



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de estudos II

Variante de Investigação

**Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos.**

**Autor:**

Gildo Adriano Tamela

Maputo, Maio de 2024



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre

Culminação de estudos II

Variante de Investigação

**Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos.**

**Autor:**

Gildo Adriano Tamela

**Supervisores:**

Prof. Doutor Orlando Quilambo;

Profa. Doutora Célia Martins;

Mestre Sónia Ventura Guilundo

Maputo, Maio de 2024

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por me ter dado a vida e por ter iluminado os meus caminhos durante a minha trajectória.

A minha mãe (Ivone Boaventura Nhapulo Munde, meus irmãos) meu pai (Cláudio Lombene), pelo suporte e confiança que depositaram em mim nesta aventura, que é a minha formação académica. Endereço também os meus agradecimentos a toda gente que directa ou indirectamente contribuíram positivamente na jornada académica.

Aos meus tios, junto dos seus filhos, vai a minha gratidão. Aos meus primos e tios que não tendo muito, mas sempre faziam questão de partilhar comigo de modo a me ajudar.

Aos meus colegas do curso e amigos Horácio Cossa, Dinis Cossa, Ismail Ismail, Helmon Michangula e Emanuel Alfa, que ao longo da minha formação sempre souberam ceder o seu apoio amigável.

Aos meus supervisores, Prof. Doutor Orlando Quilambo, Profa. Doutora Célia Martins, Dra Sónia Guilundo por ter aceitado supervisionar este trabalho. Não esquecendo o auxílio e acompanhamento do Licenciado Mário Machumguene.

Ao DCB por me ter facultado os laboratórios que tornaram possível a realização das análises laboratoriais, em particular ao senhor José Mathlombe pela ajuda e ensinamentos para com os materiais e equipamentos.

A todos, o meu muito obrigado!

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por  
Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos

**Declaração de honra**

Declaro pela minha honra, que o presente trabalho de Licenciatura em Ecologia e Conservação da Biodiversidade Terrestre, nunca foi apresentado na sua essência para a obtenção de qualquer grau académico ou noutra âmbito e que constitui o resultado da minha investigação e das orientações dos meus supervisores, estando devidamente citadas no trabalho todas as fontes consultadas e utilizadas.

---

(Gildo Adriano Tamela)

Maputo, Maio de 2024

## **Dedicatória**

Dedico esta monografia a uma pessoa muito especial para mim, a minha mãe, Ivone Boaventura Nhapulo Munde, em primeiro lugar, por ter-me gerado e sabiamente ensinado os caminhos correctos a trilhar aqui na terra. Em segundo, na dificuldade sempre deu o seu melhor com vista tornar-me uma criança feliz. Ela é uma grande mulher, mulher forte, mulher mãe, a qual me orgulho de ser seu filho. Super mãe-mulher, palavras não podem descrever de forma cabal o que a senhora representa para mim, te amo mamã e muito obrigado. Ao meu Paie irmãos que sempre tem apoiado moral e financeiramente.

## Resumo

A degradação do ambiente tem despertado o interesse de especialistas, das autoridades e da sociedade, devido a actividade antropogénica. A intensificação das actividades industriais, agrícolas, de urbanização e o tratamento inadequado de resíduos encontram-se entre os principais factores que contribuem para a contaminação do solo por metais pesados, tornando-se um dos mais graves problemas ambientais devido à sua persistência e alto poder de toxicidade.

O presente estudo teve como objectivo avaliar o potencial remediador da *Eragrostis ciliaris* em solos contaminados por cádmio e crómio a partir dos parâmetros bioquímicos que são a clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides. As plântulas de *Eragrostis ciliaris* foram colhidas aos arredores do Parque Industrial da Matola e cultivadas em 56 vasos, subdivididos em 4 tratamentos: 0g/L, 0.02g/L, 0.01g/L e 0.05g/L de cada metal separadamente (cádmio e crómio). As plântulas foram regadas com água corrente durante 20 dias. A colheita foi feita primeiramente 35 dias (quinta semana), após a adição do contaminante, a segunda colheita foi feita 60 dias (nona semana), após a adição do contaminante, posteriormente, foram determinados os pigmentos fotossintéticos nas duas colheitas, nomeadamente: clorofila (a) e (b), feofitinas (a) e (b) e caratenóides.

Os resultados obtidos revelam que a espécie vegetal *Eragrostis ciliaris* apresentou potencial como planta fitorremediadora para o Cd, apresentando nível de tolerância satisfatório, pois, houve um aumento significativo de concentração de clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b*, e caratenóides, a medida que a concentração de Cd aumentava, sendo que o tratamento controle apresentou menor concentração destes pigmentos. Em relação ao Cr a *Eragrostis ciliaris* apresentou um comportamento pouco satisfatório por demonstrar uma redução significativa de concentração dos pigmentos a medida que a concentração de crómio aumentava. Apesar de *Eragrostis ciliaris* interagir com o Cr com um comportamento de espécie hiperacumuladora, os efeitos gerados sobre a planta aparentemente a desqualifica como espécie fitorremediadora para o Cr.

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por  
Cádmio e Crômio usando parâmetros bioquímicos

**Lista de Abreviaturas**

ATP – Adenosina trifosfato

B – Barro

C – Carbono

Ca – Cálcio

Cd – Cádmio

Cla – Clorofila a

Clb – Clorofila b

Cr – Crômio

Cu – Cobre

DCB – Departamento de ciências biológicas

Fe – Ferro

Hg – Mercúrio

Mn – Manganês

Mg – Magnésio

M.O. – Matéria Orgânica

NaOH – Hidróxido de sódio

Ni – Níquel

N – Nitrogênio

Na – Sódio

Pb – Chumbo

Zn – Zinco

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

cm – centímetros

g – gramas

ml – mililitros

mg – miligramas

### **Lista de figuras**

Figura 1: O mapa da área de estudo. Província de Maputo e da área da amostragem.

Figura 2: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de clorofila *a* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Figura 3: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de clorofila *b* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Figura 4: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de feofitina *a* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Figura 5: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de feofitinas *b* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Figura 6: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de caratenóides ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por  
Cádmio e Crômio usando parâmetros bioquímicos

**Lista de tabelas**

Tabela 1: Número de plântulas por vaso e por tratamento.

Tabela 2. Características físico-químicas do solo usado na experiência.

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por  
Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos

## Índice

<b>1. Introdução</b> .....	1
1.1. Problema .....	3
1.2. Justificativa .....	4
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	5
2.1. Morfologia e Taxonomia de <i>Eragrostis ciliaris</i> ; .....	5
2.1.1. Descrição ecológica de <i>Eragrostis ciliaris</i> ;.....	5
2.1.2. Taxonomia <i>Eragrostis ciliaris</i> .....	5
2.2. Metais pesados .....	6
2.2.1. Efeito dos metais pesados nas plantas .....	7
2.2.2. Cádmio .....	8
2.2.3. Crómio .....	9
2.3. Pigmentos fotossintéticos .....	10
2.3.1. Clorofila.....	10
2.3.2. Feofitinas .....	11
2.3.3. Caratenóides .....	12
2.4. Fotossíntese e Metais .....	12
2.5. Fitorremediação .....	13
2.5.1. Conceito.....	13
2.5.2. Técnicas de fitorremediação .....	13
2.5.3. Vantagens da fitorremediação; .....	14
2.5.4. Desvantagens da fitorremediação .....	15
<b>3. Objectivos</b> .....	16
3.1. Geral: .....	16
3.2. Específicos:.....	16
<b>4. Hipóteses</b> .....	17
<b>5. Área de estudo</b> .....	18

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por  
Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos

<b>6. Material e Métodos</b> .....	19
6.1. Material.....	19
6.2. Métodos .....	20
6.2.1. Colheita das plântulas e do solo .....	20
6.2.2. Desenho experimental .....	20
6.2.3. Análise bioquímica.....	21
6.3. Plano de análise de dados .....	23
<b>7. Resultados</b> .....	24
7.1. Caracterização físico-química do solo .....	24
7.2. Efeito do cádmio e crómio na concentração dos pigmentos fotossintéticos....	25
7.2.1. Efeito do cádmio e crómio na concentração da clorofila <i>a</i> .....	25
7.2.2. Efeito do cádmio e crómio na concentração da clorofila <i>b</i> .....	26
7.2.3. Efeito do cádmio e crómio na concentração da feofitinas <i>a</i> .....	27
7.2.4. Efeito do cádmio e crómio na concentração de feofitinas <i>b</i> .....	28
7.2.5. Efeito do cádmio e crómio na concentração de caratenóides .....	29
<b>8. Discussão</b> .....	30
8.1. Efeito do cádmio na concentração dos pigmentos fotossintéticos.....	30
8.1.1. Efeito do cádmio na concentração de clorofila <i>a</i> e <i>b</i> .....	30
8.1.2. Efeito do cádmio na concentração de feofitinas <i>a</i> e <i>b</i> .....	31
8.1.3. Efeito do cádmio na concentração de caratenóides .....	31
8.2. Efeito do crómio na concentração dos pigmentos fotossintéticos .....	32
8.2.1. Efeito do crómio na concentração de clorofila <i>a</i> e <i>b</i> .....	32
8.2.2. Efeito do crómio na concentração de feofitinas <i>a</i> e <i>b</i> .....	33
8.2.3. Efeito do crómio na concentração de caratenóides .....	33
<b>9. Conclusão</b> .....	34
<b>10. Limitações</b> .....	35
<b>11. Recomendações</b> .....	36

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por  
Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos

<b>12. Referências bibliográficas.....</b>	<b>37</b>
<b>13. Anexos .....</b>	<b>43</b>
13.1. Anexo 1. Resultados estatísticos para o cádmio referentes a primeira colheita 43	
13.2. Anexo II. Resultados estatísticos para o cádmio referentes a segunda colheita 46	
13.3. Anexo III. Resultados estatísticos para o crómio referentes a primeira colheita 50	
13.4. Anexo IV. Resultados estatísticos para o crómio referentes a segunda colheita 53	

## 1. Introdução

A degradação do ambiente tem despertado o interesse de especialistas, das autoridades e da sociedade, devido a actividade antropogénica (Oliveira *et al.*, 2019). A intensificação das actividades industriais, agrícolas, de urbanização e o tratamento inadequado de resíduos encontram-se entre os principais factores que contribuem para a contaminação do solo por metais pesados, tornando-se um dos mais graves problemas ambientais devido à sua persistência e alto poder de toxicidade (Braga, 2020; e Silva *et al.*, 2019).

O solo é um componente muito específico, agindo como um tampão natural e como depósito de contaminantes (Leite *et al.*, 2018). Porém, o uso intensivo e inadequado de fertilizantes pode causar a contaminação dos solos por metais pesados comprometendo a biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas.

A presença de metais pesados é um dos factores que pode limitar o uso do solo para fins produtivos além destes serem tóxicos para as culturas, podem entrar na cadeia trófica, podendo vir a ser tóxicos para animais e o homem (Leite *et al.*, 2018).

Os metais pesados ocorrem naturalmente no solo, a maioria são reconhecidos como nutrientes essenciais para as plantas (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn), enquanto outros não possuem função conhecida no metabolismo vegetal, causando sintomas de toxicidade em concentrações mínimas. Essa toxicidade em plantas varia com a espécie de planta, metal específico, concentração, forma química, pH e composição do solo (Sousa, 2018; e Antoniadis *et al.*, 2021).

Os metais pesados podem estar dispostos no solo em diferentes formas. Sua distribuição é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: pH, potencial redox, textura, composição mineral, componentes orgânicos do solo, temperatura do solo, conteúdo de água e presença de outros metais pesados. Estes factores afectam a distribuição dos metais pesados no sistema solo e controlam a sua disponibilidade, mobilidade e disponibilidade às plantas (Rodrigues *et al.*, 2016; e Leite *et al.*, 2018).

As plantas se adaptam a ambientes extremamente diversos, pois, algumas espécies apresentam a capacidade de interagir simbioticamente com diversos organismos, facilitando sua adaptação em solos salinos, ácidos, pobres e ricos em nutrientes ou excessivamente contaminado por elementos químicos que constituem os metais pesados (Barbosa, 2014).

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmió e Crómio usando parâmetros bioquímicos

Por isso que entender quais espécies vegetais possuem potencial para reduzir a concentração elevada de metais pesados é fundamental para reduzir a concentração destes no solo e uma das estratégias mais básicas é a fitorremediação.

A fitorremediação, uma das estratégias de reabilitação *in situ* é um método que emprega o uso de plantas conjuntamente com os microrganismos associados para estabilizar ambientes contaminados (Cunningham *et al.*, 1995 e Cunningham e Ow, citados por Cumbi, 2005), ou seja, é uma tecnologia que consiste na utilização de plantas hiperacumuladoras de metais pesados (Aduge, 2019).

O uso de sistemas baseados em plantas para a fitorremediação de solos contaminados busca encontrar uma maior variedade de espécies de plantas capazes de remediar a contaminação do solo por metais pesados (Leite *et al.*, 2018). As plantas desenvolvidas em solos contaminados respondem de diferentes formas a essa contaminação, podendo ser sensíveis com sintomas de toxicidade ou tolerantes desenvolvendo mecanismos de adaptação (Rodrigues *et al.*, 2016). Assim, estas plantas podem ser utilizadas na remediação ou descontaminação das áreas afectadas podendo-se reduzir ou eliminar os contaminantes (Alves, 2018).

A fitorremediação de áreas contaminadas é bastante útil para o meio ambiente devido à utilização de plantas específicas, no intuito de amenizar ou até mesmo despoluir totalmente estas áreas (Vasconcelos *et al.*, 2012; e Sousa, 2018).

Assim, é necessária a utilização de plantas que possuam determinadas características como uma boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e que apresentem uma grande resistência ao poluente (Oliveira *et al.*, 2007; Sousa, 2018; e Silva *et al.*, 2019).

A *Eragrostis sp* é uma gramínea perene considerada cosmopolita, encontrada nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (Ferreira, 2012).

Este estudo objectiva avaliar o potencial remediador de *Eragrostis ciliaris*, em solos contaminados com cádmio e crómio de forma a contribuir para o conhecimento das reacções da *Eragrostis ciliaris* a diferentes metais pesados.

### **1.1. Problema**

Moçambique tem registado grandes problemas ambientais como a poluição do solo causado pela acção antropogénica devido a actividade industrial (Aduge, 2019), que compromete a biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas (de Lima *et al.*, 2013), causando danos às propriedades químicas e biológicas do solo (Almeida, 2018).

Outro aspecto preocupante é que paralelamente ao aumento do número de indústrias na Matola que é importante para a economia do País, cresce a população que habita muito próximo à estas indústrias, o que é prejudicial para a saúde da população. O número de pessoas que vive em áreas onde o solo e a água estão contaminados por alumínio, níquel, crómio e arsénio é elevado em todo o mundo, e devido a diversidade de indústrias na Matola poderá constituir um problema também para Moçambique (Aduge, 2019).

Os metais pesados são muito usados nas indústrias, eles se diferenciam de outros agentes tóxicos por não serem sintetizados nem destruídos pelo homem (De Souza, 2010). As plantas respondem de diferentes formas a contaminação por metais pesados, algumas podem ser sensíveis ou tolerantes desenvolvendo mecanismos de adaptação (Rodrigues *et al.*, 2016). Dai que surge a questão: Será que a *Eragrostis ciliaris* possui potencial para remediar solos contaminados por cádmio e crómio?

## **1.2. Justificativa**

O surgimento de fábricas que constituem fontes emissoras de metais pesados como cádmio e crómio motivou o estudo dos efeitos dos metais pesados em *Eragrostis ciliaris* de solos contaminados e o seu potencial remediador. A fitorremediação permite a redução da contaminação no solo e na água. Esta técnica oferece vantagens de recuperar grandes áreas à baixo custo e ao mesmo tempo melhorar o aspecto do ambiente (Leite *et al.*, 2018).

A presença de metais pesados é um dos factores que pode limitar o uso do solo para fins produtivos em Moçambique, Por isso, são necessários mais estudos para identificar plantas que toleram e se desenvolvem bem em solos contaminados por cádmio e crómio, para essas plantas serem usadas para melhorar os solos próximos a zonas contaminadas e deste modo serem reaproveitados para agricultura e contribuindo assim para a tomada de medidas preventivas que possam minimizar o potencial tóxico destes elementos.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Morfologia e Taxonomia de *Eragrostis ciliaris*;**

#### **2.1.1. Descrição ecológica de *Eragrostis ciliaris*;**

A *Eragrostis* é um género cosmopolita com cerca de 350 espécies no mundo (Clayton e Renvoize, 1986 citados por Ferreira, 2012).

A *Eragrostis ciliaris* é uma gramínea perene, com colmos erectos ou ascendentes, geralmente não ramificados, com até 65cm de altura, possui 3 – 6 nós e glandulosas. As folhas estão distribuídas ao longo do colmo, as bainhas foliares são pilosas nas margens e são mais curtas que os entre nós. As bainhas possuem lâminas 4 – 12 x 1 – 0,4 cm, lanceoladas, involutas ou planas, glabras, com tricomas nas margens exactamente junto à região ligular e frequentemente caducos (Boechat e Longhi – Wagnee, 2000).

O nome vulgar de *Eragrostis ciliaris* é capim-mimosa (Smith et al., 1981 citado por Zanin, 2014), encontrada nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (Clayton e Renvoize, 1986 citados por Ferreira, 2012).

#### **2.1.2. Taxonomia *Eragrostis ciliaris***

Reino: Plantae

Clado: Traqueófitas

Clado: Angiospermas

Clado: Monocotiledóneas

Ordem: Poales

Família: Poaceae

Género: *Eragrostis*

Especies: *E.ciliaris*

## 2.2. Metais pesados

Metais pesados são, entre os elementos químicos, aqueles que possuem densidade maior que 5 g cm<sup>-3</sup>. Existem cerca de cinquenta e três metais pesados, alguns dos quais não são biologicamente importantes. Em razão de sua solubilidade, sob condições fisiológicas, dezessete metais pesados podem estar disponíveis para organismos e ecossistemas. Alguns desses metais, incluindo ferro (Fe), molibdênio (Mo), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e níquel (Ni) são micronutrientes essenciais para as plantas. O vanádio (V), cobalto (Co) e cromo (Cr) não desempenham funções vitais nas plantas, mas podem ter importância para certas espécies vegetais. Já o cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e urânio (U), além de não serem essenciais e, ou benéficos às plantas, podem ser extremamente tóxicos em baixas concentrações. Todos os metais pesados, entretanto, em concentrações elevadas podem se acumular e atingir níveis tóxicos não só às plantas, mas também, aos animais e microrganismos (Lozi, 2019).

Os metais pesados representam um grupo de elementos químicos com algumas características bem definidas, como: alta densidade (em comparação à outros metais comuns), toxicidade e transporte através do ar, por gases, ou pela sua adsorção/absorção em partículas (Anwar *et al.*, 2009; Lozi, 2019).

A entrada dos metais pesados na cadeia alimentar e sua bioacumulação os tornam potencialmente muito perigosos não apenas para o ambiente, mas principalmente, para o homem, sendo que os metais pesados atingem o sistema nervoso e órgãos hepáticos (fígado e rins) e, ainda, o grau de toxicidade depende da solubilidade, do transporte, da absorção pelas células e de reacções químicas com outros metais (Goettems, 2019).

A disponibilidade dos metais pesados e sua fitotoxicidade são dependentes de reacções no complexo rizosférico envolvendo processos de trocas entre a solução do solo, a planta e microrganismos, da concentração do metal, do pH e da presença de outros íons. Os metais pesados se diferenciam de compostos orgânicos tóxicos por não serem degradáveis, podendo acumular nos compartimentos do ambiente, principalmente solos e sedimentos, onde manifestam sua toxicidade. A toxicidade destes elementos depende, em grande medida, da forma química do próprio elemento, isto é, de sua espécie ou, ainda, do seu estado de oxidação (De Carvalho *et al.*, 2017; e Goettems, 2019).

Actividades antropogénicas como a mineração, a combustão de combustíveis fósseis, as actividades industriais, a utilização de fertilizantes à base de fósforo, resultam na

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos introdução e, conseqüentemente, na acumulação destes metais pesados no ecossistema (De Carvalho *et al.*, 2017).

### **2.2.1. Efeito dos metais pesados nas plantas**

A toxicidade de metais pesados ns plantas pode ocorrer em diferentes níveis: rotas bioquímicas (respiração e fotossíntese), integridade de macromoléculas (DNA e proteínas), características genéticas (metagênese) e biologia celular (De Carvalho *et al.*, 2017). Segundo De Sousa, (2018). Os sintomas de toxicidade visíveis em concentrações excessivas de metais pesados podem ser atribuídos a uma extensa interação em níveis celulares e moleculares.

A acumulação de metais pelas plantas, além de sua natureza, depende de factores como o pH, matéria orgânica, concentração do metal e presença de aniões, textura do solo, além de temperatura, luminosidade, humidade, presença de correctivos e fertilizantes, aeração, potencial redutor do solo e presença de micorrizas (De Sousa, 2018).

A maioria dos metais é muito insolúvel para mover-se livremente no sistema vascular das plantas, assim, geralmente, formam precipitados com carbonatos, sulfatos, ou fosfatos, imobilizando-os em compartimentos intra e extracelulares (De Carvalho *et al.*, 2017). Alguns metais são acumulados nas raízes, provavelmente devido a barreiras fisiológicas contra o transporte de metais para as partes aéreas, enquanto outros são facilmente transportados nas plantas (De Sousa, 2018).

Os metais pesados na forma de sais, como cromatos, nitratos, cloretos e sulfatos são mais facilmente absorvidos pelas plantas do que quantidades equivalentes dos mesmos na forma de lodos industriais ou domésticos. Isso ocorre porque na forma de iões os metais se complexam com maior facilidade aos aminoácidos livres ou proteínas presentes nas plantas. E os teores de metais tóxicos, incluindo os micronutrientes, apresentam concentrações na matéria seca das plantas na seguinte ordem, de forma decrescente: folha < que raízes de reserva < que tubérculos < que frutos carnosos < que sementes(De Carvalho *et al.*, 2017).

A acumulação destes metais pesados em plantas difere grandemente entre espécies vegetais e, também, entre órgãos ou tecidos. As plantas ao absorverem em excesso os diferentes metais pesados, sofrem alterações na actividade de enzimas que contém ferro, enzimas estas, ligadas à fotossíntese, ao sistema de defesa antioxidante e à tolerância hídrica. Inibição do crescimento, descoloração, clorose, necrose e epinastia foliar são,

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos  
usualmente, alguns dos sintomas visíveis característicos da toxicidade dos metais pesados (De Sousa, 2018).

### **2.2.2. Cádmio**

O cádmio (Cd) é um dos principais contaminantes ambientais e um dos mais tóxicos entre os metais pesados. Foi descoberto em 1817 por Stromeyer como uma impureza do carbonato de zinco. É um metal de transição não essencial, de cor branca-prateada, lustroso, maleável e flexível. Usualmente é encontrado sob a forma de ião metálico bivalente. (Vieira *et al.*, 2015).

O Cd, pode ser encontrado em concentrações relativamente altas em áreas naturais, agrícolas ou de mineração, que tenham recebido aplicações maciças de herbicidas e, ou fertilizantes, em que ele está presente como contaminante (Lozi, 2019). O Cd está presente em vários produtos industrializados como pigmentos, plásticos, produtos da metalurgia e galvanoplastia, pilhas, baterias, esmaltes, vidros, tintas, lâmpadas fluorescentes, resíduos de pneus, óleos combustíveis, lubrificantes, carvão mineral e fungicida, que, se lançados indiscriminadamente na natureza, podem vir a constituir importantes fontes de contaminação (Vieira *et al.*, 2015; e Lozi, 2019).

No ambiente, tende a se concentrar nos solos e nos sedimentos de sistemas aquáticos, tornando-se disponível ao sistema radicular de plantas. Dessa maneira, o acúmulo de Cd nos tecidos de espécies vegetais aumenta o risco de transferência, por meio da cadeia alimentar, para seres humanos e animais (Lozi, 2019).

#### **2.2.2.1. Cádmio nas plantas**

As plantas constituem-se o principal ponto de entrada do cádmio na cadeia alimentar. Contrariamente a outros metais pesados tóxicos, o cádmio presente no solo é facilmente absorvido pelas raízes das plantas, particularmente em solos. Após ser absorvido pelo sistema radicular das plantas o cádmio é translocado, via xilema, para a parte aérea. (Gonçalves *et al.*, 2009; e Tavares *et al.*, 2020).

Existem plantas capazes de captar o cádmio dos solos e de o acumular, atingindo concentrações muito elevadas (superiores às que causam toxicidade em humanos e outros animais). A acumulação de metais em tecidos vegetais depende de factores como natureza do vegetal (capacidade de tolerância e acumulação de metais), pH do solo (em solos ácidos o cádmio está mais disponível para ser captado pelas plantas), quantidade

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por  
Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos

de matéria orgânica e a quantidade do metal no solo, variações de temperatura, luminosidade, humidade, aplicações de agentes correctivos e fertilizantes (Tavares *et al.*, 2020).

Na maioria das plantas o cádmio acumula-se mais nas raízes do que nas folhas. A baixa acumulação de Cd nas folhas pode ser uma estratégia para proteger a função fotossintética do stress oxidativo induzido pelo cádmio (Sousa e Dos Santos, 2018).

Nas plantas o cádmio afecta a absorção, transporte e uso de elementos como o cálcio, fósforo, potássio e enxofre, bem como da água. Podendo também provocar deficiência de ferro. Nas mitocôndrias, o excesso de cádmio pode promover alterações na permeabilidade de suas membranas ao potássio, hidrogénio e cloro. O Cd também reduza absorção de nitrato e seu transporte das raízes para a parte aérea através da inibição da enzima nitrato redutase das folhas. Sua presença pode também afectar o metabolismo de alguns micronutrientes, como o ferro, o manganês e o magnésio (Sousa e Dos Santos, 2018).

### **2.2.3. Crómio**

O Cromo (Cr) é o 21º elemento mais comum na crosta terrestre. Possui número atômico 24 (24 prótons e 24 electrões) e massa atômica 52 u, sólido em temperatura ambiente. Foi descoberto em 1797 por Louis Nicolas Vauquelin no mineral crocoíta encontrado na Rússia. É um metal cinzento e não possui essencialidade comprovada na nutrição das plantas, mas já foram observados efeitos positivos no crescimento de plantas com a aplicação de pequenas quantidades de Cromo solúvel ao solo (USEPA, 2005; e Sousa *et al.*, 2021).

O elemento cromo é de considerável importância ambiental e geológica e, no ambiente, ocorre principalmente como cromo (III) ou cromo (VI). As funções bioquímicas e os efeitos do cromo são dependentes de seu estado de oxidação, pois enquanto o cromo (VI) é tóxico por ser um agente carcinogénico, o cromo (III) é considerado um nutriente essencial para os humanos (Sousa e Dos Santos, 2018; e Sousa *et al.*, 2021).

#### **2.2.3.1. Crómio nas plantas**

Nas plantas a concentração de cromo está principalmente associada à presença de formas solúveis do elemento no solo. Na forma Cr+6 o cromo aparece como um anião solúvel que penetra facilmente através da membrana celular, possuindo uma forte ação

tóxica, já que é um poderoso agente oxidante. Por sua vez, o Cr+3 somente se concentra na forma solúvel em valores de pH menores do que aqueles normalmente encontrados em sistemas biológicos ou quando complexado com moléculas orgânicas de baixo peso molecular, que possuem pouca mobilidade através da membrana celular (Taiz *et al.*, 2017; Sousa e Dos Santos, 2018).

Nas plantas, a absorção e translocação de Cr variam de acordo com a espécie. A absorção destas espécies de cromo pelas plantas ocorre por diferentes mecanismos. A absorção de Cr+6 ocorre de forma activa já que a aplicação de inibidores metabólicos à solução nutritiva diminui este processo. Porém, a absorção de Cr+3 ocorre por osmose através das raízes (Taiz *et al.*, 2017; Sousa e Dos Santos, 2018).

Devido a sua afinidade por cargas negativas, ele é imobilizado, principalmente, nas raízes. Os sintomas de toxicidade manifestam-se como inibição do crescimento, clorose nas folhas jovens, folhas pequenas de coloração vermelho-amarronzada ou púrpura, lesões necróticas e injúrias nas raízes (Taiz *et al.*, 2017).

### **2.3. Pigmentos fotossintéticos**

Os vegetais são organismos de grande importância ao ecossistema. Eles caracterizam-se como seres autotróficos, ou seja, produzem o seu próprio alimento a partir de fontes abióticas e minerais, suprindo energia a todos processos fisiológicos da planta (De Souza *et al.*, 2019). Esta característica não seria possível sem a presença de organelas especializadas, chamadas cloroplastos. Os cloroplastos são encontrados exclusivamente em vegetais, algas e cianobactérias, e possuem a função de absorção da energia luminosa do sol e transformação da mesma em energia química (ATP). Estas organelas são constituídas por pigmentos fotossintéticos, e são eles os “receptores” da energia solar. Os pigmentos constituintes de determinada planta podem ser clorofila *a*, clorofila *b*, caratenoides ou xantofilas (González, 2014; e De Souza *et al.*, 2019).

#### **2.3.1. Clorofila**

A clorofila é um pigmento natural verde e mais abundante na natureza, podendo ser encontrada nas plantas, algas e bactérias fotossintéticas. Elas estão presentes nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais ou parte deles, possuindo uma coloração verde oliva (Andresen *et al.*, 2018; e Sangaletti, 2019).

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

Quimicamente, existe uma família de substâncias de clorofilas semelhantes entre si na natureza, comprovando que a mesma não é uma molécula isolada e que podem ser denominadas como clorofila *a*, *b*, *c* e *d*.

As clorofilas *a* (C<sub>55</sub>H<sub>72</sub>O<sub>5</sub>N<sub>4</sub>Mg) e *b* (C<sub>55</sub>H<sub>70</sub>O<sub>6</sub>N<sub>4</sub>Mg), encontram-se na natureza numa proporção de 3:1, respectivamente (Sangaletti, 2019). A diferença estrutural entre elas aparece no grupo R, onde para a clorofila *a* tem-se o substituinte –CH<sub>3</sub> e para clorofila *b* tem-se um aldeído nesta posição, –CHO. Esta pequena diferença estrutural tem consequências, como por exemplo, a maior hidrofobicidade da clorofila *a* em relação à clorofila *b*, já que o grupo aldeído é mais polar do que o hidrocarboneto (Andresen *et al.*, 2018; e Sangaletti, 2019).

A clorofila *a* possui um grupo metil e é considerada a mais importante e abundante desta família, correspondendo a aproximadamente 75% da quantidade total dos pigmentos verdes encontrados nos vegetais. A clorofila *b* é semelhante a *a*, diferenciando apenas na substituição no anel pirrólico II da sua estrutura (Xu *et al.*, 2001; e Andresen *et al.*, 2018), importa salientar que a clorofila *a* e *b* são compostos insolúveis em água, ou seja, hidrofóbicos, e sua principal função é converter energia luminosa em energia química, processo que ocorre nos cloroplastos (Dias *et al.*, 2020). As clorofilas *c* podem ser encontradas em feofitas e diatomáceas e a *d* nas algas. No entanto, os pigmentos clorofilicos são quimicamente instáveis, sensíveis a luz, à altas temperaturas, ao oxigénio e a degradação química, podendo mudar a percepção e a qualidade, quando são alterados ou destruídos (Taiz *et al.*, 2017; Dias *et al.*, 2020; e Pessoa, 2020).

### 2.3.2. Feofitinas

Em 1977, os cientistas Klevanik, Klimov e Shuvalov realizaram uma série de experimentos para mostrar que era a feofitina e não a plastoquinona que funcionava como o principal aceitador de elétrons no fotossistema II. Através de vários experimentos, incluindo ressonância paramagnética eletrônica (EPR), eles foram capazes de mostrar que a feofitina era redutível e, portanto, o principal acceptor de electrões entre o e plastoquinona (Vyacheslav, 2003; e Taiz *et al.*, 2017).

Bioquimicamente, a feofitina é uma molécula de clorofila que não possui o íon Mg<sup>2+</sup>. A feofitina *a* é a mais comum, correspondendo à clorofila *a* que é o principal pigmento fotossintético, mas também há a feofitina *b*, cada variedade de clorofila tendo uma

feofitina correspondente. As feofitinas estão envolvidas na fotossíntese como os primeiros transportadores de electrões intermediários na cadeia de transferência de electrões do fotossistema II em plantas (PS II) (Vyacheslav, 2003; e Taiz *et al.*, 2017).

Os mecanismos e funções gerais das moléculas de feofitina nas duas cadeias de transporte são análogos. Tanto no fotossistema II quanto no centro de reacção P870, a luz retira electrões do centro de reacção via feofitina, que então passa os electrões para uma bactérias roxas (RC P870) encontrado em fotossintética centro de reacção tipo II e também em plantas em fotossistema II (Vyacheslav, 2003; e Taiz *et al.*, 2017).

### 2.3.3. Caratenóides

Os caratenóides são pigmentos amarelos, laranjas e vermelhos, sendo encontrados nos cloroplastos e cianobactérias, porém não são visíveis em parte das plantas devido a estes estarem mascarados pelo pigmento da clorofila (Küster, 2018). São tetraterpenos (com 40 átomos de carbono) – derivados dos isoprenoides, lipofílicos e geralmente coloridos, ou seja, absorvem a luz em diferentes faixas do espectro luminoso (400-550 nm), e são sintetizados por bactérias, fungos, plantas e algas (Neverov, 2017).

Há duas classificações para os caratenóides: os primários que ocorrem nos tecidos verdes sendo então necessários para as reacções fotossintéticas; e, os secundários, encontrados em frutas e flores. Os primários ainda são divididos em duas categorias: os carotenos (cuja estrutura química é formada por hidrocarbonetos) e as xantofilas (carotenos oxigenados, também conhecidos como oxicaratenóides). Embora existam centenas de caratenóides distintos, as suas características estruturais são muito comuns devido à sua relação com a fotossíntese (EUN, 2015; e Küster, 2018).

A função dos caratenóides como pigmentos acessórios para as clorofilas é na captação de luz, como exemplo a luteína e a neoxantina. E sua função como fotoproteção nos tecidos vegetais é na inativação de espécies reativas de oxigênios (ROS) (Küster, 2018).

### 2.4. Fotossíntese e Metais

A toxicidade por metais comprometendo a fotossíntese pode ocorrer devido a diversos factores, como, alterações do fluxo de electrões na fase fotoquímica (alteração da actividade enzimática nas reacções da fase bioquímica ()), mudanças estruturais dos tilacóides, entre outros (Bizzo, 2015, e Taiz *et al.*, 2017).

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

As análises quantificação de pigmentos fotossintéticos constituem importantes ferramentas para estudos ecofisiológicos em plantas submetidas a estresse por metais. Tais parâmetros vêm sendo largamente utilizados por oferecerem vantagens, como a rápida obtenção de resultados e alta sensibilidade (Taiz *et al.*, 2017; e Andresen *et al.*, 2018).

Os pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenóides), localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos, absorvem a energia luminosa que é utilizada no processo fotossintético (Taiz *et al.*, 2017). O acúmulo de metais pode reduzir a quantidade de pigmentos fotossintéticos, diminuindo o crescimento de plantas (Andresen *et al.*, 2018). A substituição dos íons de  $Mg^{2+}$  nas moléculas de clorofila por certos metais, tais como Cu, Zn, Cd, Cr ou Hg têm sido observadas em plantas expostas a metais, resultando em queda da taxa fotossintética (Bizzo, 2015; e Taiz *et al.*, 2017).

## **2.5. Fitorremediação**

### **2.5.1. Conceito**

O termo genérico fitorremediação, consiste no prefixo *phyto* que significa planta e do sufixo *remediation* que significa cura ou restauração (Alves, 2018). No entanto, fitorremediação é uma técnica que usa espécies vegetais capazes de remover poluentes de ambientes degradados ou então minimizar seus efeitos (Júnior, 2019). O processo de fitorremediação consiste em introduzir espécies vegetais no ambiente contaminado permitindo que elas assimilem as toxinas em suas raízes e folhas. Tal processo pode ser grande aliado na descontaminação de metais pesados, pesticidas, xenobióticos, compostos orgânicos e poluentes aromáticos tóxicos (Rodrigues, 2016; e Caminho, 2021).

### **2.5.2. Técnicas de fitorremediação**

De acordo com o tipo de composto químico e o local de absorção do poluente existem vários tipos de fitorremediação que são: Fitoextração fitoestabilização, rizofiltração, fitotransformação e fitoestimulação. Que podem ser diferenciados pela forma de actuação, pelas características do solo, pelos meios contaminados e pelos tipos de contaminação, associados à concentração disponível no solo (Silva, 2019 e Camargo, 2020).

Fitoextração, é obtida através de plantas hiperacumuladoras, que realizam a absorção pelas raízes e translocação para a parte aérea e posterior colheita da área contaminada.

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

Esta técnica é aplicada principalmente para metais (Cd, Ni,Cu, Zn, Pb) podendo ser usada também para outros compostos inorgânicos e orgânicos (Silva, 2019).

Fitoestabilização consiste no uso de plantas para estabilizar o contaminante, através da absorção e acumulação pelas raízes, sem a colheita (Silva, 2019). Eficaz para remoção de metais como chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg), arsênio (As), cádmio (Cd), e zinco (Zn) (Júnior, 2019).

A rizofiltração consiste na absorção dos contaminantes na raiz e geralmente é aplicada em condições hidropónicas de crescimento das plantas (Vasconcellos *et al.*, 2012; e Júnior, 2019).

A fitotransformação ou fitodegradação consiste no uso das raízes bem desenvolvidas para a absorção, seguida de volatilização ou degradação de forma parcial ou completa, transformando o composto numa forma menos tóxica, esta degradação é feita no interior da planta com intervenção de enzimas específicas e é aplicado para compostos orgânicos (Vasconcellos *et al.*, 2012 e Silva, 2019).

A fitoestimulação ou biorremediação assistida por microrganismos consiste na libertação de exsudados ou enzimas através da raiz que estimulam a actividade dos microrganismos a degradarem contaminantes e é aplicada para a descontaminação de compostos orgânicos (Vasconcellos *et al.*, 2012; e Júnior, 2019).

### **2.5.3. Vantagens da fitorremediação;**

A fitorremediação é uma tecnologia de baixo custo de investigação e operação. As plantas são mais fáceis de controlar do que os microrganismos e o custo de recuperação do solo depende dos contaminantes em estudo, propriedades do solo e das condições do local (Anselmo e Jones, 2005; e Silva, 2019).

As plantas usadas na fitorremediação melhoram a paisagem e preservam o ecossistema (Silva, 2019).

Na fitorremediação as plantas usadas removem os metais e também ajudam na prevenção da erosão hídrica e do solo, evitando a lixiviação (Anselmo e Jones, 2005; e Silva, 2019).

#### **2.5.4. Desvantagens da fitorremediação**

A técnica é de uso difícil para descontaminar solos com herbicidas de amplo espectro ou misturados com outros contaminantes no solo. A sua efectividade é limitada pela capacidade da planta em dissolver os metais das superfícies das partículas do solo, porém os metais podem ser solubilizados pela adição de agentes complexantes, aumentando a sua captação pelas plantas (Silva, 2019).

O clima, o tipo do solo, a estação do ano, a concentração e profundidade do contaminante e a interferência do contaminante no metabolismo da planta podem restringir o crescimento de algumas plantas. E os resultados da fitorremediação não são imediatos, podendo levar semanas, meses e até anos para a obtenção de uma descontaminação satisfatória (Silva, 2019).

### **3. Objectivos**

#### **3.1. Geral:**

- ✓ Avaliar o potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediador de solos contaminados por cádmio e crómio usando parâmetros bioquímicos.

#### **3.2. Específicos:**

- ✓ Determinar a concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides) em *Eragrostis ciliaris* sob influência de diferentes concentrações de cádmio e crómio;
- ✓ Comparar a concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b* e caratenóides) em *Eragrostis ciliaris* sob influência de diferentes concentrações de cádmio e crómio.

#### 4. Hipóteses

As plantas se adaptam a ambientes extremamente diversos, de forma tão eficaz que poucos lugares são completamente desprovidos de sua presença (Silva *et al.*, 2019).

As espécies herbáceas apresentam tolerância à acumulação de poluente, capacidade de manter as suas actividades celulares e crescimento rápido, além de se adaptar às condições do ambiente impactado (Leguizamo *et al.*, 2016).

De acordo com estes pressupostos, levantam-se as seguintes hipóteses:

**H0:** A *Eragrostis ciliaris* não possui potencial para remediar áreas contaminadas por cádmio e crómio;

**H1:** A *Eragrostis ciliaris* possui potencial para remediar áreas contaminadas por cádmio e crómio;

## 5. Área de estudo

Os dados do trabalho foram colhidos no Parque Industrial da Matola.

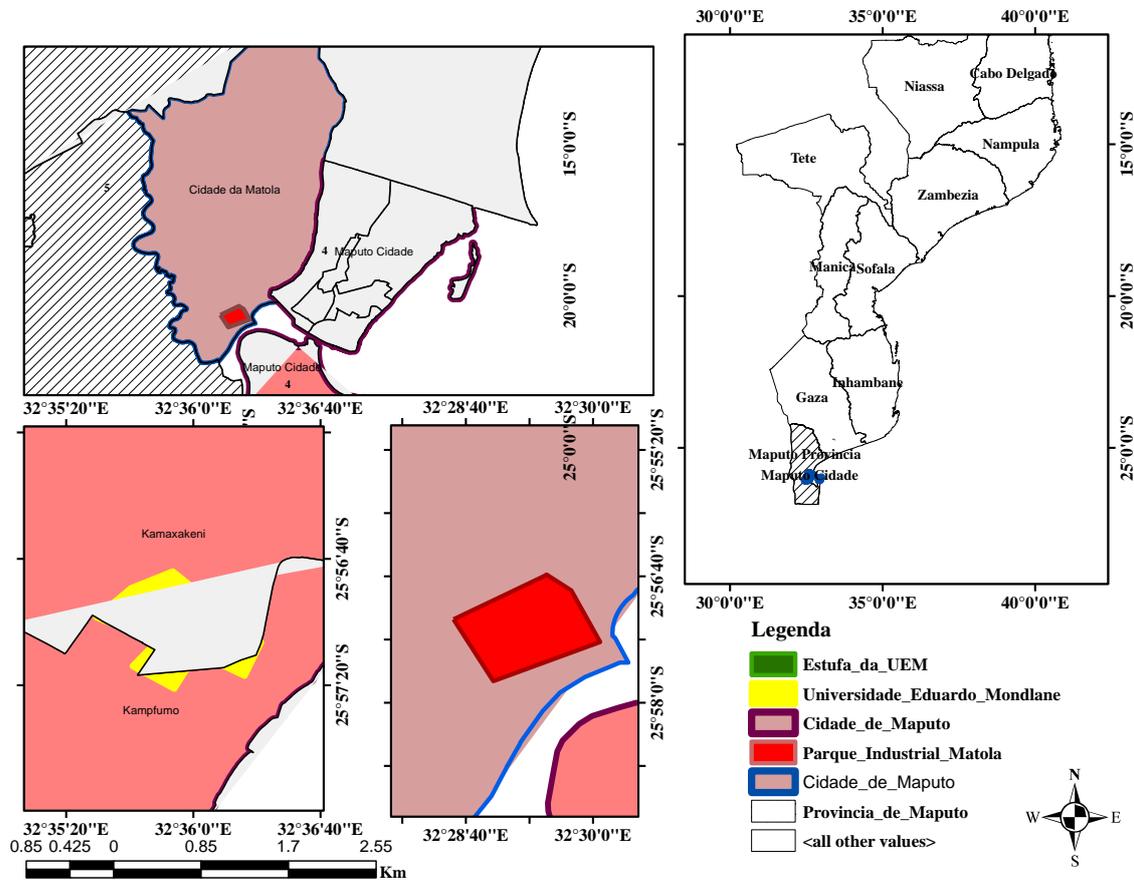


FIG. 1: Localização da área de estudo.

O presente estudo foi realizado na estufa e no laboratório de Fisiologia de Vegetal do Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da Universidade Eduardo Mondlane, situado no Campus Universitário Eduardo Mondlane.

A cidade da Matola localiza-se na província mais a sul de Moçambique, ocupando uma área de 373 km<sup>2</sup> (Miquidade, 2018). É a cidade mais populosa, e é onde está concentrado o maior parque industrial do país (PIM), concentrando cerca de 60% da indústria nacional (Sumalgy, 2011). As mais de 500 unidades industriais que constituem este parque, têm um alto grau de diversificação, que vai desde agro-industriais às confecções metalomecânicas e aos materiais de construção (Miquidade, 2018).

## **6. Material e Métodos**

### **6.1. Material**

- Almofariz;
- Balão volumétrico;
- Bisturi;
- Conta-gotas;
- Copos de Becker;
- Envelopes de papel;
- Luvas;
- Marcador;
- Máscaras de protecção individual;
- Moinhos de bolas;
- Papel absorvente;
- Papel de alumínio;
- Pinças;
- Porta amostra;
- Régua;
- Tesoura;

### **Equipamentos**

- Balança analítica FA2004B;
- Balança portátil;
- Espectrofotómetro UV-2005;

### **Reagentes**

- Água destilada;
- Acetona a 80%.
- HCL 0.06N

## 6.2. Métodos

O presente estudo teve como objectivo avaliar o potencial remediador de *Eragrostis ciliaris* em solos contaminados por metais pesados (cádmi e crómio), onde foram avaliados os pigmentos fotossintéticos nomeadamente: clorofila (a) e (b), feofitinas (a) e (b) e caratenóides.

### 6.2.1. Colheita das plântulas e do solo

As plântulas de *Eragrostis ciliaris* foram colhidas aos arredores do parque industrial da Matola. E o solo usado na experiência foi colectado no Campus Universitário da Universidade Eduardo Mondlane.

### 6.2.2. Desenho experimental

A experiência foi realizada na estufa do Departamento de Ciências Biológicas (DCB) no período entre Março a Agosto de 2023.

Para o cultivo foram usados 56 vasos, contendo cada (5) plântulas, com 4 tratamentos de 0g/L, 0.02g/L, 0.01g/L e 0.05g/L de cada metal. Este procedimento serviu para cada metal que se pretende avaliar o uso de *Eragrostis ciliaris* como potencial fitorremediadora de solos contaminados pelos metais cádmio e crómio.

**Tabela 1.** Número de plântulas por vaso e por tratamento.

<i>Grupos</i>	<i>Tratamentos</i>	<i>Nº de vasos por tratamento</i>	<i>Nº de plântulas por vaso</i>	<i>Nº de plântulas por colhidas por tratamento</i>
<i>I</i>	<b>Controlo</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<i>II a)</i>	<b>0.002g/L de Cd</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<i>II b)</i>	<b>0.01g/L de Cd</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<i>II c)</i>	<b>0.05g/L de Cd</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<i>III a)</i>	<b>0.002g/L de Cr</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<i>III b)</i>	<b>0.01/L de Cr</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>
<i>III c)</i>	<b>0.05g/L de Cr</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>9</b>

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

As plântulas foram cultivadas em vasos e regadas com água corrente em dias alternados, durante 20 dias para permitir a sua adaptação e regeneração. Passado esse período foi adicionado para cada grupo de tratamento o contaminante a uma quantidade correspondente a 100ml. A colheita das plantas foi feita primeiramente 35 (quinta semana) dias após a adição do contaminante, a segunda colheita foi feita 60 (nona semana) dias após a adição do contaminante, onde foram determinados os pigmentos fotossintéticos, nomeadamente: clorofila (a) e (b), feofitinas (a) e (b) e caratenóides.

### 6.2.3. Análise bioquímica

#### 6.2.3.1. Determinação de clorofilas, feofitinas e caratenóides

##### Procedimentos

- ✓ Em *Eragrostis ciliaris*, pedaços de 1.5cm do terceiro par de folhas, a partir do ápice, foram colhidos utilizando-se uma tesoura;
- ✓ Durante a colecta, tomou-se o cuidado de não colectar parte da nervura central da folha amostrada;
- ✓ Pesou-se 0.1g de matéria fresca dos pedaços de *Eragrostis ciliaris*, em balança analítica;
- ✓ Colocou-se num almofariz e moeu-se com cerca de 10ml de acetona a 80%, juntamente com uma pequena quantidade de areia;
- ✓ Uma vez macerado, o material foi filtrado em papel filtro qualitativo 80g/m<sup>2</sup> com auxílio de funil de vidro de 60 mm, em balão volumétrico de 25 ml, previamente envolvido com papel alumínio.
- ✓ Todo o processo de extracção e análise foi realizado com o mínimo de luz possível para evitar foto-oxidação dos pigmentos.
- ✓ Ao término da filtração, completou-se o volume do balão volumétrico de 25 ml com acetona 80%.

##### Clorofilas

As leituras foram realizadas de acordo com a metodologia de Lichtenthaler e Buschmann (2001) para as leituras dos extractos obtidos, foram utilizados os comprimentos de onda de 664 e 649 nm, para as clorofilas a (Cl<sub>a</sub>) e b (Cl<sub>b</sub>), respectivamente, sendo que os valores das absorvâncias obtidas foram colocadas nas seguintes fórmulas: Cl<sub>a</sub>= 13,36xA- 5,19xA e Cl<sub>b</sub>= 27,43xA- 8,12xA (Lima, 2013).

### **Feofitinas**

Para as feofitinas *a* e *b* foram separados 5ml de sobrenadante que foram incubados com 1ml de HCl 0.06N durante 10 minutos. Passando esse tempo fez-se a leitura da absorvância (A) a 666 e 654nm.

As concentrações das feofitinas foram determinadas pelas equações segundo Wintermans e Mott citados por Pignata (2001):

$$\text{Feofitinas } a \text{ (mg/l)} = (23.4 \times A) - (7.64 \times A);$$

$$\text{Feofitinas } b \text{ (mg/l)} = (35.2 \times A) - (16.1 \times A)$$

### **Caratenóides**

As concentrações de caratenóides foram obtidas num comprimento de onda de 470nm através da fórmula segundo Wintermans e Mott citados por Pignata (2001):

$$\text{Caratenóides (mg/l)} = [(1000 \times A_{470}) - (2.05 \times \text{clorofila } a) - (\text{clorofila } b/245)]$$

### **6.3. Plano de análise de dados**

Os resultados laboratoriais dos pigmentos fotossintéticos e das concentrações dos metais cádmio e crómio foram organizados e sumarizados no *software Excel 2015*. As análises e a normalidade dos dados foram determinadas usando o programa *STATISTICA* versão 8.0. Para determinar e comparar os pigmentos fotossintéticos em diferentes concentrações de cádmio e crómio para dados paramétricos, foi usado o teste One-Way ANOVA e para dados não paramétricos foi usado o teste Kruskal-Wallis e as comparações das médias foram feitas usando o teste Tukey. Os resultados foram considerados significantes quando  $P < 0.05$  (intervalo de confiança de 95%).

As distribuições das diferenças dos pigmentos fotossintéticos nos diferentes tratamentos foram apresentadas em tabelas e gráficos feitos no programa *GraphPadPrism* versão 8.

## 7. Resultados

### 7.1. Caracterização físico-química do solo

O solo usado para o cultivo da *Eragrostis ciliaris* foi caracterizado e apresentou as características físico-químicas descritas na tabela:

Tabela 2. Características físico-químicas do solo usado na experiência.

<b>Características físico-químicas do solo</b>	<b>Amostras (mg.L<sup>-1</sup>)</b>
<b>PH</b>	7.31±0.05
<b>CTC</b>	3.06±0.91
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	1.98±0.11
<b>K<sup>+</sup></b>	0.06±0.03
<b>Na<sup>+</sup></b>	0.81±0.55
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0.25±0.08
<b>CE mS/cm</b>	0.11±0.03
<b>P%</b>	7±1.71
<b>MO%</b>	0.59±0.26
<b>Limo%</b>	2.48±0.25
<b>Argila%</b>	6.03±0.23
<b>A. grossa%</b>	33.93±4.36
<b>A. fina%</b>	57.56±4.38
<b>Textura</b>	F. arenoso

A tabela 2 mostra a concentração de íons que o solo usado na experiência apresenta, onde observa-se que apresenta maior concentração de cálcio e menor quantidade de potássio, magnésio e sódio.

Foi possível observar que o solo apresentou maior percentagem de areia fina, menor percentagem de argila, daí que, foi classificado como franco arenoso quanto a textura.

## 7.2. Efeito do cádmio e crómio na concentração dos pigmentos fotossintéticos

### 7.2.1. Efeito do cádmio e crómio na concentração da clorofila *a*

Na quinta semana, foi observado um aumento da concentração de clorofila *a*, a medida que a concentração de Cd aumentava em comparação com o tratamento controle. Entretanto, na nona semana foi observado um aumento da concentração da clorofila *a* nos tratamentos 0.01 e 0.05 g/L de Cd (Figura 2 A). Em relação ao Cr, observou-se que a clorofila *a* aumentou significativamente para todos os tratamentos comparativamente ao tratamento controle. Na nona semana foi observado um aumento significativo no tratamento 0.002g/L (figura 2 B).

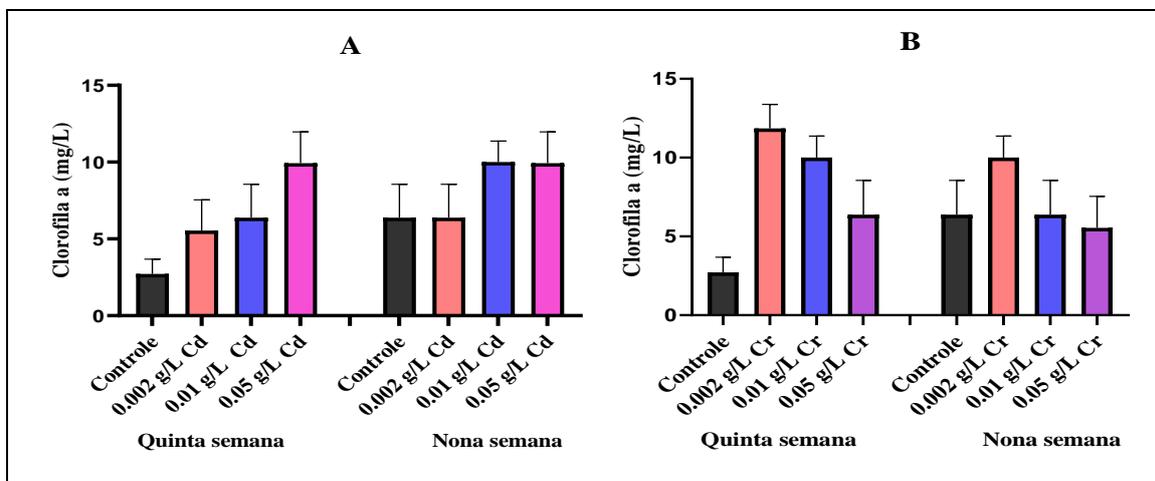


Figura 2: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de clorofila *a* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Para o Cd, o teste Anova *One Way*, revelou diferenças significativas na concentração de clorofila *a* para a quinta semana  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ) e nona semana  $p=0.000086$  ( $p<0,05$ ) e o teste estatístico Tukey, revelou que os tratamentos 0.05g/L e 0.002g/L apresentaram valores significativamente mais elevados. Em relação ao Cr, o teste Anova *One Way*, revelou diferenças significativas na concentração de clorofila *a* entre a quinta  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ) e nona semanas  $p=0.000146$  ( $p<0,05$ ) e o teste estatístico Tukey, comparou as médias entre os tratamentos e revelou que o tratamento 0.002g/L apresentou valor significativamente elevado que os outros tratamentos para a quinta e nona semanas (figura 2 A e B).

### 7.2.2. Efeito do cádmio e crómio na concentração da clorofila *b*

Na quinta semana, foi observado um aumento da concentração de clorofila *b*, a medida que a concentração de Cd aumentava. Entretanto, para o Cr, na quinta semana observou-se que a clorofila *b* aumentou a medida que a concentração de Cd aumentava, porém na nona semana a clorofila *b* aumentou no tratamento 0.002 g/L e reduziu até a concentração mais baixa no tratamento 0.05 g/L, comparativamente ao tratamento controle (figura 3 A e B).

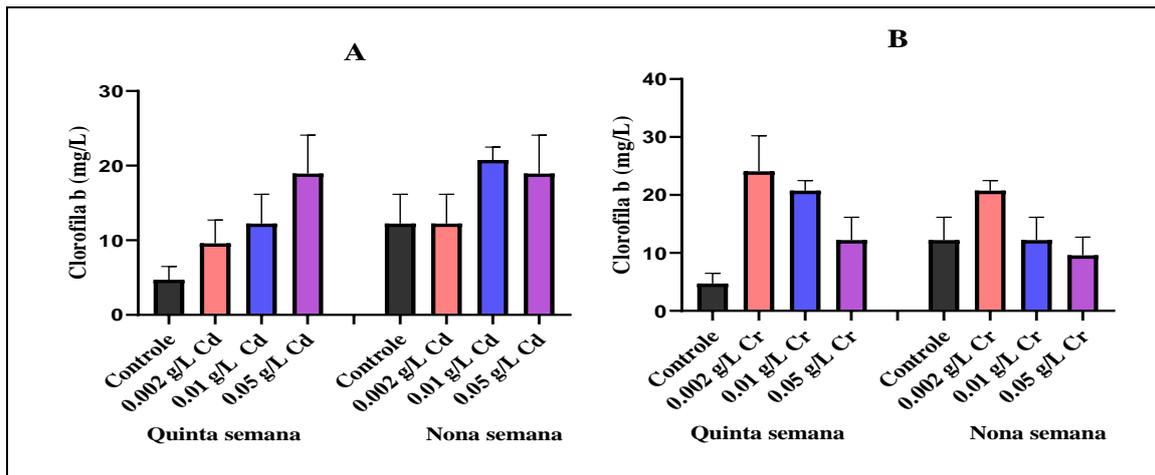


Figura 3: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de clorofila *b* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Para o Cd, o teste Anova *One Way*, revelou diferenças significativas na concentração de clorofila *b* para a quinta  $p=0.000023$  ( $p<0,05$ ) e nona semana  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ). O teste Tukey revelou que os tratamentos 0.05g/L e 0.01g/L apresentaram valores significativamente mais elevados em relação aos outros tratamentos na quinta e nona semanas, respectivamente. Em relação ao Cr, o teste Anova *One Way*, revelou diferenças significativas na concentração de clorofila *b* para a quinta  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ) e nona semanas  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ), sendo que o teste Tukey, revelou que o tratamento 0.002g/L apresentou valor significativamente elevado em relação aos restantes tratamentos na quinta e nona semanas (figura 3 A e B).

### 7.2.3. Efeito do cádmio e crómio na concentração da feofitinas *a*

Na quinta semana, foi observado um aumento da concentração de feofitinas *a*, a medida que a concentração de Cd aumentava. Na nona semana foi observado o aumento da concentração da feofitinas *a* nos tratamentos 0.01 e 0.05 g/L (figura 4 A). E quanto ao Cr, na quinta semana foi observado que a concentração de feofitinas *a*, aumentou a medida que a concentração de Cd aumentava, porém na nona semana aumentou no tratamento 0.002 g/L e reduziu até a concentração mais baixa no tratamento 0.05 g/L, comparativamente ao tratamento controle (figura 4 B).

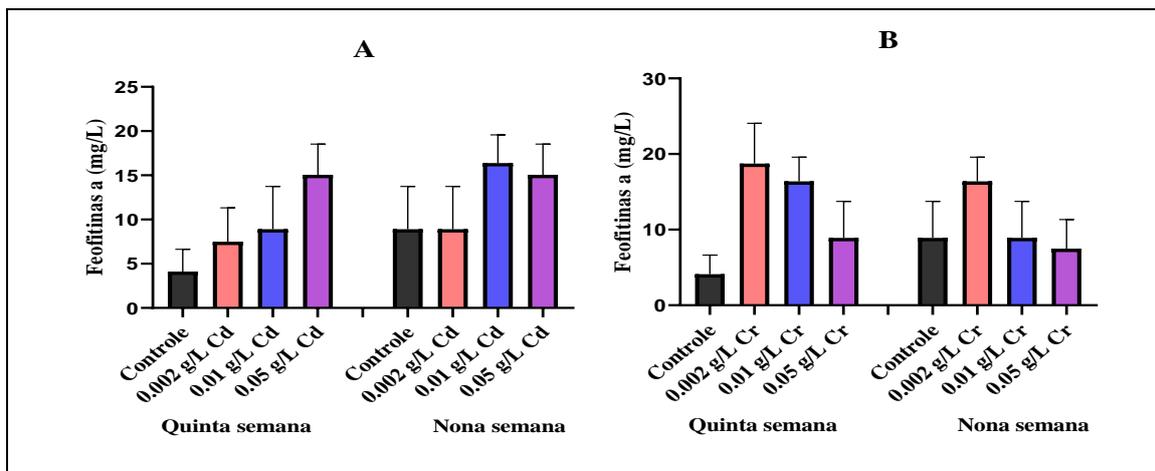


Figura 4: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de feofitina *a* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

Para o Cd, o teste Kruskal-Wallis, revelou diferenças significativas na concentração de feofitinas *a*,  $p=0.0002$  ( $p<0,05$ ),  $p=0.0017$  ( $p<0,05$ ) para a quinta e nona semanas respectivamente. O teste estatístico Tukey, revelou que os tratamentos 0.05g/L e 0.01g/L apresentaram valores significativamente elevados em relação aos outros tratamentos para a quinta e nona semana, respectivamente. Em relação ao Cr, o teste Anova *One Way*, revelou diferenças significativas na concentração de feofitinas *a* para a quinta semana  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ). E para a nona semana o teste Kruskal-Wallis, revelou diferenças significativas na concentração de feofitinas *a*,  $p=0.0030$  ( $p<0,05$ ). O teste estatístico Tukey, revelou que o tratamento 0.002g/L apresentou valor significativamente elevado em relação aos outros tratamentos para a quinta e nona semana (figura 3 A e B).

#### 7.2.4. Efeito do cádmio e crómio na concentração de feofitinas *b*

Houve uma tendência de aumento da concentração de feofitinas *b*, a medida que a concentração de Cd aumentava na quinta semana. Na nona semana, os tratamentos 0.01g/L e 0.05g/L de Cd tiveram maiores concentrações de feofitinas *b* comparativamente aos outros tratamentos (figura 5 A). Em relação ao Cr, na quinta semana, observou-se que a concentração de feofitinas *b* aumentou a medida que a concentração de Cd aumentava, porém, na nona semana aumentou no tratamento 0.002 g/L e reduziu até a concentração mais baixa no tratamento 0.05 g/L, comparativamente ao tratamento controle (figura 5 B).

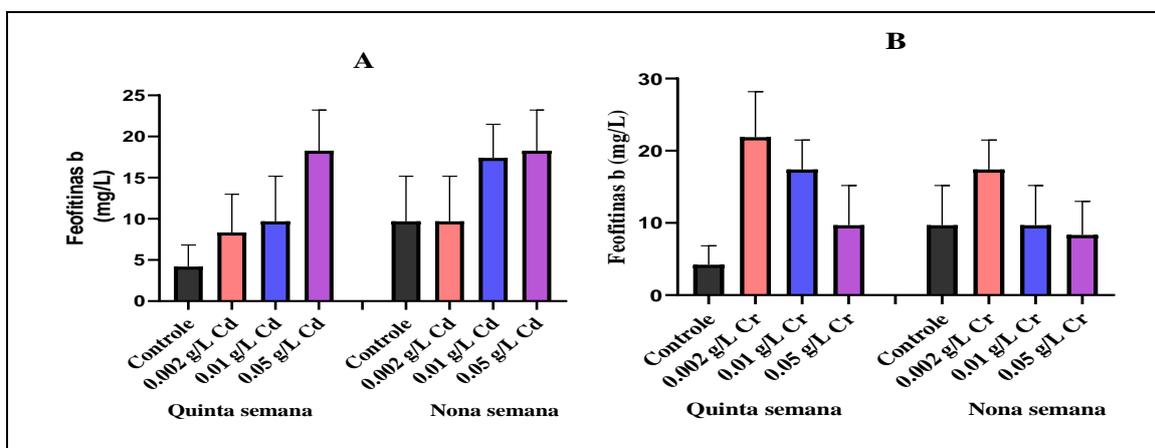


Figura 5: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de feofitinas *b* ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

O teste Kruskal-Wallis, revelou diferenças significativas na concentração de feofitinas *b*,  $p=0.0002$  ( $p<0,05$ ),  $p=0.0026$  ( $p<0,05$ ) para a quinta e nona semanas, respectivamente. O teste estatístico Tukey, revelou que o tratamento 0.05g/L apresentou valor significativamente mais elevado em relação aos outros tratamentos entre a quinta e nona semanas (figura 5 A). Para o Cr, o teste Kruskal-Wallis, revelou diferenças significativas na concentração de feofitinas *b*,  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ),  $p=0.0050$  ( $p<0,05$ ) entre a quinta e nona semanas respectivamente. O teste estatístico Tukey, e revelou que o tratamento 0.002g/L apresentou valor significativamente mais elevado em relação aos outros tratamentos para a quinta e nona semanas (figura 5 B).

### 7.2.5. Efeito do cádmio e crómio na concentração de caratenóides

Na quinta semana, observou-se um aumento da concentração de caratenóides, a medida que a concentração de Cd aumentava (figura 6 A). Em relação ao Cr, os caratenóides reduziram a medida que a concentração de Cr aumentava e o tratamento com 0.05 g/L de Cr apresentou menor concentração de caratenóides (figura 6 B).

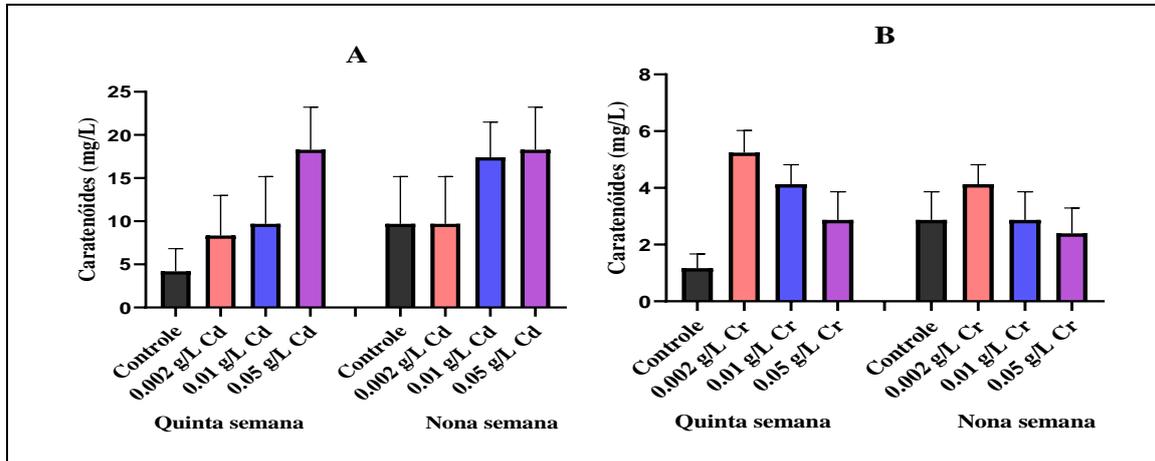


Figura 6: Efeito de cádmio (A) e de crómio (B) na concentração de carotenóides ao longo da experiência. Cada barra representa a média de 9 plantas  $\pm$  desvio padrão.

O teste Kruskal-Wallis, revelou diferenças significativas na concentração de caratenóides,  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ),  $p=0.001939$  ( $p<0,05$ ) para a quinta e nona semanas respectivamente e o teste estatístico Tukey revelou que o tratamento 0.05g/L apresentou valor significativamente mais elevado em relação aos outros tratamentos para a quinta e nona semana (figura 6 A). Em relação ao Cr, o teste Anova *One Way*, revelou diferenças significativas na concentração de caratenóides,  $p=0.001999$  ( $p<0,05$ ),  $p=0.0000$  ( $p<0,05$ ) entre a quinta e nona semanas respectivamente e o teste estatístico Tukey revelou que o tratamento 0.002g/L apresentou valor significativamente mais elevado em relação aos outros tratamentos para a quinta e nona semanas (figura 6 B).

## 8. Discussão

### 8.1. Efeito do cádmio na concentração dos pigmentos fotossintéticos

#### 8.1.1. Efeito do cádmio na concentração de clorofila *a* e *b*

Foi observado na quinta semana que o Cd causou o aumento da concentração de clorofila *a* e *b* a medida que a concentração de Cd aumentava comparativamente ao tratamento controle, com valores significativamente maiores no tratamento 0,05 g/l de Cd em relação aos outros tratamentos. O teste estatístico revelou diferenças significativas entre as concentrações nos tratamentos (controle, 0,002 g/l de Cd, 0,01 g/l de Cd e 0,05 g/l de Cd). Este aumento significativo da clorofila, demonstra que o cádmio influenciou positivamente. Este resultado não vai de acordo com Asati *et al.*, (2016), que afirma que o cádmio promove inibição da Fe redutase na raiz, levando a deficiência de Fe e por conseguinte afectando a fotossíntese e que esse elemento induz a peroxidação lipídica e distúrbios nos cloroplastos, inibindo a síntese de clorofila e reduzindo a actividade da enzima Rubisco. Diegues, *et al.*, (2017), num estudo sobre Influência de concentrações tóxicas de cádmio na composição de pigmentos fotossintéticos em *Brachiaria decumbens*, observou uma redução nos teores de clorofila *a* e *b* e também nos teores de clorofila total, quando as plantas foram submetidas à maior dose de contaminação com Cd. Entretanto, Júnior (2019), num estudo sobre potencial fitorremediador de *Paspalum densum* em ambiente com excesso de ferro contaminado por metais pesados, observou que a exposição das plantas ao tratamento com Cd resultou apenas numa redução não significativa de 6,63% entre as médias dos tratamentos de 0 e 20 mg/L e redução significativa de 26,91% entre as médias dos tratamentos de 0 e 40 mg/L de Cd. Indicando que somente concentrações bastante elevadas de Cd podem afectar os índices de clorofila em *P. densum*. Por outro lado esta redução dos níveis de clorofila na maior dose de Cd pode se justificar pela sua acção inibidora sobre a cadeia transportadora de elétrons do cloroplasto ou pela deficiência de Fe e Mg induzida pelo Cd.

Na nona semana, os tratamentos 0.01g/L e 0.05g/L de Cd tiveram valores significativamente maiores comparativamente ao tratamento controle. O teste estatístico revelou diferenças significativas entre as concentrações nos tratamentos (controle, 0,002 g/l de Cd, 0,01 g/l de Cd e 0,05 g/l de Cd). Porém, Aduge (2019), num estudo sobre avaliação do potencial remediador de *Urochloa mosambicensis* em solos contaminados

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

com As, observou que as concentrações de 50mg/kg, 200 mg/kg, e 800mg/kg, o teor das clorofilas *a* e *b* nos tratamentos controlo e de 50mg/kg foi maior comparativamente aos outros tratamentos de 200mg/kg, e 800mg/kg. Por outro lado, Almeida, (2015), num estudo sobre parâmetros de crescimento, bioquímicos e ecofisiológicos em plantas de milho cultivadas em solos contaminados com Cd e Zn, observou que, as plantas de milho (*Zea mays*) apresentaram menores índices de clorofila em relação ao tratamento controle o que significa que o Cd influenciou negativamente.

**8.1.2. Efeito do cádmio na concentração de feofitinas *a* e *b***

A concentração de feofitinas *a* e *b* registou um aumento significativo à medida que a concentração de Cd aumentava na quinta semana. Na nona semana, os tratamentos 0.01g/L e 0.05 g/L de Cd tiveram concentrações de feofitinas *a* e *b* significativamente maiores comparativamente ao tratamento controle e foram encontradas diferenças significativas para quinta e nona semanas. Estes resultados vão de acordo com Ndimande, (2018) num estudo sobre avaliação do uso de *Cynodon dactylon* como fitorremediador de solos contaminados por fluoretos no parque Industrial de Bebeluane onde observou que a concentração de feofitinas *a* e *b* registou um aumento significativo à medida que a concentração de NaF aumentava, sendo que o tratamento 0,8 g/l de NaF apresentou maior concentração de feofitinas *a*, o menor valor foi registado no tratamento 0,4 g/l de NaF. Estes resultados são explicados por Bizzo (2015), que relata que o aumento significativo da concentração de feofitinas está relacionado com a conversão de clorofila em feofitinas e  $Mg^{2+}$  e que a substituição dos iões de  $Mg^{2+}$  nas moléculas dos pigmentos por certos metais, tais como Cu, Zn, Cd, Cr ou Hg têm sido observada em plantas expostas a metais, resultando em queda da taxa fotossintética. Por outro lado, estes resultados não vão de acordo com e Taiz *et al.*, (2017), que afirmam que os pigmentos fotossintéticos localizados nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos, absorvem a energia luminosa que é utilizada no processo fotossintético, e o acúmulo de metais pode reduzir a quantidade de pigmentos fotossintéticos.

**8.1.3. Efeito do cádmio na concentração de caratenóides**

A concentração de caratenóides registou um aumento significativo à medida que a concentração de Cd aumentava na quinta semana. Na nona semana, o tratamento 0.01g/L e 0.05 g/L de Cd tiveram valores significativamente elevados da concentração de caratenóides comparativamente ao tratamento controle e foram encontradas diferenças significativas para quinta e nona semanas. Estes resultados de aumento das

concentrações de caratenóides podem ser explicados pelo facto destes, terem funcionado como pigmentos auxiliares na absorção de diferentes comprimentos de onda, prevenindo danos a molécula de clorofila (Raven *et al.*, 2013). Estudos realizados por Dias *et al.*, (2020), mostraram que o teor de caratenóides varia muito entre as espécies e família. Além disso, a eficiência fotossintética está ligada ao teor dos pigmentos fotossintéticos de diferentes espécies de plantas, afectando o crescimento e influenciando na adaptação das diferentes espécies aos diversos ambientes.

## **8.2. Efeito do crómio na concentração dos pigmentos fotossintéticos**

### **8.2.1. Efeito do crómio na concentração de clorofila *a* e *b***

Foi verificado na quinta semana uma tendência de redução de clorofila *a* e *b*, a medida que a concentração de crómio aumentava. Na nona semana, o tratamento 0.002g/L de crómio teve valor significativamente elevado comparativamente aos outros tratamentos incluindo o tratamento controle. O tratamento 0.005g/L de crómio apresentou valores significativamente baixos de clorofila *a* e *b*. Estes resultados sugerem que a *Eragrostis ciliaris* tolera baixas concentrações de crómio e que quanto maior for a concentração do metal, menor será o índice de clorofila. Estes resultados estão de acordo com Júnior (2019), num estudo sobre potencial fitorremediador de *Paspalum densum* em ambiente com excesso de ferro contaminado por metais pesados em que observou uma diminuição significativa da clorofila, a partir da dose de 10mg/L de Cr em solução nutritiva, o que indica efeitos severos no processo fotoquímico. Da Silva (2021), num estudo sobre variabilidade espacial da comunidade vegetal e mecanismos de tolerância de espécies de plantas de cobertura do solo presentes em vinhedos com altos teores de cobre, avaliou a exposição das graminias *Paspalum plicatulum*, *Paspalum notatum*, *Cynodon dactylon*, *Axonopus affinis* e observou que altas concentrações de cobre reduziram a concentração de clorofilas. O declínio observado nos teores de clorofila pode ser resultante da redução do conteúdo de ferro (Fe) nos tecidos, da redução da eficiência de enzimas envolvidas na biossíntese de clorofilas e/ou da substituição do átomo de Mg por metais pesados no centro do tetrapirrol das moléculas de clorofila. Contrariamente a estes resultados, o que significa que algumas gramínias sob influência de determinados metais pesados causam um aumento da concentração de clorofilas, porém não foi verificado no presente estudo em *Eragrostis ciliaris* sob influência de Cr.

### **8.2.2. Efeito do crómio na concentração de feofitinas *a* e *b***

Na quinta semana, houve uma tendência de redução de feofitinas *a* e *b*, a medida que a concentração de Cr aumentava. O tratamento controle apresentou menor concentração de feofitinas *a* e *b*. Na nona semana, o tratamento 0.002g/L de Cr teve valor significativamente elevado comparativamente aos outros tratamentos. O tratamento 0.005g/L de Cr apresentou valores significativamente baixos de feofitinas *a* e *b*. Estes resultados vão de acordo com De Sousa, (2018), que observou que a inibição do crescimento, clorose, necrose e a taxa fotossintética, são usualmente, alguns dos sintomas visíveis característicos da toxicidade dos metais pesados. As plantas ao absorverem em excesso os diferentes metais pesados, sofrem alterações na actividade de enzimas que contém ferro, ligadas à fotossíntese, ao sistema de defesa antioxidante e à tolerância hídrica (Dos Santos, 2018). Por outro lado, Khalid, (2019), afirma que um dos sinais mais evidentes de efeitos fito-tóxicos de poluentes nas plantas é a redução do conteúdo dos pigmentos fotossintéticos, o que explica a redução da concentração de feofitinas sob influência de Cr neste estudo.

### **8.2.3. Efeito do crómio na concentração de caratenóides**

Na quinta semana, houve uma tendência de redução de caratenóides, a medida que a concentração de Cr aumentava. O tratamento controle apresentou menor concentração de caratenóides. Na nona semana, o tratamento 0.002g/L de Cr apresentou valor significativamente elevado comparativamente aos outros tratamentos incluindo o tratamento controle. O tratamento 0.005g/L de Cr apresentou valores significativamente baixos de caratenóides. Foram observadas diferenças significativas na quinta e nona semanas. Contrariamente, estes resultados não estão de acordo com Da Silva (2021), que avaliou a exposição de *Cynodon dactylon* e *Axonopus affinis* e observou que altas concentrações de cobre reduziram a concentração de caratenóides. Segundo Neverov, (2017), os caratenóides podem actuar como antioxidantes e varredores de espécies reactivas de oxigénio geradas sob condições de estresse por metais pesados, além disso, seu acúmulo nos tecidos foliares está relacionado à protecção do aparelho fotossintético contra radiações de alta energia. Contudo, os resultados encontrados no presente trabalho indicam que esse sistema de fotoproteção foi significativamente afectado.

## 9. Conclusão

A espécie vegetal *Eragrostis ciliaris* apresentou potencial como planta fitorremediadora para o Cd, na quinta semana, houve um aumento significativo de concentração de clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b*, e caratenóides, a medida que a concentração de Cd aumentava. Na nona semana os os tratamentos 0.01g/L e 0.05g/L de Cd apresentaram maiores valores em relação ao controle e o tratamento 0.002g/L de Cd apresentou valores baixos o que significa que o cádmio influenciou positivamente a *Eragrostis ciliaris*, comprovando a possibilidade do uso da *Eragrostis ciliaris* como espécie fitorremediadora para o Cd.

Em relação ao Cr na quinta semana, houve uma redução significativa de concentração de clorofila *a* e *b*, feofitinas *a* e *b*, e caratenóides, a medida que a concentração de Cr aumentava. Na nona semana, o tratamento 0.002g/L de Cr teve maiores valores comparativamente a outros tratamentos. O tratamento 0.005g/L de Cr apresentou valores baixos da concentração dos pigmentos e estes resultados foram significativos. Portanto, os resultados mostraram que quanto maior for a concentração de Cr, menor será a concentração dos pigmentos fotossintéticos em *Eragrostis ciliaris*. As respostas obtidas demonstraram haver danos significativos à planta mediante a absorção deste metal. Apesar de *Eragrostis ciliaris* interagir com o Cr com um comportamento de espécie hiperacumuladora, os efeitos gerados sobre a planta aparentemente a desqualifica como espécie fitorremediadora para o referido metal. Entretanto é necessário avaliar suas respostas em níveis de contaminação do solo com Cr, para melhor definição do uso da espécie como possível planta fitorremediadora.

### **10. Limitações**

Os custos elevados das análises químicas do solo não permitiram a análise química no presente estudo.

Os custos elevados para a aquisição dos metais não permitiram a contaminação de cádmio e crómio em concentrações elevadas.

A medição do teor de cádmio e crómio nas diferentes partes da planta de forma separada (raízes, caule e folhas), não foi possível devido a condição do laboratório e aos custos elevados.

### **11. Recomendações**

Recomenda-se a realização de estudos similares em maiores concentrações de cádmio e crómio comparativamente as concentrações usadas no presente estudo.

Recomenda-se que se, efectue um estudo similar e que se determine a concentração de cádmio e crómio nos tecidos da *Eragrostis ciliaris* e no solo para uma posterior análise de correlação.

Recomenda-se a realização de mais estudos de longo prazo, sobre o efeito de cádmio e crómio em plantas que ocorrem com maior abundância nas proximidades, com vista enriquecer o conhecimento existente sobre os danos causados ao ambiente pelas indústrias.

## 12. Referências bibliográficas

- Aduge M. A. (2019). *Avaliação do potencial remediador de Urochloa mosambicensis em Solos Contaminados com Arsênio*. Tese de licenciatura. 66pp. Maputo. Universidade Eduardo Mondlane;
- Almeida, L. G. (2015). *Parâmetros de crescimento, bioquímicos e ecofisiológicos em planas de milho cultivadas em solos multicontaminados com Cd e Zn*. 83pp. Tese de pós graduação. Lavras. Universidade de Federal de Lavras;
- Alves, L. B. M. (2018). *Potencial de fitorremediação por plantas de solo contaminado por metais tóxicos*. Tese de Mestrado. 66pp. Bragança, Escola Superior Agrária de Bragança;
- Almeida, R. (2018). *Fitoextração de metais pesados em solo contaminado por escória de minério de chumbo, no município de Santo Amaro – BA*. Tese de Mestrado. 119pp. Mangabeira. Faculdade Maria Milza;
- Antoniadis, V., S. M. Shaheen, H. J. Stark, R. Wennrich, E. Levizou, I. Merbach e J. Rinklebe (2021). *Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil*. Environment International, 146 (10): 6-23;
- Anwar, J; U. Shafique, M. Salman, W. Zaman, S. Anwar, J. M. Anzano (2009). *Removal of chromium (III) by using coal as adsorbent*. Journal of Hazardous Materials, v 171. 797 – 801;
- Asati, A., M. Pichhode e K. Nikhil (2016). *Effect of heavy metals on plants: An overview*. International Journal of Application or Innovation in Engineering e Management, 5(3): 56-66;
- Barbosa P. S. (2011). *Influência do cádmio em parâmetros bioquímicos e de crescimento de nabiças (Brassica rapa)*. Tese de mestrado. 80pp. Lisboa, Universidade técnica de Lisboa;
- Barbosa, B. M. G. (2014). *Fitorremediação de Solos Contaminados com Zn e Cr utilizando Arundo donax L*. Tese de Doutorado. 191pp. Lisboa, Universidade Nova de Lisboa;
- Bizzo, A. L. T. (2015). *Avaliações ecofisiológicas e estruturais em Eichhornia crassipes (Mart.) Solms submetida a Cr+3*. Tese de mestrado. 67pp. Darcy Ribeiro. Universidade Estadual do Norte Fluminense;

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

- Bizzaro, G. V., Meurer, E. J., Tatsch, F. R. P.(2008). Teor De Cádmi Em Fertilizantes Fosfatados Comercializados No Brasil. *Ciência Rural*, 38 (1): P. 247-250;
- Bomfim, N.C.P. (2020). *Crescimento, tolerância e potencial fitorremediador de Leucaena leucocephala em solo contaminado por cobre e ferro*. Tese de Mestrado. 73pp. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista;
- Camargo, A.C.M. (2020). *Análise da técnica de fitorremediação aplicada em áreas contaminadas por organoclorados*. Bacharel. 43pp. Santos, Universidade Federal de São Paulo;
- Caminho J. J. (2021). *Prospecção de plantas com potencial fitorremediador nos Parques Industriais da Matola e Beluluane e no Aterro Industrial de Mavoco*. Tese de licenciatura 60pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane;
- Da Silva I. C. B. (2021). *Variabilidade espacial da comunidade vegetal e mecanismos de tolerancia de especies de plantas de cobertura do solo presentes em vinhedos com altos teores de cobre*. Tese de doutoramento. 159pp. Santa Maria. Universidade de Santa Maria. RS.
- De Carvalho M., R. M. Moreira, K. D. Ribeiro, A. M. Almeida, (2017). *Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais, Brasil*. *Acta Bras* 1(3): 37-41pp.
- Di Cagno, R. (1999). *Effects of cadmium on growth of Helianthus annuus seedlings: physiological aspects*. *New Phytologist*, 14 (1): 65-71;
- De Souza, F. P., A. K. Nadiel, A. Beck, Q. E. G. Porazzi, M. J. Limana e J. N. Camera (2019). *Extração De Pigmentos Fotossintéticos Em Diferentes Espécies Vegetais*. XXIV seminário interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão. *Ciência e Tecnologia para a Transformação Social*. 4pp;
- De Souza, M. L. C. e L. L. Costa. (2018). *Estudo do crescimento e desenvolvimento da espécie Helianthus annuus em solos com presença de cromo*. Dissertação de Bacharel. 59pp. Capanema. Universidade Federal Rural da Amazônia;
- De Sousa, J. C. M. (2018). *Fitorremediação de cádmio por Khaya ivorensis a. chev. Modulações Ecofisiológicas e Bioquímicas*. 74pp. Tese de pós graduação. Belém. Universidade Federal Rural da Amazônia;

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

- De Souza M. R. F. (2010). *Fitorremediação de solo contaminado por Metais Pesados*. Tese de licenciatura. 30pp. Belo horizonte. Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix;
- De Lima G. M., T. F. Côrrea, A. de Faria Lima, M. H. Pontieri e R. A. A. Muñoz. (2013). *Estudo de fitorremediação de solos contaminados com cádmio e chumbo empregando plantas de amendoim (arachis hypogaea l.)* centro científico conhecer;
- Dias, L. A., P. H. A. M. Silveira, S. S. Omura, B. Garcia, R. E. V. de Oliveira e M. C. Pereira (2020). *Determinação de Teores de Clorofilas e Carotenoides em Alface, Rúcula e Cebolinha*. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research. 3 (4): 3100-3107;
- Diegues, J. P. P., D. H. Debarba., M. A. A. de Souza e A. M. dos Santos. (2017). *Influência de concentrações tóxicas de cádmio na composição de pigmentos fotossintéticos em Brachiaria decumbens*. Ciencia e Agrotecnologia. 35(6): 1039–1042;
- Ferreira, J.P.R., (2012). *Diversidade das Tribos Eragrostideae Stapf e Zoysae Benth (Poaceae – Chloridoideae) na Ilha de Santa Catarina, Brasil*. Trabalho de Tese de Bacharelato em Ciências Biológicas. 108pp. Brasil, Universidade Federal de Santa Catarina;
- Gajdos, E., L. Lévai, S. Veres, e B. Kovács (2012). *Effects of Biofertilizers on Maize and Sunflower Seedlings under Cadmium Stress*. Comm Soil Sci Plant Anal., 43: 272-279;
- Goettems, A. M. V. (2019). *Biossorção do cromo trivalente e hexavalente proveniente do curtume utilizando a microalga Scenedesmus sp.* 76pp. Tese de Mestrado. Toledo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná;
- Gonçalves, J. F., J. Maldaner, L. V. Rossato, L. A. Tabaldi, E. C. Skrebsky, J. G. Farias, D. A. Bisognin e F. T. Nicoloso (2009). *Crescimento in vitro de plântulas de batata em diferentes doses de cádmio*. Ciência Rural. Santa Maria. Brasil. 39 (9): 2625-2628.
- Júnior, W.V.A. (2019). *Mecanismo de tolerância em plantas jovens de Ucuúba (Viola surinamensis) expostas ao cádmio e potencial para fitoestabilização: respostas fisiológicas, bioquímicas, nutricional e de crescimento*. Tese de Doutorado. 107pp. Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia.

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

- Junior, R. T. B. (2019). *Potencial fitorremediador de Paspalum densusmem ambiente com excesso de ferro contaminado por metais pesados*. Dissertação de Magister Scientiae. 50pp. Minas gerais, Universidade Federal de Viçosa.
- Kavamura, V. N. e E. Esposito (2010). *Biotechnological strategies applied to the decontamination of soils polluted with heavy metals*. Biotechnology Advances. 28 (1): 61-69.
- Küster, M. C. T. (2018). Efeito do déficit hídrico na expressão de pigmentos fotossintéticos em *Physcomitrium acutifolium Broth.* (Funariaceae). Trabalho de conclusão do curso. 40pp. São Gabriel, Universidade Federal do Pampa.
- Leguizamo, M.A.O., W.D.F. Gómez, M.C.G. Sarmiento (2016). *Native herbaceous plant species with potential use in phytoremediation of heavy metals, spotlight on wetlands*.Chemosphere. 1-18.
- Leite M., E. P. V. Guajajara, S. Silva, W. L. da Silva e S. C. dos Santos (2018). *Fitorremediação de Solo Contaminado por Metais Pesados*.Cadernos de Prospecção – Salvador, v. 12, n. 2, p. 327-335.
- Liu, C. P., Shen, Z. G., Li, X. D. (2007). Accumulation and detoxification of cadmium in *Brassica pekinensis* and *B. chinensis*. *Biologia Plantarum*. 51 (1): 116-120;
- Lozi A. A. (2019). *Toxicidade comparada dos metais pesados, arsênio, cádmio, chumbo, cromo e níquel, sobre parâmetros reprodutivos de camundongos machos adultos após exposição aguda*. Tese de Mestrado. 77pp. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa;
- Machunguene Jr., M. (2024). *Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Uma análise aos mecanismos de tolerância à toxicidade em plantas alimentares*. Tese de Mestrado, Maputo. Universidade Eduardo Mondlane (Em edição);
- Martins, L.L., Mourato, M. P., Cardoso, A. I., Pinto, A. P., Mota, A. M., Gonçalves, M. L., Varennes, A. (2011). *Oxidative stress induced by cadmium in Nicotiana tabacum L.: effects on growth parameters, oxidative damage and antioxidant responses in different plant parts*. *Acta Physiol Plant*;
- Ndimande T. E. (2018). *Avaliação do uso de Cynodon dactylon como fitorremediador de solos contaminados por fluoretos no parque Industrial de*

*Beleluane*. Tese de licenciatura 73pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane;

- Oliveira, D. M., D. V. C. Cara., P. G. Xavier., M. S. Paula., L. G. S. Sobral., R. B. Lima e A. Loureiro. (2007). *Série Tecnologia Ambiental Fitorremediação: O Estado da Arte*. CETEM/ MCT, Rio de Janeiro, 39 (2): 50-53;
- Pereira, P.F., Antunes, F., Braga, V.F., Resende, C.F., Ribeiro, C. E Peixoto, P.H.P. (2012). *Pigmentos Lipossolúveis E Hidrossolúveis Em Plantas De Salvinia Sob Toxicidade Por Cromo*. Planta Daninha, Viçosa-MG, 30 (4); 397-703;
- Pessoa, J. (2020). *Pigmentos Naturais de origem vegetal: Clorofila, Antocianinas e Betalaínas alterações e benefícios*. Trabalho de conclusão do curso. 43pp. Paraíba, Universidade Federal da Paraíba;
- Prado, C. et al. (2010). *Uptake of chromium by Salvinia minima: effect on plant growth, leaf respiration and carbohydrate metabolism*. J. Hazard. Mater., 177 (1-3): 546-553;
- Rai, V., Vajpayee, P., Singh, S.N., Mehrotra, S. (2004). *Effect of chromium accumulation on photosynthetic pigments, oxidative stress defense system, nitrate reduction, proline level and eugenol content of Ocimum tenuiflorum L.* – *Plant Science*, 167: 1159-1169.
- Raven R. F., S.E. Eichhorn. e W.H. Freeman (2013). *Biology of plants*, 8th, edn. 900pp. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan S. A;
- Rodrigues, R.M. (2016). *Fitorremediação por meio de plantas ornamentais para recuperação de áreas urbanas contaminadas com chumbo*. Tese Pós-Graduação. 57pp. Maringá, Centro Universitário de Maringá;
- Sangaletti, P. (2019). *Fotoquímica de pigmentos fotossintéticos: avaliação estrutural e do ambiente*. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Química, 91pp. Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina;
- Silva, T. J., F. Hanted, P. S. Tonello e D. Goveia (2019). *Fitorremediação de solos contaminados com metais: panorama actual e perspectivas de uso de espécies florestais*. *Rev. Virtual Quim*, 11 (1): 18-34;
- Sousa, J. S., Santos, M. M., Santos, B. N., Santos, N. M. M., e Pinto, L. C. (2021). *Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados*:

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

*Estratégias para redução deste Impacto Ambiental. Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(1), 322-331;

- Sousa, V. F. de O. e Dos Santos, G. L. (2018). *Elemento Cromo Na Nutrição Mineral De Plantas*. Revista Da Universidade Vale Do Rio Verde Vol. 16
- Sousa, Í. D. (2018). *Fitorremediação: contribuição científica brasileira no contexto nacional e internacional*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação), 48 pp. Rio Verde. Instituto Federal Goiano;
- Sumalgy, D. M. F. (2011). *Estimativa de riscos decorrentes de resíduos tóxicos no Parque Industrial da Matola*. Dissertação de Mestrado. 82pp. Coimbra, Universidade de Coimbra;
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., e Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora;
- Tavares, M. S., Sausen, D., Schorr, M. R. W., e Marques, A. C. R. (2020). *Estresse por ferro nas plantas: uma revisão de literatura*. Brazilian Journal of Development, 6(5), 28825-35;
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. (2005). *Ecological soil screening levels for chromium*. Washington: EPA;
- Vasconcelos, M. C., D. Pagliuso e V. S. Sotomaior (2012). *Fitorremediação: Uma Proposta de Descontaminação do Solo*, 34 (83): 261-267;
- Vieira, L. R., Corrêa, E. S., Moraes, B. S., Rossato, M. V., e Vestena. S. (2015). *Toxicidade de cádmio em plantas*. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, 19. 1574-1588;
- Vyacheslav V. K. (2003). *Descoberta da função feofitina na conversão de energia fotossintética como o aceitador de elétrons primário de Photosystem II*, *Photosynthesis Research*, 76, (1-3), 247-253;
- Zeman, C., Rich, M.; Rose, J. (2006). *World Water Resources: Trends, Challenges, and Solutions*. Reviews in Environmental and Science Bio/Technology, V. 5, P. 333-346.

### 13. Anexos

#### 13.1. Anexo 1. Resultados estatísticos para o cádmio referentes a primeira colheita

- **Clorofila a**

**Tabela 1.** Teste de normalidade da Clorofila a

<i>Normalidade</i>
Clorofila a: SW-W = 0.9576, p = 0.1808

**Tabela 2.** Output de dados da estatística descritiva da clorofila a

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Clorofila a - Means	Clorofila a - N	Clorofila a - Std.Dev.
Cd 00.02	5.540000	9	2.002392
Cd 0.01	6.377778	9	2.178175
Cd 0.05	9.933333	9	2.037155
Controle	2.722222	9	0.956266
All Grps	6.143333	36	3.157447

**Tabela 3.** Output da análise da variância da clorofila a

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	P
<b>Clorofila a</b>	238.3837	3	79.46123	110.5477	32	3.454616	23.00147	0.00000

- **Clorofila b**

**Tabela 4.** Teste de normalidade da Clorofila b

<i>Normalidade</i>
Clorofila b: SW-W = 0.9496, p = 0.1013

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crômio usando parâmetros bioquímicos

**Tabela 5.** Output de dados da estatística descritiva da clorofila *b*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Clorofila b - Means	Clorofila b - N	Clorofila b - Std.Dev.
Cd 00.02	9.58889	9	3.123878
Cd 0.01	12.23333	9	3.927467
Cd 0.05	18.93333	9	5.157034
Controle	4.71111	9	1.777248
All Grps	11.36667	36	6.298889

**Tabela 6.** Output da análise da variância da clorofila *b*

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	P
<b>Clorofila b</b>	949.1622	3	316.3874	439.4978	32	13.73431	23.03629	0.000000

- Caratenoides

**Tabela 7.** Teste de normalidade de caratenoides

<i>Normalidade</i>
Carotenoides: SW-W = 0.9589, p = 0.1983

**Tabela 8.** Output de dados da estatística descritiva de caratemoides

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Carotenoides - Means	Carotenoides - N	Carotenoides - Std.Dev.
Cd 00.02	2.400000	9	0.890225
Cd 0.01	2.866667	9	0.994987
Cd 0.05	4.144444	9	0.830830
Controle	1.166667	9	0.500000
All Grps	2.644444	36	1.338110

**Tabela 9.** Output da análise da variância de caratenoides

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS -	df -	MS -	SS -	df -	MS -	F	P

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

	<b>Effect</b>	<b>Effect</b>	<b>Effect</b>	<b>Error</b>	<b>Error</b>	<b>Error</b>		
<b>Carotenoides</b>	40.88667	3	13.62889	21.78222	32	0.680694	20.02204	0.000000

- **Feofitina a**

**Tabela 10.** Teste de normalidade da feofitina a

<b>Normalidade</b>
Feofitina a: SW-W = 0.9151, p = 0.0091

**Tabela 11.** Output de dados da estatística descritiva da feofitina a

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Feofitina a - Means	Feofitina a - N	Feofitina a - Std.Dev.
Cd 00.02	7.48889	9	3.841368
Cd 0.01	8.91111	9	4.830488
Cd 0.05	15.04444	9	3.478186
Controle	4.11111	9	2.521629
All Grps	8.88889	36	5.389078

**Tabela 12.** Output do teste de Kruskal-Wallis da feofitina a

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Feofitina a (Spreadsheet14) Independent (grouping) variable: Tratamento Kruskal-Wallis test: H ( 3, N= 36) =20.04593 p =.0002				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
<b>Cd 00.02</b>	101	9	146.0000	16.22222
<b>Cd 0.01</b>	102	9	179.0000	19.88889
<b>Cd 0.05</b>	103	9	269.0000	29.88889
<b>Controle</b>	104	9	72.0000	8.00000

- **Feofitina b**

**Tabela 13.** Teste de normalidade da feofitina b

<b>Normalidade</b>
Feofitina b: SW-W = 0.888, p = 0.0016

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

**Tabela 14.** Output de dados da estatística descritiva da feofitina***b***

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Feofitina b - Means	Feofitina b – N	Feofitina b - Std.Dev.
Cd 00.02	8.34444	9	4.652717
Cd 0.01	9.68889	9	5.487359
Cd 0.05	18.28889	9	4.928601
Controle	4.20000	9	2.632964
All Grps	10.13056	36	6.782112

**Tabela 15.** Output do teste de Kruskal-Wallis da feofitina *b*

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Feofitina b (Spreadsheet14) Independent (grouping) variable: Tratamento Kruskal-Wallis test: $H(3, N=36) = 20.00207$ $p = .0002$				
	Code	Valid - N	Sum of – Ranks	Mean – Rank
<b>Cd 00.02</b>	101	9	154.0000	17.11111
<b>Cd 0.01</b>	102	9	177.5000	19.72222
<b>Cd 0.05</b>	103	9	266.5000	29.61111
<b>Controle</b>	104	9	68.0000	7.55556

13.2. **Anexo II.** Resultados estatísticos para o cádmio referentes a segunda colheita

- **Clorofila *a***

**Tabela 16.** Teste de normalidade da clorofila *a*

<i>Normalidade</i>
Clorofila a: SW-W = 0.9783, $p = 0.6864$

**Tabela 17.** Output de dados da estatística descritiva da clorofila *a*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Clorofila a - Means	Clorofila a – N	Clorofila a - Std.Dev.
Controle	6.37778	9	2.178175
Cd 00.02	6.37778	9	2.178175
Cd 0.01	10.00000	9	1.370219
Cd 0.05	9.93333	9	2.037155
All Grps	8.17222	36	2.619009

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

**Tabela 18.** Output da análise da variância de clorofila *a*

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	P
<b>Clorofila a</b>	115.9411	3	38.64704	124.1311	32	3.879097	9.962895	0.000086

- **Clorofila *b***

**Tabela 19.** Teste de normalidade da clorofila *b*

<i>Normalidade</i>
Clorofila b: SW-W = 0.981, p = 0.7774

**Tabela 20.** Output de dados da estatística descritiva da clorofila *b*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Clorofila b - Means	Clorofila b - N	Clorofila b - Std.Dev.
Controle	12.23333	9	3.927467
Cd 00.02	12.23333	9	3.927467
Cd 0.01	20.75556	9	1.741487
Cd 0.05	18.93333	9	5.157034
All Grps	16.03889	36	5.398745

**Tabela 21.** Output da análise da variância de clorofila *b*

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	P
<b>Clorofila b</b>	536.3033	3	178.7678	483.8222	32	15.11944	11.82370	0.000023

- **Caratenoides**

**Tabela 22.** Teste de normalidade de caratenoides

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crômio usando parâmetros bioquímicos

<b>Normalidade</b>
Carotenoides: SW-W = 0.9625, p = 0.2570

**Tabela 23.** Output de dados da estatística descritiva de caratenoides

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Carotenoides - Means	Carotenoides - N	Carotenoides - Std.Dev.
Controle	2.866667	9	0.994987
Cd 00.02	2.866667	9	0.994987
Cd 0.01	4.133333	9	0.683740
Cd 0.05	4.144444	9	0.830830
All Grps	3.502778	36	1.064622

**Tabela 24.** Output da análise da variância de caratenoides

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p
Carotenoides	14.56750	3	4.855833	25.10222	32	0.784444	6.190156	0.001939

- Feofitinas *a*

**Tabela 25.** Teste de normalidade da feofitina *a*

<b>Normalidade</b>
Feofitina a: SW-W = 0.912, p = 0.0074

**Tabela 26.** Output de dados da estatística descritiva de feofitina *a*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Feofitina a - Means	Feofitina a - N	Feofitina a - Std.Dev.
Controle	8.91111	9	4.830488
Cd 00.02	8.91111	9	4.830488
Cd 0.01	16.38889	9	3.187258
Cd 0.05	15.04444	9	3.478186
All Grps	12.31389	36	5.281675

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

**Tabela 27.** Output do teste de Kruskal-Wallis de feofitina *a*

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Feofitina a (Spreadsheet14) Independent (grouping) variable: TratamentoKruskal-Wallis test: H ( 3, N= 36) =15.09798 p =.0017				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
<b>Controle</b>	104	9	105.5000	11.72222
<b>Cd 00.02</b>	105	9	105.5000	11.72222
<b>Cd 0.01</b>	106	9	236.5000	26.27778
<b>Cd 0.05</b>	107	9	218.5000	24.27778

- **Feofitinas *b***

**Tabela 28.** Teste de normalidade da feofitina *b*

<i>Normalidade</i>
Feofitina b: SW-W = 0.8798, p = 0.0010

**Tabela 29.** Output de dados da estatística descritiva de feofitina *b*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Feofitina b - Means	Feofitina b - N	Feofitina b - Std.Dev.
Controle	9.68889	9	5.487359
Cd 00.02	9.68889	9	5.487359
Cd 0.01	17.41111	9	4.071377
Cd 0.05	18.28889	9	4.928601
All Grps	13.76944	36	6.350740

**Tabela 30.** Output do teste de Kruskal-Wallis de feofitina *b*

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Feofitina b (Spreadsheet14) Independent (grouping) variable: TratamentoKruskal-Wallis test: H ( 3, N= 36) =14.27112 p =.0026				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
<b>Controle</b>	104	9	107.0000	11.88889
<b>Cd 00.02</b>	105	9	107.0000	11.88889
<b>Cd 0.01</b>	106	9	220.0000	24.44444
<b>Cd 0.05</b>	107	9	232.0000	25.77778

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

**13.3. Anexo III.** Resultados estatísticos para o crómio referentes a primeira colheita

- **Clorofila a**

**Tabela 31.** Teste de normalidade da clorofila a

<b>Normalidade</b>
Clorofila a: SW-W = 0.9351, p = 0.0359

**Tabela 32.** Output de dados da estatística descritiva de clorofila a

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Clorofila a - Means	Clorofila a - N	Clorofila a - Std.Dev.
Cr 0.002	11.85556	9	1.522425
Cr 0.01	10.00000	9	1.370219
Cr 0.05	6.37778	9	2.178175
Controle	2.72222	9	0.956266
All Grps	7.73889	36	3.856518

**Tabela 33.** Output da análise da variância da clorofila a

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	P
<b>Clorofila a</b>	<b>441.7122</b>	<b>3</b>	<b>147.2374</b>	<b>78.83333</b>	<b>32</b>	<b>2.463542</b>	<b>59.76656</b>	<b>0.00000</b>

- **Clorofila b**

**Tabela 34.** Teste de normalidade da clorofila b

<b>Normalidade</b>
Clorofila b: SW-W = 0.9515, p = 0.1167

**Tabela 35.** Output de dados da estatística descritiva de clorofila b.

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Clorofila b - Means	Clorofila b - N	Clorofila b - Std.Dev.
Cr 0.002	24.07778	9	6.153409

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crômio usando parâmetros bioquímicos

Cr 0.01	20.75556	9	1.741487
Cr 0.05	12.23333	9	3.927467
Controle	4.71111	9	1.777248
All Grps	15.44444	36	8.502384

**Tabela 36.** Output da análise da variância da clorofila *b*

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	P
<b>Clorofila b</b>	2054.322	3	684.7741	475.8467	32	14.87021	46.05007	0.00000

- **Carotenoides**

**Tabela 37.** Teste de normalidade de caratenoides

<i>Normalidade</i>
Caratenoides: SW-W = 0.9477, p = 0.0883

**Tabela 38.** Output de dados da estatística descritiva de caratenoides.

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Carotenoides - Means	Carotenoides - N	Carotenoides - Std.Dev.
Cr 0.002	5.244444	9	0.777996
Cr 0.01	4.133333	9	0.683740
Cr 0.05	2.866667	9	0.994987
Controle	1.166667	9	0.500000
All Grps	3.352778	36	1.701510

**Tabela 39.** Output da análise da variância de caratenoides

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p
<b>Carotenoides</b>	82.82750	3	27.60917	18.50222	32	0.578194	47.75066	0.00000

- **Feofitina a**

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crômio usando parâmetros bioquímicos

**Tabela 40.** Teste de normalidade de feofitinas *a*

<b>Normalidade</b>
Feofitina a: SW-W = 0.943, p = 0.0630

**Tabela 41.** Output de dados da estatística descritiva de feofitinas *a*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Feoftina a – Means	Feoftina a - N	Feoftina a - Std.Dev.
Cr 0.002	18.73333	9	5.316954
Cr 0.01	16.38889	9	3.187258
Cr 0.05	8.91111	9	4.830488
Controle	4.11111	9	2.521629
All Grps	12.03611	36	7.115984

**Tabela 42.** Output da análise da variância de feofitinas *a*

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS – Effect	df - Effect	MS - Effect	SS – Error	df – Error	MS – Error	F	p
<b>Feoftina a</b>	<b>1227.336</b>	<b>3</b>	<b>409.1121</b>	<b>544.9667</b>	<b>32</b>	<b>17.03021</b>	<b>24.02273</b>	<b>0.000000</b>

- **Feofitina b**

**Tabela 43.** Teste de normalidade de feofitinas *b*

<b>Normalidade</b>
Feofitina b: SW-W = 0.9359, p = 0.0380

**Tabela 44.** Output de dados da estatística descritiva de feofitinas *b*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Feofitina b - Means	Feofitina b - N	Feofitina b - Std.Dev.
Cr 0.002	21.90000	9	6.288482
Cr 0.01	17.41111	9	4.071377
Cr 0.05	9.68889	9	5.487359
Controle	4.20000	9	2.632964
All Grps	13.30000	36	8.325040

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

**Tabela 45.** Output do teste de Kruskal-Wallis de feofitinas *b*.

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Feofitina b (Spreadsheet14) Independent (grouping) variable: TratamentoKruskal-Wallis test: H ( 3, N= 36) =25.53789 p =.0000				
	Code	Valid – N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
<b>Cr 0.002</b>	101	9	260.5000	28.94444
<b>Cr 0.01</b>	102	9	220.0000	24.44444
<b>Cr 0.05</b>	103	9	131.0000	14.55556
<b>Controle</b>	104	9	54.5000	6.05556

### 13.4. Anexo IV. Resultados estatísticos para o crómio referentes a segunda colheita

- **Clorofila *a***

**Tabela 46.** Teste de normalidade da clorofila *a*

<i>Normalidade</i>
Clorofila a: SW-W = 0.9675, p = 0.3610

**Tabela 47.** Output de dados da estatística descritiva de clorofila *a*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Clorofila a - Means	Clorofila a – N	Clorofila a - Std.Dev.
Cr 0.002	10.00000	9	1.370219
Cr 0.01	6.37778	9	2.178175
Cr 0.05	5.54000	9	2.002392
Controle	6.37778	9	2.178175
All Grps	7.07389	36	2.563282

**Tabela 48.** Output da análise da variância da clorofila *a*

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS – Error	df – Error	MS - Error	F	p
<b>Clorofila a</b>	106.9567	3	35.65225	123.0077	32	3.843991	9.274800	0.000146

- **Clorofila *b***

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

**Tabela 49.** Teste de normalidade da clorofila *b*

<b>Normalidade</b>
Clorofila b: SW-W = 0.9528, p = 0.1279

**Tabela 50.** Output de dados da estatística descritiva de clorofila *b*

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)

Tratamento	Clorofila b - Means	Clorofila b - N	Clorofila b - Std.Dev.
Cr 0.002	20.75556	9	1.741487
Cr 0.01	12.23333	9	3.927467
Cr 0.05	9.58889	9	3.123878
Controle	12.23333	9	3.927467
All Grps	13.70278	36	5.313029

**Tabela 51.** Output da análise da variância da clorofila *b*

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at p < .05000

	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	p
<b>Clorofila b</b>	638.8586	3	212.9529	349.1311	32	10.91035	19.51843	0.000000

- **Caratenoides**

**Tabela 52.** Output de dados da estatística descritiva de caratenoides.

<b>Normalidade</b>
Caratenoides: SW-W = 0.9496, p = 0.1019

**Tabela 53.** Output de dados da estatística descritiva de caratenoides.

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)

Tratamento	Carotenoides - Means	Carotenoides - N	Carotenoides - Std.Dev.
Cr 0.002	4.133333	9	0.683740
Cr 0.01	2.866667	9	0.994987
Cr 0.05	2.400000	9	0.890225
Controle	2.866667	9	0.994987
All Grps	3.066667	36	1.080740

**Tabela 54.** Output da análise da variância de caratenoides

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmio e Crómio usando parâmetros bioquímicos

Analysis of Variance (Spreadsheet14) Marked effects are significant at $p < .05000$								
	SS - Effect	df - Effect	MS - Effect	SS - Error	df - Error	MS - Error	F	P
<b>Carotenoides</b>	14.96000	3	4.986667	25.92000	32	0.810000	6.156379	0.001999

- **Feofitinas a**

**Tabela 55.** Teste de normalidade de feofitinas a

<b>Normalidade</b>
Feofitina a: SW-W = 0.8804, $p = 0.0010$

**Tabela 56.** Output de dados da estatística descritiva de feofitinas a

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)			
Tratamento	Feofitina a - Means	Feofitina a - N	Feofitina a - Std.Dev.
Cr 0.002	16.38889	9	3.187258
Cr 0.01	8.91111	9	4.830488
Cr 0.05	7.48889	9	3.841368
Controle	8.91111	9	4.830488
All Grps	10.42500	36	5.376158

**Tabela 57.** Output do teste de Kruskal-Wallis de feofitina a

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Feofitina a (Spreadsheet14) Independent (grouping) variable: Tratamento Kruskal-Wallis test: $H(3, N=36) = 13.93456$ $p = .0030$				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
<b>Cr 0.002</b>	101	9	266.0000	29.55556
<b>Cr 0.01</b>	102	9	144.0000	16.00000
<b>Cr 0.05</b>	103	9	112.0000	12.44444
<b>Controle</b>	104	9	144.0000	16.00000

- **Feofitinas b**

**Tabela 58.** Teste de normalidade de feofitinas b

<b>Normalidade</b>
Feofitina b: SW-W = 0.8644, $p = 0.0004$

**Tabela 59.** Output de dados da estatística descritiva de feofitinas b

Avaliação do potencial de *Eragrostis ciliaris* como remediadora de solos contaminados por Cádmi e Crómio usando parâmetros bioquímicos

Breakdown Table of Descriptive Statistics (Spreadsheet14) N=36 (No missing data in dep. var. list)

Tratamento	Feofitina b - Means	Feofitina b - N	Feofitina b - Std.Dev.
Cr 0.002	17.41111	9	4.071377
Cr 0.01	9.68889	9	5.487359
Cr 0.05	8.34444	9	4.652717
Controle	9.68889	9	5.487359
All Grps	11.28333	36	5.973776

**Tabela 60.** Output do teste de Kruskal-Wallis de feofitina *b*

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Feofitina b (Spreadsheet14) Independent (grouping) variable: Tratamento  
Kruskal-Wallis test:  $H(3, N=36) = 12.84586$   $p = .0050$

	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
<b>Cr 0.002</b>	101	9	263.0000	29.22222
<b>Cr 0.01</b>	102	9	142.5000	15.83333
<b>Cr 0.05</b>	103	9	118.0000	13.11111
<b>Controle</b>	104	9	142.5000	15.83333