

TOXICIDADE CRÔNICA DE RESÍDUOS DE CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS ATRAVÉS DE ENSAIOS COM *Ceriodaphnia dubia*

Ingrid Lins Noé; Jéssica Dutra Ferreira; Mirna Aparecida Neves; Cristiane dos Santos Vergilio

Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Alegre, Alto Universitário, s/nº – Guararema,
29500-000 – Alegre – ES, Brasil, ingridlnoe@gmail.com; jessicadutra017@gmail.com;
mirna.neves@ufes.br; cristiane.vergilio@ufes.br

Resumo

Este estudo avaliou a toxicidade crônica de resíduos provenientes do beneficiamento de rochas ornamentais em teares convencionais e multifios, utilizando o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* como organismo-teste. Amostras de resíduos foram coletadas em empresas do sul do Espírito Santo, sendo solubilizadas na proporção 1:4 em meio de cultivo, para o uso em nos ensaios ecotoxicológicos crônicos. Os neonatos com idade entre 6 e 24 horas foram expostos às amostras por 7 a 8 dias, conforme a normativa ABNT NBR 13373:2017. Os resultados indicaram maior toxicidade dos resíduos gerados pelo tear convencional, com redução significativa da sobrevivência de adultos e na produção de neonatos, enquanto os resíduos do multifios induziram apenas a redução da prole (número de neonatos). Esses dados sugerem que a composição diferenciada dos rejeitos influencia diretamente no potencial ecotoxicológico, sendo o tear multifios uma alternativa mais sustentável. Além disso, são apontadas vantagens adicionais dessa tecnologia, como menor consumo de água e redução de resíduos, reforçando seu potencial de mitigar impactos ambientais.

Palavras-chave: Microcrustáceos. Ensaio ecotoxicológico. Bioindicadores. Tear convencional. Tear Multifios.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas - Biologia Geral

Introdução

A indústria de rochas ornamentais apresenta crescimento expressivo em escala global, com destaque para o Brasil, que ocupa posição de liderança no setor e figura entre os principais exportadores mundiais (Careddu, 2019). Apesar da relevância econômica, essa atividade gera grandes volumes de resíduos, cujo manejo inadequado pode ocasionar impactos ambientais significativos, como assoreamento, contaminação hídrica e impactos para a biota (Castro et al., 2011; De Campos et al., 2007).

No beneficiamento, duas tecnologias de corte de rocha são amplamente utilizadas: o tear convencional, que emprega lâminas de aço em conjunto com granelha, resultando em maior geração de resíduos, e o tear multifios, que utiliza fios diamantados, promovendo corte mais preciso, menor consumo de água e menor volume de rejeitos (Sardou Filho et al., 2013). Apesar dos avanços com o tear multifios, que reduz a geração de resíduos, grande parte das empresas ainda utiliza o tear convencional, considerado a tecnologia tradicional do setor, consequentemente gerando maior volume de resíduos e contribuindo para impactos ambientais mais expressivos.

Pesquisas anteriores demonstraram que resíduos de rochas ornamentais podem causar efeitos adversos em organismos aquáticos, incluindo alterações histopatológicas e genotóxicas em peixes como *Geophagus brasiliensis* (Venturoti et al., 2019; Aguiar et al., 2016). Contudo, a maioria dessas investigações concentrou-se em rejeitos finais coletados em tanques de decantação, havendo escassez de estudos que avaliem a toxicidade dos resíduos gerados em diferentes etapas do processo industrial, informação essencial para subsidiar estratégias mais sustentáveis.

Nesse sentido, a avaliação ecotoxicológica constitui ferramenta importante para investigar os efeitos de rejeitos sobre organismos bioindicadores. Entre eles, o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* destaca-se por sua sensibilidade a contaminantes e pelo uso consolidado em ensaios crônicos padronizados (ABNT, 2017). Diante disso, este estudo teve como objetivo comparar a toxicidade crônica de resíduos provenientes de diferentes métodos de corte de rochas ornamentais, sendo em

tear convencional e multifios, utilizando ensaios ecotoxicológicos com o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*.

Metodologia

As amostras de resíduos provenientes dos teares convencional e multifios foram coletadas em empresas de beneficiamento de rochas situadas na região sul do Espírito Santo, Brasil. A coleta foi realizada diretamente nos tanques de sedimentação, que armazenam a água utilizada nas etapas de processamento de mármore e granito. Para os ensaios, os resíduos sólidos foram submetidos a preparo de solubilizado conforme a norma NBR 10006 (ABNT, 2004). Os resíduos do tear convencional (A4CS1, A4CS2, A4CS3, A4CS4, A4CS5, A4CS6, A4CS7, A4CS8 e A5CS1) e do tear multifios (EFMS5, E6MS1/7A, EFMS2, E6MS1/4A, E2MS6, EFMS1, E2MS4 e E2MS7) foram solubilizados na proporção de 1:4 em meio MS, mantidos sob agitação por 5 minutos e posteriormente em repouso por 7 dias (ABNT, 2004).

Os ensaios de toxicidade crônica foram conduzidos com o microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia*, cultivado no Laboratório de Ecotoxicologia (LABTOX) da Universidade Federal do Espírito Santo, originalmente obtido junto à CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Os testes seguiram a metodologia descrita na norma ABNT NBR 13373:2017. Para cada ensaio foram utilizados neonatos com idade entre 6 e 24 horas, expostos a 15 mL de solução-teste preparada a partir dos resíduos de cada tecnologia de serragem, em tratamentos independentes, por 7 dias. Cada amostra contou com 10 réplicas experimentais, contendo um organismo por réplica, totalizando 10 neonatos por tratamento. O controle negativo consistiu no meio MS utilizado no cultivo e manutenção da espécie.

Os organismos foram mantidos em fotoperíodo de 12 h claro e 16h escuro, recebendo alimentação todos os dias ao longo do período experimental. As soluções-teste foram renovadas duas vezes, em intervalos de dois dias. Ao final da exposição, foram avaliados os parâmetros de sobrevivência (mortalidade/imobilidade) e reprodução (número médio de neonatos por fêmea), sendo os mesmos um indicativo de toxicidade aguda e crônica, respectivamente. Paralelamente, foram monitorados os parâmetros de pH, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido no início, meio e fim do ensaio.

Para as análises estatísticas, foram consideradas a porcentagem de sobrevivência de adultos e a média de neonatos por tratamento. Os dados foram submetidos à Análise de Variância (One-Way ANOVA), seguida do teste de comparações múltiplas de Tukey, adotando-se nível de significância de 5%. Os cálculos e gráficos foram realizados no software GraphPad Prism.

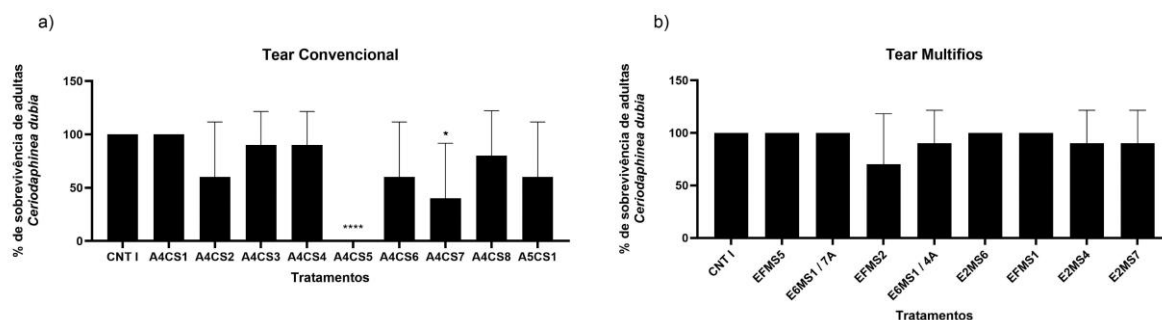
Resultados

Nos ensaios de toxicidade com *Ceriodaphnia dubia* dois parâmetros são avaliados: (1) sobrevivência dos neonatos expostos e (2) a prole produzida - número médio de neonatos por fêmea, sendo um indicativo de toxicidade aguda e crônica, respectivamente. Em relação a toxicidade aguda, o tratamento com duas amostras (A4CS5 e A4CS7) do tear convencional induziu redução significativas na sobrevivência de organismos expostos (Figura 1a), enquanto os resíduos do tear multifios não apresentou efeitos tóxicos significativos na sobrevivência dos organismos (Figura 1b).

Em relação à toxidade crônica, ambas as amostras do tear convencional (A4CS2, A4CS3, A4CS4, A4CS5, A4CS6, A4CS7, A4CS8, A5CS1) e multifios (EFMS5, E6MS1/A7, EFMS2, E6MS1/4A, EFMS1, E2MS4, E2MS7) induziram reduções expressivas na produção de neonatos por fêmea (Figura 2).

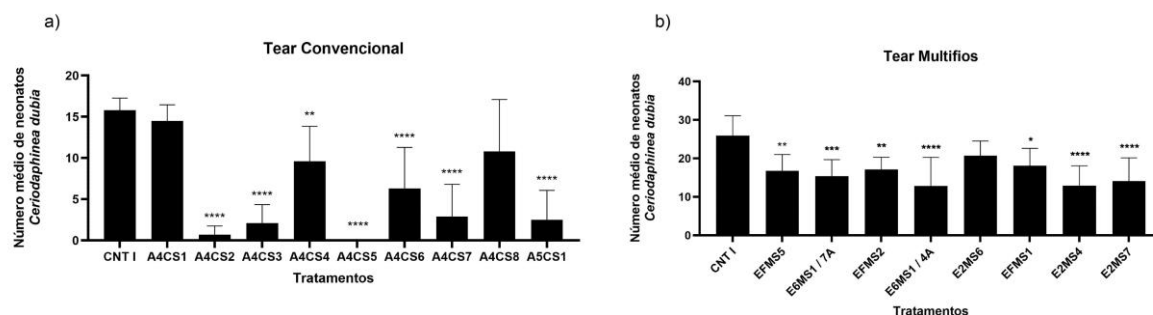
Figura 1 - Percentual de sobrevivência de adultos no ensaio crônico com *Ceriodaphnia dubia* expostas a resíduos de rocha ornamental após o corte em (a) Tear convencional, (b) Tear multifios.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO



Fonte: O autor.

Figura 2 - Número médio de neonatos produzidos por fêmea do ensaio crônico com *Ceriodaphnia dubia* expostas a resíduos de rocha ornamental após o corte em (a) Tear convencional, (b) Tear multifios.



Fonte: O autor.

Discussão

Os resultados evidenciam que os resíduos do tear convencional e multifios apresentaram comportamentos distintos em relação aos tipos de toxicidade. O tear convencional provocou tanto toxicidade aguda, refletida na redução da sobrevivência dos organismos, quanto toxicidade crônica, com queda significativa na reprodução. Já os resíduos do tear multifios não causaram efeitos agudos, mas apresentaram toxicidade crônica, evidenciada pela diminuição da produção de neonatos.

No caso do tear convencional, esses efeitos podem estar relacionados à presença de aditivos como cal e granalha de aço, que potencializam a toxicidade ao liberar substâncias capazes de interferir na homeostase dos organismos aquáticos (BRAGA et al., 2010). Resultados semelhantes foram relatados por Venturoti et al. (2019), que observaram danos histopatológicos e genotóxicos em brânquias de *Geophagus brasiliensis* expostos a efluentes da indústria de rochas ornamentais, confirmando que mesmo baixas concentrações desses resíduos podem gerar efeitos biológicos adversos.

Em contrapartida, os resíduos provenientes do tear multifios não apresentaram efeitos agudos sobre a sobrevivência dos organismos, apenas a crônica, evidenciado pela redução na reprodução de *C. dubia*. Esse achado pode ser explicado pela composição mais simples desses rejeitos, constituídos essencialmente por pó de rocha e água, em contraste aos contaminantes adicionados no processo convencional (NEVES et al., 2025). Além da menor toxicidade observada, estudos apontam vantagens operacionais e ambientais dessa tecnologia, incluindo maior aproveitamento da matéria-prima, menor consumo de água, eficiência superior de corte e redução no volume de rejeitos gerados (NEVES, 2021).

A relevância desses resultados reside no fato de que a maior parte das investigações anteriores concentrou-se nos resíduos finais de decantadores (AGUIAR et al., 2016; VENTUROTÍ et al., 2019), sem diferenciar os impactos relacionados ao tipo de tecnologia empregada no beneficiamento. Este

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

estudo evidencia que a escolha do método de serragem é determinante para a intensidade dos efeitos ecotoxicológicos, apontando o tear multifios como alternativa mais sustentável para o setor.

Assim, a adoção progressiva do multifios pode representar um avanço importante para reduzir riscos ambientais em regiões fortemente dependentes da atividade de rochas ornamentais, como Cachoeiro de Itapemirim (ES), ao mesmo tempo em que otimiza a eficiência produtiva e minimiza passivos ambientais.

Conclusão

Os resultados demonstram que os resíduos do tear convencional provocam toxicidade tanto aguda, com a redução da sobrevivência dos organismos, quanto crônica, com queda na reprodução de *Ceriodaphnia dubia*. Enquanto os resíduos do tear multifios não apresentam efeitos agudos, mas comprometem a reprodução, evidenciando toxicidade crônica. Assim, embora o multifios represente uma alternativa mais sustentável por gerar menos volume de resíduos e reduzir o consumo de água, seus rejeitos ainda podem afetar negativamente organismos aquáticos em nível reprodutivo, reforçando a necessidade de diferenciar os tipos de toxicidade nos estudos ecotoxicológicos e de incentivar a adoção de tecnologias menos impactantes no setor de rochas ornamentais.

Para avanços futuros, recomenda-se ampliar ensaios com outros organismos teste, de modo a aprofundar a compreensão dos riscos associados aos resíduos do setor de rochas ornamentais.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13373: Ecotoxicologia aquática — Toxicidade crônica — Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustacea, Cladocera)**. Rio de Janeiro, 2017.

AGUIAR, L. L. et al. Mutagenic potential of fine wastes from dimension stone industry. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 125, p. 116-120, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.11.035>. Acesso em: 25 ago. 2025.

BRAGA, F. S. et al. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 237-244, 2010.

CAREDDU, Nicola. Dimension stones in the circular economy world. **Resources Policy**, v. 60, p. 243–245, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.01.012>. Acesso em: 5 set. 2025.

CASTRO, N. F. et al. Impacto do APL de rochas ornamentais do Espírito Santo nas comunidades. **Mineralis**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/1180>. Acesso em: 25 ago. 2025.

CHIODI FILHO, C. O setor brasileiro de rochas ornamentais. **ABIROCHAS**, 2021. Disponível em: <https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Historico-Brasileiro-no-Mercado-Internacional-2021.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2025.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

DE CAMPOS, A. R.; CASTRO, N. F. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais. [S. l.], 2007.

NEVES, M. A. et al. Composição química e mineralógica de diferentes frações granulométricas dos finos de beneficiamento de rochas ornamentais: Chemical and mineralogical composition of different particle size fractions of fines from dimension stone processing. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 11, n. 1, p. 560-571, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/37711>. Acesso em: 25 ago. 2025.

NEVES, M. A.; NASCIMENTO, W. A. R.; HORN, A. H. Lodo de processamento de rochas ornamentais em diferentes estágios de produção: insights para a gestão de resíduos. **Minerais**, v. 15, n. 1, p. 39, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/min15010039>. Acesso em: 25 ago. 2025.

NEVES, Mirna Aparecida et al. LAMA DE BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS PROCESSADAS NO ESPÍRITO SANTO: COMPOSIÇÃO E APROVEITAMENTO: Dimension stone processing sludge from the state of Espírito Santo: composition and utilization. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 123-136, 2021.

SARDOU FILHO, R. et al. Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. Brasília: CPRM, 2013. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17787>. Acesso em: 25 ago. 2025.

VENTUROTÍ, G. P. et al. *Geophagus brasiliensis* (Teleostei: Cichlidae) as an indicator of toxicity of ornamental stone processing wastes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 226, p. 108639, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.108639>. Acesso em: 25 ago. 2025.

VENTUROTÍ, G. P. et al. Toxic effects of ornamental stone processing waste effluents on *Geophagus brasiliensis* (Teleostei: Cichlidae). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, v. 72, p. 103268, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.103268>. Acesso em: 25 ago. 2025.

Agradecimentos

Agradeço ao LABTOX (Laboratório de Ecotoxicologia da UFES – Alegre ES) pelo apoio na infraestrutura, análises laboratoriais a UFES pelo apoio de infraestrutura e ao Departamento de Geologia (UFES).