



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**REMOÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS POTENCIALMENTE TÓXICOS**  
**PRESENTES EM REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO, POR VETIVER**  
**EM SISTEMA DE ILHA FLUTUANTE**

**Angelo Tadeu Magno Leão**

**Belo Horizonte**

**2021**

**Angelo Tadeu Magno Leão**

**REMOÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS POTENCIALMENTE TÓXICOS  
PRESENTES EM REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO, POR VETIVER  
EM SISTEMA DE ILHA FLUTUANTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do  
CEFET-MG, como requisito para a obtenção do  
título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Valéria Cristina Palmeira Zago

Belo Horizonte

2021

**ANGELO TADEU MAGNO LEÃO**

**REMOÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS POTENCIALMENTE TÓXICOS  
PRESENTES EM REJEITOS DE MINERAÇÃO DE FERRO,  
POR VETIVER EM SISTEMA DE ILHA FLUTUANTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 10 de setembro de 2021

Banca examinadora:

---

Valéria Cristina Palmeira Zago  
Presidente da Banca Examinadora  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. – CEFET-MG – Orientadora

---

Fernanda Badotti  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. – CEFET-MG – Membro Titular

---

Andréa Rodrigues Marques Guimarães  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. – CEFET-MG – Membro Titular



Emitido em 13/09/2021

**CÓPIA DE FOLHA DE ASSINATURAS Nº 2/2021 - DCTA (11.55.03)**

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

*(Assinado digitalmente em 15/09/2021 14:04)*

ANDREA RODRIGUES MARQUES  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCB (11.55.12)  
Matrícula: 1192223

*(Assinado digitalmente em 15/09/2021 11:28)*

FERNANDA BADOTTI  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DEQUI (11.55.09)  
Matrícula: 2753635

*(Assinado digitalmente em 13/09/2021 13:47)*

VALERIA CRISTINA PALMEIRA ZAGO  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: 2442100

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número:  
2, ano: 2021, tipo: **CÓPIA DE FOLHA DE ASSINATURAS**, data de emissão: **13/09/2021** e o código de  
verificação: **47d372cb2a**

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, por acreditar em minha capacidade, pelo direcionamento, influência e apoio ao longo dos anos.

Aos amigos, pelo carinho e companheirismo ao longo desta árdua caminhada.

À minha orientadora, pelos longos anos de trabalho conjunto e aprendizado.

Às integrantes da banca examinadora por aceitar o convite e contribuir com o desenvolvimento e avaliação do trabalho.

Ao Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, pela infraestrutura dada a mim para explorar do meu potencial e contribuir com minha formação profissional.

Aos colaboradores do CEFET-MG e colegas, pelas interações amistosas que foram de grande aprendizado.

A Deflor Bioengenharia pela doação das mudas de Vetiver.

“Quanto mais nos elevamos, menores parecemos  
aos olhos daqueles que não sabem voar.”

Friedrich Nietzsche

## RESUMO

LEÃO, Angelo Tadeu Magno, *Remoção de elementos químicos potencialmente tóxicos presentes em rejeitos de mineração de ferro, por Vetiver em sistema de ilha flutuante*, 2021. 34f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

Em 2015 ocorreu o maior acidente envolvendo barragem de rejeitos de mineração da história brasileira, no subdistrito de Bento Rodrigues, no Município de Mariana-MG, sem precedentes quanto aos impactos socioambientais ocorridos. Quanto aos impactos ambientais, em um curto espaço de tempo, milhões de metros cúbicos de lama foram carregados para a bacia hidrográfica do Rio Doce, trazendo impactos diretos à flora, fauna, aos recursos hídricos e ao solo. A lama que ficou disposta no solo e no leito dos cursos d'água, apresenta em sua composição diversos elementos químicos que podem ser tóxicos. Considerando este contexto, é imprescindível o desenvolvimento de tecnologias que visem a recuperação das áreas degradadas. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade da espécie *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver), disposta em um sistema de ilhas flutuantes, em remover elementos químicos potencialmente tóxicos em diferentes concentrações de rejeito de minério de ferro, originário da barragem de Fundão, no município de Mariana-MG. O experimento foi realizado com três concentrações de rejeito (0, 150 e 300 g de rejeito), com volume fixo de água e solução nutritiva, utilizando a técnica de ilha flutuante, construída dentro de recipientes plásticos abertos. Foram monitorados parâmetros físico-químicos de qualidade da água e parâmetros de crescimento vegetativo. As concentrações de elementos químicos nos tecidos vegetais de Vetiver e no rejeito foram determinadas por análises laboratoriais. Todos os dados obtidos foram submetidos a análise de Variância e Teste de Turkey, utilizando-se o software Sisvar. O desenvolvimento vegetativo das mudas de Vetiver não foi afetado para as concentrações de rejeitos testadas no sistema de ilha flutuante. O modelo testado pode ter contribuído significativamente para uma menor absorção de micronutrientes, metais pesados e sódio, resultados melhores poderiam ser alcançados em condições naturais.

**Palavras-Chave:** Rejeito de Mineração; Vetiver; Ilha Flutuante; Recuperação de Áreas Degradadas; Elementos Químicos Potencialmente Tóxicos.

## ABSTRACT

LEÃO, Angelo Tadeu Magno, *Removal of potentially toxic chemical elements present in iron mining tailings, by Vetiver in a floating island system*, 2021. 34f. Monograph (Graduate in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

In 2015, the biggest accident involving mining tailings dam in Brazilian history took place, in the sub-district of Bento Rodrigues, in the Municipality of Mariana-MG, with no precedents in terms of the socio-environmental impacts that occurred. As for the environmental impacts, in a short period of time, millions of cubic meters of mud were loaded into the Doce's river hydrographic basin, bringing direct impacts to forests, animals, water resources and the soil. The mud that was disposed in the soil and in the bed of the water courses, presents in its composition several chemical elements that can be toxic. Considering this context, it is essential to develop technologies aimed at recovering degraded areas. The objective of this study was to evaluate the capacity of the species *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver), disposed in a system of floating islands, to remove potentially toxic chemical elements in different concentrations of iron ore tailings, originating from the Fundão dam, in the municipality of Mariana-MG. The experiment was carried out with three concentrations of tailings (0, 150 and 300 g of tailings), with a fixed volume of water and nutrient solution, using the floating island technique, built inside open plastic containers. Physical-chemical parameters of water quality and vegetative growth parameters were monitored. The concentrations of chemical elements in vetiver plant tissues and in the tailings were determined by laboratory analysis. All data obtained were subjected to analysis of variance and Turkey's test, using the Sisvar software. The vegetative development of the vetiver seedlings was not affected for the tailings concentrations tested in the floating island system. The tested model may have significantly contributed to a lower absorption of micronutrients, heavy metals and sodium, better results could be achieved under natural conditions.

**Palavras-Chave:** Mining tailings; Vetiver; Floating island; Recovery of Degraded Areas; Potentially Toxic Chemical Elements.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>Alt</b>	Altura
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>Cd</b>	Cádmio
<b>CE</b>	Condutividade Elétrica
<b>CEFET-MG</b>	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
<b>cm</b>	Centímetro
<b>Comp</b>	Comprimento
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Cu</b>	Cobre
<b>CV</b>	Coefficiente de Variação
<b>Diâm</b>	Diâmetro
<b>Fe</b>	Ferro
<b>g</b>	Gramas
<b>K</b>	Potássio
<b>MF</b>	Matéria Fresca
<b>Mg</b>	Magnésio
<b>mg/kg</b>	Miligrama / Quilograma
<b>ml</b>	Mililitro
<b>Mn</b>	Manganês
<b>MS</b>	Matéria Seca
<b>mS/cm</b>	milliSiemens por centímetro
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>Na</b>	Sódio
<b>P</b>	Fósforo
<b>PA</b>	Parte Aérea
<b>Pb</b>	Chumbo
<b>R</b>	Raízes
<b>S</b>	Enxofre
<b>TB</b>	Turbidez
<b>Zn</b>	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1 O Rompimento da Barragem de rejeitos de minério de ferro de Fundão.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2 Fitorremediação .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 Sistemas de Ilhas Flutuantes Artificiais.....</b>	<b>16</b>
<b>3.4 Capim Vetiver .....</b>	<b>18</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Coleta e caracterização do rejeito .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Montagem do Experimento.....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 Monitoramento de parâmetros físico-químicos da água e do desenvolvimento vegetativo das mudas .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 Análise dos elementos químicos nos tecidos vegetais.....</b>	<b>23</b>
<b>4.5 Análises estatísticas.....</b>	<b>24</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1 Parâmetros de qualidade da água .....</b>	<b>24</b>
<b>5.2 Desenvolvimento Vegetal .....</b>	<b>27</b>
<b>5.3 Elementos químicos nos Tecidos Vegetais .....</b>	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>31</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>32</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Sistema de wetland ou ilha flutuante.....	17
<b>Figura 2:</b> Vetiver.....	18
<b>Figura 3:</b> Rejeito e Solução Nutritiva utilizados no experimento.....	20
<b>Figura 4:</b> Bombas hidráulicas utilizadas para oxigenação.....	21
<b>Figura 5:</b> Mudas equalizadas (A) e fixadas no isopor da ilha flutuante (B).....	21
<b>Figura 6:</b> Experimento com ilhas flutuantes.....	21
<b>Figura 7:</b> Medição do diâmetro, comprimento e pesagem da matéria seca ao final do experimento.....	22
<b>Figura 8:</b> Médias de pH obtidas para as diferentes leituras realizadas.....	25
<b>Figura 9:</b> Algas observadas após a 2 <sup>o</sup> leitura dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água.....	25
<b>Figura 10:</b> Comunidades de algas verdes encontradas nos ensaios realizados nas amostras de solução.....	26
<b>Figura 11:</b> Condutividade Elétrica obtida para as diferentes leituras realizadas.....	27
<b>Figura 12:</b> Médias de Turbidez obtidas para as diferentes leituras realizadas.....	27

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Metodologia empregada nos ensaios para determinação das concentrações dos elementos nos tecidos vegetais do Vetiver .....	24
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das análises físicas e químicas do rejeito do rompimento da barragem do Fundão, Bento Rodrigues, Mariana-MG.....	19
Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos da solução de crescimento, com diferentes concentrações do rejeito oriundo do rompimento da barragem do Fundão, subdistrito de Bento Rodrigues– Mariana (MG), ao final do experimento. ....	24
Tabela 3 - Parâmetros de desenvolvimento vegetativo de <i>Chrysopogon zizanioides</i> em sistema de ilha flutuante, com diferentes concentrações do rejeito oriundo do rompimento da barragem do Fundão, subdistrito de Bento Rodrigues– Mariana (MG), ao final do experimento.....	28
Tabela 4 - Partição dos macronutrientes nas raízes e parte aérea de mudas de Vetiver, crescendo em diferentes concentrações de rejeito de mineração de ferro.....	29
Tabela 5 - Partição de micronutrientes, metais pesados e sódio nas raízes e parte aérea do Vetiver, crescendo em diferentes concentrações de rejeito de mineração de ferro.	30

## 1. INTRODUÇÃO

Em 2015, ocorreu o rompimento da Barragem de Fundão considerada a maior catástrofe da história brasileira envolvendo o rompimento de barragens de rejeitos de mineração, no subdistrito de Bento Rodrigues, município de Mariana - Minas Gerais, causando perdas materiais, ambientais e culturais para os habitantes do subdistrito, além de óbitos de 19 moradores.

O rompimento de barragens de rejeito de mineração pode causar alterações abruptas no meio ambiente, através do acúmulo de rejeito sobre as camadas superficiais do solo e pelo carreamento de sedimentos nos cursos d'água, acarretando em mudanças consideráveis na qualidade da água. O laudo técnico, elaborado pelo IBAMA, logo após o desastre do rompimento da barragem do Fundão, esclareceu a gravidade dos impactos ocorridos.

Os rejeitos de mineração de ferro também têm potencial para afetar o solo ao longo do tempo por se tratarem de material inerte sem matéria orgânica, causando desestruturação química e afetando o pH do solo. Tal alteração dificultará a recuperação e o desenvolvimento de espécies que ali viviam, podendo modificar, a médio e longo prazos, a vegetação local, com o estabelecimento de ecossistemas diferentes dos originais (IBAMA, 2015).

Ademais, danos à saúde humana associados à presença de elementos químicos potencialmente tóxicos no solo e na água utilizada para abastecimento e produção de alimentos. Metais pesados, possuem baixo grau de biodegradabilidade natural e tendem a se acumular nos organismos ao longo dos níveis tróficos da cadeia alimentar.

As tratativas dadas para a remediação de ambientes contaminados por metais pesados em água tendem a ter um custo elevado, dificultando muito a sua implantação. Em resposta a essa problemática, faz-se jus a busca por tecnologias com baixo custo, como o uso da fitorremediação, a utilização de plantas que absorvem contaminantes do ambiente. Existem, vários métodos de aplicabilidade para a fitorremediação, dentre eles estão as “ilhas flutuantes artificiais”, que apresentam facilidade de aplicação, baixo custo, além de melhoria do paisagismo. Esta técnica utiliza interação entre água, solo, microrganismos e flora para remoção de classes de poluentes, como metais pesados e carga orgânica.

Para a elaboração de um projeto de ilhas flutuantes artificiais, é necessária uma seleção prévia de espécies vegetais de acordo com a capacidade destas em remover contaminantes presentes na água. Alguns estudos demonstraram que o Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), é uma espécie de alta resistência e se adapta bem em ambientes com diferentes tipos de poluentes; além de possuir grande capacidade de bioacumular metais pesados (LU et al., 2016; CHEN et al., 2004).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a capacidade do Vetiver, quanto a remoção de elementos potencialmente tóxicos, presentes em rejeito de mineração de ferro, oriundo do rompimento da barragem do Fundão, no município de Mariana-MG.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar o desenvolvimento vegetativo do Vetiver, submetido à diferentes concentrações do rejeito de mineração de ferro;
- Verificar a capacidade de absorção de elementos potencialmente tóxicos pelo Vetiver;

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 O Rompimento da Barragem de rejeitos de minério de ferro de Fundão**

No dia 05/11/2015, ocorreu o rompimento da barragem de Fundão, considerado o maior desastre ambiental brasileiro. A barragem de Fundão pertencia ao complexo minerário de Germano, localizada no município de Mariana/MG e armazenava um volume de rejeitos de 50 milhões de m<sup>3</sup>. Este tipo de resíduo é classificada como não perigoso e não inerte para ferro e manganês conforme NBR 10.004. Instantaneamente, 34 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos foram lançados no meio ambiente, e 16 milhões de m<sup>3</sup> continuaram a ser carregados continuamente pelos cursos d'água até o oceano Atlântico (IBAMA,2015).

O acidente atingiu diretamente 38 cidades, 35 de Minas Gerais e 3 do Espírito Santo, impactando os serviços de abastecimento de água e a arrecadação dos municípios, principalmente das atividades econômicas dependentes do rio, deixando 19 mortos e mais de 600 desabrigados. A lama causou a morte de mais de 11 toneladas de peixes, ameaçando a extinção de algumas espécies, impactou fauna, flora, áreas marítimas e de conservação, além de causar prejuízos ao patrimônio, às atividades pesqueira, agropecuária, turismo e lazer a região afetada (MINAS GERAIS, 2016; LOPES, 2016).

O acidente afetou os rios Santo Antônio, Gualaxo do Norte, do Carmo e Piranga, os quais são afluentes do rio Doce. Entre eles, o córrego Santarém e o rio Gualaxo do Norte foram os rios mais impactados na bacia hidrográfica do Rio Doce, por estarem localizados logo a jusante da barragem de Fundão. Ambos tiveram seus leitos tomados pela lama de rejeitos, que continha metais pesados misturados a pedras do barramento e agrotóxicos das lavouras (AZEVEDO, 2015).

Os teores de Mn e Fe nas águas dos rios Carmo e Doce, respectivamente, foram superiores aos níveis permitidos para as águas classe 2 (águas que podem ser destinadas ao consumo humano, após tratamento convencional), de acordo com a Resolução 357 do CONAMA (MILANEZ e LOSEKANN, 2016).

Em relação ao impacto na qualidade da água, a presença de metais e alteração de parâmetros analíticos aponta para a necessidade de um monitoramento contínuo do ambiente afetado, sendo imprescindível a implantação de ações para remediação ou

recuperação da área afetada, tendo como ponto de partida, os resultados do comportamento dos parâmetros alterados no ambiente hídrico (IBAMA, 2015).

### 3.2 Fitorremediação

A fitorremediação caracteriza-se pelo uso de plantas e associação de microrganismos para limpeza do ambientes contaminados (PILON-SMITS, 2005). A aplicabilidade da fitorremediação pode ser simples, tendo como vantagem o baixo custo de implantação e de operação *in situ* (VASCONCELLOS; PAGLIUSO; SOTOMAIOR, 2012).

A técnica envolve mecanismos como:

- *Fitoextração*: após a absorção do poluente contido no meio, ocorre o armazenamento no tecido vegetal.
- *Fitotransformação* ou *Fitodegradação*: o poluente sofre bioconversão no interior das plantas ou em sua superfície, passando a formas menos tóxicas (catabolismo ou anabolismo).
- *Fitovolatilização*: a presença das plantas estimula a biodegradação microbiana mediante exsudatos radiculares e/ou fornecimento de tecidos vegetais.
- *Fitoestabilização*: o poluente é imobilizado por meio de sua lignificação ou humificação (MATTA e ANDRADE; TAVARES, MAHLER, 2007).

### 3.3 Sistemas de Ilhas Flutuantes Artificiais

Wetland consiste em modalidade de tratamento de esgoto e rejeitos, em sistemas planejados para operar por meio de macrófitas aquáticas cultivadas que, sob condições adequadas, são desencadeados processos físicos, químicos e bioquímicos para propiciar o tratamento das águas residuárias por estabilização da matéria orgânica carbonácea presente (MATOS et al., 2010).

O uso de wetlands construídas como tecnologia de biorremediação, para capturar e remover contaminantes e nutrientes, é amplamente praticado em todo o mundo. As

wetlands flutuantes ou ilhas são pequenas plataformas artificiais que permitem que estas plantas aquáticas emergentes cresçam em águas que são tipicamente muito profundas para elas. Suas raízes se espalham pelas ilhas flutuantes e descem para a água, criando colunas densas de raízes com grande área de superfície, formando uma camada viscosa de biofilme nas raízes. O biofilme é onde a maioria da absorção e degradação de nutrientes ocorre. O abrigo fornecido pelo tapete flutuante também permite que sedimentos e elementos se assentem, reduzindo a turbulência e misturando-se pelo vento e pelas ondas. O ecossistema único que se desenvolve cria o potencial para capturar nutrientes e transformar poluentes em subprodutos inofensivos (IISD, 2021) (Figura 1).

**Figura 1:** Sistema de wetland ou ilha flutuante



Fonte: IISD, 2021

Os contaminantes são assimilados pelas raízes das plantas e translocam-se para as partes superiores. Quando em excesso, especialmente, os metais potencialmente tóxicos, podem se acumular nas raízes ou em estruturas da parte aérea, especialmente nos vacúolos. Na fitorremediação, a parte da planta onde ocorre a acumulação de elementos ou substâncias potencialmente tóxicas é determinante para o manejo, como por exemplo, a remoção apenas da parte aérea ou da planta inteira (TAVARES, 2007).

Sistemas de ilhas flutuantes apresentaram resultados promissores na remediação de águas poluídas, com maior aplicação em áreas urbanas (ROCHA, 2018). Conforme Lu et al. (2015).

### 3.4 Capim Vetiver

A espécie é originária da Índia, cultivada há séculos, atualmente está disseminada em mais de 120 países, sendo empregado em diversas áreas e para diversos fins. A espécie pertence à família Poaceae (ant. Gramineae) e foi classificado inicialmente como uma das espécies do gênero *Vetiveria*, ficando então conhecido como *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, porém recentemente foi reclassificado como *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, gênero com mais de 40 espécies identificadas (RIO DE JANEIRO, 2013).

A utilização do Vetiver em um sistema de ilhas flutuantes com remoção de poluentes em águas superficiais, pode ser bastante promissor do ponto de vista técnico e econômico (LARGO, 2021).

O Vetiver é uma gramínea perene, que detém sistema radicular maciço, hastes rígidas e densas, rápido desenvolvimento, excelente adaptabilidade e tolerância às intempéries climáticas, tolera pH entre 3,3-9,5, altos níveis de salinidade, de concentrações de metais pesados e agroquímicos. Todos estes fatores evidenciam a capacidade do Vetiver em ser utilizado em rejeitos de minas com finalidade de evitar a disseminação de metais e, também sua grande capacidade de acumular metais em suas raízes e brotos (DANH et al. 2009) (Figura 2).

**Figura 2:** Vetiver



Fonte: Google (2021)

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Coleta e caracterização do rejeito

O rejeito foi coletado no subdistrito de Bento Rodrigues, município de Mariana-MG e encaminhado para análises químicas, no Laboratório de Química Agropecuária do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA).

As análises feitas para caracterizar a de composição química do rejeito pela fluorescência de raio X (FRX), demonstrou que o rejeito é composto por 42% de Óxido de Silício -  $\text{SiO}_2$ , 25% de Óxido de Ferro -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 24% de Óxido de Alumínio -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 1,3 % de Óxido de Manganês  $\text{MnO}$  e o restante 7,7% composto por outros elementos (Tabela 1).

Tabela 1 - Resultados das análises físicas e químicas do rejeito do rompimento da barragem do Fundão, Bento Rodrigues, Mariana-MG

TIPO DE ANÁLISE	PARÂMETRO	UNIDADE	REJEITO <sup>1</sup>
Granulometria	Areia total	(%)	64,13
	Silte	(%)	27,7
	Argila	(%)	8,17
Matéria orgânica	Matéria orgânica	(dag/kg)	1,06
	Carbono Orgânico	(dag/kg)	0,62
Macronutrientes	$\text{P}_2\text{O}_5$	(mg/dm <sup>3</sup> )	27,50
	$\text{K}_2\text{O}$	(mg/dm <sup>3</sup> )	72,27
	Ca	(mg/dm <sup>3</sup> )	290,56
	Mg	(mg/dm <sup>3</sup> )	14,58
	N	(mg/dm <sup>3</sup> )	600
Micronutrientes*	Cobre	(mg/dm <sup>3</sup> )	1,4
	Manganês	(mg/dm <sup>3</sup> )	116,9
	Ferro	(mg/dm <sup>3</sup> )	125
	Zinco	(mg/dm <sup>3</sup> )	2,1
Capacidade de troca catiônica e índices de saturação	Al	(cmol.c/dm <sup>3</sup> )	0,01
	Sódio	(cmol.c/dm <sup>3</sup> )	0,19
	Soma de bases trocáveis	(cmol.c/dm <sup>3</sup> )	1,91
	CTC efetiva	(cmol.c/dm <sup>3</sup> )	1,92
	CTC Total	(cmol.c/dm <sup>3</sup> )	2,58
	Saturação Al	(%)	0,53

Saturação Na	(%)	7,4
pH		7

\*Elementos disponíveis na solução (extrator Mehlich)–ND= não determinado.

Fonte: Laboratório de Química Agropecuária do Instituto Mineiro de Agropecuária – IMA (2018).

## 4.2 Montagem do Experimento

O experimento foi conduzido nas dependências do Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG campus I, localizado em Belo Horizonte/MG, no período de junho a setembro de 2019. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos, sendo eles diferentes concentrações crescentes de rejeitos (0, 150 e 300 g de rejeito/caixa), diluídos em água de torneira, com três repetições (Figura 3).

**Figura 3:** Rejeito e Solução Nutritiva utilizados no experimento



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019)

Foram utilizados caixas de polietileno de 30 l, com 35 cm x 25 cm x 35cm (Altura x Largura x Comprimento). Em cada caixa, foi adicionada uma solução com água de torneira e rejeito (30 l), em diferentes concentrações. No dia da implantação do experimento, foi adicionada igual concentração de uma solução nutritiva (25ml/caixa), com o objetivo de proporcionar uma base padrão de nutrição em todos os tratamentos. A solução nutritiva da Hortibras produzida para a utilização em sistemas de cultivos hidropônicos é constituída de macronutrientes e micronutrientes.

Na superfície da lâmina d'água foi colocada uma placa de isopor, onde foram feitos cinco furos, para sustentação das mudas de Vetiver. Para oxigenação da água utilizou-se uma mini bomba de submersa da marca Litwin, com capacidade de vazão máxima de 165 l/h e coluna d'água 0,50 metros (Figura 4), para manter a oxigenação no ambiente.

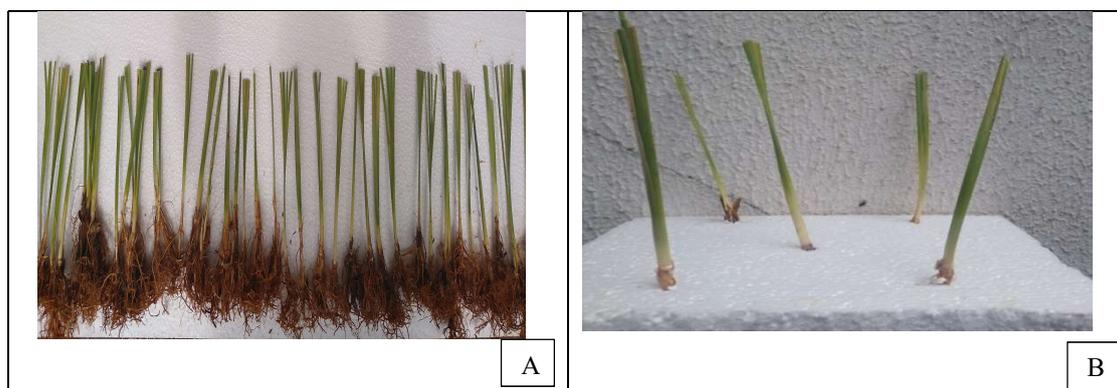
**Figura 4:** Bombas hidráulicas utilizadas para oxigenação



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2019

As mudas foram higienizadas removendo os torrões e lavadas em água corrente. Para a padronização das mudas de Vetiver com três meses de idade, adquiridas na Deflor Bioengenharia localizada em Contagem/MG, foi realizada a equalização de altura da parte aérea e comprimento das raízes das mudas (a). Posteriormente, as mudas foram fixadas no isopor da ilha flutuante (Figura 5b e 6).

**Figura 5:** Mudas equalizadas (A) e fixadas no isopor da ilha flutuante (B)



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019)

*Figura 6: Experimento com ilhas flutuantes*



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019)

### 4.3 Monitoramento de parâmetros físico-químicos da água e do desenvolvimento vegetativo das mudas

Quinzenalmente amostrou-se 60 ml da solução (rejeito:água) de cada tratamento durante um período de três meses. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de química do CEFET-MG *campus* I, para análises dos parâmetros pH, condutividade elétrica (CE) e turbidez.

Monitorou-se o crescimento vegetativo de plantas no primeiro e último dia do experimento, totalizando 90 dias, medindo-se a altura da muda (da raiz até o final da folha maior) e comprimento das raízes (da ponta da raiz mais longa à inserção da raiz ao caule), com uso de uma régua comum e; o diâmetro do colo da parte aérea (3 cm a partir do colo da parte aérea), utilizando-se um paquímetro digital (Figura 7). Ao final do experimento, as plantas foram coletadas e separadas em sistema radicular e parte aérea. As amostras pesadas em balança analítica para determinar a matéria fresca da parte aérea (MF PA) e matéria fresca das raízes (MF R) e, posteriormente, as mesmas foram dispostas em estufa a 50°C com ventilação forçada até peso constante, para determinação da matéria seca da parte aérea (MS PA) e matéria seca das raízes (MS R) (Figura 7).

**Figura 7:** Medição do diâmetro, comprimento e pesagem da matéria seca ao final do experimento



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2019

#### 4.4 Análise dos elementos químicos nos tecidos vegetais

Amostras da massa seca da parte aérea e do sistema radicular foram encaminhadas ao laboratório Terra Análises Agropecuárias em Goiânia - GO, para a determinação dos elementos químicos nos tecidos vegetais das mudas.

Os elementos químicos K e Na foram determinados pelo método de Espectrometria de chama de emissão, a solução preparada é submetida sobre uma chama sofrendo atomização, ou seja, há um deslocamento dos elétrons para níveis energéticos superiores. Ao voltar para o nível energético normal emitem a energia absorvida em forma de luz, cada elemento emite a luz em comprimento de onda específico. A medida da intensidade da luz emitida permite quantificar o elemento. O Cd, Ca, Pb, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn e Zn foram determinados pelo método de Espectrofotometria de Absorção Atômica, cujo princípio é o mesmo utilizado na análise de K e Na, porém a técnica é aplicada utilizando o forno de grafite permitindo que a temperatura ao longo do tubo que está a amostra fique uniforme (CARMO et. al., 2000)

O S foi determinado pelo método de Turbidimetria do sulfato de bário, consiste na turbidez consequente da precipitação do enxofre pelo cloreto de bário, essa turbidez é medida através de um colorímetro ou espectrofotômetro por transmitância ou absorvância. O P é analisado através do método de Colorimetria do metavanadato cujo princípio basea-se na formação de um composto amarelo que é medido em um fotocolorímetro ou em espectrofotômetro utilizando um filtro de cor complementar. Por fim, o N medido é pelo método de Semi-micro-Kjeldahl onde faz-se a transformação do nitrogênio amoniacal em amônia, que é fixada pelo ácido bórico e titulada com ácido sulfúrico até que se forme o sulfato de amônio sob a presença de um indicador ácido/base (MIRAVOLTA, 1997).

O quadro a seguir, discrimina a metodologia empregada para a análise, conforme o elemento químico.

Quadro 1 - Metodologias empregadas para a determinação das concentrações dos elementos químicos nos tecidos vegetais do Vetiver

<b>Metodologia</b>	<b>Elemento químico</b>
Espectrofotometria de Absorção Atômica	Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Magnésio, Manganês e Zinco
Espectrometria de chama de emissão	Potássio e Sódio
Turbimetria do sulfato de bário	Enxofre
Colorimetria do metavanadato	Fósforo total
Semi-micro-Kjeldahl	Nitrogênio

#### 4.5 Análises estatísticas

Para todos os parâmetros analisados foi realizada a análise de variância estatística e teste de médias (Tukey, 5%), no software Sisvar (FERREIRA, 2019).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Parâmetros de qualidade da água

Não foram observadas diferenças significativas para parâmetros (pH, CE e turbidez) monitorados, entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos da solução de crescimento, com diferentes concentrações do rejeito, ao final do experimento.

<b>TRATAMENTO</b>	<b>pH</b>	<b>CONDUTIVIDADE ELÉTRICA**</b>	<b>TURBIDEZ***</b>
Controle*	8,39 a	0,23 (0,09) a	5,10 a
150 g de rejeito	8,41 a	0,22 (0,09) a	8,05 a
300 g de rejeito	8,07 a	0,23 (0,09) a	8,49 a
CV%	10,39	11,67	55,4

\* Controle = 0g

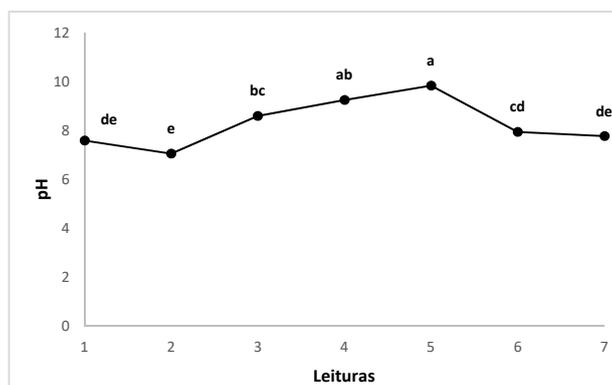
\*\* Valores entre parênteses representam a salinidade, utilizando-se a fórmula: (CE elevada à potência 1,0878) x 0,4665 em g/l

\*\*\* Os dados apresentados na tabela são os originais, porém a análise estatística foi realizada com dados transformados, utilizando  $\log(10)Y$

Tanto o pH, turbidez e condutividade elétrica (convertida para salinidade) coincidiram com os valores de classificação de águas doce I (CONAMA 357/ 2005).

Em relação ao comportamento dos parâmetros ao longo do experimento percebeu-se uma elevação do pH, variando de 8 a 10 até a metade do experimento e voltando a decair posteriormente (Figura 8).

**Figura 8:** Médias de pH obtidas para as diferentes leituras realizadas



O Vetiver possui uma grande capacidade de adaptação à uma ampla faixa de pH, (DANH et al., 2009). Segundo Troung (1991) apud Grimshaw (1995), quando cultivado em solo pode se desenvolver em uma faixa de pH de 3 a 11.

Após a segunda quinzena do experimento, constatou-se a floração de algas (Figura 9).

**Figura 9:** Algas observadas após a 2ª leitura dos parâmetros físico-químicos de qualidade da água

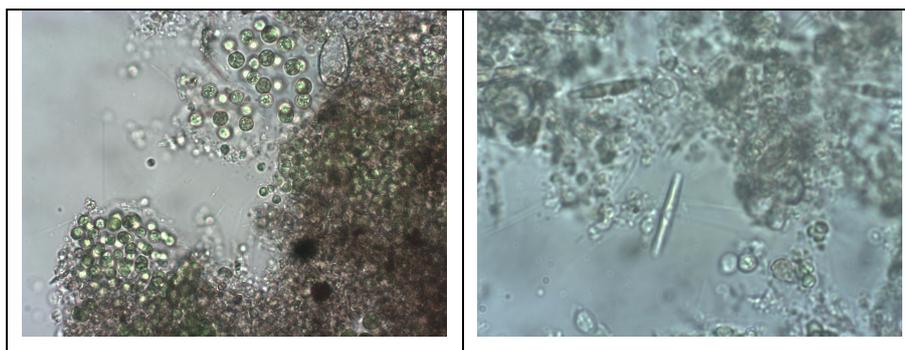


Fonte: Arquivo pessoal do autor (2019)

Foram coletadas amostras das soluções e encaminhadas para análise em laboratório da Universidade Federal de Minas Gerais. Os ensaios realizados nas amostras por meio do método de microscopia, de acordo com Mannheimer (2002) através de um

microscópio, aparelho que permite a ampliação das imagens de objetos não vistos a olho nu por meio de um sistema de lentes ópticas associadas. Os resultados apontaram para um padrão nas comunidades microbionas encontradas, algas verdes unicelulares do filo *Chlorophyta* (algas verdes) e diatomáceas unicelulares do filo *Bacillariophyta* (algas pardas) (Figura 10).

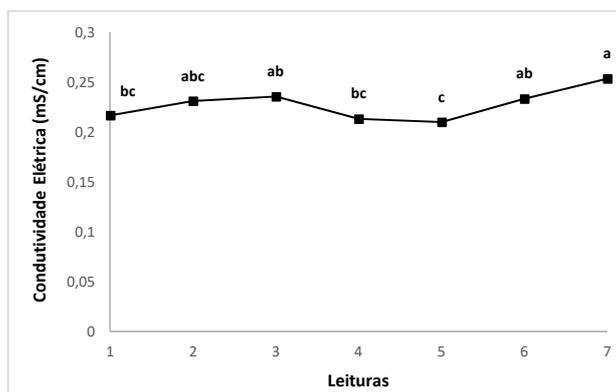
**Figura 10:** Comunidades de algas verdes encontradas nos ensaios realizados nas amostras de solução



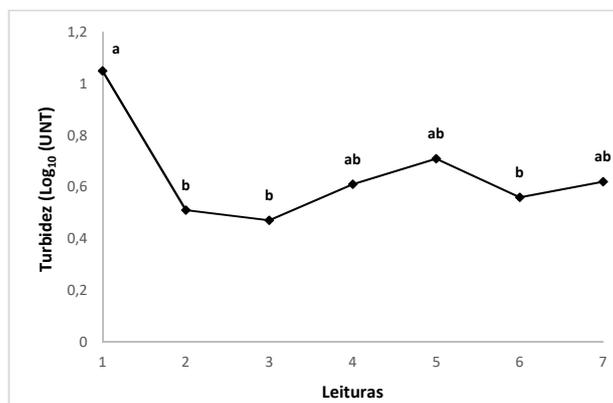
Fonte: Arquivo pessoal de Badotti (2019)

A floração de algas é consequente do aumento das concentrações dos nutrientes disponíveis na água e podem ter efeitos diretos da qualidade da água, como o aumento do pH, aumento da cor na água e conferir odor (DI BERNARDO, 1995, apud BROOKE et al., 2008). Segundo Scheffler et al. (2019), várias algas proliferam bem em ambiente levemente básico e com aumento do oxigênio dissolvido. Neste experimento, a decomposição de matéria orgânica das raízes e microbiota associada, pode ter aumentado a quantidade de nutrientes, favorecendo a floração de algas.

Também houve diferença significativa para a condutividade elétrica (CE) entre as leituras (Figura 11), porém apresentando valores muito baixos durante todo o experimento. Para a maioria das plantas, uma faixa de CE ideal deve estar entre um e três mS/cm. As plantas submetidas a baixos níveis de nutrientes (baixa CE), apresentam deficiências de nutrientes (HIDROPONIABRASIL, 2021). Como o experimento recebeu apenas uma quantidade mínima de nutrientes na sua implantação e o rejeito é muito pobre em nutrientes (Tabela 2), o desenvolvimento das plantas pode ter sido comprometido, ficando abaixo do seu potencial.

**Figura 11:** Condutividade Elétrica obtida para as diferentes leituras realizadas

Igualmente, para a turbidez, observou-se diferença significativa entre as leituras, observando um decaimento inicial, logo no início do experimento, subindo lentamente até o final do experimento (Figura 12). Tal comportamento pode ter se dado, devido à sedimentação das partículas do rejeito durante o experimento. Rocha et al. (2018), estudando ilhas flutuantes em um açude, também observaram os maiores valores de turbidez nos primeiros dias após a instalação do sistema. De acordo com Lopes et al. (2020), por meio de agitação lenta, formam-se flocos das partículas desestabilizadas, que são subsequentemente removidos na sedimentação.

**Figura 12:** Médias de Turbidez obtidas para as diferentes leituras realizadas

## 5.2 Desenvolvimento Vegetal

Neste experimento, em relação aos parâmetros de desenvolvimento vegetativo observados, não se observou diferenças significativas para a altura da muda, diâmetro do caule, nº de perfilhos, comprimento das raízes, peso fresco e peso seco (Tabela 3), evidenciando que as mudas de Vetiver apresentaram tolerância às diferentes

concentrações de rejeito testadas. Banerjee et al. (2019) também observaram resultados semelhantes utilizando Vetiver crescendo sobre rejeitos de mineração de ferro.

No entanto, Tambunan; Effendi; Krisanti (2017), também avaliando o desenvolvimento de Vetiver, encontraram valores para a matéria seca foram superiores ao encontrados neste experimento.

Entretanto, sabe-se que para a maioria das plantas, os metais tóxicos são danosos às plantas, causando alterações em seu estado fisiológico e metabólico, ao inibir a fotossíntese, a respiração e várias atividades enzimáticas (VILLIERS et al., 2011; VOLLAND et al., 2014).

Tabela 3 - Parâmetros de desenvolvimento vegetativo de *Chrysopogon zizanioides* em sistema de ilha flutuante, com diferentes concentrações do rejeito oriundo do rompimento da barragem do Fundão, subdistrito de Bento Rodrigues– Mariana (MG), ao final do experimento.

<u>Trat</u>	<u>Alt</u>	<u>Diâm caule</u>	<u>Comp raízes</u>	<u>nº perfilhos</u>	<u>MF PA</u>	<u>MF R</u>	<u>MS PA</u>	<u>MS R</u>
	<u>cm</u>				<u>gramas</u>			
Controle*	16,38 a**	6,95 a	37,75 a	0,60 a	5,39 a	7,59 a	2,71 a	3,89 a
150 g	18,33 a	7,17 a	44,00 a	0,73 a	5,82 a	7,87 a	3,04 a	3,63 a
300 g	17,70 a	6,86 a	44,50 a	0,53 a	5,46 a	5,51 a	2,61 a	2,94 a
CV%	32,5	9,49	21,77	40,09	27	40	27	37

\*Controle = 0 g de rejeito; 150 e 300 g de rejeito

\*\* médias seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste Tukey (P<0,05)

### 5.3 Elementos químicos nos Tecidos Vegetais

Os elementos minerais essenciais são denominados nutrientes minerais e classificados, conforme as quantidades exigidas pelas plantas, em: macronutrientes, que constituem aproximadamente 99, 5% da massa seca, e micronutrientes, que constituem cerca de 0,5 % (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

#### 5.3.1 Macronutrientes

Para todos os macronutrientes não se observou diferença estatística entre tratamentos, tanto para as raízes, quanto para a parte aérea, sendo exceção feita ao Mg que apenas no tratamento Controle (0 g de rejeito), o seu teor foi maior, diferindo dos

demais (Tabela 04). Comparou-se os valores encontrados neste experimento, com as médias de concentrações normais em matéria seca da parte aérea de plantas, conforme Malavolta (1980) e Marschner (1995) apud Fernandes (2006). Observou-se que os teores de N e P estão abaixo da média (= 15 e 02 g/kg), respectivamente, o que pode ter comprometido o desenvolvimento do Vetiver. Já para o K, os teores estão acima da média (=10g/kg) e para Ca, Mg e S estiveram próximos às médias (= 05, 02 e 01 g/kg), respectivamente.

Tabela 4 - Partição dos macronutrientes nas raízes e parte aérea de mudas de Vetiver, crescendo em diferentes concentrações de rejeito de mineração de ferro.

Elementos	Raízes				Parte Aérea			
	0	150	300	CV%	0	150	300	CV%
	mg/kg				mg/kg			
N	8600 a	7300 a	7300 a	13	8000 a	8000 a	7300 a	15
P	1200 a	1000 a	800 a	17	1333 a	1133 a	1200 a	12
K	7700 a	7000 a	9200 a	26	19733 a	24933 a	19900 a	40
Ca	3900 a	2600 a	2100 a	30	5533 a	5233 a	6866 a	19
Mg	2800 b	1800 a	1400 a	15	3533 a	3900 a	3600 a	27
S	1200 a	700 a	1400 a	30	2066 a	967 a	1500 a	37

### 5.3.2 Micronutrientes, metais pesados e sódio

Os micronutrientes são absorvidos em pequenas quantidades (da ordem de alguns miligramas por quilo de matéria seca da planta). Isso se deve ao fato de eles não participarem de estruturas da planta, mas da constituição de enzimas ou então atuar como seus ativadores. Os micronutrientes catiônicos são de natureza metálica e encontram-se nos solos e substratos principalmente na forma de óxidos, hidróxidos ou como sais e são insolúveis em valores altos de pH (FERNANDES, 2006). Neste experimento, o pH permaneceu alto durante todo o experimento.

As concentrações de Fe nas plantas podem variar entre 10 e 1500 mg/kg de matéria seca da planta, dependendo da parte da planta. Considera-se concentrações de Fe entre 50 e 100 mg/kg como adequadas para um crescimento normal das plantas (MALAVOLTA, 1980). Neste experimento, obteve-se teores de Fe superiores a estas concentrações em todos os tratamentos (Tabela 05). Segundo Fernandes (2006), tanto a absorção quanto o transporte do Fe em plantas são afetados por processos metabólicos

e ambientais, como pH, concentração de Ca e P. Neste experimento, observou-se que o pH foi alto e o teor de P foi baixo o que pode ter afetado o transporte de Fe nas mudas.

Já as concentrações de Mn nas plantas variam entre 5 e 1500 mg/kg de matéria seca da planta, considerando entre 20 e 500 mg/kg, como adequadas para um crescimento e desenvolvimento normais das plantas. O Cu, por sua vez, possui baixa concentração nos tecidos da planta, geralmente entre 2 e 20 mg/kg na matéria seca. (MALAVOLTA, 1980). Para o experimento, os teores de Mn e Cu, tanto nas raízes, quanto na parte aérea estão adequados (Tabela 05).

Tabela 5 - Partição de micronutrientes, metais pesados e sódio nas raízes e parte aérea do Vetiver, crescendo em diferentes concentrações de rejeito de mineração de ferro.

Elementos	Raízes				Parte Aérea			
	0	150	300	CV%	0	150	300	CV%
	mg/kg				mg/kg			
Cu	12,33 a	14,33 a	9,33 a	24	8 a	7 a	7,67 a	30
Fe	411,33 b	164 b	21450 a	12,8	342,33 a	365,66 a	242 a	26
Mn	67,66 b	173,33 a	143,33 ab	23,7	180 a	201,33 a	193,67 a	20
Zn	44,5 ab	67 a	10,67 b	53	42 a	4,5 b	10,33 b	32
Cd	3 a	2 a	1,67 a	30	2,33 b	2,33 b	6 a	21
Cr	51 a	44,66 a	33,33 a	20	54 a	54,33 a	36,33 a	31
Pb	11,66 ab	11 a	25 a	33,6	25 a	9,5 b	10 b	30,5
Na	53,33 a	46,66 a	53,33 a	30	56,67 a	50,00 a	60,00 a	35

Considera-se os teores de Zn inferiores à 25 mg/kg de matéria seca da planta, como deficiência deste nutriente nas folhas. Os tratamentos com rejeito apresentaram teores inferiores a este limite na parte aérea (Tabela 05).

Nas raízes das mudas de Vetiver observou-se que no tratamento com maior concentração de rejeito (300 g), o teor de Fe foi maior e o teor de Zn menor que os demais; enquanto que no tratamento com concentração de 150 g de rejeito, o teor de Mn foi superior ao tratamento Controle (0 g de rejeito). Ademais, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para Cd, Cr, Pb e Na nas raízes (Tabela 05).

Em relação às concentrações dos elementos químicos na parte aérea, observou-se que o teor de Cd foi maior no tratamento com mais concentração de rejeito (300 g). Já os teores de Pb e Zn foram maiores no controle (Tabela 05).

Os teores de Cd, Pb e Cr entre 5 e 30 mg/kg; 30-300 mg/kg e 1-10 mg/kg são considerados fitotóxicos, respectivamente (KABATA-PENDIAS, 1984). Neste experimento, o teor de Cd ficou próximo do limite mais baixo, porém como não houve diferença significativa entre os tratamentos, não se pôde atribuir à adição do rejeito. Já para o Pb, os teores estiveram abaixo dos limites considerados tóxicos. No entanto, os teores de Cr estão acima dos limites, no entanto, também não se pode atribuir ao rejeito, visto que o tratamento controle também excedeu. Segundo Korndorfer (2007), em relação ao sódio, a concentração normal na matéria seca das plantas é entre 0,013 e 35,1 g/kg. Igualmente, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos e os valores estavam dentro dos limites normais.

## 6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento vegetativo não foi afetado pelo rejeito nas concentrações utilizadas. Porém, o modelo testado de ilha flutuante com Vetiver permitiu que houvesse sedimentação do rejeito, reduzindo o contato das raízes com o mesmo, fato que pode ter contribuído para as menores absorções de micronutrientes, metais pesados e sódio. Com condições naturais, a sedimentação reduz a contaminação acessível às plantas fitoremediadoras.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, U. R. V.; SANTOS, B. S. M.; COELHO, C. D. et al. 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.

AZEVEDO, A. L. Os rios que carregam esperança para o Doce. **O Globo**, São Paulo, 12 dez. 2015b. Disponível em: <<https://goo.gl/dgNANx>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

BROOKE, D. *et al.* Algas e seus impactos em sistemas de tratamento de águas para abastecimento: Estudo de caso Sistema Guarapiranga, São Paulo, Junho 2008.

CHEN, Y.; SHEN, Z.; LI, X. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. **Applied Geochemistry**, v. 19, n. 10, p. 1553-1565, 2004.

DANH, L; TRUONG, P; MAMMUCARI, R. et al. Vetiver grass, *Vetiveria zizanioides* L.: a choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. **International journal of phytoremediation**, v. 11, n. 8, p. 664-691, 2009.

EID, Ebrahim M. et al. Bioaccumulation and translocation of nine heavy metals by *Eichhornia crassipes* in Nile Delta, Egypt: perspectives for phytoremediation. **International journal of phytoremediation**, v. 21, n. 8, p. 821-830, 2019.

FERREIRA, D. F.. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **Revista Brasileira e Biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: 10 feb. 2020. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FONSECA, K. M. et al. Fitorremediación de aguas contaminadas con arsénico mediante slas flotantes artificiales: revisión bibliográfica. **Revista de la Facultad de gronomia**, v. 38, p. 199-215, 2021. DOI [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n1.010](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n1.010). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/350648221>. Acesso em: 8 jul. 2021.

GRIMSHAW, R. G.; FAIZ, A. Vetiver Grass: Application for Stabilization of Structures. **The World Bank**, [s. l.], 1995.

IBAMA, DIPRO, CGEMA. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. Belo Horizonte-MG [Relatório] 2015. Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo\\_tecnico\\_preliminar\\_ibama.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf)>. Acesso em: 10 jul. 2021

JUNIOR, C. H. et al. Effect of electric conductivity, ionic concentration and flow of nutrient solutions in the production of hidroponic lettuce. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, ano 2008, v. 32, n. 4, p. 1142-1147, 2008.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. CRC press, 2000.

LOPES, L. M. N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. **Sinapse Múltipla**, Niterói/RJ, p. 1-14, 1 jun. 2016. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/sinapsemultipla>. Acesso em: 5 jul. 2021.

LOPES, V. dos S. et al. Estudo da coagulação/floculação de água com turbidez moderada na sedimentação e flotação por ar dissolvido. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, p. 567-572, 2020.

LU, B. et al. Removal of water nutrients by different aquatic plant species: An alternative way to remediate polluted rural rivers. **Ecological Engineering**, v. 110, p. 18-26, 2018.

MATOS, A.T.; ABRAHÃO, S.S.; BORGES, A.C.; MATOS, M.P. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas de alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 15, n. 1, janeiro/março 2010.

Metodologia para Análise de Elementos em Material Vegetal. *In*: MIRAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Patafos, 1997. cap. 6.

Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos / Ciriaca Arcangela Ferreira de Santana do Carmo ... [et al.]. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41 p. – (Embrapa Solos. Circular Técnica; 6). ISSN 1517-5146

Microscopia dos Materiais / Walter A. Mannheimer – Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais, 221 p, 2002, ISBN 85-87922-54-8

MINAS GERAIS. **Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. [Relatório técnico]. Governo do estado de Minas Gerais Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana. Belo Horizonte, 2016.

MILANEZ, B; LOSEKANN, C. 2016. **Desastre no Vale do Rio Doce**: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem.

RIO DE JANEIRO. Secretaria de Agricultura e Pecuária (Núcleo de pesquisa participativa). **Capim Vetiver: Produção de Mudanças e Uso no Controle da Erosão e na Recuperação de Áreas Degradadas**. Niterói/RJ: Secretaria de Estado de Agricultura e Pecuária, 18 p., 2013.

OJOAWO, S. O.; UDAYAKUMAR, G.; NAIK, P. Phytoremediation of phosphorus and nitrogen with *Canna x generalis* reeds in domestic wastewater through constructed wetland. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 349-356, 2015

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.56, p.15-39, 2005.

PINTO, F. A. **Fatores de bioconcentração e disponibilidade de bário, cádmio, cobre, níquel e zinco em solos e em culturas de interesse agrônômico**. 2016. Tese de Doutorado (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

REZANIA, S. et al. Comprehensive review on phytotechnology: heavy metals removal by diverse aquatic plants species from wastewater. **Journal of hazardous materials**, v. 318, p. 587-599, 2016.

ROCHA, E. G. **Uso de Jardins Flutuantes na Remediação de Águas Superficiais Poluídas**. 2018. 106 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande/PB, 2018.

RODRIGUES, A. C. D. et al. Mecanismos de Respostas das Plantas à Poluição por Metais Pesados: Possibilidade de Uso de Macrófitas para Remediação de Ambientes Aquáticos Contaminados. **Revista Virtual de Química**, Seropédica/RJ, v. 8, n. 1, p. 262-276, 7 jan. 2016. DOI 10.5935/1984-6835.20160017. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br/>. Acesso em: 4 jul. 2021.

SANTOS, E. A. *et al.* Aplicação do processo de fitorremediação utilizando Vetiver (*Vetiveria Zizanioides l. Nash.*) na descontaminação de solos tropicais contaminados por choro. **Revista Univap**, São José dos Campos-SP, v. 26, n. 51, 2020.

SCHEFFLER, S. M. et al. Floração de algas na Caverna Natural Lagoa Misteriosa (MS 043), Jardim, MS, Brasil: uma análise integrada de dados físico-químicos, biológicos e climatológicos. **Terr@ Plural**, v. 13, n. 2, p. 400-420, 2019.

TAMBUNAN, J. A. M.; EFFENDI, H.; KRISANTI, M.. Phytoremediating Batik Wastewater Using Vetiver *Chrysopogon zizanioides* (L). **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 27, n. 3, 2018.

VASCONCELLOS, M. C.; PAGLIUSO, D.; SOTOMAIOR, V. S. **Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo**. Estudos de Biologia, Curitiba/PR, p. 261-267, 1 jul. 2012. DOI 10.7213/estud.biol.7338. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/estudosdebiologia/article/view/22927>. Acesso em: 2 jul. 2021.

Villiers, F., Ducruix, C., Hugouvieux, V., Jarno, N., Ezan, E., Garin, J., Junot, C., Bourguignon, J., 2011. Investigating the plant response to cadmium exposure by proteomic and metabolomic approaches. **Proteomics** 11, 1650–1663. <https://doi.org/10.1002/pmic.201000645>.

Volland, S., Bayer, E., Baumgartner, V., Andosch, A., Lütz, C., Sima, E., Lütz-Meindl, U., 2014. Rescue of heavy metal effects on cell physiology of the algal model system *Micrasterias* by divalent ions. **J. Plant Physiol.** 171, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.10.002>.

