

## A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

### AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA TOXICIDADE AGUDA E CRÔNICA DOS RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS

**Karoline Campi, Mirna Aparecida Neves, Cristiane dos Santos Vergilio.**

Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Alegre/Centro de Ciências Exatas, Naturais e da Saúde, Laboratório de Ecotoxicologia, Alto Universitário, S/N, Guararema – 29500-000 – Alegre-ES, Brasil. karolinecampi@gmail.com, mirna.neves@ufes.br, cristiane.vergilio@ufes.br.

#### Resumo

O Espírito Santo lidera as exportações de rochas ornamentais no Brasil, participando com até 82% do mercado nacional e com alcance global. A indústria envolve extração, beneficiamento e suprimentos de rochas. O corte em teares utiliza água, cal e granalha para prolongar a vida útil das lâminas de diamante. Porém, a geração de resíduos exige avaliação ecológica pelo risco do carramento para corpos hídricos e possível indução de efeitos tóxicos para os organismos. Nesse contexto, foram realizados testes ecotoxicológicos com organismos bioindicadores de diferentes níveis tróficos para avaliar a toxicidade aguda e crônica dos resíduos gerados no beneficiamento de rochas ornamentais, utilizando o microcrustáceo *Daphnia similis* e a alga fotossintetizante *Raphidocelis subcapitata*. Os resultados revelaram toxicidade aguda (imobilidade/mortalidade dos microcrustáceos) de quatro amostras e toxicidade crônica (inibição do crescimento algácea) de oito amostras. Os dados do presente estudo indicam que os resíduos de rochas ornamentais possuem toxicidade aguda e crônica. Isso desperta preocupação sobre a possível carreamento desses materiais para rios e córregos, dada sua capacidade de exercer impacto direto sobre a biodiversidade local.

**Palavras-chave:** ABNT NBR 12648. ABNT NBR 12713. *Daphnia similis*. Mármore. Granito.

**Área do Conhecimento:** Ciências Biológicas – Ecologia.

#### Introdução

O Espírito Santo lidera as exportações de rochas ornamentais no Brasil, detendo cerca de 82% do mercado nacional e fornecendo mármore e granito para abastecer o mercado interno e externo. O estado abriga o maior arranjo produtivo de rochas do país, com aproximadamente 1.600 empresas, responsáveis por mais de 25 mil empregos diretos e 100 mil indiretos, impactando os 78 municípios (FINDES, 2020). De acordo com o Sindicato das Indústrias de Rochas Ornamentais, Cal e Calcário do Estado do Espírito Santo (SINDIROCHAS, 2023) foram exportadas 108.401 toneladas de rochas ornamentais pelas empresas capixabas apenas no mês de maio de 2023, representando 76% das exportações nacionais deste mês.

Esta cadeia produtiva de rochas ornamentais inclui a lavra (extração dos blocos nas pedreiras), beneficiamento primário (desdobramento dos blocos em chapas) e beneficiamento secundário (polimento das chapas e elaboração de produtos finais). Além disso, há uma indústria de bens de capital e fornecedores de insumos e serviços (GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2021).

O corte em teares é executado com o auxílio de uma composição que incorpora água, óxido de cálcio (cal), granalha metálica e outros insumos, e essa mistura é aplicada de forma contínua na região de operação. Esse procedimento se justifica pelo fato de se utilizarem lâminas de diamante, um material de custo elevado. Esses elementos são empregados com o propósito de prolongar a vida útil desse material de alto custo, promovendo o resfriamento das lâminas de corte (SANTOS *et al.*, 2013).

Essa expressiva produtividade da indústria gera um considerável volume de resíduos que são descartados em aterros sanitários, podendo chegar aos corpos hídricos. Compreender o impacto

## A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

desses resíduos em diferentes níveis tróficos é essencial para a preservação ambiental. Ao afetar os organismos em diversas posições da cadeia alimentar, podemos identificar possíveis desequilíbrios e riscos para espécies-chave e possivelmente os seres humanos.

Para avaliação da qualidade da água alguns organismos indicadores podem ser escolhidos em diferentes níveis tróficos. O microcrustáceo planctônico de água doce *Daphnia similis* (Crustacea, Cladocera) é considerado um excelente indicador biológico, em função de sua elevada sensibilidade ao meio, capacidade filtradora (ABNT, 2016), fácil cultivo em meio laboratorial e apresentar alta taxa de fecundidade. Enquanto que a alga unicelular fotossintetizante *Raphidocelis subcapitata*, possui alta sensibilidade a diferentes contaminantes, e fácil cultivo em condições de laboratório (HOFFMAN *et al.*, 1995).

O presente trabalho visa comparar a toxicidade aguda e crônica de resíduos de tear de corte convencional de rochas ornamentais do sul do Espírito Santo, utilizando espécies bioindicadores de diferentes níveis tróficos, sendo eles o microcrustáceo *Daphnia similis* e a alga fotossintetizante *Raphidocelis subcapitata*.

### Metodologia

As amostras foram coletadas no ano de 2019 em duas empresas (A4, A5) de processamento de rochas da região sul do estado do Espírito Santo, Brasil. As amostras são provenientes de tanques de sedimentação que recebem a água após o polimento das placas de mármore e granito. Os solubilizados dos resíduos sólidos foram preparados seguindo as normas NBR 10006 (ABNT, 2004), sendo solubilizados em uma proporção em 1:4 em meio MS para os ensaios com *Daphnia similis* e em meio L. C. Oligo para os ensaios com *Raphidocelis subcapitata*. Em seguida foram fracionadas as alíquotas para medição dos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade e oxigênio dissolvido) e para realização dos ensaios de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis*, e de toxicidade crônica com a alga *Raphidocelis subcapitata*.

O ensaio de toxicidade aguda, realizado de acordo com as normas NBR 12713 (ABNT, 2016). Quatro réplicas contendo 10 mL de solubilizado do resíduo sólido de rochas ornamentais foram distribuídas em tubos de ensaio. Para o grupo controle foi utilizado meio MS. Em seguida foram adicionados 5 neonatos (entre 6 e 24 horas) em cada tubo de ensaio, totalizando 20 organismos expostos para cada tratamento. Ao longo do ensaio, os organismos foram mantidos em temperatura a 21°C em incubadora. Os organismos foram mantidos sob ausência luminosa e também não foram alimentados durante o período de ensaio. Após o tempo de exposição, foram avaliadas a mortalidade/imobilidade dos organismos presentes em cada réplica. Foram medidos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade e oxigênio dissolvido) no início e no final do ensaio.

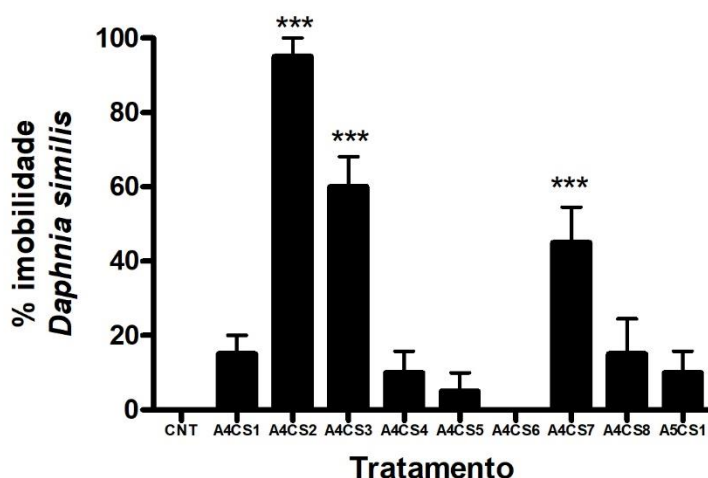
O ensaio de toxicidade crônica foi realizado de acordo com as normas NBR 12648 (ABNT, 2018). Para cada amostra foram preparadas dez réplicas, em tubos de ensaio estéreis contendo 10 mL do extrato solubilizado do resíduo sólido de rochas ornamentais. Para o controle foi utilizado o meio LC Oligo. Uma alíquota correspondente a  $10^4$  células/mL de suspensão algácea foi adicionada em cada réplica. O ensaio foi realizado sob luz fluorescente branca contínua, durante 96 horas em incubadora a 24°C. No final do tempo de exposição, uma alíquota dos tubos foi contada com uma câmara Neubauer com objetiva 400x ao microscópio óptico. Os parâmetros físico químicos (pH, oxigênio dissolvido, condutibilidade) foram medidos no início e no fim do ensaio.

### Resultados

No ensaio de toxicidade aguda com o bioindicador *Daphnia similis* utilizando solubilizado integral do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais foi observado mortalidade/imobilidades significativas nas amostras A4CS2, A4CS3 e A4CS7 (Figura 1), que apresentaram porcentagens de imobilidade 95%, 60% e 45% respectivamente.

# A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 1- Porcentagem de imobilidade dos organismos de *Daphnia similis* expostos ao solubilizado de resíduos rochas ornamentais do sul do estado do Espírito Santo.

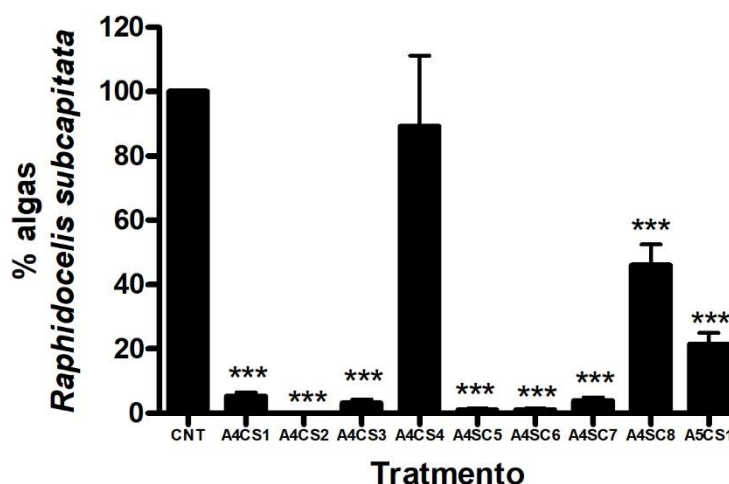


Fonte: produção do próprio autor.

Entre os parâmetros foram observados valores médios de pH dos extratos dos resíduos solubilizados na faixa alcalina, variando de 8,6 a 10,3, exceto na amostra A4CS1 que apresentou pH levemente ácido em 6,3. Em relação ao grupo controle foi observado pH inicial e final na faixa neutra de 7,0, conforme estabelecido na NBR 12713 (ABNT, 2016). Em geral, os valores de oxigênio dissolvido no final do ensaio apresentaram valores menores em relação ao inicial.

Em relação ao ensaio de toxicidade crônico com o bioindicador *Raphidocelis subcapitata*, foram observadas inibições do crescimento algáceo significativos em oito das nove amostras testadas (Figura 2), sendo essas as A4CS1, A4CS2, A4CS3, A4CS5, A4CS6, A4CS7, A4CS8 A5CS1, que apresentaram inibições superiores a 60%, e em seis destas foi acima de 90%.

Figura 2 - Porcentagem de inibição de crescimento das algas *Raphidocelis subcapitata* expostas ao de solubilizado de resíduos de rochas ornamentais do sul do estado do Espírito Santo.



Fonte: produção do próprio autor.

## A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Com relação aos parâmetros, os extratos dos resíduos solubilizados também apresentaram aumento do pH, sendo que na amostra A4CS5 foi observado pH inicial alcalino, com valor 10,0. No controle, que neste caso utilizou meio LC Oligo, foi observado pH no início e no final do ensaio na faixa neutra de 7,0, conforme estabelecido na NBR 12648 (ABNT, 2018). Em geral, os valores de oxigênio dissolvido no final do ensaio foram superiores em relação aos iniciais, como era esperado, devido ao fato de que o bioindicador utilizado ser uma alga fotossintetizante e o ensaio foi realizado sob luz constante influenciando na taxa fotossintética.

### Discussão

Os ensaios com o microcrustáceo *Daphnia similis* demonstraram que as amostras A4CS2, A4CS3 e A4CS7 apresentaram toxicidade aguda, induzindo mortalidade/imobilidade dos organismos. Enquanto que os ensaios de toxicidade crônica com a alga *Raphidocelis subcapitata* demonstraram que as amostras A4CS1, A4CS2, A4CS3, A4CS5, A4CS6, A4CS7, A4CS8 A5CS1 apresentaram toxicidade crônica, induzindo inibição do crescimento algáceo.

Os parâmetros físico-químicos de pH e oxigênio dissolvido, que foram avaliados, levam ao entendimento das condições experimentais dos ensaios. De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2005), valores de pH próximos à neutralidade, na faixa de 6 a 9, são os mais indicados para favorecer a formação de um ecossistema de água doce mais diversificado. O pH mais alcalino observado nas amostras de solubilizado de resíduo de rochas ornamentais pode ser resultado da presença de cal e outros agentes químicos utilizados no beneficiamento das rochas. O aumento dos valores de oxigênio dissolvido nos experimentos algáceos se relaciona com a produção de oxigênio pela alga fotossintetizante ao longo do tempo de exposição do ensaio.

Os resultados do presente estudo indicam que os resíduos de rochas ornamentais podem afetar os organismos de diferentes níveis tróficos, tanto a curto quanto à longo prazo, com potencial de influenciar diversas espécies e suas interações ecológicas. Sendo necessário um estudo mais aprofundado com resíduos de diferentes etapas da empresa de beneficiamento para entender os processos que possuem um maior potencial tóxico para o ambiente.

A lama do beneficiamento de rochas ornamentais é classificada como um resíduo sólido não perigoso - Classe II, conforme estabelecido pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Isso significa que, segundo as normas, esse tipo de resíduo não possui características consideradas perigosas em sua composição. Porém, apesar dessa classificação, a preocupação mencionada é válida, visto que apresentaram potencial tóxico tanto agudo, quanto crônico. Além de terem uma composição heterogênea e serem depositados em aterros no solo que, caso haja lixiviação, possui o risco potencial de que eles atinjam rios e córregos.

Essa lixiviação poderia liberar várias substâncias indesejáveis no ambiente aquático, que poderiam afetar a cadeia trófica aquática e causar problemas ambientais. Portanto, é importante que haja um gerenciamento adequado desses resíduos, garantindo que sejam tratados e dispostos de forma segura para evitar qualquer impacto negativo sobre os ecossistemas aquáticos. O monitoramento constante dessas áreas também é essencial para identificar possíveis problemas e tomar ações preventivas quando necessário.

### Conclusão

Os dados do presente estudo indicam que os resíduos de rochas ornamentais possuem toxicidade aguda e crônica. Isso desperta preocupações sobre a possível carreamento desses materiais para rios e córregos, dada sua capacidade de exercer impacto direto sobre a biodiversidade local.

### Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

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



## A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12648**: Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica - Método de ensaio com algas (Chlorophyceae). Rio De Janeiro, 2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12713**: água – ensaio de toxicidade aguda com *Daphnia similis* Claus, 1876 (Cladocera, Crustacea). Rio de Janeiro, 2016.

BRUNA, A. P., EGLER, S. G. **Avaliação Ecotoxicológica dos Impactos Ambientais Associados às Ações Humanas nos Ambientes Aquáticos**. IV Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, 2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº357** de 17 de março de 2005.

FINDES. **Espírito Santo é o líder no País em exportação de rochas ornamentais**. 14 jan. 2020. Disponível em: <https://findes.com.br/espírito-santo-e-o-líder-no-país-em-exportação-de-rochas-ornamentais/>. Acesso em: 29 ago. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Produção de rochas ornamentais capixaba tem recursos do Bandes**. 02 fev. 2021, 11:54. Disponível em: <https://www.es.gov.br/Noticia/producao-de-rochas-ornamentais-capixaba-tem-recursos-do-bandes>. Acesso em: 29 ago. 2023.

HOFFMAN, D.J.; BURTON JR., G.A.; CAIRNS JR., J.; RATTNER, B.A.; **Handbook of ecotoxicology**. Ed. 1. CRC Press. EUA. 1995.

SANTOS, M. M. A., Destefani, A. Z., & Holanda, J. N. F. **Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento**. LAMAV/CCT/UENF - Campos dos Goytacazes. Rio de Janeiro, 2013.

SINDIROCHA. **Relatório de Exportações de Rochas Maio 2023**. Disponível em: <https://www.sindirochas.com/downloads/relatorios/Relatorio-de-Exportacoes-Maio-2023-Sindirochas.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2023.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).