



FOTOSSÍNTESE DE *Typha domingensis* Pers. CULTIVADA EM RESÍDUO DE MINERAÇÃO DE FERRO SOB ALAGAMENTO

Kauê Shindi Dias Nakamura¹

Marcelo Ramos de Anchieta²

Amanda Coletti Santolino³

Vitor Hugo Silva Ribeiro⁴

Carlos Henrique Goulart dos Reis⁵

Fabricio José Pereira⁶

Reciclagem e Gerenciamento de Resíduos

Resumo

Em 2015, o Brasil registrou um dos maiores desastres ambientais já ocorridos com o rompimento da barragem do Fundão em Mariana-MG. Houve a contaminação de extensas áreas pelo resíduo de mineração de ferro que apresenta elementos potencialmente tóxicos. O presente trabalho teve por objetivo o efeito do alagamento e do tempo de exposição na toxicidade do resíduo de mineração de ferro para a atividade fotossintética da taboa (*Typha domingensis* Pers.) As plantas foram coletadas em Alfenas-MG e cultivadas em casa de vegetação durante 60 dias. Então, os clones gerados foram transplantados para baldes que continham dois litros de resíduo de mineração de Mariana-MG. Cada balde recebeu um indivíduo. Foram utilizados dois tratamentos: o resíduo em sua capacidade de campo e o resíduo alagado, cada qual com 18 repetições ($n=36$). As plantas foram cultivadas por 180 dias e a fotossíntese avaliada aos 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias. O experimento foi realizado em um esquema fatorial 2x6 e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste Scott-Knott ($P<0,05$) pelo o software Sisvar. Para a análise da fotossíntese foi utilizado IRGA modelo LI-6400XT. Não houve interação significativa entre os fatores, porém, houve diferença significativa promovida por ambos (alagamento e tempo de exposição). Maiores valores de fotossíntese foram obtidos nas plantas sob capacidade de campo, possivelmente pela menor disponibilidade dos metais pesados, e o tempo promoveu flutuação dos valores decorrente de mecanismos de adaptação da planta.

Palavras-chave: Trocas gasosas; Bioensaio; Taboa; metal pesado

¹Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência da Natureza, Bacharelado em Biotecnologia – Iniciação científica, kau.e.nakamura@sou.unifal-mg.edu.br

²Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência da Natureza, Bacharelado em Biotecnologia – Iniciação científica, marcelo.anchieta@sou.unifal-mg.edu.br

³Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência da Natureza, Bacharelado em Biotecnologia – Iniciação científica, amanda.santolino@sou.unifal-mg.edu.br

⁴Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência da Natureza, Bacharelado em Ciência da Biológicas – Iniciação científica, vitor.ribeiro@sou.unifal-mg.edu.br

⁵Universidade Federal de Lavras, Departamento de Biologia, Programa de Pós-graduação em Botânica – Mestrado, carlos-goulart-reis@outlook.com

⁶ Prof. Dr. Fabricio José Pereira, Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência da Natureza, fabricio.pereira@unifal-mg.edu.br

REALIZAÇÃO



INTRODUÇÃO

Com o avanço das atividades antrópicas, o meio ambiente tem sido cada vez mais impactado por diferentes agentes poluidores (Riaz et al., 2021). Nesse contexto, a mineração destaca-se como uma fonte significativa de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs) presentes nos resíduos (Aleksenko et al., 2018; Kamran et al., 2019). Em 2015, o rompimento da barragem do Fundão, em Mariana-MG, liberou mais de 55 milhões de metros cúbicos de resíduos de mineração de ferro, causando a degradação de uma vasta área ao longo de 670 km do Rio Doce (Sánchez et al., 2018). Diante disso, torna-se evidente a necessidade de buscar métodos eficazes de recuperação e desintoxicação ambiental. Para essa finalidade, a fitorremediação surge como uma alternativa economicamente e ambientalmente mais vantajosa e segura (Ansari et al., 2020).

A compreensão dos efeitos dos EPTs em ambientes alagados é fundamental, e, por essa razão, as macrófitas ganham destaque nesse cenário. Essas plantas aquáticas possuem mecanismos para lidar com a falta de oxigênio (Taiz et al., 2017). A espécie utilizada neste experimento foi *Typha domingensis* Pers., amplamente estudada por seu potencial fitorremediador em relação a elementos como cádmio, cromo, níquel, zinco, mercúrio, entre outros (Anning, Akoto, 2018; Compaore et al., 2020; Mexicano et al., 2013; Mufarrege et al., 2014; Pereira et al., 2015; Pereira et al., 2017).

A fotossíntese é um processo fisiológico vital para o crescimento das plantas, e interferências nesse processo podem causar estresse significativo (Taiz et al., 2017). As folhas, principais órgãos fotossintéticos, podem acumular EPTs, que inibem enzimas essenciais para a fotossíntese. Portanto, compreender os efeitos dos EPTs sobre a fotossíntese de macrófitas é crucial para o desenvolvimento de novos métodos de fitorremediação. Este trabalho tem como objetivo verificar o efeito do alagamento e do tempo na toxicidade do resíduo de mineração de ferro, analisando a atividade fotossintética da taboa (*Typha domingensis* Pers.).



METODOLOGIA

As plantas foram coletadas em Alfenas-MG e cultivadas em casa de vegetação durante 60 dias. Então, os clones gerados foram transplantados para baldes que continham dois litros de resíduo de mineração de Mariana-MG. Cada balde recebeu um indivíduo. Foram utilizados dois tratamentos: o resíduo em sua capacidade de campo e o resíduo alagado, cada qual com 18 repetições ($n=36$). As plantas foram cultivadas durante 180 dias e a análise da fotossíntese foi realizada a cada 30 dias. O experimento foi realizado em um esquema fatorial 2×6 e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$) pelo o software Sisvar. Para a análise da fotossíntese foi utilizado IRGA modelo LI-6400XT, (Li-Cor, Nebraska, EUA), que contém uma câmara de 6 cm^2 e fonte artificial de luz (6400-02 B Red Blue) fixada para $1000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre os fatores condição hídrica e tempo ($P > 0,05$). Porém, ambos os fatores influenciam na fotossíntese. As figuras 1 e 2 mostram a diferença significativa dos efeitos do tempo e da disponibilidade hídrica, respectivamente.

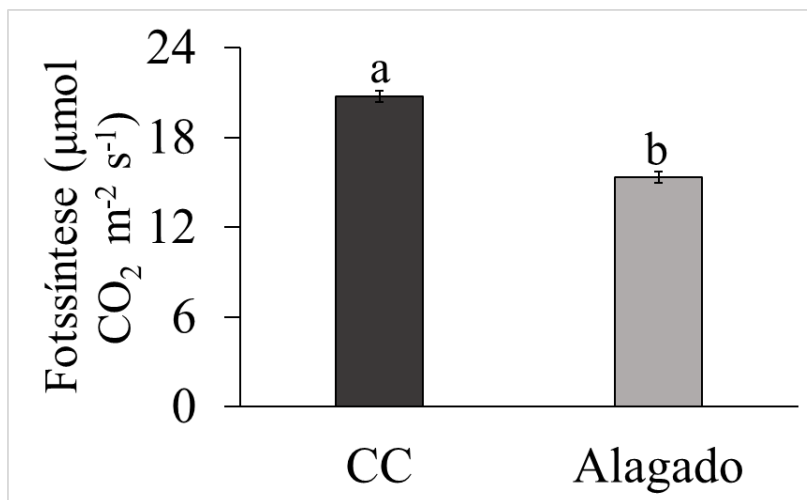


Figura 1: Fotossíntese da taboa (*T.domingensis*) em diferentes disponibilidades hídricas: capacidade de campo e alagado. As médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para $P < 0,05$. Barras = erro padrão.

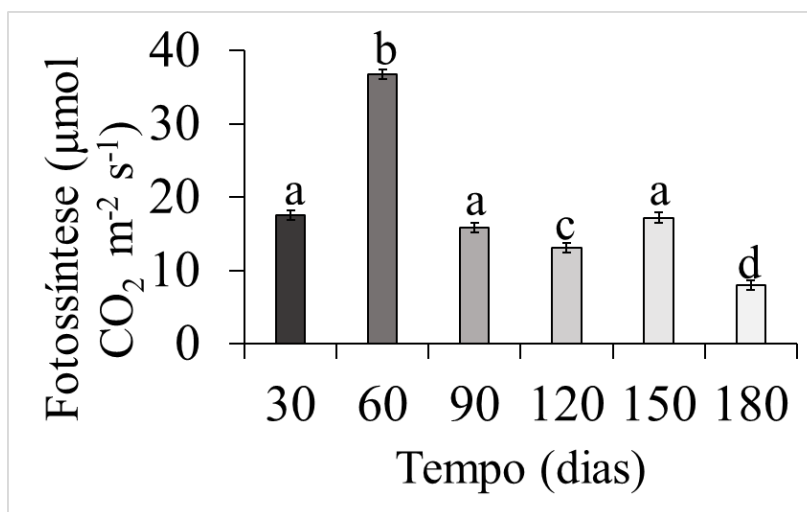


Figura 2: Fotossíntese da taboa (*T.domingensis*) cultivada sob diferentes disponibilidades hídricas em função do intervalo de tempo (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). As médias seguidas de mesma letra não se diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para $P < 0,05$. Barras = erro padrão.



A redução da fotossíntese em condições alagadas do resíduo de mineração possivelmente está relacionada à solubilização dos íons na água em condições de alagamento, o que aumenta a possibilidade de absorção pela planta (PONTING et al., 2021). Ao penetrar na célula, um dos primeiros efeitos fisiológicos causados pelos EPTs é a inativação de diversas enzimas citoplasmáticas, resultando na inibição de funções normais, rompimento da estrutura celular ou deslocamento de elementos essenciais, o que pode levar a sintomas de deficiência (Rodrigues et al., 2016).

De acordo com Souza et al. (2009) e Santos et al. (2011), no caso de metais como cádmio (Cd) e zinco (Zn), as raízes, por estarem em contato direto com esses metais, tendem a apresentar teores mais elevados. Assim, Cd e Zn podem se ligar às cargas negativas das paredes celulares das células das raízes e, posteriormente, serem transferidos ou translocados para a parte aérea da planta. Essa contaminação afeta diretamente a produção de clorofila, pigmento essencial para a captura da luz necessária à fotossíntese, pois inibe as enzimas responsáveis pela biossíntese de clorofila e aquelas envolvidas nos processos fotossintéticos.

Além disso, a presença de EPTs pode induzir a produção de Espécies Reativas de Oxigênio (EROs), que, em níveis elevados, causam estresse oxidativo. Esse estresse pode levar à oxidação de macromoléculas biológicas, como proteínas e DNA, e à peroxidação de lipídios nas membranas celulares. Esses danos resultam na inibição total ou parcial da fotossíntese, comprometendo a eficiência fotossintética e, conseqüentemente, o crescimento e a saúde da planta (Rodrigues et al., 2016).

Ademais, o fator tempo apresentou variações na taxa de fotossíntese, sendo que em 60 dias tem-se maior atividade e em 180 dias, a menor. Essas flutuações podem estar relacionadas aos métodos de adaptação da taboa. Em 60 dias, a planta pode ter ativado mecanismos de defesa e ajustado seu metabolismo, resultando em um aumento na taxa de fotossíntese. No entanto, conforme o tempo passa, os micro e os macro nutrientes diminuem e o acúmulo de toxinas podem começar a sobrecarregar os mecanismos de defesa da planta, levando à diminuição da taxa de fotossíntese observada em 90 e 120 dias. A leve recuperação em 150 dias pode indicar que a planta encontrou novas estratégias de adaptação ou redistribuição de recursos para lidar com o estresse. Isso pode incluir a ativação de mecanismos alternativos de detoxificação ou ajustes metabólicos. E por fim, a queda acentuada em 180 dias sugere que os mecanismos de adaptação da planta não foram mais suficientes para lidar com o



estresse contínuo. Isso pode ser devido ao esgotamento de recursos, danos acumulados, ou uma capacidade limitada de adaptação à longo prazo.

CONCLUSÕES

Não houve interação significativa entre os fatores condição hídrica e tempo para fotossíntese de *T. domingensis* cultivada em resíduo de mineração. Contudo, observou-se uma diferença significativa na taxa da fotossíntese, separadamente, para ambos os fatores. Os resultados indicam que os maiores valores de fotossíntese ocorreram no substrato em capacidade de campo, em comparação com o substrato alagado, possivelmente devido à menor disponibilidade de absorção de íons pela planta, o que leva a uma menor queda das atividades fotossintéticas. Além disso, ao longo dos 180 dias de experimento, a taboa apresentou variações nos níveis de fotossíntese, com um pico aos 60 dias e uma redução significativa aos 180 dias, sugerindo método de adaptação da espécie sob as condições impostas.

AGRADECIMENTOS

À CNPq, à FAPEMIG e à UNIFAL-MG.



REFERÊNCIAS

ALEKSSSENKO, V. A. et al. Environmental impact of disposal of coal mining wastes on soils and plants in Rostov Oblast, Russia. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 184, p. 261–270, 2018.

ANNING, A. K.; AKOTO, R. Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 97-104, 2018.

ANSARI, A. et al. Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. **The Egyptian Journal of Aquatic Research**, 2020.

COMPAORE, W. F.; DUMOULIN, A.; ROSSEAU, P. L. Metal uptake by spontaneously grown *Typha domingensis* and introduced *Chrysopogon zizanioides* in a constructed wetland treating gold mine tailing storage facility seepage. **Ecological Engineering**, v. 158, 2020.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. REVISTA BRASILEIRA DE BIOMETRIA, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: 10 feb. 2020. doi: <[HTTPS://DOI.ORG/10.28951/RBB.V37I4.450](https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450)>

KAMRAN, M., et al. An Overview of Hazardous Impacts of Soil Salinity in Crops, Tolerance Mechanisms, and Amelioration through Selenium Supplementation. **International Journal of Molecular Science**, v. 21, p. 1-27, 2019.

LI-6400XT Gas Analyzer Instruction Manual. Manual. Manual de instruções do analisadoresde gás LI-6400XT. Ago. 2024. Li-Cor. Disponível em <[HTTPS://WWW.LICOR.COM/ENV/SUPPORT/LI-6400/MANUALS.HTML](https://www.licor.com/env/support/li-6400/manuals.html)>

MEXICANO, L., et al. Vegetation dynamics in response to water inflow rates and fire in a brackish *Typha domingensis* Pers. marsh in the delta of the Colorado River, Mexico. **Ecological Engineering**, v. 59, p. 167- 175, 2013

MUFARREGE, M. M.; HADAD, H. R.; LUCA, D. A.; MAINE, M.A. Metal dynamics and tolerance of *Typha domingensis* exposed to high concentrations of Cr, Ni and Zn. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 105, p. 90-96, 2014.

PEREIRA, M. P.; CORRÊA, F. F.; CASTRO, E. M.; OLIVEIRA, J. P. V.; PEREIRA, F. J. Leaf ontogeny of *Schinus molle* L. plants under cadmium contamination: the meristematic origin of leaf structural changes. **Protoplasma**, v. 254, p. 2117-2126, 2017.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

PEREIRA, M. P.; RODRIGUES, L. C. A.; CORRÊA, F. F.; CASTRO, E. M.; RIBEIRO, V. E. R.; PEREIRA, F. J. Cadmium tolerance in *Schinus molle* trees is modulated by enhanced leaf anatomy and photosynthesis. **Trees** (Berlin. Print), v. 22, p. 163-170, 2015.

PONTING, J.; KELLY, T. J.; VERHOEF, A.; WATTS, M. J.; SIZMUR, T. The impact of increased flooding occurrence on the mobility of potentially toxic elements in floodplain soil – A review. **Science of The Total Environment**, v. 754, 2021.

RIAZ, M. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi-induced mitigation of heavy metal SEGURA, F. R. et al. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). **Environmental Pollution**, v. 218, p. 813-825, 2016.

Rodrigues, A. C. D.; Santos, A. M.; * Santos, F. S.; Pereira, A. C. C.; Sobrinho, N. M. B. A. Mecanismos de respostas das plantas à poluição por metais pesados: possibilidade de uso de macrófitas para remediação de ambientes aquáticos contaminados. **Revista virtual de química**, v. 8, n. 1, p. 262-276, 2016.

SÁNCHEZ, L. E.; ALGER, K.; ALONSO, L.; BARBOSA, F. A. R.; BRITO, M. C. W.; LAUREANO, F. V.; ...; KAKABADSE, Y. (2018). Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão. O caminho para uma mitigação sustentável e resiliente. Relatório Temático, (1º). Disponível em: <[HTTPS://WWW.FUNDAORENOVA.ORG/WP
CONTENT/UPLOADS/2020/04/OSIMPACTOSDOROMPIMENTODABARRAGEMDEFUNDAO.PDF](https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2020/04/OSIMPACTOSDOROMPIMENTODABARRAGEMDEFUNDAO.PDF)>

Santos, F. S., et al. Resposta antioxidante, formação de fitoquelatinas e composição de pigmentos fotoprotetores em *Brachiaria decumbens* Stapf submetida à contaminação com Cd e Zn. **Química Nova**, v. 34, n. 1, p. 16-20, 2011.

SOUZA, Vânia Lima et al. Efeitos do cádmio na anatomia e na fotossíntese de duas macrófitas aquáticas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, p. 343-354, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.