



FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM IMIDAZOLINONAS SOB ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE CO₂ ATMOSFÉRICO

Izadora Rovel da Silveira; Mauricio Couto Files; Luis Antonio de Avila

*Universidade Federal de Pelotas – izadora.rovel@hotmail.com
Mauricio Couto Files - mauriciofiles@hotmail.com
Universidade Federal de Pelotas – laavilabr@gmail.com*

1- INTRODUÇÃO

A elevação da concentração de CO₂ atmosférico, causadas pelas ações antrópicas, têm grandes impactos na fisiologia das plantas, alterando seu crescimento e as concentrações de compostos fenólicos, aminoácidos e ácidos orgânicos que podem modificar a comunidade microbiana do solo via exsudação radicular (Lavola et al., 2013; Yadav et al., 2019).

Entre os benefícios do aumento da atividade microbiana, destaca-se a degradação de herbicidas no solo. Essa prática de remediação, conhecida como biorremediação, é fundamentada nas atividades biodegradativas dos microrganismos e plantas (Melo et al., 2001). Entre as técnicas de biorremediação para dissipar compostos tóxicos do solo, a fitorremediação tem demonstrado ser uma técnica eficiente (Aguiar et al., 2020).

Os herbicidas do grupo químico das imidazolinonas são amplamente utilizados em áreas de arroz irrigado no Brasil no sistema Clearfield® (CL). Esse sistema de produção de arroz irrigado foi desenvolvido para o controle de arroz daninho com herbicidas do grupo das imidazolinonas, em especial o herbicida Kifix® (mistura de imazapir e imazapique; 525 + 175 g i.a. kg⁻¹) em cultivares resistente à esses herbicidas (Marchesan et al., 2011; Durand-Morat et al. 2018). Contudo, os herbicidas imazapir e imazapique apresentam alta persistência no solo, com meia-vida média de 142 e 120 dias, respectivamente (Shaner, 2014).

Diante do exposto, considerando que a degradação microbiana é o principal mecanismo de dissipação dos herbicidas imazapir e imazapique no ambiente. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre a degradação dos herbicidas no solo. Tendo como hipótese o estímulo do metabolismo das plantas de azevém e trevo persa e, conseqüentemente, o aumento do aporte de carbono e a exsudação radicular; O aumento da concentração de CO₂ afeta as interações da rizosfera com os microrganismos benéficos do solo, culminando na degradação dos herbicidas imazapir e imazapique; O nível de contaminação do solo altera a capacidade fitorremediadora microbiana sob CO₂ elevado.

2. METODOLOGIA

Os experimentos foram conduzidos em duas etapas. A primeira etapa ocorreu em condição de campo no período de primavera-verão, no Centro Agropecuário da Palma (CAP), pertencente à Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Realizou-se a semeadura de arroz irrigado, cultivar IRGA 424 RI, e aplicou-se os tratamentos com herbicidas imidazolinonas para contaminar o solo. Ao final do ciclo do arroz irrigado, coletou-se o solo com os diferentes níveis de contaminação para a realização da etapa seguinte em câmara de topo aberto (OTC), pertencente ao Departamento de Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL/FAEM)

A segunda etapa do experimento ocorreu durante o período de outono-inverno subsequente. Realizou-se a semeadura das plantas de coberturas azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e trevo persa (*Trifolium resupinatum* L.) como fitorremediadoras em vasos com capacidade de 5 L.

O experimento em condição de campo foi conduzido em parcelas experimentais de 60 m² (3,0 x 20,0 m) para contaminação do solo com as doses descritas abaixo. Cada tratamento foi conduzido em uma parcela de 60 m² durante o período de primavera-verão.

O experimento em OTC foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 2x3x3, onde o fator A foi composto por duas concentrações de CO₂ atmosférico, 400 ppm (concentração atual) e 700 ppm (concentração elevada). As concentrações de CO₂ atmosféricas foram controladas automaticamente por um sistema baseado em sensores e um controlador central. O fator B foi composto pelas plantas de cobertura: azevém (*Lolium multiflorum* Lam.); trevo persa (*Trifolium resupinatum* L.) e pousio (sem cobertura vegetal). O fator C foi composto por três doses do herbicida Kifix® (imazapir + imazapique; 525 + 175 g i.a. kg⁻¹): 0, 98 e 196 g i.a. ha⁻¹ de forma sequencial. A primeira aplicação com as duas doses de contaminação (98 e 196 g i.a. ha⁻¹) ocorreu em pré-emergência e a segunda aplicação (98 e 196 g i.a. ha⁻¹) no estágio de três a quatro folhas (V3-V4).

Os tratamentos foram aplicados com pulverizador costal pressurizado por CO₂, equipado com barra munida de 4 pontas de pulverização de jato plano em leque, série 110-015, espaçadas em 50 cm, calibrado para aplicar um volume de calda de 150 L ha⁻¹.

A coleta das amostras de solo para determinação da concentração de imidazolinonas foi realizada em dois momentos. Antes da semeadura das plantas de coberturas e ao final do ciclo das plantas. Neste momento também coletou-se amostras para determinação da atividade das enzimas extracelulares como indicador da atividade microbiana nos solos. As coletas foram realizadas com auxílio de trado tipo rosca com 20 cm de comprimento. Foram coletadas 2 subamostras e após homogeneizadas compuseram uma amostra composta por cada unidade experimental.

As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 30±5°C por 3 dias. Posteriormente, o solo foi desestruturado, homogeneizado com auxílio de peneira 2 mm e armazenado sob refrigeração a 4°C até o momento da determinação da quantidade de herbicida remanescente no solo.

Para a realização dos procedimentos de extração, preparou-se a solução extratora de acetato de amônio 0,5 mol/L, ajustou-se o pH para 8,5 corrigido com hidróxido de amônio. Após o preparo da solução extratora, pesou-se 72 amostras, em tubos tipo falcon de 50 mL contendo 5g de solo. Adicionou-se 10 mL de solução extratora a cada amostra.

A homogeneização das amostras ocorreu em vórtex durante 1 minuto e foram sonicadas em banho de ultrassom por 15 minutos. Em seguida, as amostras foram agitadas em agitador por 24 horas em ambiente livre de luminosidade para

evitar fotodegradação. Após 24 horas no agitador as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm, durante sete minutos a uma temperatura de 10°C e 1,4 mL do sobrenadante foi transferido para microtubos de 1,5 ml, contendo 62,5 mg de PSA para realização da etapa de limpeza. As amostras em PSA foram homogeneizadas em vórtex por 1 minuto e centrifugadas a 3500 rpm por 5 minutos a temperatura de 10°C. O sobrenadante coletado foi filtrado através de um filtro de membrana para seringa (nylon, poro 0,22 µm) para vials de 1,5 mL. A seguir, ajustou-se com o uso de ácido clorídrico 0,6 mol/L (82 µl em 1 ml de extrato, solução extratora pH 8,5) para pH 3,0. As amostras foram homogeneizadas e injetadas no HPLC-MS/MS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de quantificação da concentração de imazapir no solo demonstraram maior remediação quando as plantas de coberturas foram conduzidas durante o período de outono-inverno, independente da concentração de CO₂ atmosférico ($p \leq 0,05$). As plantas de azevém e trevo persa, submetidas a 98 g i.a. ha⁻¹, alcançaram redução de 32,5 e 39,2 em relação a testemunha sem cultivo (pousio), respectivamente. Para dose de 196 g i.a. ha⁻¹ verificou-se redução de 22,4 e 29,9% relação a testemunha sem cultivo (pousio), respectivamente.

Para o herbicida imazapique constatou-se maior remediação quando se utilizou plantas de coberturas para ambas as doses de contaminação do solo, independente da concentração de CO₂ ($p \leq 0,05$). Quando foi conduzido plantas de trevo persa no outono-inverno, verificou-se os menores valores residuais da concentração de imazapique. Quando as plantas de trevo persa foram conduzidas sob a contaminação de 98 e 196 g i.a. ha⁻¹, aproximadamente 34 e 47,8% foi diminuído em relação a testemunha sem cultivo (pousio), respectivamente. Quando foi utilizado plantas de azevém, verificou-se redução de 19,8 e 25,26% em relação a testemunha sem cultivo (pousio) para a menor e para maior dose de contaminação, respectivamente;

Os resultados obtidos para concentração de imazetapir no solo demonstram maior degradação das moléculas quando utilizado plantas de cobertura, independente da concentração de CO₂ ($p \leq 0,05$). Observa-se que as plantas de azevém e trevo persa, submetidas a contaminação de 125 g i.a. ha⁻¹, proporcionaram redução de 14,84 e 16,26% em relação a testemunha sem cultivo (pousio). Para contaminação de 250 g i.a. ha⁻¹ verificou-se redução de 14,9 e 15,1% em relação a testemunha sem cultivo (pousio) para ambas as plantas de cobertura.

Contudo vimos que a capacidade fitorremediadora das plantas em questão pode alcançar resultados satisfatórios quando houver necessidade de dissipação de resíduos de herbicidas.

4. CONCLUSÕES

As culturas de azevem e trevo persa podem ser consideradas como plantas fitorremediadoras do solo de cultivo de arroz irrigado contaminado com os herbicidas imazapir, imazpique e imazetapir, independente da concentração de CO₂ atmosférico.

Em solos com cobertura houve maior efeito fitorremediador das plantas sob as moléculas remanescentes dos herbicidas testados.

O aumento da dose de contaminação do solo prejudicou a capacidade fitorremediadora das plantas de cobertura, independente da concentração de CO₂ atmosférico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, L. M. et al. Phytoremediation by *Eremanthus crotonoides* and *Inga striata* decay atrazine and clomazone residues in the soil. *International Journal of Phytoremediation*, v. 22, p. 1-7, 2020.
- DURAND-MORAT, A.; NALLEY, L. L.; THOMA, G. The implications of red rice on food security. *Global food security*, v. 18, p. 62-75, 2018.
- LAVOLA, A. et al. Combination treatment of elevated UVB radiation, CO₂ and temperature has little effect on silver birch (*Betula pendula*) growth and phytochemistry. *Physiologia plantarum*, v. 149, p. 499-514, 2013.
- MARCHESAN, E. et al. Produtividade, fitotoxicidade e controle de arroz-vermelho na sucessão de cultivo de arroz irrigado no Sistema CLEARFIELD®. *Ciência Rural*, v. 41, p. 17-24, 2011.
- MELO, I. S. et al. Biodegradação. 1.ed. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 426 p.
- SHANER, Dale L. *Herbicide handbook*. Lawrence: Weed Science Society of America, 2014. 513 p.
- SOUTO, K. M. et al. Biodegradation of the herbicides imazethapyr and imazapic in rhizosphere soil of six plant species. *Ciência Rural*, v. 43, p. 1790-1797, 2013.
- YADAV, A. et al. The effects of elevated CO₂ and elevated O₃ exposure on plant growth, yield and quality of grains of two wheat cultivars grown in north India. *Heliyon*, v. 5, p. e02317, 2019.