio; P-rem – Fósforo Remanescente.

### 2.2.2.2 Implantação da pastagem

A escolha da gramínea *Urochloa brizantha* cv. Xaraés para este estudo se baseou na tolerância a solos mau drenados, alta produtividade, rápida rebrota e florescimento tardio, quando comparada ao capim Marandu.

O experimento foi conduzido durante seis meses, iniciando com a semeadura e estabelecimento da pastagem até 60 dias, sendo finalizado o corte de uniformização a 0,25 m do solo. Posteriormente, as diferentes lâminas de irrigação começaram a ser aplicadas, fazendo avaliações durante o desenvolvimento da pastagem. Cultivou-se a pastagem em quatro ciclos estabelecendo-se o critério do corte pela idade, fixado em 30 dias.

Antes da semeadura, aplicou-se 1,21 t ha<sup>-1</sup> de calcário para corrigir a acidez do rejeito de mineração de ferro. A adubação de implantação para o rejeito consistiu em 70 kg ha<sup>-1</sup> de

$P_2O_5$  e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ , cujas fonte foram superfosfato simples, e cloreto de potássio, respectivamente.

Não foi necessária a correção da acidez do solo e a adubação de implantação para o solo foi de  $70 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ , tendo como fonte o superfosfato simples.

Foram utilizados  $12 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes de capim Xaraés, com revestimento comercial, colhidas na safra 2017/2018, com 85% de germinação, 60% de pureza e valor cultural de 51%. As sementes e o adubo fosfatado foram aplicados manualmente, em linhas com espaçamento de 0,28 m, a 0,02 m de profundidade (Figura 2.2.2). O adubo potássico foi aplicado após a emergência das plântulas, para evitar interferência no vigor da semente por causa do efeito salino do adubo.

Figura 2.2.2 – Semeadura do capim em linhas no rejeito de mineração de ferro, junto com adubo fosfatado



Fonte: Do autor.

A adubação de manutenção foi realizada entre os ciclos de corte e rebrota, sendo que a cada ciclo, a dose de nitrogênio foi  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, utilizando-se ureia como fonte. A adubação fosfatada foi realizada com superfosfato simples e a dose recomendada foi de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ . O adubo utilizado para adubação potássica foi o cloreto de potássio, cuja dose

recomendada foi de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. As adubações de cobertura foram parceladas em duas vezes por ciclo, realizadas a lanço, na superfície do solo e do rejeito e, em seguida, os lisímetros eram irrigados.

O TerraCotten foi o condicionador de solo aplicado no tratamento adicional, que consiste numa mistura de polímeros hidroabsorventes, fertilizantes e estimuladores de crescimento (MELO et al., 2005). Distribuiu-se a dose de 0,10 kg m<sup>-2</sup> entre as linhas de plantio para evitar perturbação ao sistema radicular, uma vez que a gramínea já estava implantada. A profundidade máxima de incorporação foi de 0,20 m.

### 2.2.2.3 Manejo da irrigação

Para garantir a germinação das sementes, e o estabelecimento uniformidade da pastagem, foram realizadas irrigações uniformes na área no início do experimento. Após o corte de uniformização dos tratamentos, o manejo da irrigação foi realizado diariamente por meio dos lisímetros de drenagem em que foi aplicada a lâmina de irrigação correspondente a 120% da evapotranspiração de cultura (ET<sub>c</sub>). O manejo foi feito pela manhã, subtraindo-se o volume drenado com a irrigação realizada no dia anterior. Essa diferença foi considerada como volume a ser aplicado para reposição de 100% da lâmina evapotranspirada pela cultura (Equação 1).

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

em que,

ET<sub>c</sub>: evapotranspiração da cultura (mm d<sup>-1</sup>);

I: lâmina de irrigação correspondente a 120% da ET<sub>c</sub> (mm d<sup>-1</sup>);

D: lâmina de água drenada (mm d<sup>-1</sup>).

A partir da lâmina de referência (100% da ET<sub>c</sub>), as irrigações nos demais lisímetros foram feitas relacionando-se com a porcentagem equivalente de cada tratamento. As lâminas foram convertidas em volume, distribuindo-se manualmente a água na área do lisímetro com regador.

Observa-se que não foram considerados os valores de precipitação no balanço hídrico, pois os lisímetros foram cobertos com uma estrutura em MDF (1,60 x 1,20 m) para que não houvesse interferência de chuvas nas parcelas. Esta estrutura com plástico transparente, era posicionada a 0,60 m da superfície do solo (Figura 2.2.3), sendo utilizada somente nos momentos de precipitação, retirando-a logo em seguida, para evitar interferência do plástico no desenvolvimento da cultura.

Figura 2.2.3 – Estruturas de madeira cobrindo os lisímetros



Fonte: Do autor.

Durante os quatro ciclos de cultivo foram obtidos os dados de temperatura média diária, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação pluvial, obtidos através do banco de dados digital do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cuja estação meteorológica automática se encontrava a 1 km do local do experimento.

#### **2.2.2.4 Massa seca de raízes (MSR)**

A pastagem foi cultivada durante quatro ciclos de corte e rebrota e após o último corte, foram realizadas amostragens em cada lisímetro para estudo do desenvolvimento das raízes, utilizando tubo cilíndrico de PVC com dimensões de 0,19 m de diâmetro e 0,35 m de altura, totalizando um volume de 0,0105 m<sup>3</sup>.

A parte aérea foi removida, e, em seguida, cravou-se o tubo no solo até a borda superior ficar rente à superfície. Abriu-se uma trincheira ao redor do tubo para retirá-lo com facilidade, sem comprometer a amostra coletada. Posteriormente, o material da parte interna do tubo (Figura 2.2.4) foi submetido à lavagem, para separação e limpeza das raízes (Figura 2.2.5).

Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para determinação de massa seca das raízes em estufa com circulação forçada de ar, a 55 °C por 72 horas, de acordo com o método do INCT-CA G-001/1, ressaltando que a secagem em altas temperaturas pode causar perdas de compostos voláteis ou complexos de compostos fibrosos com proteína, comprometendo análises químicas posteriores (DETMANN et al., 2012).

A massa seca de raízes foi determinada para cada lisímetro, sendo os dados expressos em quilogramas por metro cúbico (kg m<sup>-3</sup>).

Figura 2.2.4 – Amostra após retirada do tubo e antes da lavagem para separação das raízes



Fonte: Do autor.

Figura 2.2.5 – Amostras de raízes de capim Xaraés cultivado em rejeito da mineração de ferro, após a lavagem



Fonte: Do autor.

### 2.2.2.5 Delineamento experimental e análise dos dados

O experimento foi conduzido com cinco lâminas de irrigação L40, L60, L80, L100 e L120, que correspondem a 40, 60, 80, 100 e 120% da ET<sub>c</sub>, sendo estes os tratamentos quantitativos. Também foram conduzidos dois tratamentos adicionais compostos pelo capim cultivado em rejeito com condicionador de solo (CD40), com aplicação da lâmina de irrigação correspondente a 40% da ET<sub>c</sub> e cultivo do capim em solo natural (SN), aplicando-se a lâmina de água correspondente 100% da ET<sub>c</sub>. O experimento foi realizado seguindo o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para todos os tratamentos.

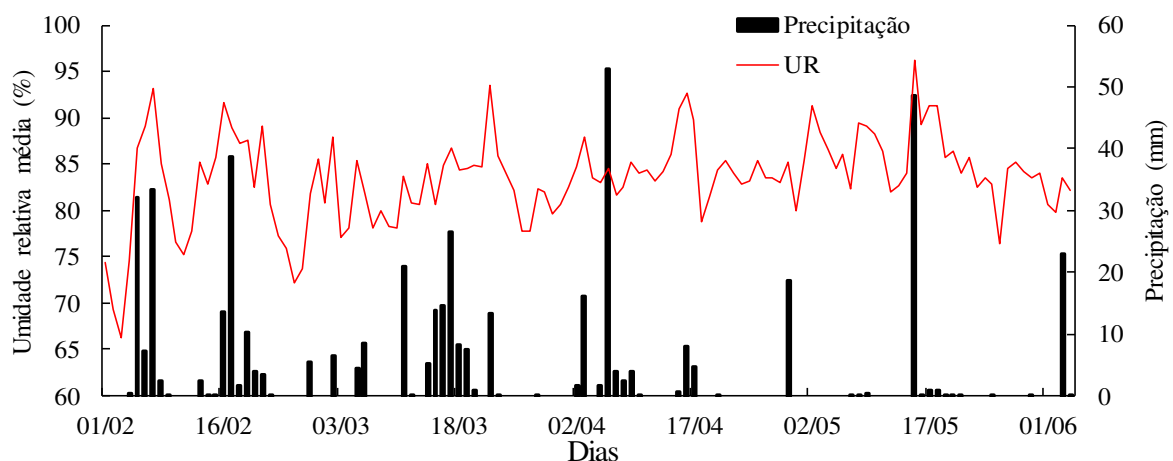
Os dados foram submetidos às análises de variância e regressão. Para avaliar o efeito das cinco lâminas de irrigação, utilizou-se a análise de regressão, sendo os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” adotando o nível de 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ( $R^2 = \text{S.Q. regressão}/\text{S.Q. tratamento}$ ), e no comportamento dos fenômenos em estudo. Para comparar as médias de todos os tratamentos, utilizou-se o teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade. Todos os procedimentos estatísticos foram realizados no Programa Rstudio (RSTUDIO TEAM et al., 2015), utilizando o pacote ExpDes.pt (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018).

## 2.2.3 Resultados e discussão

### 2.2.3.1 Dados climáticos

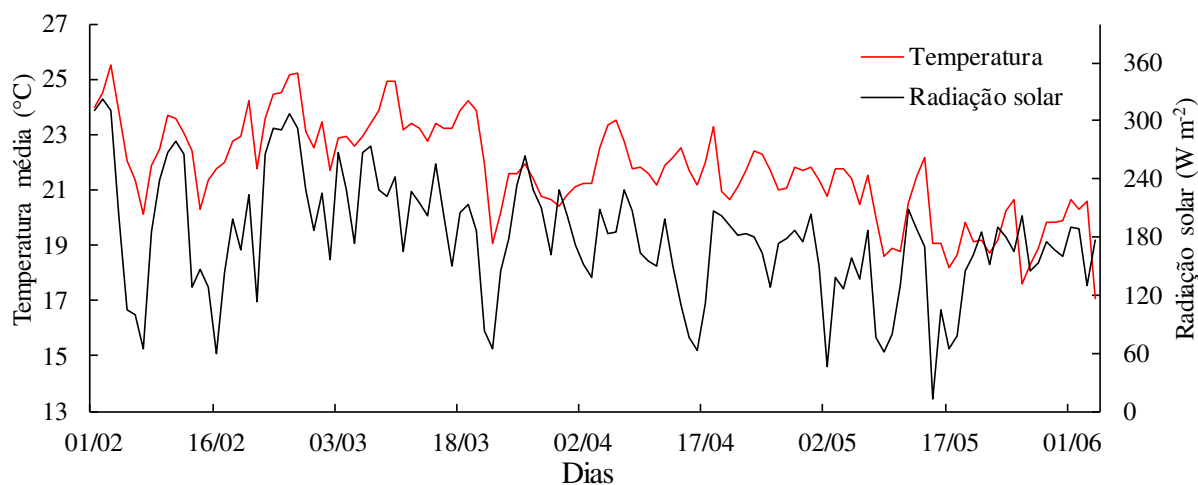
Os dados diários de precipitação, umidade relativa, temperatura média e radiação solar no decorrer dos quatro ciclos avaliados, estão plotados nas figuras abaixo (Figuras 2.2.6 e 2.2.7).

Figura 2.2.6 – Precipitação diária (mm) e umidade relativa média do ar (%) durante o período experimental.



Fonte: Do autor.

Figura 2.2.7 – Variação da temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e da radiação solar diária ( $\text{W m}^{-2}$ ) durante o período experimental.



Fonte: Do autor.

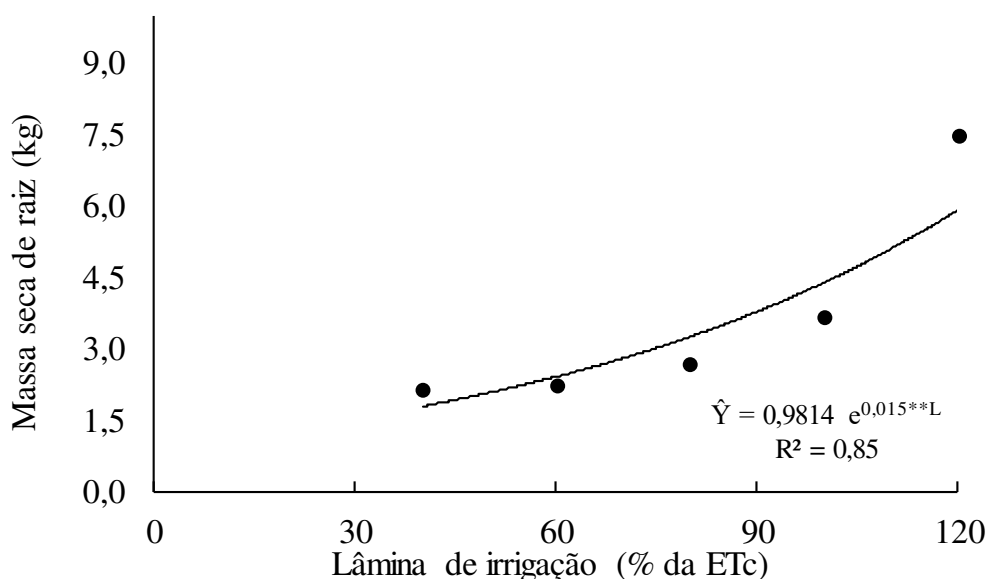
A precipitação acumulada para os quatro ciclos de corte foi de 162, 124, 115 e 53 mm, nesta ordem. O maior evento de precipitação foi de 52,8 mm, ocorrido no 65º dia, durante o terceiro ciclo de corte. Observa-se que a umidade relativa média do ar variou entre 66 e 96%, ocorrendo no segundo e centésimo quarto dia, respectivamente.

A maior média diária de temperatura foi 25,5  $^{\circ}\text{C}$ , ocorrida no terceiro dia de avaliação do experimento, durante o primeiro ciclo de corte do capim Xaraés. No dia anterior, ocorreu a maior incidência de radiação solar, com 322,40  $\text{W m}^{-2}$ . A menor radiação foi de 12,15  $\text{W m}^{-2}$ , coincidindo com o dia em que se registrou a maior umidade relativa do ar, marcado por evento de precipitação com baixa intensidade durante a maior parte do dia. Ressalta-se que a menor temperatura média diária (17 $^{\circ}\text{C}$ ) ocorreu no 115º dia de avaliação.

### 2.2.3.2 Massa seca de raízes (MSR)

A produção de raízes foi influenciada positivamente, de forma exponencial, pelas lâminas de irrigação ( $P < 0,01$ ). No intervalo analisado (40 a 120% da ETc), quando houve incremento na reposição de água, observou-se crescimento exponencial da massa seca de raízes. O tratamento L120 obteve maior produção de massa seca de raízes estimada, valor igual a 5,94  $\text{kg m}^{-3}$  de raízes. A MSR do tratamento L120 foi 3,32 vezes maior que do tratamento L40 (Figura 2.2.8).

Figura 2.2.8 – Massa seca de raiz (MSR) do capim xaraés irrigado com diferentes lâminas de irrigação cultivado em rejeito de mineração



Fonte: Do autor. \*\* Significativo pelo teste t a 1% de probabilidade.

Analisando todos os tratamentos pelo teste de Tukey, verifica-se que o tratamento L120 obteve maior produção de raízes, com média de  $7,98 \text{ kg m}^{-3}$  de raízes, em contraste com os tratamentos L40, L60 e L80, que obtiveram  $2,03$ ;  $2,50$  e  $2,797,98 \text{ kg m}^{-3}$  de massa seca de raízes, respectivamente, não havendo diferença significativa entre estes (Tabela 2.2.3).

Tabela 2.2.3 – Massa seca de raízes ( $\text{kg m}^{-3}$ ) do capim xaraés ao final de quatro ciclos de cultivos, em rejeito de mineração submetido a diferentes lâminas de irrigação, rejeito com condicionador de solo e solo natural

Tratamento	Massa seca de raízes ( $\text{kg m}^{-3}$ )
L40	2,15 c
L60	2,27 c
L80	2,70 c
L100	3,70 bc
L120	7,52 a
CD40	5,35 abc
SN100	6,84 ab
<sup>1</sup> CV(%)	28,17

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. <sup>1</sup> Coeficiente de variação em porcentagem.

Em estudo de recuperação de uma área degradada pela mineração de carvão, Stumpf et al. (2017) compararam atributos radiculares (densidade, volume, comprimento e área radicular) de quatro espécies de gramíneas e constataram que uma gramínea do gênero *Urochloa*, semelhante à espécie utilizada neste estudo, obteve melhor desempenho, considerando-a como

uma espécie que possui potencial para recuperação de atributos físicos dos solos em áreas degradadas.

Os resultados apresentados por Coello et al. (2018), em um experimento com revegetação de área degradada, utilizando espécies arbóreas na Espanha, mostram que em situações de umidade limitada e solos com textura grossa, situação semelhante ao rejeito de mineração, o uso de condicionador de solo é agente efetivo para crescimento de raízes e estabelecimento de plantas. Foi possível verificar o efeito do condicionador de solo para o crescimento de raízes nesse estudo, uma vez este possibilitou a produção maior que o tratamento L40, utilizando a mesma quantidade de água.

Outro tratamento que pode ser ressaltado é o SN, pois possui a segunda maior quantidade de massa de raízes produzida, superado apenas pelo tratamento L120, que utilizou maior quantidade de água. Assim, pode-se inferir que em condições de rejeito de mineração de ferro, a produção de raízes só é maior que no solo natural se a reposição de água for realizada com 120% da evapotranspiração da cultura.

O rejeito da mineração de ferro possui atributos físicos distintos em relação ao solo natural, observados principalmente na textura e estrutura do solo, refletindo na retenção de água no solo. O diâmetro dos poros regula a retenção de água no solo, uma vez que os microporos são responsáveis pela retenção de água, enquanto os macroporos se encarregam da aeração do solo, atribuindo à estrutura do solo o controle da porosidade do solo. Além disso, observa-se a importância dos processos bióticos na agregação, devido a ação da microbiota na decomposição de raízes mortas das plantas e de seus exsudatos (TOTSCHKE et al., 2018; BAUMERT et al., 2018).

A matéria orgânica do solo é um importante fator na recuperação de áreas degradadas, uma vez que atua como agente cimentante das partículas do solo, formado agregados, que viabilizam a melhoria da estrutura do solo. Segundo estudo com a cultura do milho, em solo franco arenoso realizado por Chatterjee et al. (2019), a utilização de práticas como irrigação, incorporação de resíduos de culturas no solo e manejo da adubação nitrogenada oferecem melhores condições para incremento nos teores de carbono orgânico do solo. Dessa forma, adotar estas práticas em áreas atingidas pelo rejeito da mineração de ferro podem auxiliar na formação de agregados e, conseqüentemente, melhorar a estrutura do rejeito.

Amaral et al. (2012) realizaram um experimento com rejeito de estéril da mineração de quartzito, cuja classificação textural é semelhante ao rejeito de mineração de ferro utilizado neste estudo. Os resultados mostraram que a maior média de produtividade de raízes foi de 3540 kg ha<sup>-1</sup>, encontrada no tratamento que utilizou 75% de adubação mineral e 25% de

adubação orgânica. Segundo os autores, a combinação da adubação mineral e orgânica proporcionou rápido crescimento das raízes, bem como modificou as propriedades físicas do rejeito estéril de quartzito, principalmente estabilidade de agregados do solo.

Em estudo de recuperação de uma área degradada pela mineração de carvão, Stumpf et al. (2017) compararam atributos radiculares (densidade, volume, comprimento e área radicular) de quatro espécies de gramíneas e constataram que uma gramínea do gênero *Urochloa*, semelhante à espécie utilizada neste estudo, obteve melhor desempenho, considerando-a como uma espécie que possui potencial para recuperação de atributos físicos dos solos em áreas degradadas. Contudo, verifica-se que os tratamentos neste estudo obtiveram menores valores de massa seca de raízes em relação à encontrada pelos autores, que foi de 13,29 kg m<sup>-3</sup>.

Bomfim-Silva et al. (2012), em estudo com capim Xaraés, não encontraram diferença na massa seca de raízes quando a densidade do solo era o fator limitante, variando entre 1.000 e 1.600 kg m<sup>-3</sup>. Isso pode indicar uma capacidade que a cultivar tem em absorver nutrientes, apesar do aumento da densidade do solo, cujo valor máximo utilizado pelos autores é maior do que a densidade do rejeito de mineração utilizado neste estudo, igual 1.530 kg m<sup>-3</sup>.

A densidade e a porosidade do solo estão estreitamente relacionadas, principalmente referindo-se à macroporosidade, pois solos com alta densidade apresentam baixa macroporosidade, que limitam o desenvolvimento de raízes. (DE CESARO KRZYZANSKI; CARRENHO; ARAUJO, 2018).

Alguns fatores podem ter influenciado no desenvolvimento das raízes, tais como: os atributos físico-químicos do solo e do rejeito utilizado neste estudo; o tamanho da unidade experimental; o tamanho da camada de rejeito (0,65 m), a distribuição das raízes no perfil do solo e rejeito; área e profundidade de coleta das amostras; o cultivo em lisímetros, que também pode limitar o crescimento e a expansão do sistema radicular.

#### **2.2.4 Conclusões**

Este estudo indicou que mesmo sob condições adversas, devido à natureza do rejeito de mineração, o capim Xaraés foi capaz de produzir e de desenvolver seu sistema radicular. O aumento da lâmina de irrigação provocou efeito crescente e exponencial na produção de massa seca de raízes do capim Xaraés cultivado em rejeito da mineração de ferro e o maior valor de massa seca de raízes foi obtido com aplicação da lâmina de água correspondente a 120% da evapotranspiração da cultura.

Recomenda-se estudo para verificar possíveis alterações nas propriedades físico-hídricas do rejeito da mineração de ferro e no desenvolvimento da gramínea, quando forem submetidos ao pisoteio de animais, em condições de pastejo direto.

### 2.2.5 Referências bibliográficas

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D.; DA SILVA, D. D.; CALIJURI, M. L. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. **Land use policy**, v.70, p. 63-70, 2018.

AMARAL, C. S.; et al. Crescimento de *Brachiaria brizantha* pela adubação mineral e orgânica em rejeito estéril da mineração de quartzito. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 130-141, 2012.

ANDRADE, L. C. R.; MARQUES, E. A. G.; PEIXOTO, R. A. F. Perspectivas para o reaproveitamento de rejeitos da mineração de ferro como materiais de construção. **Geografias**, v. 12, n. 1, p. 32-44, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Anuário mineral brasileiro: Principais substâncias metálicas**, 34 p., 2019a.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM. **Classificação das barragens de mineração brasileiras**. Disponível em: < <http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao/classificacao-oficial-anm>>. Acesso em 01 mai 2019b.

BARROS, D. A.; JUNIOR, M. G. C.; DE OLIVEIRA, A. L.; DA SILVA NETO, E. C. Matéria orgânica e agregação do solo em áreas sobre influência da mineração de bauxita na região do planalto de Poços de Caldas, MG. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 2, p. 160-167, 2018.

BAUMERT, V. L.; et al. Root exudates induce soil macroaggregation facilitated by fungi in subsoil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, 2018.

BONFIM-SILVA, E. M.; et al. Establishment of Xaraés and Marandu grasses under levels of soil compaction. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 4, p. 727-735, 2012.

BURRITT, R. L.; CHRIST, K. L. Water risk in mining: Analysis of the Samarco dam failure. **Journal of Cleaner Production**, v.178, p. 196-205, 2018.

CARMO, F. F.; et al. Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 15, n. 3, 145-151, 2017.

CHATTERJEE, S.; et al. Effects of irrigation, crop residue mulch and nitrogen management in maize (*Zea mays* L.) on soil carbon pools in a sandy loam soil of Indo-gangetic plain region. **Catena**, v. 165, p. 207-216, 2018.

COELLO, J.; et al. Innovative soil conditioners and mulches for forest restoration in semiarid conditions in northeast Spain. **Ecological Engineering**, v. 118, p. 52-65, 2018.

CORDEIRO, M. C.; et al. Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. **Science of The Total Environment**, v. 654, p. 1209-1217, 2019.

DE CESARO KRZYZANSKI, H.; CARRENHO, R.; ARAUJO, M. A. Abiotic soil attributes and their relation to morphological root characteristics and mycorrhizal colonization of grasses. **Brazilian Journal of Botany**, v. 41, n. 3, p. 539-549, 2018.

DETMANN, E.; et al. Métodos para análise de alimentos– INCT: Ciência animal. 1. ed. Visconde do Rio Branco, MG: **Suprema**, 2012. 214 p.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt: Experimental Designs pacakge (Portuguese)**. R package version 1.2.0, 2018.

FERNANDES, G. W.; et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, **Brazil. Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.

GOMES, L. E. O.; et al. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine pollution bulletin**, v. 120, n. 1-2, p. 28-36, 2017.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C. D.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.1, p.71-78, 2012.

MELO, B.; et al. Uso do polímero hidroabsorvente terracottem® e da frequência de irrigação na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Revista Ceres**, v. 52, n. 299, 2005.

OMACHI, C. Y.; et al. Atlantic Forest loss caused by the world´s largest tailing dam collapse (Fundão Dam, Mariana, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 12, p. 30-34, 2018.

QUEIROZ, H. M.; et al. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination?. **Science of the Total Environment**, 637, 498-506, 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. 33-37, 2010.

SILVA, G. P.; FONTES, M. P. F.; DA COSTA, L. M.; DE BARROS, N. F. Caracterização química, física e mineralógica de estéreis e rejeito da mineração de ferro da Mina de Alegria, Mariana-MG. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 45-52, 2006.

STUMPF, L.; et al. Gramíneas perenes e sua relação com a recuperação de atributos físicos de um solo degradado construído. **Interciencia**, v.42, n. 2, p. 101-107, 2017.

STUMPF, L.; et al. Perennial grasses for recovery of the aggregation capacity of a reconstructed soil in a coal mining area in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 327-335, 2014.

TEAM, RStudio; et al. RStudio: integrated development for R. **RStudio, Inc., Boston, MA**  
URL <http://www.rstudio.com>, v. 42, p. 14, 2015.

TOTSCHE, K.U.; et al. Microaggregates in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 1, p. 104-136, 2018.

U.S. Geological Survey. **Mineral commodity summaries 2019**: U.S. Geological Survey, 2019. 200 p.

ZHANG, L.; et al. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in na opencast coal-mine dump in a loess area. **Catena**, v. 128, p. 44-53, 2015.

### 3. Conclusões gerais

Este estudo indicou que mesmo sob condições adversas, devido à natureza do rejeito de mineração, o capim Xaraés foi capaz de produzir forragem e desenvolver seu sistema radicular.

A aplicação da lâmina de água correspondente a 120% da ETc resultou em maiores valores de massa seca de forragem, altura de plantas, relação lâmina:colmo e massa seca de raízes do capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro.

Os teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e proteína bruta não foram afetados pelo cultivo do capim Xaraés em rejeito da mineração de ferro, aplicando-se diferentes lâminas de irrigação e cultivo em rejeito com condicionador de solo e solo natural.

O condicionador de solo apresentou potencial de utilização para incremento na produtividade do capim Xaraés cultivado em rejeito de mineração de ferro, com efeito significativo a partir do terceiro ciclo de corte, após 60 dias de cultivo.

Propõe-se a realização de estudos com o rejeito da mineração de ferro para testar diferentes condições, tais como: a variação da camada de rejeito; incorporação de resíduos orgânicos para incremento de matéria orgânica e estudo da atividade de microrganismos decompositores no rejeito; variação da frequência da irrigação, utilizando a prática da quimigação e seus desdobramentos relativos à retenção dos compostos e possíveis perdas por lixiviação.