

AVALIAÇÃO DAS LAVOURAS DE ARROZ IRRIGADAS POR ÁGUA COM DRENAGEM ÁCIDA DE MINA E SEGURANÇA ALIMENTAR

Katherine Duarte Salvan, Adriana Modolon Duart, Beatriz Rodrigues Bagnolin Muniz, Daniely Marcon, Letícia Visentin Borges, Natacha Madruga Farias, Mari Lucia Campos

INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (SC) apresenta forte influência da mineração de carvão, responsável pela geração de drenagem ácida de mina (DAM) e consequente contaminação de águas e solos por elementos-traço. Entre os principais metais associados a esse passivo ambiental destacam-se o ferro (Fe), em altas concentrações devido à oxidação da pirita, e o chumbo (Pb), elemento de reconhecida toxicidade. A rizicultura irrigada é uma das atividades agrícolas mais relevantes da região e, em muitas áreas, ocorre a captação de água de rios comprometidos pela DAM, como os rios Sangão e Mãe Luzia. Essa prática pode favorecer a absorção e bioacumulação de metais pesados em plantas de arroz, especialmente nos tecidos foliares e nos grãos, representando risco à produtividade e à segurança alimentar.

Assim, este estudo teve como objetivo avaliar as concentrações de Fe e Pb em folhas e grãos de arroz cultivados em lavouras irrigadas com águas de rios sob influência da drenagem ácida de mina, comparando-as com uma área testemunha não impactada pela mineração.

DESENVOLVIMENTO

O estudo foi conduzido na Bacia do Rio Araranguá (SC), em quatro lavouras de arroz irrigado: três localizadas em áreas sob influência da mineração de carvão (rios Sangão, Mãe Luzia e Mãe Luzia após a confluência com o rio Sangão) e uma área testemunha irrigada pelo rio Manoel Alves. As amostragens foram realizadas durante o ciclo 2023/2024.

No estádio R8 de desenvolvimento das plantas, três parcelas de 0,25 m² foram delimitadas ao acaso em cada área, sendo colhidas manualmente todas as plantas e separadas em caule+folha e grãos, que posteriormente foram lavados com água destilada e secos.

As amostras foram coletadas em três repetições de campo nas quatro lavouras avaliadas, e cada análise laboratorial foi realizada em duplicata, garantindo precisão e representatividade dos resultados.

As amostras de caule+folha e grão com casca foram submetidos à digestão ácida pelo método 3050B da USEPA-SW-846, em sistema aberto. Para assegurar a qualidade analítica, foram incluídos brancos de digestão e Material de Referência Padrão NIST 1575^a. A quantificação de Pb e Fe foram realizados por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Os teores de Pb encontrados nas amostras de grãos com casca foram comparados aos limites máximos estabelecidos pela Resolução RDC N° 42/2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), vinculada ao Ministério da Saúde. Já os teores de Fe, avaliados tanto em caule+planta quanto em grãos com casca, foram comparados com valores indicados por Malavolta *et al.* (1997) e SOSBAI (2022) para a cultura do arroz.

RESULTADOS

Os teores médios de Pb nos grãos de arroz permaneceram abaixo do limite de detecção ($LD < 0,38 \text{ mg kg}^{-1}$) em todas as áreas avaliadas. Assim, para verificar se os valores estão abaixo, iguais ou acima do limite máximo tolerado de $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$, conforme estabelecido pela legislação brasileira (ANVISA, 2013) e pelo padrão internacional do Codex Alimentarius (2019), será necessária a realização de análises complementares por espectrometria de absorção

atômica com atomização em forno de grafite, técnica que apresenta maior sensibilidade analítica. Em relação ao ferro (Fe), observou-se maior acúmulo nos tecidos vegetativos (folhas), com teores variando entre 234 e 661 mg kg⁻¹. Considerando as faixas de suficiência propostas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) para o arroz (50–250 mg kg⁻¹) e pela SOSBAI (2022), que indica valores entre 70 e 220 mg kg⁻¹, todos os valores observados estiveram acima dos níveis adequados. Destaca-se que, na lavoura irrigada pelo rio Sangão, os teores ultrapassaram expressivamente o limite considerado tóxico para a cultura (>300 mg kg⁻¹).

Nos grãos, os teores médios de Fe foram inferiores aos observados nas folhas, variando entre 51 e 552 mg kg⁻¹. Em áreas irrigadas pelos rios Mãe Luzia, Mãe Luzia + Sangão e Manoel Alves, os valores permaneceram abaixo do nível considerado adequado para a cultura (\approx 123 mg kg⁻¹, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). No entanto, mais uma vez, a lavoura irrigada pelo rio Sangão se destacou, apresentando concentrações significativamente elevadas. Achados semelhantes foram relatados em regiões impactadas pela mineração de carvão na Ásia, onde o cultivo de arroz sob influência da drenagem ácida de mina resultou em maior disponibilidade de metais no solo e consequente transferência para a planta (Choudhury et al., 2017; Martinez et al., 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lavouras de arroz irrigadas com águas sob influência da drenagem ácida de mina não apresentaram indícios de contaminação por Pb nos grãos, com teores abaixo do limite de detecção e, portanto, aparentemente em conformidade com os limites estabelecidos pela legislação brasileira. Contudo, a confirmação dessa conformidade requer análises mais sensíveis, como a espectrometria de absorção atômica com atomização em forno de grafite. Em contraste, os teores de Fe em folhas e grãos, especialmente na área irrigada pelo rio Sangão, excederam os valores de referência para a cultura, indicando risco de excesso nutricional, com possíveis implicações para a qualidade do arroz e a sustentabilidade do sistema produtivo.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; bacia carbonífera; ferro; chumbo.

ILUSTRAÇÕES

Tabela 1. Concentração média de ferro (Fe) e chumbo (Pb) em folhas e grãos de arroz irrigados com águas de diferentes rios da Bacia do Rio Araranguá (SC).

Tecido	Rio	Fe médio (mg kg ⁻¹)	Desvio-padrão Fe	Pb médio (mg kg ⁻¹)
Folhas	MA	376.79	12.81	<LD
Folhas	ML	319.81	84.72	<LD
Folhas	ML+S	234.01	1.41	<LD
Folhas	S	660.76	236.02	<LD
Grãos	MA	70.91	13.56	<LD
Grãos	ML	54.71	5.85	<LD
Grãos	ML+S	51.1	15.63	<LD
Grãos	S	551.91	245.4	<LD

*MA = Rio Manoel Alves (sem interferência da mineração de carvão), ML = Rio Mãe Luzia, ML+S = Rio Mãe Luzia após a confluência com o rio Sangão, S = Rio Sangão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. **Resolução RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013.** Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 ago. 2013. Disponível em: <https://anvisalegis.datalegis.net/action/>. Acesso em: 5 set. 2025.

CHOUDHURY, B. U. *et al.* Acid drainage from coal mining: Effect on paddy soil and productivity of rice. *Science of the Total Environment*, v. 583, p. 344–351, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.074.

CODEX ALIMENTARIUS. **General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CXS 193-1995).** Rome: FAO/WHO, 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>. Acesso em: 5 set. 2025.

DOBERMANN, A.; FAIRHURST, T. **Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management.** Los Baños: International Rice Research Institute (IRRI), 2000. Disponível em: https://books.irri.org/9810427425_content.pdf. Acesso em: 5 set. 2025.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: POTAPOS, 1997. 319 p.

MARTINEZ, R. E.; MARQUEZ, J. E.; HÒA, H. T. B.; GIERÉ, R. Open-pit coal-mining effects on rice paddy soil composition and metal bioavailability to *Oryza sativa* L. plants in Cam Pha, northeastern Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 20, n. 11, p. 7686–7698, 2013. DOI: 10.1007/s11356-013-2030-1.

SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Farroupilha: SOSBAI, 2022. 333 p.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Katherine Duarte Salvan

MODALIDADE DE BOLSA: PROBIC/UDESC (IC)

VIGÊNCIA: 09/2023 a 08/2025 – Total: 24 meses

ORIENTADOR(A): Mari Lucia Campos

CENTRO DE ENSINO: CAV

DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE SOLOS E RECURSOS NATURAIS CAV

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Ciências Agrárias/Agronomia/Ciência do Solo/ Química do Solo

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Avaliação das lavouras de arroz irrigadas por água com drenagem ácida de mina e segurança alimentar

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP4222-2023