

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

AVALIAÇÃO DO PÓ DE ROCHA NO CULTIVO DE TILÁPIAS DO NILO

Marcos Vinícius Bozzo Diorio

Orientador: Dr. Vander Bruno dos Santos
Co-orientador: Dr. Clóvis Ferreira do Carmo

São Paulo
2024

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E PESCA

Marcos Vinícius Bozzo Diorio

Orientador: Dr. Vander Bruno dos Santos
Co-orientador: Dr. Clóvis Ferreira do Carmo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca - APTA - SAA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Pesca.

São Paulo

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Elaborada pelo Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca. Instituto de Pesca, São Paulo

D625A Diorio, Marcos Vinícius Bozzo
Avaliação do pó de rocha no cultivo de Tilápias do Nilo
v, 83f.; fig 14; tab 15.

Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca – APTA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento.
Orientador: Vander Bruno dos Santos

1. Aquicultura. 2. Tilapicultura. 3. Gnaisse. 4. Pó de rocha. 5. Minerais.
I. Santos, Vander Bruno II. Título.

CDD 574



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO PÓ DE ROCHA NO CULTIVO DE TILÁPIAS DO NILO

AUTOR(A): MARCOS VINICIUS BOZZO DIORIO

ORIENTADOR(A): Vander Bruno dos Santos

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM AQUICULTURA E PESCA, Área de Concentração em Aquicultura, pela Comissão Examinadora:

Prof(a). Dr(a) Vander Bruno dos Santos

Prof(a). Dr(a) Eduardo Makoto Onaka

Prof(a). Dr(a) Rondinelle Artur Simões Salomão

Data da Realização: **23 de janeiro de 2024, as 10:00**

“Porque para Deus nada é impossível. ”

Lc, 1,37

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela presença em todos os momentos, pela força, pela saúde e por nunca ter desistido de mim.

Agradeço à minha mãe Heloísa Bozzo Diorio, minha irmã Larissa Bozzo Diorio e meu pai Marcos André Diorio (*In memoriam*) por me conduzirem neste caminho, pelas broncas, pelos abraços, pelas lágrimas e por sempre estar ao meu lado me ajudando na caminhada, me empurrando para frente e me levantando das quedas.

Agradeço aos meus avós Clair (*In memoriam*), Hilda, Orlando (*In memoriam*), e Valdemar (*In memoriam*). Aos meus tios José Roberto Diorio (*In memoriam*), Rolando Bozzo, Sérgio Bozzo, e Vander Bozzo, assim como minhas tias Cida Diorio, Dinorá Bozzo, Eleni Bozzo, Priscila Bozzo (*In memoriam*), Regina Bozzo, Rosa Maria Diorio e Uiara Bozzo, também todos os meus primos (Amanda Diorio, Beatriz Bozzo, Breno Bozzo, Bruno Bozzo, Caroline Bozzo, Diogo Bozzo, Fabio Bozzo, Giovana Diorio, Giulia Bozzo, Julia Diorio, Juliana Bozzo, Leonardo Diorio, Leticia Bozzo, Lívia Bozzo, Mateus Diorio, Marcelo Diorio, Mariana Bozzo, Miguel Bozzo, Regiane Bozzo, Valéria Diorio e Victor Diorio), e a minha irmã Rafaella Diorio. Agradeço a toda a minha família de modo geral, pelo incentivo, pela ajuda e por me ensinarem o caminho do bem, sem vocês não teria conseguido.

Agradeço aos meus amigos e suas respectivas famílias: Brenda Rodrigues, Claudia Silva, Fabiano Martins, Henrique Reis, Jairo Silva, João Reis, Luan Leonel, Thabata Nachbar, Thiago Melo e Thyago Garcia pelo apoio, pelos anos de amizade e muita paciência comigo.

Agradeço meu orientador Vander Bruno dos Santos pela oportunidade, pelos ensinamentos e por ter me acolhido como um amigo.

Aos amigos e irmãos de orientação, Antonio Kida, Carolina Martins, Giovanni Rossi e Vinicius Vasconcelos, por todos os perrengues, os trabalhos, os congressos, as apresentações e as risadas durante esses dois anos.

Aos amigos que o laboratório me apresentou, Ana Cristina, Camila Bortolotti, Clóvis Filho, Crystal Conde, David Cruz, Elíoneo Frota, Gabriele Santos, Guilherme Ferrez, Leonardo Yocoyama, Luara Cassiano, Lucas Desidera, Paulo Roberto, Rafael Faria, Rodrigo Barbosa, Thiago Arruga e Vivian Kida. Obrigado por todo o apoio, toda a ajuda ao longo desses dois anos e os esforços para a conclusão da pesquisa.

Agradeço aos pesquisadores e funcionários do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Aquicultura (CPDA) Carlos Ishikawa, Claudia Maris, Danielle Dias, Erna Bach, Gaby Suzuki, Leandro Capriolli, Leonardo Tachibana, Maria José Paiva, Neuza Sumico, Ocimar Pedro, Raquel Alves e Sergio, juntamente a todos os servidores e alunos do Instituto de Pesca, em todas as bases e centros de pesquisa, por todo o apoio e ajuda para a conclusão da pesquisa desenvolvida.

Agradeço ao programa de Pós-graduação em Aquicultura e Pesca do Instituto de Pesca pela oportunidade de realizar o mestrado, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de treinamento técnico nível III e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida no segundo ano do mestrado.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
SUMÁRIO.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS.....	6
CAPÍTULO 1.....	9
Resumo.....	10
Abstract.....	11
Introdução.....	12
Material e Métodos.....	14
Resultados.....	16
Discussão.....	20
Conclusão.....	23
Referências.....	24
CAPÍTULO 2.....	29
Resumo.....	30
Abstract.....	31
Introdução.....	32
Material e Métodos.....	33
Resultados.....	37
Discussão.....	42
Conclusão.....	46

Referências	47
CAPÍTULO 3.....	52
Resumo	53
Abstract	54
Introdução	55
Material e Métodos	57
Resultados.....	60
Discussão	68
Conclusão	70
Referências	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
APÊNDICE	76

RESUMO

Este estudo investigou os efeitos do pó de rocha proveniente de gnaisses no cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Três experimentos foram desenvolvidos. No primeiro experimento, alevinos foram criados em aquários contendo substrato de pó de rocha bruto e pó de rocha lavado, tendo como grupo controle aquários sem substrato. Os resultados indicaram que o substrato bruto de rocha gnaisse com granulometria inferior a 6,3 mm proporcionou condições ideais para a criação de alevinos de tilápia, melhorando significativamente a taxa de mortalidade em comparação com aquários sem substrato ou com substrato lavado ($P < 0,05$). A conversão alimentar foi menos eficiente nos aquários com substrato lavado. O substrato bruto de rocha gnaisse mostrou-se benéfico para o cultivo de alevinos de tilápia do Nilo.

Um estudo adicional avaliou a influência dos substratos de rocha gnaisse de diferentes granulometrias no cultivo de pós-larvas de tilápias do Nilo. Os substratos influenciaram significativamente as concentrações de minerais na água. Parâmetros zootécnicos mostraram desempenho semelhante em ganho de peso e biomassa final entre alevinos cultivados com substratos de rocha gnaisse e o grupo controle, mas a taxa de mortalidade foi significativamente maior nos aquários com substratos, especialmente naqueles com granulometria mais fina. Investigações indicaram possível contaminação bacteriana de substratos armazenados incorretamente, resultando na liberação de compostos fenólicos, podendo ter contribuído para a mortalidade observada. O estudo ressaltou a importância de armazenar adequadamente substratos para evitar contaminação, sugerindo a necessidade de mais pesquisas para otimizar seu uso na aquicultura.

Outro estudo investigou o uso de substratos de rocha gnaisses de diferentes granulometrias em sistemas de criação de tilápias, com foco na produção de alevinos e na qualidade da água. Os substratos de rocha gnaisse aumentaram minerais na água como cálcio, magnésio e potássio em comparação com o grupo controle, mas não afetaram significativamente parâmetros zootécnicos. A biomassa final e a mortalidade dos alevinos foram menores nos aquários com substratos de rocha gnaisse, e a mortalidade foi observada em todos os tratamentos. Análises não detectaram contaminação por elementos específicos, mas um aumento inesperado na concentração de sílica no grupo controle foi identificado, correlacionado positivamente com a mortalidade. Exames histopatológicos não revelaram diferenças significativas, indicando a complexidade do uso de pó de rocha de gnaisses como substratos em sistemas de criação de tilápias. Mais pesquisas são necessárias para entender as causas da mortalidade e otimizar essa prática inovadora na aquicultura.

Palavras-chave: aquicultura, tilapicultura, gnaisse, pó de rocha, minerais

ABSTRACT

This study investigated the effects of rock dust from gneisses on the cultivation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Three experiments were carried. In the first experiment, fingerlings were cultivated in tanks containing crude rock dust and washed rock dust substrates. The results indicated that the crude rock dust substrate with a particle size smaller than 6.3 mm provided optimal conditions for tilapia fry cultivation, significantly improving the survival rate compared to tanks without substrate or with washed substrate ($P < 0.05$). However, feed conversion was less efficient in tanks with washed substrate. Crude gneiss rock substrate proved beneficial for Nile tilapia fingerlings cultivation, enhancing survival and providing favorable conditions for fish development.

An additional study evaluated the influence of gneiss rock substrates with different particle sizes on the cultivation of Nile tilapia post-larvae. The substrates significantly influenced mineral concentrations in the water. Zootechnical parameters showed similar performance in weight gain and final biomass between post-larvae cultivated with gneiss rock substrates and the control group, but the mortality rate was significantly higher in tanks with substrates, especially with finer particle sizes. Investigations indicated possible bacterial contamination of improperly stored substrates, resulting in the release of phenolic compounds, which may have contributed to the observed mortality. The study emphasized the importance of proper substrate storage to avoid contamination, suggesting the need for further research to optimize their use in aquaculture.

Another study investigated the use of gneiss rock substrates with different particle sizes in tilapia farming systems, focusing on fingerling production and water quality. Gneiss rock substrates increased minerals in the water, such as calcium, magnesium, and potassium, compared to the control group, but did not significantly affect zootechnical parameters. Final biomass and fry survival were lower in tanks with gneiss rock substrates, and mortality was observed in all treatments. Analyses did not detect contamination by specific elements, but an unexpected increase in silica concentration in the control group was identified, positively correlated with mortality. Histopathological examinations did not reveal significant differences, indicating the complexity of using gneiss rock dust as substrates in tilapia farming systems. Further research is needed to understand the causes of mortality and optimize this innovative practice in aquaculture.

Keywords: aquaculture, tilapia farming, gneiss, rock dust, minerals.

INTRODUÇÃO GERAL

Com o crescimento da população humana mundial em um cenário de recursos naturais limitados e preocupações ambientais crescentes, a busca por práticas mais sustentáveis e eficientes precisam ser exploradas para poder suprir as altas demandas alimentícias (Baroso et al., 2016; Peixe BR, 2023). A aquicultura vem ganhando destaque atualmente, visto que o consumo de pescado cresce a cada dia, mostrando-se altamente eficiente e capaz de suprir parte da demanda mundial de proteína de origem animal (Hogan, 1993; Valenti, 2002; Proença, 2013).

A piscicultura é uma prática fundamental focada na produção de peixes, sejam eles continentais ou marinhos (Rodrigues et al., 2013; Macedo & Sipaúba-Tavares, 2010). No cenário aquícola global, a piscicultura vem desempenhando um papel fundamental na produção de alimentos (Macedo & Sipaúba-Tavares, 2010). Essa atividade consiste no cultivo de peixes em ambientes variados, como tanques-rede em reservatórios ou rios, viveiros escavados ou sistemas de recirculação de água (Rodrigues et al., 2013; Carneiro et al., 2022). Ao contrário da pesca extrativa, a piscicultura oferece a vantagem de proporcionar um ambiente mais controlado, possibilitando a otimização das condições de crescimento e a minimização dos impactos ambientais (Carneiro et al., 2022). Além de contribuir significativamente para o suprimento de proteína animal na dieta humana, a piscicultura desempenha um papel crucial na conservação da biodiversidade aquática, na geração de empregos e no fortalecimento econômico de comunidades ligadas à produção (Riedo, 2022). A implementação de práticas sustentáveis na piscicultura é essencial para garantir a preservação dos ecossistemas aquáticos e a oferta contínua de produtos de qualidade (Rodrigues et al., 2013; Carneiro et al., 2022; Peixe BR, 2023).

As tilápias do Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) são peixes de água doce, originárias da África e do oriente médio, foram introduzidas em diversos países do mundo devido o interesse comercial, graças a sua alta capacidade adaptativa, facilidade de reprodução em cativeiro, aceitação positiva de uma grande diversidade de alimentos e por sua alta resistência a doenças e a baixos níveis de oxigênio (Duarte, 2011; Viana & Cruz, 2016). No Brasil, a tilápia *O. niloticus* é a espécie mais produzida, representando mais de 60% de toda a produção nacional da piscicultura com 550.060 toneladas, crescendo ano após ano (Peixe BR,

2023). Os estados do Paraná (187.800 t), São Paulo (77.300 t) e Minas Gerais (51.700t) são os maiores destaques no cenário da tilapicultura brasileira (Peixe BR, 2023).

A alevinagem de tilápias tem se destacado como uma prática fundamental na aquicultura global, contribuindo significativamente para o suprimento de proteína animal e conseguindo atender as exigências de segurança alimentar em muitas regiões do mundo (FAO, 2009; FAO, 2010; Peixe BR, 2023). No entanto, apesar de seus benefícios, essa atividade também apresenta uma série de desafios e impactos negativos que merecem atenção e análise crítica, como por exemplo as altas taxas de mortalidade nas fases iniciais e a dificuldade no manejo dos animais (Valenti, 2002; Neumann, 2004; Bezerra et al., 2008; FAO, 2009; FAO, 2010; Baroso et al., 2016; Godoy et al., 2020; Peixe BR, 2023). A fase inicial da produção de tilápias consiste na manutenção de larvas em um período pós-reversão sexual, sendo considerada de alta mortalidade (40-50%) até atingirem o período de alevinos de 10 g (Meurer et al., 2002).

A execução eficaz das práticas de manejo de viveiros é fundamental para garantir um ambiente propício ao desenvolvimento saudável dos alevinos e da comunidade macrobentônica, promovendo a qualidade e a sustentabilidade na produção aquícola (Da Silva et al., 2019).

A calagem e a adubação de viveiros escavados são práticas essenciais na piscicultura, diretamente relacionadas à produtividade e à qualidade dos cultivos de peixes, destacadas por diversos fatores que tornam sua adoção amplamente utilizada (Leonardo et al., 2009). A calagem vem com papel de “esterilização” e impermeabilização dos viveiros, servindo como preparação dos mesmos antes do início de cada ciclo, influenciando diretamente cada etapa da produção (Da Silva et al., 2019). A adubação desempenha um papel crucial ao fornecer nutrientes essenciais, como nitrogênio e fósforo, fundamentais para o crescimento do fitoplâncton e zooplâncton, que constituem a base da cadeia alimentar nos viveiros e são fontes cruciais de alimento para os peixes, além disso, a competição por nutrientes entre o fitoplâncton e as algas indesejáveis pode prevenir o crescimento destas últimas, evitando toxinas prejudiciais ao desenvolvimento saudável dos peixes (Rossi, 2013; Da Silva et al., 2019).

O uso de substratos tem recebido especial atenção em empreendimentos de aquicultura com o objetivo de proporcionar melhores condições ambientais, favorecendo a manutenção do equilíbrio iônico dos organismos aquáticos e proporcionando, assim, melhores resultados produtivos, conseqüentemente ampliando a rentabilidade econômica e economia de recursos (Bezerra et al., 2008; El-Sayed, 2006; Nascimento et al., 2019).

Apesar deste potencial de utilização, as fontes de cálcio e magnésio na aquicultura ainda são originadas de produtos destinados à agricultura, proporcionando baixo desempenho e expressiva variação nos resultados (Rossi, 2023).

As notícias de guerra entre Rússia e Ucrânia trouxeram preocupações com relação aos insumos para fertilização agrícola, uma vez que a Rússia é o maior distribuidor de fertilizantes a nível mundial (Santimaria, 2023). No Brasil, em 10 de dezembro de 2013, foi aprovada a lei Nº 12.890, que libera o uso de rochas para adubação na agricultura, o que traz benefícios para os produtores aquícolas no processo de adubação de viveiros, acelerando o crescimento das produções de zoo e fitoplâncton (Valenti, 2002; Lopes, 2020).

O uso de rochas como fertilizantes aquícolas emerge como uma alternativa promissora e inovadora para promover o crescimento saudável de organismos aquáticos, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais associados à agricultura convencional (Bergmann et al., 2014). A fertilização de ambientes aquáticos, como lagoas e tanques de criação, é uma estratégia comumente utilizada na aquicultura para otimizar a produção de organismos aquáticos. Tradicionalmente, essa fertilização tem se baseado no uso de produtos químicos e nutrientes solúveis, o que muitas vezes resulta em impactos adversos para a qualidade da água no ecossistema circundante e para a saúde dos organismos cultivados (Valenti, 2002).

A utilização de rochas como fonte de nutrientes tem ganhado reconhecimento devido aos seus múltiplos benefícios (Bergmann et al., 2014), pois, ao contrário dos fertilizantes químicos, tem capacidade de fornecer nutrientes de forma gradual e contínua, o que reduz o risco de eutrofização e poluição das águas. Além disso, a utilização de rochas como fertilizante pode contribuir para a remineralização do solo e da água, melhorando a qualidade dos substratos e promovendo a saúde geral dos organismos aquáticos (Nishanth & Biswas, 2008; Astera & Agrícola, 2010; Bergmann et al., 2014; Ramos et al., 2015; Uhlig et al., 2017; Medeiros, 2022).

Adicionalmente, essa prática pode reduzir a dependência de fertilizantes químicos que frequentemente requerem energia intensiva para a sua produção e transporte, tornando a aquicultura mais sustentável do ponto de vista ambiental. No âmbito econômico, o uso de rochas como fertilizantes aquícolas pode representar uma alternativa de baixo custo em comparação com os fertilizantes químicos convencionais, o que pode aumentar a rentabilidade dos produtores e promover o desenvolvimento econômico de comunidades rurais (Nishanth & Biswas, 2008; Uhlig et al., 2017; Medeiros, 2022). Além disso, essa prática pode reduzir a

vulnerabilidade dos sistemas aquícolas às flutuações de preços e à disponibilidade de fertilizantes químicos (Astera & Agrícola, 2010).

Os gnaisses são rochas metamórficas que podem ser formadas a partir de granitos submetidos a altas temperaturas e grande pressão durante um período prolongado (Silveira, 2005; Tambara et al., 2019). Essas rochas apresentam elevadas concentrações de fósforo e potássio em sua composição, minerais altamente eficazes como fertilizantes agrícolas. Isso amplia a quantidade de nutrientes no solo, incrementando a rentabilidade das atividades agrícolas e, conseqüentemente, aprimorando tanto a quantidade quanto a qualidade dos vegetais produzidos (Camargo, 2013; Valentini et al., 2016; Viana e Cruz, 2016). Apesar desse imenso potencial, observa-se que a maioria dos substratos ricos em fontes de cálcio e magnésio, substâncias necessárias para o crescimento saudável dos alevinos na aquicultura, são originados de produtos destinados à agricultura, proporcionando assim um baixo desempenho e expressiva variação na produção de peixes (Silveira, 2005; Camargo, 2013; Viana e Cruz, 2016; Valentini et al., 2016; Tambara et al., 2019).

Os organismos aquáticos estão em constante interação com o meio ambiente, em um processo conhecido como equilíbrio osmótico, característica que permite a regulação de sais dentro dos peixes de água doce, bem como o ganho e a perda de água. Os peixes retêm os sais dos nutrientes através do epitélio das brânquias, tornando-os hiperosmóticos em relação ao meio, e eliminam o excesso destes sais na urina (El-Sayed, 2006). Essa troca gera alto gasto energético, tanto para poder manter os sais dentro do organismo quanto para eliminar a água residual, o que pode influenciar diretamente no comportamento e no metabolismo dos peixes. Em consequência dessas trocas por difusão, o meio acaba por se tornar saturado em amônia tóxica, que é eliminada pelos peixes (Pascke e Lanzendorf, 2017).

A utilização de substratos que possam garantir melhor equilíbrio iônico e manutenção da saúde dos organismos aquáticos pode ser importante para diminuição das taxas de mortalidade, e para a melhora do crescimento nas fases iniciais de criação. Sendo assim, proporcionar um substrato rico em minerais e que possa garantir maior equilíbrio iônico, assim como a manutenção da saúde dos organismos aquáticos, pode ser fundamental para a produção aquícola de modo geral. Neste contexto, este estudo se propõe a explorar em detalhes os principais aspectos do uso de rochas gnaisses, de diferentes granulometrias, como substrato em sistemas fechados de aquicultura, enfatizando os benefícios dessa prática com aplicação à cadeia produtiva, e sua influência nos peixes expostos aos minerais na fase de alevinagem. A análise desses aspectos fornecerá uma base sólida para a promoção e adoção

dessa prática inovadora na aquicultura moderna, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção aquícola e a conservação dos recursos hídricos globais.

REFERÊNCIAS

- Astera, M., & Agricola. 2010. *The ideal soil: A handbook for the new agriculture*. Soilminerals. com, 139 pag.
- Baroso, R. M., Munoz, A. E. P., Ríoz, J. L. 2016. Informativo: O Mercado da Tilápia - 2º trimestre de 2016. *Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, (8).
- Bergmann, M., Silveira, C. A. P., Bamberg, A. L., Martinazzo, R., & Grecco, M. F. 2014. Considerações sobre o potencial de uso agrônômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: Hartmann, L.A., Silva, J, T. Da; & Donato, M. (Org.). *Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração*. Porto Alegre: UFRGS, p. 119-126.
- Bezerra, K. S., Santos, A. J. G., Leite, M. R., Silva, A. M. D., & Lima, M. R. D. 2008. Crescimento e sobrevivência da tilápia chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 737-743. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000600010>
- Camargo, D. J. D. 2013. *Suplementação mineral e vitamínica em dietas para alevinos de tilápia do Nilo* (Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Estadual do Oeste do Paraná). Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1926>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Carneiro, C. J., Brum, A. L., Thesing, N. J., & Prochnow, D. A. 2022. Cadeia produtiva da piscicultura: um olhar para a evolução da tilapicultura no Brasil. *Revista Perspectiva*, 46(175): 25-34. <https://doi.org/10.31512/persp.v.46.n.175.2022.223.p.25-34>.
- Da Silva, B. C., Della-Giustina, E. G., Massago, H., da Costa Marchiori, N., & Garcia, S. 2019. Monocultivo de tilápia em viveiros escavados em Santa Catarina. *Sistemas de Produção*, (52):126-126.
- Duarte, E. 2011. *Cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro* (Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri). Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/735>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture in salt water: environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. *Avances en Nutricion Acuicola VIII*. In: *VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Universidade Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- FAO Fisheries, Aquaculture Dept. Fishery, Aquaculture Information, & Statistics Service. 2009. *FAO Yearbook: FAO Annuaire. Statistiques Des Pêches Et de L'aquaculture. Fishery and aquaculture statistics*. FAO.
- Godoy, A. C., Chiavelli, L. U. R., Oxford, J. H., Rodrigues, R. B., de Oliveira Ferreira, I., Marcondes, A. S., da Silva, C.A.H. & Neu, D. 2021. Evaluation of limnological dynamics in Nile tilapia farming tank. *Aquaculture and Fisheries*, 6(5): 485-494. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.08.005>.
- Hogan, D. J. 1993. Crescimento populacional e desenvolvimento sustentável. *Lua Nova: revista de cultura e política*, 57-78. <https://doi.org/10.1590/S0102-64451993000300004>.
- Lopes, I. G. 2020. *Tratamento de resíduos da aquicultura: compostagem e uso de mosca soldado negro* (Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, UNESP). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/191840>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Macedo, C. F., & Sipaúba-Tavares, L. H. 2010. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. *Boletim do instituto de Pesca*, 36(2), 149-163.
- Medeiros, F. D. P. 2022. *Bioprocessos para a otimização de pós de rocha utilizados na agricultura* (Tese

- de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa). Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/29519>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Meurer, F., Hayashi, C., & Boscolo, W. R. 2003. Influência do processamento da ração no desempenho e sobrevivência da tilápia do Nilo durante a reversão sexual. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32, 262-267. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000200003>.
- Nascimento, T. S. R.; Bojink, C. L.; Pádua, D. M. C. 2007. Efeito do ph da água no equilíbrio iônico de alevinos de *Piaractus mesopotamicus*. In: Congresso Brasileiro De Produção De Peixes Nativos De Água Doce, Mato Grosso.
- Neumann, E. 2004. *Características do desenvolvimento inicial de duas linhagens de tilápia Oreochromis niloticus e uma linhagem híbrida de Oreochromis sp* (Dissertação de mestrado - Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/144148>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Nishanth, D., & Biswas, D. R. 2008. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology*, 99(9), 3342 - 3353. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.025>.
- Pascke, M. S., & Lanzendorf, F. N. 2017. Diferença entre peixes de água salgada e peixes de água doce. *Maiêutica-Ciências Biológicas*, 5(1).
- Peixe BR. 2023. Anuário brasileiro da piscicultura Peixe BR 2023. *Associação Brasileira da Piscicultura*. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario/>.
- Proença, D. C. 2013. Aplicação de indicadores e índices para avaliar a sustentabilidade ambiental em um sistema de aquicultura integrado e multitrófico com diferentes substratos (Dissertação de mestrado - Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90046>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Ramos, C. G., Querol, X., Oliveira, M. L. S., Pires, K., Kautzmann, R. M., & Oliveira, L. F. S. (2015). A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of The Total Environment*, 512-513: 371 - 380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.070>.
- Riedo, I. G. 2022. Relações interinstitucionais estratégicas para o desenvolvimento organizacional: um olhar para dentro na piscicultura brasileira (Tese de doutorado - Universidade Estadual do Oeste do Paraná). Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6221>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Rodrigues, A. P. O., Lima, A. F., Alves, A. L., Rosa, D. K., Torati, L. S., & dos Santos, V. R. V. (2013). Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos.
- Rossi, G. H. Restrição alimentar associada à alimentação natural no crescimento de alevinos de tilápias / Giovane Henrique Rossi - São Paulo, 2023. v; 50f.; 5t., 7f. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/pos-graduacao-dissertacoes>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Santimaria, J. P. M. 2023. Impacto da guerra Rússia/Ucrânia sobre o mercado de fertilizantes brasileiro (Trabalho de conclusão de curso de graduação - Universidade Federal de São Carlos). Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18721>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Silveira, F. G. (2005). *Investigação do comportamento mecânico de um solo residual de gnaisses da cidade de Porto Alegre* (Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Disponível em: Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Tambara, G. B., Koester, E., Ramos, R. C., Porcher, C. C., Vieira, D. T., Fernandes, L. A. D. Á.,

- & Cristine, L. E. N. Z. 2019. Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcálico médio a alto-K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 46(2). <https://doi.org/10.22456/1807-9806.95466>.
- Uhlig, D.; Schuessler, J. A.; Bouchez, J.; Dixon, J. L.; & Von Blanckenburg, F. 2017. Quantifying nutrient uptake as driver of rock weathering in forest ecosystems by magnesium stable isotopes. *Biogeosciences*, 14(12), 3111–3128. <https://doi.org/10.5194/bg-14-3111-2017>.
- Valenti, W. C. 2002. Aquicultura sustentável. In *12º Congresso de zootecnia*. 111-118.
- Valentini, L., Ferreira, J. M., Andrade, W., Oliveira, L., & Shymoiá, A. 2016. Avaliação de pó de rocha como fertilizante alternativo em pastagem na Região Noroeste. *Informação tecnológica on line*, 96.
- Viana, L. G., & Cruz, P. S. 2016. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. In *Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental – COBESA*.

CAPÍTULO 1

**Uso do pó de rocha como substrato para produção de alevinos de tilápia do Nilo
(*Oreochromis niloticus*)**

Resumo

Com o aumento da população global, a piscicultura se tornou uma alternativa crucial para atender à crescente demanda por alimentos ricos em proteína animal, como peixes. No entanto, a criação de peixes em sistemas de aquicultura enfrenta desafios relacionados ao equilíbrio osmótico dos organismos aquáticos e à necessidade de substratos adequados. Este estudo investigou os efeitos do substrato de rocha gnaisse no crescimento, comportamento e mortalidade de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Os resultados mostraram que o substrato bruto de rocha gnaisse, com granulometria inferior a 6,3 mm, proporcionou condições ideais para a criação de alevinos de tilápia. Este substrato melhorou a taxa de mortalidade dos peixes em comparação com aqueles criados em aquários sem substrato ou com substrato lavado ($P < 0,05$). Além disso, não houve diferença significativa no peso final e no ganho de peso dos peixes entre os diferentes tratamentos ($P > 0,05$). No entanto, a conversão alimentar foi menos eficiente nos aquários com substrato lavado. O substrato bruto de rocha gnaisse mostrou-se benéfico para o cultivo de alevinos de tilápia do Nilo, diminuindo a mortalidade e oferecendo condições favoráveis para o desenvolvimento dos peixes. Entretanto, são necessárias investigações adicionais com um período de estudo mais longo, para fornecer resultados mais conclusivos sobre o uso desse substrato na criação de tilápias.

Palavras-chave: aquicultura, equilíbrio osmótico, ictio, sólidos dissolvidos totais, tilapicultura.

Abstract

With the increase in the global population, aquaculture has become a crucial alternative to meet the growing demand for animal protein-rich foods, such as fish. However, fish farming in aquaculture systems faces challenges related to the osmotic balance of aquatic organisms and the need for suitable substrates. This study investigated the effects of gneiss rock substrate on the growth, behavior, and survival of Nile tilapia fry (*Oreochromis niloticus*). The results showed that the raw gneiss rock substrate with a particle size less than 6.3 mm provided optimal conditions for Nile tilapia fry rearing. This substrate improved the fish survival rate compared to those raised in tanks without substrate or with washed substrate ($P < 0.05$). Additionally, there was no significant difference in the final weight and weight gain of the fish among the different treatments ($P > 0.05$). However, feed conversion was less efficient in tanks with washed substrate. The raw gneiss rock substrate proved beneficial for Nile tilapia fry cultivation, enhancing survival and providing favorable conditions for fish development. Nevertheless, further investigations with a longer study period are needed to provide more conclusive results on the use of this substrate in tilapia aquaculture.

Keywords: aquaculture, osmotic balance, ichthyology, total dissolved solids, tilapia farming

Introdução

Com o crescimento da população humana mundial, diferentes técnicas precisam ser exploradas para poder suprir as altas demandas alimentícias (Peixe BR, 2023). A piscicultura (criação de peixes com âmbito comercial) ganhou bastante destaque atualmente, visto que o consumo de peixes cresce a cada dia, mostrando-se altamente eficiente e capaz de suprir parte da demanda mundial de proteína de origem animal (Hogan, 1993; Valenti, 2002; Proença, 2013).

As tilápias do Nilo *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) são peixes de água doce, originárias da África e do oriente médio, foram introduzidas em diversos países do mundo devido o interesse comercial, graças a sua alta capacidade adaptativa, facilidade de reprodução em cativeiro, aceitação positiva de uma grande diversidade de alimentos e por sua alta resistência a doenças e a baixos níveis de oxigênio (Duarte, 2011; Viana & Cruz, 2016). No Brasil, a tilápia *O. niloticus* é a espécie mais produzida, representando mais de 60% de toda a produção nacional da piscicultura com 550.060 toneladas, crescendo ano após ano (Peixe BR, 2023). Os estados do Paraná (187.800 t), São Paulo (77.300 t) e Minas Gerais (51.700t) são os maiores destaques no cenário da tilapicultura brasileira (Peixe BR, 2023).

Entretanto, a fase inicial da produção de tilápias é a mais difícil, considerando-se a alta mortalidade (40-50%) até atingirem o peso de 10g, sendo influenciada por diversas variáveis como por exemplo fotoperíodo, temperatura, oxigenação, etc (Neumann, 2004; Godoy et al., 2020).

Os organismos aquáticos estão em constante interação com o meio ambiente, em um processo conhecido como equilíbrio osmótico, característica que permite a regulação de sais dentro dos peixes de água doce, bem como o ganho e a perda de água. Os peixes retêm os sais dos nutrientes através do epitélio das brânquias, tornando-os hiperosmóticos em relação ao meio, e eliminam o excesso destes sais na urina (El-Sayed, 2006). Essa troca gera alto gasto energético, tanto para poder manter os sais dentro do organismo quanto para eliminar a água residual, o que pode influenciar diretamente no comportamento e no metabolismo dos peixes. Em consequência dessas trocas por difusão, o meio acaba por se tornar saturado em amônia tóxica, que é eliminada pelos peixes (Pascke e Lanzendorf, 2017).

O uso de substratos tem recebido especial atenção em empreendimentos de aquicultura com o objetivo de proporcionar melhores condições ambientais, favorecendo a manutenção do equilíbrio iônico dos organismos aquáticos e proporcionando melhores

resultados produtivos, por consequência, ampliando a rentabilidade e economia de recursos (Bezerra et al. 2008; El-Sayed, 2006; Nascimento et al., 2019).

Os gnaisses são rochas metamórficas que podem ser formadas a partir de granitos submetidos a altas temperaturas e grande pressão durante um período prolongado (Silveira, 2005; Tambara et al., 2019). Essas rochas apresentam elevadas concentrações de fósforo e potássio em sua composição, minerais altamente eficazes como fertilizantes agrícolas. Isso amplia a quantidade de nutrientes no solo, incrementando a rentabilidade das atividades agrícolas e, conseqüentemente, aprimorando tanto a quantidade quanto a qualidade dos vegetais produzidos (Camargo, 2013; Valentini et al., 2016; Viana e Cruz, 2016). Apesar desse imenso potencial, observa-se que a maioria dos substratos ricos em fontes de cálcio e magnésio, substâncias necessárias para o crescimento saudável dos alevinos na aquicultura, são originados de produtos destinados à agricultura, proporcionando assim um baixo desempenho e expressiva variação na produção de peixes (Silveira, 2005; Camargo, 2013; Viana e Cruz, 2016; Valentini et al., 2016; Tambara et al., 2019).

Sendo assim, proporcionar um substrato rico em minerais e que possa garantir maior equilíbrio iônico, assim como manutenção da saúde dos organismos aquáticos, pode ser fundamental para a diminuição da taxa de mortalidade e para a aceleração do crescimento dos estágios iniciais dos peixes. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência da presença do substrato de rocha gnaiss, desenvolvido especificamente para aquicultura, no crescimento de alevinos de tilápia do Nilo.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório Multiusuário do Instituto de Pesca/APTA/SAA, localizado em São Paulo/SP por 30 dias (iniciando no dia 29/09/2021, seguindo até o dia 29/10/2021) tendo o número de aprovação 04/2022 junto ao CEEAIP (Comitê de Ética em Experimentação Animal do Instituto de Pesca). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 5 repetições. Os testes foram conduzidos em sistemas de água doce com alevinos de tilápia. Os tratamentos avaliados foram: (1) cinco aquários de 14L sem substrato (tratamento controle), (2) cinco aquários de 14L com 2,5 kg de substrato lavado de rocha gnaisse, e (3) cinco aquários de 14L com 2,5 kg de substrato bruto de rocha gnaisse (sem lavar), na forma de pedrisco fino, com granulometria < 6,3mm. Todos os aquários foram equipados com filtragem simples externa, com filtros tipo hang-on, com material filtrante tipo perlon, e expostos à fotoperíodo natural de 12 horas de luz.

Os aquários foram reabastecidos diariamente com o volume de água perdido por evaporação. Semanalmente, foi realizada a troca parcial de água de aproximadamente 15% do volume total dos aquários. Parâmetros de temperatura, oxigênio, pH e sólidos totais dissolvidos (TDS) foram avaliados utilizando sondas multiparâmetros. Os parâmetros amônia, nitrito e nitrato foram avaliados semanalmente utilizando os testes comerciais da Labcon®.

Os alevinos foram alimentados com ração na quantidade de 5% da biomassa, dividida em porções ao longo do dia. A ração utilizada foi extrusada, contendo 42% de proteína bruta e granulometria de 1 mm. A avaliação dos alevinos foi feita em relação à mortalidade, ganho de peso (GP) e conversão alimentar aparente (CAA), conforme descrito por Rossi (2023):

A) Ganho de peso (GP) = peso final - peso inicial;

B) Conversão alimentar aparente (CAA) = consumo de ração diário/ganho em peso;

Ao final do experimento, determinou-se o GP e CAA considerando todo período experimental e a mortalidade. A mortalidade (S) foi dada por:

$S = N^{\circ} \text{ inicial de peixes} - N^{\circ} \text{ final de peixes};$

O consumo alimentar (peso do alimento fornecido) foi anotado diariamente. A somatória foi realizada ao final da experimentação para cálculo de biomassa e conversão alimentar. Cinco exemplares de cada tratamento foram abatidos, pesados e medidos em comprimento padrão (CP) para determinação da relação peso/CP.

A análise de variância foi realizada utilizando o programa SigmaStat 3.5 for Windows, avaliando-se os dados quanto à normalidade e homogeneidade de variâncias. As médias entre os grupos experimentais foram comparadas pelo teste SNK. Todas as análises foram realizadas com nível de significância de 95%.

Resultados

As médias dos parâmetros limnológicos aos 15 e 30 dias de experimentação estão apresentadas respectivamente nas Tabelas 1 e 2. Foram observadas diferenças apenas na concentração de sólidos dissolvidos totais ($p < 0,05$). Todos os parâmetros estavam dentro dos limites aceitáveis para o cultivo de tilápias (El-Sayed, 2006).

Tabela 1. Média e desvio padrão dos parâmetros limnológicos dos aquários contendo substratos de rocha gnaisse aos 15 dias da experimentação.

Parâmetro	Substrato Bruto	Substrato Lavado	Sem Substrato
Oxigênio (mg/L)	6,27 (0,14)A	6,16 (0,17)A	6,43 (0,15)A
Temperatura (°C)	23,35 (0,05)A	23,29 (0,10)A	23,31 (0,04)A
pH	6,88 (0,02)A	6,85 (0,02)A	6,88 (0,03)A
TDS (mg/L) *	174,20 (1,54)A	163,80 (1,69)B	147,53 (2,24)C

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

Tabela 2. Média e desvio padrão dos parâmetros limnológicos dos aquários contendo substratos de rocha gnaisse aos 30 dias da experimentação.

Parâmetro	Substrato Bruto	Substrato Lavado	Sem Substrato
Oxigênio (mg/L)	5,26 (0,33)B	6,15 (0,36)A	6,51 (0,45)A
Temperatura (°C)	24,77 (0,12)A	24,68 (0,18)A	24,80 (0,13)A
pH	6,72 (0,06)A	6,72 (0,04)A	6,71 (0,09)A
TDS (mg/L)*	207,30 (3,35)A	188,50 (10,07)B	180,10 (13,00)B

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

A amônia mostrou-se elevada em todos os tratamentos aos 15 dias de experimentação, excedendo os 2,5 mg/L. No entanto, aos 30 dias, essa concentração reduziu para 0,25 mg/L nos tratamentos com substrato lavado ou bruto, permanecendo elevada (>2,5 mg/L) apenas nos aquários sem substrato ($p < 0,05$).

Não houve diferença no peso final e no ganho de peso dos peixes ($p > 0,05$). Entretanto, os alevinos cultivados nos aquários contendo substrato lavado apresentaram pior conversão alimentar ($1,42 \pm 0,39$) quando comparados com aqueles criados em aquários sem substrato ($0,76 \pm 0,07$) ou com substrato bruto ($1,00 \pm 0,25$). A mortalidade dos alevinos foi maior nos aquários que continham substrato bruto quando comparada aos aquários sem substrato ou contendo substrato lavado ($p < 0,05$). As Tabelas 3 e 4 apresentam as médias dos parâmetros zootécnicos dos alevinos aos 15 e 30 dias de cultivo, respectivamente.

Tabela 3. Média e desvio padrão do peso final e de parâmetros zootécnicos de alevinos de tilápias *Oreochromis niloticus*, cultivados por 15 dias em aquários contendo substrato de rocha gnaisse.

Variável	Substrato bruto	Substrato lavado	Sem substrato
Peso final (g)	0,69 (0,03)A	0,64 (0,03)A	0,65 (0,02)A
Ganho de peso (g)	0,32 (0,09)A	0,37 (1,19)A	0,37 (0,13)A
CAA ¹	1,00 (0,25)A*	1,42 (0,39)B	0,76 (0,07)A
Mortalidade (%)	4,00 (5,96)A	30,67 (24,77)B	10,67 (10,11)AB

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%. ¹CAA, conversão alimentar aparente.

Tabela 4. Média e desvio padrão do peso final e de parâmetros zootécnicos de alevinos de tilápias *Oreochromis niloticus*, cultivados por 30 dias em aquários contendo substrato de rocha gnaisse.

Variável	Substrato bruto	Substrato lavado	Sem substrato
Peso final (g)	1,66 (0,22)A	1,65 (0,36)A	1,79 (0,22)A
Ganho de peso (g)	0,97 (0,19)A	1,01 (0,34)A	1,13 (0,20)A
CAA ¹	1,16 (0,14)A*	1,74 (0,44)B	1,14 (0,15)A
Mortalidade (%)	6,67 (9,43)A	37,34 (30,04)B	10,77 (2,98)B

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%. ¹CAA, conversão alimentar aparente.

Observou-se valores significativamente maiores de mortalidade no tratamento com substrato lavado, seguido pelo controle (sem substrato), conforme apresentado na Figura 1.

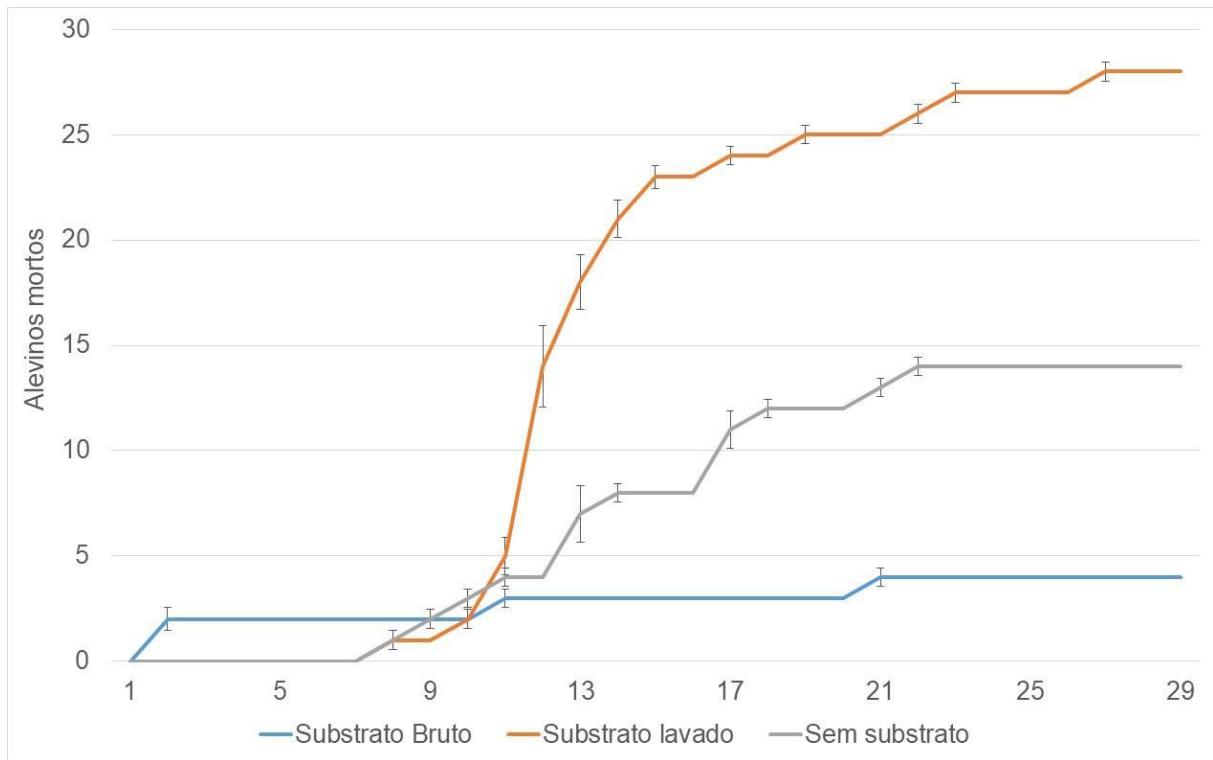


Figura 1. Número acumulado de peixes mortos ao longo do período de 30 dias.

Discussão

Os aquários contendo substrato bruto de rocha gnaisse de granulometria <6,3 mm apresentaram melhores condições de cultivo de alevinos de tilápias, como evidenciado pela menor taxa de mortalidade em relação ao substrato lavado e ao tratamento controle.

A alta variação encontrada nos sólidos dissolvidos totais (TDS) está associada à granulometria do substrato. Pode-se observar que a presença do pó de menor granulometria libera muito material particulado no meio, o que tende a aumentar o número de íons dissolvidos na água, levando assim aos resultados obtidos (Cardenas Calvachi & Sanchez Ortiz, 2013). O mesmo ocorre no substrato lavado, com maiores resultados de TDS em relação ao tratamento controle. Pode-se considerar que a lavagem retira parte do material particulado de menor granulometria presente no substrato, influenciando negativamente os resultados zootécnicos dos alevinos (WHO, 2011). Outro ponto que deve ganhar destaque é que, devido à presença dos peixes no meio, ocorre a liberação de dejetos e muco, o que tende a aumentar a quantidade de íons em suspensão. No entanto, essa quantidade é muito baixa, mostrando-se significativamente menor quando comparada ao tratamento controle e aos aquários com substratos (Ayroza et al., 2013; Rusydi, 2018; Godoy et al., 2020).

Os minerais de processamento industrial são de alta solubilidade, ou seja, assim que entram em contato com a água eles são solubilizados, ideais para necessidades de alta absorção como no cultivo de hortaliças, no tratamento de doenças ou para suprir alguma deficiência de minerais em plantas (Ramos et al., 2015; Uhlig et al., 2017). Para a utilização na criação de alevinos de tilápia, as rochas se encaixam melhor, pois a liberação dos minerais acontece de forma gradativa, favorecendo a absorção em pequenas quantias por um período maior (longa exposição), levando em consideração as diferentes composições de cada mineral, onde todos têm suas peculiaridades e seus pontos de fusão, o que afeta diretamente na sua solubilidade (Nishanth & Biswas, 2008; Silva et al., 2014; Bergmann et al., 2014).

Durante a experimentação foi possível observar que os alevinos apresentavam redução no consumo de ração, nadadeira caudal fechada e pontos brancos nas nadadeiras. Foi confirmada a presença de sintomas de parasitose nos alevinos em todos os aquários, e através de diagnóstico foi possível determinar que se tratava do protozoário ectoparasita ciliado *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet, 1876), conhecido como Ictio, ou parasita dos pontos brancos. Este parasita tem importância em nível mundial, sendo o maior causador de prejuízos por doenças em pisciculturas (Shinn et al., 2009; Ørgård Tange et al., 2020; Nguyen et al., 2020).

Possui o ciclo de vida relativamente curto, simplificado em 3 fases: infectante (terontes), parasitária (trofontes) e reprodutivas (tomontes), podendo durar em sua totalidade de 3-4 dias até 5 semanas, variando de acordo com a temperatura local (28°C e 4°C, respectivamente). Quanto menor a temperatura, maior a sua mortalidade e capacidade de reprodução, pois são muito resistentes, mas tem preferência por ambientes mais gelados (Shinn et al., 2012; Ørgård Tange et al., 2020).

O elevado nível de mortalidade observado durante a experimentação pode ser atribuído a essa infecção, visto que a presença da parasita causa diversas avarias a pele dos peixes, diminuindo sua imunidade e os deixando vulneráveis a ataques de fungos e bactérias presentes no meio (Xu et al., 2008; Durigon et al., 2019; Ørgård Tange et al., 2020). Interessantemente, os alevinos cultivados em aquários contendo substrato bruto podem ter apresentado maior resistência à parasitose, devido a uma maior concentração de íons dissolvidos na água, melhorando aspectos de osmorregulação dos alevinos e também de desregulagem osmótica de parasitos (Uhlig et al., 2017).

Considerando as variáveis, a infestação pode ter sido ocasionada pela redução na temperatura, observando-se mínima atingida de 21 °C (Klein et al., 2004; França et al., 2015). Todos os aquários receberam tratamento com parasiticida Ictio da Labcon®, repetido a cada 48 horas, conforme instruções do fabricante, durante uma semana, aliado ao aquecimento do laboratório. No final do tratamento observou-se melhora no comportamento dos alevinos e ausência de sinais clínicos.

Embora a taxa de infestação pelo Ictio não tenha sido analisada, a menor mortalidade ocorrida no tratamento controle (aquários sem substratos) pode ser indicativa de que a ausência de substrato dificulta o ciclo de vida do protozoário. Isso pode estar relacionado a uma possível menor infestação neste tratamento quando comparado ao tratamento com substrato lavado (Shinn et al., 2012; Ørgård Tange et al., 2020).

Durante a experimentação foram observadas altas concentrações de amônia em todos os aquários. Quando em altas quantidades, esse composto é capaz de causar danos aos órgãos, variando de acordo com o tempo de exposição e com os parâmetros limnológicos, podendo elevar a mortalidade (Liponnen et al., 2002; Chen et al., 2006; Pedrotti, 2018). Na natureza é contabilizada como amônia total, onde sua toxicidade pode ser potencializada em até 10 vezes de acordo com pH e a temperatura, onde quanto maior os parâmetros, maior a toxicidade (Duarte, 2011). A alta quantidade de proteína presente na ração também exerce influência sobre a quantidade de amônia, uma vez que o organismo dos peixes não consegue absorver

100% dessa proteína, excretando o excesso em forma de uréia, diretamente relacionando-se às bactérias que fazem a nitrificação desses compostos. Entretanto, os microrganismos necessitam de tempo para realizar a colonização dos sistemas, não sendo possível observar isso durante os 15 dias de duração do experimento (Liponnen et al., 2002; Chen et al., 2006; Duarte, 2011; Cardenas Calvachi e Sanchez Ortiz, 2013).

As bactérias nitrificantes pertencem a diversos gêneros (principalmente *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) que se aderem em superfícies levemente porosas, formando aglomerados de células, oxidando a amônia (NH_3) em nitrito (NO_2) e, posteriormente, outros gêneros de bactérias convertem nitrito em nitrato (NO_3) (Gee et al., 1990; Liponnen et al., 2002; Chen et al., 2006; Ihuma et al., 2021). Estudos relacionam que a presença de íons cálcio e cloretos na água podem proporcionar maior tolerância dos alevinos à altas concentrações dos compostos nitrogenados (Cardenas Calvachi e Sanchez Ortiz, 2013).

Conclusão

Este estudo é um dos primeiros que investigam os efeitos de diferentes tipos de substrato de rocha gnaisse no crescimento e na diminuição da mortalidade em alevinos de tilápia. Os resultados mostraram que o substrato bruto de granulometria $<6,3$ mm é o que proporciona melhores condições para a criação e para a integridade física dos animais. O procedimento de lavagem do substrato não é indicado devido às altas taxas de mortalidade encontradas no caso de uma possível infestação de parasitas. Faz-se necessário a realização de estudos com maior tempo de duração, podendo demonstrar resultados mais promissores relacionados ao uso de substratos de rocha gnaisse no cultivo de alevinos de tilápias.

Referências

- Ayroza, D. M. M. R., Nogueira, M. G., Da Silva Ayroza, L. M., Carvalho, E. D., Ferraudo, A. S., Camargo, A. F. M. 2013. Temporal and Spatial Variability of Limnological Characteristics in Areas under the Influence of Tilapia Cages in the Chavantes Reservoir, Paranapanema River, Brazil. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(6), 814-825. <https://doi.org/10.1111/jwas.12082>.
- Bergmann, M., Silveira, C. A. P., Bamberg, A. L., Martinazzo, R., Grecco, M. F. 2014. Considerações sobre o potencial de uso agrônomo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: Hartmann, L.A., Silva, J, T. Da; Donato, M. (Org.). *Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração*. Porto Alegre: UFRGS, p. 119-126.
- Bezerra, K. S., Santos, A. J. G., Leite, M. R., Silva, A. M. D., Lima, M. R. D. 2008. Crescimento e sobrevivência da tilápia chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 737-743. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000600010>
- Camargo, D. J. D. 2013. *Suplementação mineral e vitamínica em dietas para alevinos de tilápia do Nilo* (Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Estadual do Oeste do Paraná). Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1926>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Cárdenas Calvachi, G. L., Sánchez Ortiz, I. A. 2013. Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72-88.
- Chen, S., Ling, J., Blancheton, J. P. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural engineering*, 34(3), 179-197. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>.
- Duarte, E. 2011. *Cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro* (Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri). Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/735>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Durigon, E. G., Almeida, A. P. G., Jerônimo, G. T., Baldisserotto, B., Emerenciano, M. G. C. 2019. Digestive enzymes and parasitology of Nile tilapia juveniles raised in brackish biofloc water and fed with different digestible protein and digestible energy levels. *Aquaculture*, Aquaculture, (506, 35-41). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.022>.

- El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture in salt water: environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. Avances en Nutricion Acuicola VIII. In: *VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Universidade Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- França, C., Fujimoto, R., Nizio, D. D. C., Carneiro, P., Blank, A., Maria, A. 2015. Avaliação in vitro da eficácia de formulações com produtos vegetais no controle do íctio. In: *Seminário De Iniciação Científica E Pós-Graduação Da Embrapa Tabuleiros Costeiros*. Brasília: Embrapa, p. 161-167.
- Gee, C. S., Pfeffer, J. T., Suidan, M. T. 1990. Nitrosomonas and Nitrobacter Interactions in Biological Nitrification . *Journal of Environmental Engineering*, 116(1), 4-17. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1990\)116:1\(4\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1990)116:1(4)).
- Godoy, A. C., Chiavelli, L. U. R., Oxford, J. H., Rodrigues, R. B., de Oliveira Ferreira, I., Marcondes, A. S., da Silva, C.A.H., Neu, D. 2021. Evaluation of limnological dynamics in Nile tilapia farming tank. *Aquaculture and Fisheries*, 6(5): 485-494. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.08.005>.
- Hogan, D. J. 1993. Crescimento populacional e desenvolvimento sustentável. *Lua Nova: revista de cultura e política*, 57-78. <https://doi.org/10.1590/S0102-64451993000300004>.
- Ihuma, J. O., Philip A., Kurah B. E. 2021. Effect of pesticide (chlorypyrifos) on the growth of nitrifying bacteria (Nitrosomonas and Nitrobacter species) isolated from the soil. *Asian Journal of Plant and Soil Sciences*, 6(1), 233-238.
- Klein, S., Feiden, A., Boscolo, W. R., Reidel, A., Signor, A., Signor, A. A. 2004. Utilização de produtos químicos no controle de Ichthyophthirius multifiliis, Fouquet (1876) em alevinos de surubim do Iguaçu Steindachneridion sp., Garavello (1991). *Semina: Ciências Agrárias*, 25(1), 51-58. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2004v25n1p51>.
- Lipponen, M. T. Suutari, M. H., Martikainen, P. J. 2002. Occurrence of nitrifying bacteria and nitrification in Finnish drinking water distribution systems. *Water Research*, 36(17), 4319-4329. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00169-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00169-0).
- Nascimento, T. S. R.; Boijink, C. L.; Pádua, D. M. C. 2007. Efeito do ph da água no equilíbrio iônico de alevinos de *Piaractus mesopotamicus*. In: *Congresso Brasileiro De Produção De Peixes Nativos De Água Doce*, Mato Grosso.
- Neumann, E. 2004. *Características do desenvolvimento inicial de duas linhagens de tilápia Oreochromis niloticus e uma linhagem híbrida de Oreochromis sp* (Dissertação de mestrado - Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura, Universidade Estadual

- Paulista). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/144148>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Nguyen, T. H., Dorny, P., Nguyen, T. T. G., Dermauw, V. 2021. Helminth infections in fish in Vietnam: A systematic review. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 14, 13-32. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2020.12.001>.
- Nishanth, D., Biswas, D. R. 2008. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology*, 99(9), 3342 - 3353. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.025>.
- Pascke, M. S., Lanzendorf, F. N. (2017). Diferença entre peixes de água salgada e peixes de água doce. *Maiêutica-Ciências Biológicas*, 5(1), p. 57-68.
- Pedrotti, F. S. 2018. *Toxicidade aguda de amônia e nitrito em juvenis de robalo-flecha* (Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/194268>. Acesso em: 10/01/2024.
- Peixe BR. 2023. Anuário brasileiro da piscicultura Peixe BR 2023. *Associação Brasileira da Piscicultura*. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario/>.
- Proença, D. C. 2013. Aplicação de indicadores e índices para avaliar a sustentabilidade ambiental em um sistema de aquicultura integrado e multitrófico com diferentes substratos (Dissertação de mestrado - Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90046>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Ramos, C. G., Querol, X., Oliveira, M. L. S., Pires, K., Kautzmann, R. M., Oliveira, L. F. S. 2015. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of The Total Environment*, 512-513: 371 - 380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.070>.
- Rossi, G. H. 2023. *Restrição alimentar associada à alimentação natural no crescimento de alevinos de tilápias* (Dissertação de mestrado, Instituto de Pesca, APTA). Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/pos-graduacao-dissertacoes>.
- Rusydi, A. F. 2018. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, (118): [012019](https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019). [10.1088/1755-1315/118/1/012019](https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019).

- Shinn, A. P., Picon-Camacho, S. M., Bawden, R., Taylor, N. G. H. 2009. Mechanical control of *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876 (Ciliophora) in a rainbow trout hatchery. *Aquacultural Engineering*, 41(3): 152-157 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.07.002>.
- Shinn, A. P., Picón-Camacho, S. M., Bron, J. E., Conway, D., Yoon, G. H., Guo, F. C., Taylor, N. G. H. 2012. The anti-protozoal activity of bronopol on the key life-stages of *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876 (Ciliophora). *Veterinary Parasitology*, 186(3-4): 229-236 p. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.025>.
- Silva, M. S. G. M.; Carvalho, N. C.; Losekann, M. E.; Sampaio, F. G.; Marigo, A. L. S.; Carvalho, M. P.; Sonoda, K. C. 2014. Composição da comunidade macrobentônica no reservatório de Furnas (MG) em área de parque aquícola. In: Moura, M. F., Pellegrino, G. Q., Rodrigues, L. N. (ed.). *Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos: anais*. Seminário da Rede AgroHidro (2): 112-116 p. Campinas.
- Silveira, F. G. 2005. *Investigação do comportamento mecânico de um solo residual de gnaiss da cidade de Porto Alegre* (Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/7224>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Tambara, G. B., Koester, E., Ramos, R. C., Porcher, C. C., Vieira, D. T., Fernandes, L. A. D. Á., Cristine, L. E. N. Z. 2019. Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcalino médio a alto-K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 46(2). <https://doi.org/10.22456/1807-9806.95466>.
- Tange, E. Ø., Mathiessen, H., von Gersdorff Jørgensen, L. 2020. Effects of pH on free-living stages of a Nordic strain of the economically important freshwater fish parasite *Ichthyophthirius multifiliis*. *International Journal for Parasitology*, 50(10-11), 859-864. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.04.009>.
- Uhlig, D.; Schuessler, J. A.; Bouchez, J.; Dixon, J. L.; Von Blanckenburg, F. 2017. Quantifying nutrient uptake as driver of rock weathering in forest ecosystems by magnesium stable isotopes. *Biogeosciences*, 14(12), 3111-3128. <https://doi.org/10.5194/bg-14-3111-2017>.
- Valenti, W. C. 2002. Aquicultura sustentável. In *12º Congresso de zootecnia*. 111-118.
- Valentini, L., Ferreira, J. M., Andrade, W., Oliveira, L., Shymoia, A. 2016. Avaliação de pó de rocha como fertilizante alternativo em pastagem na Região Noroeste. *Informação tecnológica on line*, 96.

- Viana, L. G., Cruz, P. S. 2016. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. In *Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental – COBESA*.
- WHO - World Health Organization. 2011. Guidelines for drinking-water quality: first addendum to the fourth edition. Geneva.
- Xu, D.-H., Klesius, P. H., Shoemaker, C. A. 2008. Protective immunity of Nile tilapia against *Ichthyophthirius multifiliis* post-immunization with live theronts and sonicated trophonts. *Fish & Shellfish Immunology*, 25(1-2), 124–127. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.03.012>.

CAPÍTULO 2

Influência do substrato de rocha gnaisse em aspectos limnológicos e no crescimento de pós-larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Resumo

A fase inicial da produção de tilápias, que envolve a manutenção de larvas em sistemas de hapas, distribuídos em viveiros de terra, é marcada por alta mortalidade. Objetivou-se avaliar a influência dos substratos de rocha gnaisse no cultivo de pós-larvas de tilápias do Nilo. Foram avaliados quatro tratamentos com diferentes granulometrias de substratos de rocha gnaisse e um tratamento controle, utilizando pedrisco de quartzo, dispostos em aquários de 14 litros com cinco repetições. Os substratos de rocha gnaisse influenciaram significativamente as concentrações de cálcio, magnésio, potássio, cloretos e sílica na água. No entanto, essas variações não ultrapassaram os limites considerados seguros para o cultivo de tilápias. Os parâmetros zootécnicos mostraram que os alevinos de tilápia cultivados com substratos de rocha gnaisse tiveram um desempenho semelhante em termos de ganho de peso e biomassa final em comparação com o grupo controle. No entanto, a taxa de mortalidade foi significativamente maior nos aquários com substratos de rocha gnaisse, especialmente naqueles com granulometria mais fina. Essa mortalidade foi investigada, mas não foram encontrados sinais de parasitas ou possíveis contaminantes. Os substratos armazenados incorretamente/expostos ao ambiente apresentaram maiores concentrações de compostos fenólicos, o que pode ter contribuído para a mortalidade observada. Além disso, testes de desenvolvimento de fenóis mostraram que os substratos de rocha gnaisse armazenados expostos ao ambiente apresentaram concentrações elevadas desses compostos em comparação com substratos secos e molhados. Isso sugere que a exposição ao ambiente pode ter levado à contaminação bacteriana dos substratos, resultando na liberação de fenóis. Os substratos avaliados neste estudo mostraram potencial como fonte de cálcio e magnésio para a aquicultura. No entanto, é crucial armazená-los adequadamente para evitar contaminação bacteriana e a liberação de compostos fenólicos, podendo afetar negativamente o desempenho e a mortalidade dos peixes. Portanto, mais pesquisas são necessárias para otimizar as condições de armazenamento e uso desses substratos em sistemas de produção aquícola.

Palavras-chave: compostos fenólicos, minerais, pó de rocha, silicatos, tilapicultura

Abstract

The initial phase of tilapia production, which involves maintaining larvae in hapa systems distributed in earthen ponds, is marked by high mortality. The objective was to evaluate the influence of gneiss rock substrates on the cultivation of Nile tilapia post-larvae. Four treatments with different particle sizes of gneiss rock substrates and a control treatment using quartz gravel were evaluated in 14-liter aquariums with five repetitions. Gneiss rock substrates significantly influenced the concentrations of calcium, magnesium, potassium, chlorides, and silica in the water. However, these variations did not exceed the limits considered safe for tilapia cultivation. Zootechnical parameters showed that tilapia fry cultivated with gneiss rock substrates performed similarly in terms of weight gain and final biomass compared to the control group. However, the mortality rate was significantly higher in aquariums with gneiss rock substrates, especially those with finer particle sizes. This mortality was investigated, but no signs of parasites or possible contaminants were found. Improperly stored/exposed substrates showed higher concentrations of phenolic compounds, which may have contributed to the observed mortality. Additionally, phenol development tests demonstrated that improperly stored/exposed gneiss rock substrates had higher concentrations of these compounds compared to dry and wet substrates. This suggests that environmental exposure may have led to bacterial contamination of the substrates, resulting in the release of phenolic compounds. In summary, the substrates evaluated in this study showed potential as a source of calcium and magnesium for tilapia aquaculture. However, proper storage is crucial to avoid bacterial contamination and the subsequent release of phenolic compounds, which can negatively impact fish performance and survival. Therefore, further research is needed to optimize the storage and use conditions of these substrates in aquaculture production systems.

Keywords: phenolic compounds, minerals, rock powder, silicates, tilapia farming.

Introdução

O uso de substratos tem recebido especial atenção em empreendimentos de aquicultura, com o objetivo de proporcionar melhores condições ambientais, favorecendo a manutenção do equilíbrio iônico dos organismos aquáticos e proporcionando melhores resultados produtivos, consequentemente ampliando a rentabilidade econômica (Bergmann et al., 2014). Apesar deste potencial de utilização, as fontes de cálcio e magnésio na aquicultura ainda são originadas de produtos destinados à agricultura, proporcionando baixo desempenho e expressiva variação nos resultados (Rossi, 2023).

As notícias de guerra entre Rússia e Ucrânia trouxeram preocupações com relação aos insumos para fertilização agrícola, uma vez que a Rússia é o maior distribuidor de fertilizantes a nível mundial (Santimaria, 2023). No Brasil, em 10 de dezembro de 2013, foi aprovada a lei Nº 12.890, que libera o uso de rochas para adubação na agricultura, o que traz benefícios para os produtores aquícolas no processo de adubação de viveiros, acelerando o crescimento das produções de zoo e fitoplâncton (Valenti, 2002; Lopes, 2020).

No Brasil, a tilápia é a espécie mais produzida, representando em torno de 60% de toda a produção nacional da piscicultura, com 860.355 toneladas. Os estados do Paraná (187.800 tons), São Paulo (77.300 tons) e Minas Gerais (51.700tons) são os maiores destaques no cenário da tilapicultura brasileira (Peixe BR, 2023).

Entretanto, a fase inicial da produção de tilápias consiste na manutenção de larvas em um período pós-reversão sexual em sistemas de hapas distribuídos em viveiros de terra, sendo considerada de alta mortalidade (40-50%) até atingirem o período de alevinos de 10g (Meurer et al., 2002). A utilização de substratos que possam garantir melhor equilíbrio iônico e manutenção da saúde dos organismos aquáticos pode ser importante para a diminuição das taxas de mortalidade e para a melhora do crescimento nas fases iniciais de criação. Assim, o objetivo foi avaliar a influência de substratos de rocha gnaisse, de diferentes granulometrias, sobre o crescimento e desempenho de pós-larvas de tilápias.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório Multiusuário do Instituto de Pesca/APTA/SAA, localizado em São Paulo/SP por 30 dias (iniciando no dia 21/03/2022, seguindo até o dia 21/04/2022) tendo o número de aprovação 04/2022 junto ao CEEAIP (Comitê de Ética em Experimentação Animal do Instituto de Pesca). Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições. Vinte aquários de 14 litros foram dispostos paralelamente em bancada de laboratório com controle de temperatura e fotoperíodo. Cada aquário recebeu 2 kg de cada um dos seguintes substratos:

- a) Pedrisco de quartzo (tratamento controle);
- b) Areia de brita fina: constituído de rocha gnaisse moída de granulometria <0,4 mm;
- c) Areia de brita grossa: constituído de rocha gnaisse moída de granulometria de 0,4 a 2,9 mm;
- d) Pedrisco fino: constituído de rocha gnaisse moída de granulometria de 2,9 a 6,3 mm;
- e) Substrato bruto (pó de rocha): constituído de rocha gnaisse moída de granulometria de 0,0 a 6,3 mm;

Todos os aquários foram equipados com filtragem simples externa, expostos à fotoperíodo natural (por aproximadamente 12h). Cada aquário recebeu 50 pós-larvas de tilápias oriundas do Polo do Vale do Paraíba/APTA/SAA.

Os aquários foram reabastecidos diariamente com o volume de água perdido por evaporação. Semanalmente, foi realizada a troca parcial de água de aproximadamente 15% do volume total dos aquários. Parâmetros de temperatura, oxigênio, pH e sólidos totais dissolvidos (TDS) foram avaliados utilizando sondas multiparâmetros. Os parâmetros amônia, nitrito e nitrato foram avaliados semanalmente utilizando os testes comerciais da Labcon®. Os parâmetros potássio, cloretos, sulfatos e sílica foram avaliados no início e aos 30 dias de experimento, utilizando o espectrofotômetro MD 600 Lovibond® e seus respectivos reagentes. Os parâmetros cálcio, magnésio, alcalinidade e dureza foram avaliados no início e ao final do experimento, pela Unidade Laboratorial de Referência em Limnologia (ULRL) do

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Pesqueiros do Instituto de Pesca, localizado na sede, em São Paulo.

Os substratos utilizados no experimento passaram por análise mineralógica e de composição no laboratório de mineralogia da ESALQ - USP. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química total das amostras de pó de rocha realizada pelo laboratório de Mineralogia de Solos - ESALQ/USP.

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
Ag (ppm)	<0,02	Hg (ppm)	<0,05	Sc (ppm)	13,4
Al (%)	6,13	In (ppm)	0,05	Se (ppm)	<2
As (ppm)	<1	K (%)	2,76	Sn (ppm)	2,7
Ba (ppm)	384	La (ppm)	46,8	Sr (ppm)	95,8
Be (ppm)	2,6	Li (ppm)	80	Ta (ppm)	1,82
Bi (ppm)	0,14	Lu (ppm)	0,24	Tb (ppm)	0,77
Ca (%)	3,05	Mg (%)	2	Te (ppm)	<0,05
Cd (ppm)	0,04	Mn (%)	0,06	Th (ppm)	17,4
Ce (ppm)	90,36	Mo (ppm)	0,85	Ti (%)	0,34
Co (ppm)	8,7	Na (%)	0,7	Tl (ppm)	0,8
Cr (ppm)	33	Nb (ppm)	15,7	U (ppm)	9,2
Cs (ppm)	10	Ni (ppm)	23,8	V (ppm)	56
Cu (ppm)	14,1	P (ppm)	440	W (ppm)	1,4
Fe (%)	3,73	Pb (ppm)	13,9	Y (ppm)	16,7
Ga (ppm)	17,8	Rb (ppm)	156,2	Yb (ppm)	1,5
Ge (ppm)	<0,1	S (%)	0,02	Zn (ppm)	61
Hf (ppm)	3,57	Sb (ppm)	0,19	Zr (ppm)	123,3

Os organismos aquáticos foram avaliados quanto à mortalidade, ganho de peso (GP) e conversão alimentar aparente (CAA), sendo pesados a cada 15 dias após a insensibilização por eugenol (8 ml de eugenol /50 ml de álcool/100 l de água). As pós-larvas foram criadas na densidade de aproximadamente 4 litros e alimentadas 3 vezes ao dia. A ração em pó, contendo 46% de proteína bruta, foi fornecida na quantidade de 5% da biomassa. A avaliação dos

alevinos se deu quanto à sobrevivência, ganho de peso (GP) e conversão alimentar aparente (CAA), conforme descrito por Rossi (2023):

A) Ganho de peso (GP) = peso final - peso inicial;

B) Conversão alimentar aparente (CAA) = consumo de ração diário/ganho em peso;

Ao final do experimento, determinou-se o GP e CAA considerando todo período experimental e a mortalidade. A mortalidade (M) foi dada por:

$M (\%) = (N^\circ \text{ de peixes mortos} / N^\circ \text{ inicial de peixes}) \times 100;$

A quantidade de ração fornecida e a eventual mortalidade dos organismos aquáticos foram anotados diariamente. Ao final do experimento, por ocasião das amostragens, 5 alevinos foram insensibilizados por eugenol (8 ml de eugenol/50 ml de álcool/100 L de água), abatidos por incisão crânio-cervical, e preservados em formol 10% para análise histopatológica referente a quantidade de cálcio impregnados nas brânquias.

Os dados limnológicos e de desempenho foram testados quanto a normalidade e homogeneidade de variâncias e submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos (substratos) foram comparadas pelo teste SNK a 5%.

Foi investigada a possível contaminação por compostos fenólicos. Os testes foram realizados utilizando o método descrito por Swain & Hillis (1959). O primeiro teste foi realizado na água retirada dos aquários, e o segundo utilizando o substrato que estava armazenado, colocando-o em tubos de ensaio. Para o segundo teste foram adicionados, a tubos de ensaio, 2 g de substrato (em duas repetições) com água de osmose reversa. Os tubos foram agitados e deixados em repouso na geladeira por 18 horas. Após esse período, o sobrenadante foi centrifugado e analisado em espectrofotômetro a 500 nm.

Adicionalmente, foram feitos testes para definir como o novo substrato se comporta durante longa exposição à luz solar e umidade. Para isso utilizamos placas de petri com uma fina camada de substrato (aproximadamente 4 g), em triplicata, com dois testes, sendo eles secos e molhados (mantendo-se constantemente úmidos). Após o período de 30 dias, os substratos foram adicionados a tubos de ensaio com 2 ml de água de osmose reversa, deixados em repouso por 18 horas, centrifugados e analisados em espectrofotômetro a 500 nm.

Adicionalmente, foram analisadas as lâminas histológicas utilizando o método de coloração descrito por Kossa G. (1901). As lâminas foram desparafinadas, hidratadas, posteriormente expostas à solução de nitrato de prata por 1 hora sobre luz ultravioleta, lavadas com tiosulfato de sódio e contra coradas com solução de safranina a 10%. As lâminas foram analisadas no microscópio Carl-Zeiss Axio Scope A1 (Carl Zeiss) e as imagens foram

capturadas usando o software Zeiss Zen. Foram tiradas 4 fotos de cada lâmina, e analisadas 3 brânquias por foto. As análises foram realizadas utilizando o mensurador de cor do programa do próprio microscópio, onde a coloração cinza corresponde ao cálcio impregnado dentro das células.

Resultados

As pós-larvas de tilápias iniciaram o experimento com $0,0594 \pm 0,0038\text{g}$, não havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). As médias dos parâmetros limnológicos no início do experimento estão apresentados na Tabela 2. Foram observadas diferenças nos sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio, potássio e sílica ($p < 0,05$). Todos os parâmetros estavam dentro dos limites aceitáveis para o cultivo de tilápias (El-Sayed, 2006).

Não houve diferença significativa nos parâmetros temperatura, oxigênio, pH, potencial de oxirredução (ORP), amônia, nitrito, nitrato, cloretos e sulfatos no início do experimento.

As médias dos parâmetros limnológicos aos 30 dias de experimentação estão apresentados na Tabela 3. Foram observadas diferenças nos sólidos totais dissolvidos, cálcio, magnésio, potássio, cloretos e sílica ($p < 0,05$).

Tabela 2. Média e desvio padrão dos parâmetros limnológicos dos aquários contendo substratos de rocha gnaisse em diferentes granulometrias no início do experimento.

Parâmetro	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Temperatura (°C)	25,43 (0,17)A	25,43 (0,10)A	25,43 (0,17)A	25,55 (0,06)A	25,50 (0,14)A
Oxigênio (mg/l)	6,16 (0,35)A	6,11 (0,09)A	6,14 (0,36)A	6,19 (0,26)A	6,02 (0,38)A
pH	7,24 (0,03)A	7,22 (0,03)A	7,23 (0,03)A	7,25 (0,06)A	7,24 (0,05)A
TDS (mg/l)	189,75 (8,10)C	226,00 (4,24)A	205,50 (6,86)BC	215,50 (10,75)AB	219,50 (12,37)AB
Alcalinidade (mg/l)	17,62 (4,23)D	84,77 (5,92)A	72,86 (5,69)B	50,01 (2,40)C	66,20 (0,95)B
Dureza (mg/l)	90,25 (2,17)C	143,93 (2,33)A	131,56 (2,28)B	131,30 (6,84)B	139,98 (2,72)A
Amônia (mg/l)	0,29 (0,18)A	0,23 (0,16)A	0,19 (0,03)A	0,13 (0,10)A	0,19 (0,05)A
Nitrito (mg/l)	0,58 (0,30)A	0,64 (0,11)A	0,56 (0,39)A	0,55 (0,35)A	0,25 (0,41)A
Nitrato (mg/l)	13,75 (10,94)A	7,75 (6,13)A	17,00 (3,37)A	17,25 (18,82)A	15,25 (16,52)A
Cálcio (mg/l)	29,74 (1,51)C	48,31 (0,93)A	46,31 (1,03)AB	44,94 (1,26)B	48,09 (1,51)A
Magnésio (mg/l)	3,96 (1,13)A	5,62 (0,72)A	3,83 (0,21)A	5,11 (0,36)A	4,79 (1,29)A
Potássio (mg/l)	6,70 (0,50)C	10,05 (0,62)A	8,50 (1,29)AB	7,00 (0,33)BC	7,55 (0,34)BC
Cloretos (mg/l)	1,91 (0,07)A	1,83 (0,31)A	1,83 (0,26)A	1,82 (0,30)A	1,89 (0,26)A
Sulfatos (mg/l)	80,25 (10,13)A	97,55 (11,32)A	84,75 (7,98)A	90,85 (9,72)A	90,30 (2,75)A
Sílica (mg/l)	5,31 (0,53)BC	7,43 (1,43)A	5,96 (0,92)AB	4,09 (0,63)C	5,51 (0,21)BC

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

Tabela 3. Média e desvio padrão dos parâmetros limnológicos dos aquários contendo substratos de rocha gnaisse em diferentes granulometrias aos 30 dias de experimento.

Parâmetro	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Temperatura (°C)	26,60 (0,29)A	26,68 (0,10)A	26,97 (0,06)A	26,75 (0,30)A	26,75 (0,25)A
Oxigênio (mg/l)	7,21 (0,31)A	6,91 (0,58)A	7,19 (0,26)A	7,20 (0,37)A	7,34 (0,39)A
pH	7,31 (0,03)A	7,29 (0,02)A	7,30 (0,01)A	7,29 (0,03)A	7,30 (0,02)A
TDS (mg/l)	165,75 (8,26)B	196,50 (4,51)AB	200,33 (23,86)AB	198,75 (16,64)A	200,25 (15,88)A
ORP (mV)	193,50 (6,14)A	187,75 (6,40)A	183,67 (3,79)A	185,50 (9,00)A	188,00 (6,27)A
Amônia (mg/l)	0,54 (0,11)A	0,45 (0,07)A	0,45 (0,06)A	0,53 (0,13)A	0,63 (0,20)A
Nitrito (mg/l)	0,85 (0,05)A	0,79 (0,03)A	0,79 (0,04)A	0,82 (0,05)A	0,82 (0,03)A
Nitrato (mg/l)	51,50 (17,69)A	50,50 (14,73)A	61,33 (16,65)A	53,50 (13,60)A	56,50 (19,07)A
Cálcio (mg/l)	27,47 (1,66)B	47,73 (0,65)A	47,56 (0,59)A	45,78 (1,09)A	47,83 (0,61)A
Magnésio (mg/l)	3,89 (0,19)B	5,58 (0,73)A	4,25 (0,39)B	4,80 (0,09)AB	4,38 (0,45)B
Potássio (mg/l)	6,75 (0,30)C	9,35 (0,84)A	8,53 (0,90)AB	6,90 (0,20)C	7,40 (0,16)BC
Cloretos (mg/l)	1,55 (0,11)B	2,02 (0,16)AB	2,46 (0,42)AB	2,85 (0,68)A	2,35 (0,26)AB
Sulfatos (mg/l)	72,60 (2,64)A	69,28 (4,45)A	74,73 (10,81)A	76,60 (7,36)A	75,85 (7,17)A
Sílica (mg/l)	5,63 (0,71)B	8,96 (1,42)A	6,19 (0,56)B	5,25 (1,14)B	7,03 (1,08)AB
Ferro (mg/l)	0,05 (0,02)A	0,12 (0,05)A	0,09 (0,05)A	0,06 (0,03)A	0,08 (0,02)A
Alumínio (mg/l)	0,01 (0,02)A	0,01 (0,01)A	0,00 (0,00)A	0,02 (0,03)A	0,02 (0,02)A

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

As médias dos parâmetros zootécnicos aos 30 dias de experimentação estão apresentados na Tabela 4. Foram observadas diferenças na biomassa final e mortalidade dos alevinos ($p < 0,05$).

Tabela 4. Média e desvio padrão dos parâmetros zootécnicos de alevinos de tilápias cultivados em aquários contendo substratos de rocha gnaisse em diferentes granulometrias aos 30 dias de experimento.

Parâmetro	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Peso final (g)	0,078 (0,018)A	0,054 (0,006)A	0,064 (0,015)A	0,060 (0,011)A	0,051 (0,018)A
Ganho de peso (g)	0,051 (0,018)A	0,028 (0,006)A	0,038 (0,015)A	0,034 (0,011)A	0,024 (0,018)A
Biomassa final (g)	1,134 (0,153)A	0,601 (0,083)B	0,451 (0,335)B	0,733 (0,035)B	0,486 (0,225)B
Mortalidade (%)	7,50 (8,66)A	38,75 (14,93)C	63,75 (22,87)C	23,75 (16,52)AB	40,00 (10,00)BC

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

A mortalidade acumulada de alevinos de tilápias nos aquários considerando os diferentes substratos de rocha gnaisse está apresentada na Figura 1.

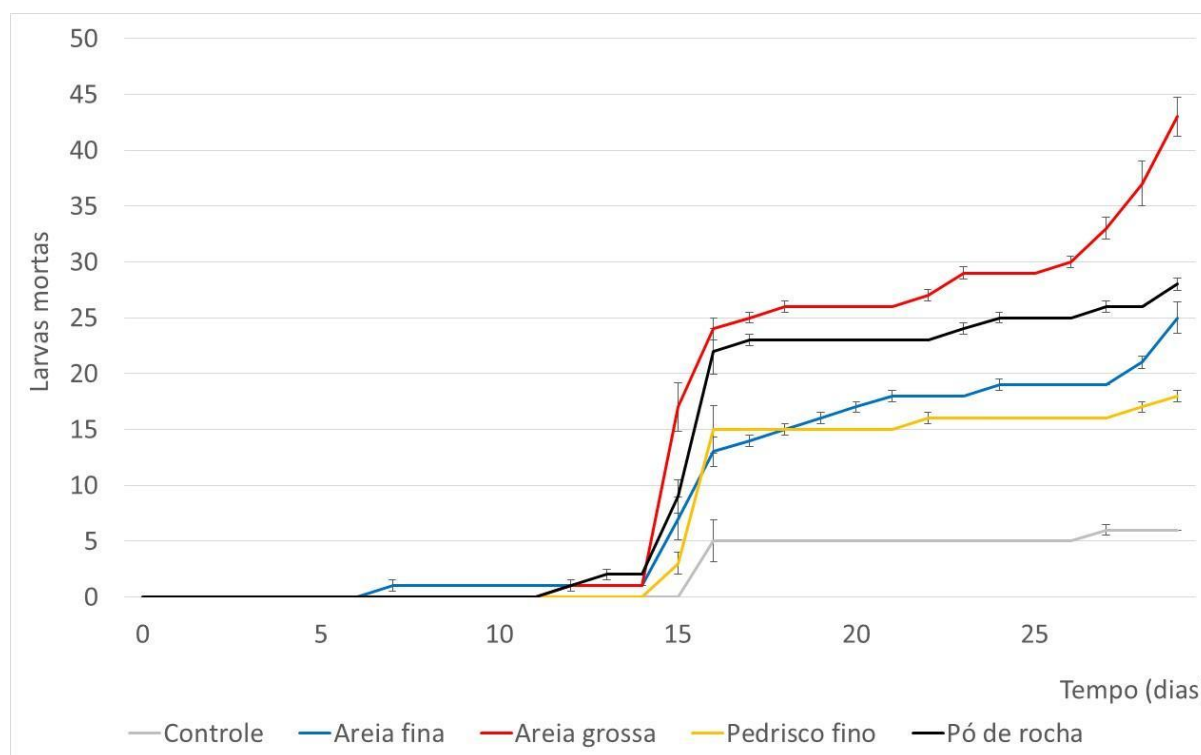


Figura 2. Mortalidade acumulada de alevinos de tilápias cultivados em aquários contendo substratos de rocha gnaisse de diferentes granulometrias.

Os resultados das análises de compostos fenólicos em amostras de substratos de rocha gnaisse obtidas diretamente da peneira não mostraram diferenças estatísticas ($p > 0,05$), ficando

com $5,02 \pm 0,41 \mu\text{g/l}$ para as amostras secas e $5,93 \pm 2,46 \mu\text{g/l}$ para as amostras que foram umedecidas.

Tabela 5. Análise de compostos fenólicos na água dos aquários e dos substratos usados.

Amostras	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Água de cultivo ($\mu\text{g/l}$)	0,393 (0,00)C*	1,476 (0,139)B	2,657 (0,139)A	0,986 (0,00)C	2,756 (0,278)A
Substratos armazenados ($\mu\text{g/l}$)	ND	75,394 (0,556)A	4,232 (0,139)B	0,393 (0,00)C	2,657 (0,139)B

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%. ND, não detectado.

Os resultados das análises da coloração “Von Kossa” mostraram que os peixes dos aquários com substrato de quartzo, com areia de brita fina e com areia de brita grossa apresentaram respectivamente $0,068 \pm 0,0343$, $0,0811 \pm 0,0248$ e $0,0630 \pm 0,0178$ pixels/ μm^2 , sem diferenças estatísticas entre si ($p > 0,05$). Já os peixes dos aquários com pó de rocha, apresentaram $0,1170 \pm 0,0285$ pixels/ μm^2 , sendo significativamente maior que os demais ($p < 0,05$). Os peixes dos aquários com pedrisco fino apresentaram $0,0965 \pm 0,0400$ pixels/ μm^2 , não mostrando diferença significativa com os demais ($p > 0,05$). Os aquários contendo substratos de rocha gnaiss apresentaram concentração de cálcio intracelular semelhante aos do grupo controle com a exceção dos aquários contendo pó de rocha ($p < 0,05$). Os resultados estão apresentados na Figura 2.

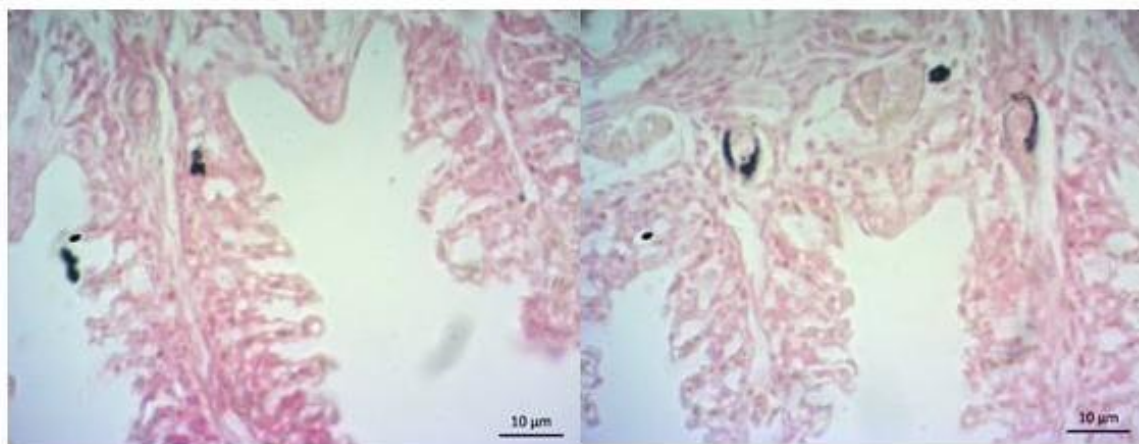


Figura 2. Fotomicrografia de brânquias de alevinos de tilápias mantidas em aquários contendo pó de rocha. Coloração de Von Kossa, onde preto é o cálcio, rosa o citoplasma e roxo o núcleo.

Discussão

Os substratos de rocha gnaisse proporcionam maiores concentração de íons cálcio, magnésio e potássio na água, sendo inversamente proporcional à granulometria, o que pode ser interessante para o cultivo de tilápia em viveiros escavados, uma vez que sua liberação ocorre de forma gradual, expondo os alevinos por um período maior de tempo (longa exposição) (Cassimiro et al., 2022). A presença destes elementos na água facilita as trocas iônicas nos organismos, que são indispensáveis para o desenvolvimento nas fases iniciais. Em condições normais, os minerais básicos, ou macrominerais (cálcio, magnésio, fósforo, potássio, sódio, etc.) e microminerais (zinco, ferro, iodo, etc.) são disponibilizados através da alimentação (De Miranda et al., 2000; Carvalho, 2013; Luan et al., 2018).

Diversos estudos vêm sendo realizados no mundo para atender essa demanda por minerais através de novas formulações de rações, porém, deve -se considerar que os peixes também têm a capacidade de absorver minerais e nutrientes que estão disponíveis no meio, através de processos osmorregulatórios, o que se torna interessante do ponto de vista econômico, onde se tem sobra desses minerais e nutrientes, e baixo custo com insumos para incrementar a alimentação (Nishanth & Biswas, 2008; Bergmann et al., 2014; Ramos et al., 2015). Já a absorção de determinados nutrientes pelo meio ocorre através das brânquias, onde o cálcio do ambiente, por exemplo, fica depositado sobre as camadas ósseas (ossos e escamas), disponível para utilização do organismo do animal quando necessário e os demais nutrientes, que não necessitam de estoque, seguem para os órgãos alvo (De Miranda et al., 2000; Nishanth & Biswas, 2008; Carvalho, 2013; Silva et al., 2014; Uhlig et al., 2017; Luan et al., 2018).

A maior mortalidade nos aquários contendo substratos de rocha gnaisse nos levou a realizar mais investigações. Não foram observados sinais clínicos de parasitoses ou outras enfermidades. Mesmo assim, foram abatidos 3 alevinos de cada tratamento para exames parasitológicos através do processo de raspagem da mucosa e brânquias. Não foi encontrado nenhum tipo de parasita ou alteração patológica visível a olho nu ou em microscópio ótico (Klein et al., 2004; Xu et al., 2008; Shinn et al., 2009; Shinn et al., 2009; Shinn et al., 2012; França et al., 2015; Uhlig et al., 2017; Durigon et al., 2019; Ørgård Tange et al., 2020; Nguyen et al., 2020).

As concentrações dos compostos fenólicos foram maiores nos substratos que ficaram armazenados, principalmente os que têm a menor granulometria (coincidindo com maior disponibilidade nutrientes). Concentrações de fenol de 2,3 e 3,5 mg/l por 30 dias foram

consideradas subletais em *Oreochromis mossambicus* (Sannadurgappa et al., 2007). A água retirada dos aquários apresentou concentrações menores em relação ao substrato armazenado. As concentrações encontradas na água dos aquários contendo areia grossa ou pó de rocha (2,66 e 2,76 mg/l, respectivamente) podem indicar toxicidade para alevinos de tilápias nilóticas. Essa menor concentração pode ter sido causada pela realização de trocas parciais semanais de aproximadamente 30% da água.

Os fenóis são compostos bioativos de ocorrência natural em todos os ambientes do mundo, onde são produzidos por plantas e bactérias como mecanismos de defesa contra insetos e outros predadores, tendo sua forma química na maioria das vezes representada por C_6H_5OH (Avanzi et al., 2009; Dourado, 2017; Anku et al., 2017). Também são produzidos em intestinos de animais, derivado da decomposição de alguns aminoácidos e proteínas. Esses, após as descobertas de suas aplicações como antioxidantes e bactericidas tiveram ampla aplicabilidade nas indústrias têxtil, farmacêutica, industriais, etc (Angelo & Jorge, 2007; Baggio, 2007; Sannadurgappa et al., 2007; Abd Gami et al., 2014; Anku et al., 2017; Ghanadzadeh et al., 2019). Com o avanço da tecnologia e o crescimento da civilização humana, a qualidade e a quantidade de água dos reservatórios vêm diminuindo drasticamente, mostrando também o aumento na quantidade desses compostos, o que vem trazendo novos olhares e novos estudos para determinar métodos de reduzir e diminuir sua presença nos corpos d'água. Em altas quantidades, os fenóis podem causar diversos danos ao bem-estar do indivíduo devido suas capacidades carcinogênicas, teratogênicas e mutagênicas, apresentando riscos a qualquer tipo de organismo (Saha et al., 1999; Baggio, 2007; Angelo & Jorge, 2007; Sannadurgappa et al., 2007; Ayroza et al., 2013; Abd Gami et al., 2014; De Moraes et al., 2015; Anku et al., 2017; Ghanadzadeh et al., 2019).

Algumas espécies de bactérias, como as do gênero *Pseudomonas sp.*, usam o carbono das moléculas de fenol como fonte de energia, degradando o composto em outras substâncias e eliminando sua ameaça em potencial (Avanzi et al., 2009; Anku et al., 2017; Dourado, 2017). Quando se trata de tilápias, os fenóis exercem efeitos sobre elas após uma exposição prolongada, pois esses peixes demonstram resistência aos efeitos agudos (Anku et al., 2017). Após um período de exposição prolongada, os órgãos inicialmente afetados são a pele, o intestino e, principalmente, as brânquias, impactando as trocas gasosas e a absorção de nutrientes (De Moraes et al., 2015). Posteriormente, essas substâncias entram na corrente sanguínea, o que abre caminho para afetar todos os demais órgãos, influenciando diretamente

o metabolismo desses animais (Saha et al., 1999; Sannadurgappa et al., 2007; Abd Gami et al., 2014).

Em sistemas de produção é de extrema importância o monitoramento e seu controle dentro da medida do possível, pois além de afetar os peixes, afeta as produções primárias e secundárias de comunidades bentônicas (fitoplâncton e zooplâncton) (Saha et al., 1999; Sannadurgappa et al., 2007; Ayroza et al., 2013; Abd Gami et al., 2014; De Moraes et al., 2015; Anku et al., 2017; Dourado, 2017). É importante destacar que nem todos os compostos fenólicos possuem toxicidade, muito pelo contrário, muitos deles possuem capacidades benéficas aos organismos, justamente por suas capacidades antioxidantes (Swain & Hillis, 1959; Angelo & Jorge, 2007; Anku et al., 2017; Ghanadzadeh et al., 2019). O que acontece é que devido a sua forma química eles têm facilidade para atravessar a membrana celular, onde, alguns desses fenóis tóxicos, em grandes doses podem afetar determinados organismos (peixes, aves, répteis, mamíferos e suas respectivas espécies), outros fenóis, até mesmo em pequenas quantidades já apresentam dados de alta toxicidade (Saha et al., 1999; Sannadurgappa et al., 2007; Abd Gami et al., 2014; De Moraes et al., 2015; Anku et al., 2017; Ghanadzadeh et al., 2019). Outro ponto a ser analisado é o organismo alvo e as peculiaridades de cada indivíduo, onde uma espécie pode apresentar sinais de intoxicação com pequenas doses, já outras aguentam maiores doses e/ou maiores exposições (Swain & Hillis, 1959; Saha et al., 1999; Sannadurgappa et al., 2007; Abd Gami et al., 2014; De Moraes et al., 2015; Anku et al., 2017; Uhlig et al., 2017; Ghanadzadeh et al., 2019).

Ao final do experimento também foi identificada a presença de cianobactérias, formando um biofilme aderidos aos vidros e substrato em todos os aquários e tratamentos (Figura 3). Essas cianobactérias foram identificadas como sendo *Limnothrix planctonica* (Dr. João Alexandre Saviolo Osti, comunicação pessoal). Esses organismos produzem cianotoxinas que provocam diferentes patologias nos tecidos animais (Borges, 2013; Oliveira et al., 2019).

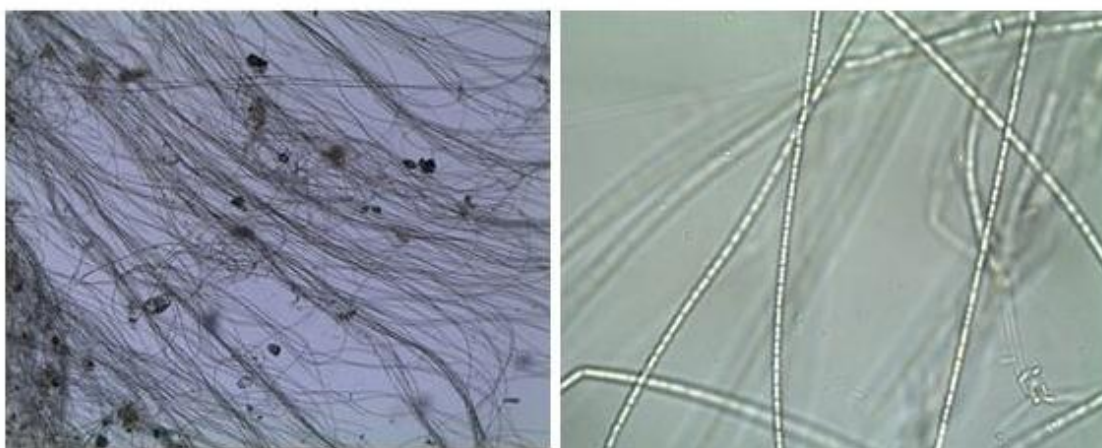


Figura 3. Imagens de cianobactérias *Limnothrix planctonica*. À esquerda, aumento de 10x e, à direita, aumento de 100x.

Um ponto que deve ganhar destaque é a sinergia entre os elementos, onde a presença de um em maior quantidade pode afetar as atividades que dependem da presença de outro elemento, como por exemplo o sódio, que em altas quantidades pode afetar o funcionamento das atividades dependentes do potássio (Luan et al., 2018; De Miranda et al., 2000). A presença de cálcio nos organismos é fundamental para o bom funcionamento de atividades metabólicas e enzimáticas, porém, o excesso dentro do organismo pode causar lesões aos músculos cardíacos (De Miranda et al., 2000; Carvalho, 2013; Luan et al., 2018).

Conclusão

Os substratos de rocha gnaisse tem imenso potencial para criação de peixes, visto a vasta gama de minerais que liberam na água, sendo interessante para reduzir os custos com suplementação e adubação. As taxas de mortalidade ainda têm suas causas desconhecidas, mas é nítido o seu aumento relacionado à disposição de minerais no ambiente. As análises mostraram indícios de perturbações histopatológicas associadas aos tratamentos ou ao seu armazenamento, mas ainda sem identificação e quantificação. Sendo assim, sugere-se que estudos com mais tempo de aplicação e com entrada contínua de água nos sistemas sejam realizados, podendo demonstrar resultados mais promissores relacionados ao uso de substratos de rocha gnaisse no cultivo de alevinos de tilápias.

Referências

- Abd Gami, A.; Shukor, M. Y.; Khalil, K. A.; Dahalan, F. A.; Khalid, A.; Ahmad, S. A. 2014. Phenol and its toxicity. *Journal of Environmental Microbiology and Toxicology*, 2(1): 11-23. <https://doi.org/10.54987/jemat.v2i1.89>.
- Angelo, P. M.; Jorge, N. 2007. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 66(1): 1-9.
- Anku, W. W.; Mamo, M. A.; Govender, P. P. 2017. Phenolic compounds in water: sources, reactivity, toxicity and treatment methods. In: Soto, M. H., Tenango, M. P., Mateos, M. del R. G (eds.). *Phenolic compounds-natural sources, importance and applications*. InTech Open, págs. 419-443. [10.5772/67213](https://doi.org/10.5772/67213).
- Avanzi, I. R.; Gracioso, L. H.; Perpetuo, E. A. 2009. Isolamento e identificação de bactéria degradadora de fenol da zona industrial de Cubatão-SP, através da técnica de amplificação do 16s. *Revista Ceciliana*, 1(2): 66-70.
- Ayroza, D. M. M. R.; Nogueira, M. G.; Ayroza, L. M. da S.; Carvalho, E. D.; Ferraudó, A. S.; Camargo, A. F. M. 2013. Temporal and Spatial Variability of Limnological Characteristics in Areas under the Influence of Tilapia Cages in the Chavantes Reservoir, Paranapanema River, Brazil. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(6), 814–825. <https://doi.org/10.1111/jwas.12082>.
- Baggio, A. 2007. *Proposta para Remoção de Fenóis e Aplicação de Análises Quimiométricas no Estudo de Subproduto Líquido de Indústria Petroquímica* (Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná). Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/13532>. Acesso em: 10/01/2024.
- Bergmann, M.; Silveira, C. A. P.; Bamberg, A. L.; Martinazzo, R.; Grecco, M. F. 2014. Considerações sobre o potencial de uso agrônômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: Hartmann, L.A., Silva, J, T. Da; Donato, M. (Org.). *Tecnologia e Inovação em Gemas, Joias e Mineração*. Porto Alegre: UFRGS, p. 119-126.
- Borges, H. L. F. 2013. *Avaliação da Produção de Toxinas por Cianobactérias Bentônicas e Perifíticas* (Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ecologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco). Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5433>. Acesso em: 10/01/2024.

- Carvalho, P. L. P. F. D. 2013. *Níveis de cálcio e fósforo disponíveis no desempenho reprodutivo e mineralização óssea da tilápia-do-Nilo* (Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista). Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/95220>. Acesso em: 10/01/2024.
- Cassimiro, A. A.; Carvalho, G. A.; Silva, L. F. L.; Florentino, L. A.; Oliveira, F. E. de; Lima, F. M. D. de. 2022. Bactérias promotoras de crescimento vegetal e uso de pó de rocha na produção inicial de hortaliças não convencionais. *Research, Society and Development*, 11(4). <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.26469>.
- De Miranda, E. C.; Pezzato, A. C.; Pezzato, L. E.; Graner, C. F.; Rosa, G. J.; Pinto, L. G. Q. 2000. Relação cálcio/fósforo disponível em rações para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(6): 2162-2171.
- De Moraes, F. D.; De Figueiredo, J. S. L.; Rossi, P. A.; Venturini, F. P.; Moraes, G. 2015. Acute toxicity and sublethal effects of phenol on hematological parameters of channel catfish *Ictalurus punctatus* and pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 10(1): 31-36. [10.5132/eec.2015.01.05](https://doi.org/10.5132/eec.2015.01.05).
- Dourado, A. C. F. 2017. Bioprospecção de bactérias provenientes de solo de floresta semidecidual com potencial de degradação do fenol e do xileno (Monografia para curso de Bacharelado em Biotecnologia. Universidade Federal da Grande Dourados). Disponível em: <http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/4097>. Acesso em: 10/01/2024.
- Durigon, E. G.; Almeida, A. P. G.; Jerônimo, G. T.; Baldisserotto, B.; Emerenciano, M. G. C. 2019. Digestive enzymes and parasitology of Nile tilapia juveniles raised in brackish biofloc water and fed with different digestible protein and digestible energy levels. *Aquaculture*, (506, 35-41). <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.022>.
- El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture in salt water: environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. *Avances en Nutricion Acuicola VIII*. In: *VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Universidade Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- França, C.; Fujimoto, R.; Nizio, D. D. C.; Carneiro, P.; Blank, A.; Maria, A. 2015. Avaliação in vitro da eficácia de formulações com produtos vegetais no controle do íctio. In: *Seminário De Iniciação Científica E Pós-Graduação Da Embrapa Tabuleiros Costeiros*. Brasília: Embrapa, p. 161-167.

- Ghanadzadeh G., A.; Ghanadzadeh, H.; Azmoon, P.; Chaibakhsh, N. 2019. Phenol Adsorption from Aqueous Phase onto Prepared Low-cost Carbons from Natural Sources: A Comparative Study. *Physical Chemistry Research*; 7(2): 327-346. [10.22036/pcr.2019.160071.1572](https://doi.org/10.22036/pcr.2019.160071.1572).
- Klein, S.; Feiden, A.; Boscolo, W. R.; Reidel, A.; Signor, A.; Signor, A. A. 2004. Utilização de produtos químicos no controle de *Ichthyophthirius multifiliis*, Fouquet (1876) em alevinos de surubim do Iguçu *Steindachneridion* sp., Garavello (1991). *Semina: Ciências Agrárias*, 25(1), 51-58. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2004v25n1p51>.
- Kóssa, G. 1901. Über die im Organismus künstlich erzeugbaren Verkalkungen. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10832/1207>.
- Lopes, I. G. 2020. *Tratamento de resíduos da aquicultura: compostagem e uso de mosca soldado negro* (Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho). Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9464472. Acesso em: 10/01/2024.
- Luan, R. L. M. G. M.; Batista Rodrigues, R.; Carvalho da Silva, T.; Oliveira Moreira, P.; Maurício Rocha, J. D.; Bittencourt, F.; Boscolo, W. R. 2018. Farinha de ossos de peixe como fonte de cálcio e fósforo em rações para pós-larvas de tilápia do Nilo. *Acta Iguazu*, 7(2): 74-83. [10.48075/actaiguaz.v7i2.16719](https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v7i2.16719).
- Meurer, F.; Hayashi, C.; Boscolo, W. R. 2003. Influência do processamento da ração no desempenho e sobrevivência da tilápia do Nilo durante a reversão sexual. *Revista Brasileira de Zootecnia*, (32): 262-267. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982003000200003>.
- Nguyen, T. H.; Dorny, P.; Nguyen, T. T. G.; Dermauw, V. 2021. Helminth infections in fish in Vietnam: A systematic review. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 14, 13-32. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2020.12.001>.
- Nishanth, D.; Biswas, D. R. 2008. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology*, 99(9), 3342 - 3353. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.025>.
- Oliveira, D.C.; E.; Castelo-Branco, R.; Silva, L.; Silva, N.; Azevedo, J.; Vasconcelos, V.; Faustino, S.; Cunha, A. 2019. First Detection of Microcystin-LR in the Amazon River at the Drinking Water Treatment Plant of the Municipality of Macapá, Brazil. *Toxins*, 11(11): 669. <https://doi.org/10.3390/toxins11110669>.

- Peixe BR. 2023. Anuário brasileiro da piscicultura Peixe BR 2023. *Associação Brasileira da Piscicultura*. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario/>.
- Ramos, C. G.; Querol, X.; Oliveira, M. L. S.; Pires, K.; Kautzmann, R. M.; Oliveira, L. F. S. 2015. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of The Total Environment*, 512-513: 371 - 380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.070>.
- Rossi, G. H. 2023. *Restrição alimentar associada à alimentação natural no crescimento de alevinos de tilápias* (Dissertação de mestrado. Instituto de Pesca, APTA). Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/pos-graduacao-dissertacoes>.
- Saha, N. C.; Bhunia, F.; Kaviraj, A. 1999. Toxicity of phenol to fish and aquatic ecosystems. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 63: 195-202. <https://doi.org/10.1007/s001289900966>.
- Sannadurgappa, D.; Ravindranath, N. H.; Aladakatti, R. H. 2007. Toxicity, bioaccumulation and metabolism of phenol in freshwater fish *Oreochromis mossambicus*. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 18(1): 65-78. <https://doi.org/10.1515/JBCPP.2007.18.1.65>.
- Santimaria, J. P. M. 2023. Impacto da guerra Rússia/Ucrânia sobre o mercado de fertilizantes brasileiro (Monografia para curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São Carlos). Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18721>. Acesso em: 10/01/2024.
- Shinn, A. P.; Picon-Camacho, S. M.; Bawden, R.; Taylor, N. G. H. 2009. Mechanical control of *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876 (Ciliophora) in a rainbow trout hatchery. *Aquacultural Engineering*, 41(3): 152-157 p. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2009.07.002>.
- Shinn, A. P.; Picón-Camacho, S. M.; Bron, J. E.; Conway, D.; Yoon, G. H.; Guo, F. C.; Taylor, N. G. H. 2012. The anti-protozoal activity of bronopol on the key life-stages of *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876 (Ciliophora). *Veterinary Parasitology*, 186(3-4): 229-236 p. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.025>.
- Silva, M. S. G. M.; Carvalho, N. C.; Losekann, M. E.; Sampaio, F. G.; Marigo, A. L. S.; Carvalho, M. P.; Sonoda, K. C. 2014. Composição da comunidade macrobentônica no reservatório de Furnas (MG) em área de parque aquícola. In: Moura, M. F.; Pellegrino, G. Q., Rodrigues, L. N. (ed.). *Impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos: anais. Seminário da Rede AgroHidro* (2): 112-116 p. Campinas.

- Swain, T.; Hillis, W. E. 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. II. – The analysis of tissues of the Victoria plum tree. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(2): 135-144. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100211>.
- Tange, E. Ø.; Mathiessen, H.; von Gersdorff, L. J. 2020. Effects of pH on free-living stages of a Nordic strain of the economically important freshwater fish parasite *Ichthyophthirius multifiliis*. *International Journal for Parasitology*, 50(10-11), 859-864. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2020.04.009>.
- Uhlig, D.; Schuessler, J. A.; Bouchez, J.; Dixon, J. L.; Von Blanckenburg, F. 2017. Quantifying nutrient uptake as driver of rock weathering in forest ecosystems by magnesium stable isotopes. *Biogeosciences*, 14(12), 3111–3128. <https://doi.org/10.5194/bg-14-3111-2017>.
- Valenti, W. C. 2002. Aquicultura sustentável. In 12º Congresso de zootecnia. 111-118.
- Xu, D.-H.; Klesius, P. H.; Shoemaker, C. A. 2008. Protective immunity of Nile tilapia against *Ichthyophthirius multifiliis* post-immunization with live theronts and sonicated trophonts. *Fish & Shellfish Immunology*, 25(1-2), 124–127. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.03.012>.

CAPÍTULO 3

Influência do substrato de rocha gnaisse no crescimento de alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Resumo

Este estudo investigou o uso de rochas como substratos ricos em minerais em sistemas de criação de tilápias, com foco na produção de alevinos. Foram avaliados quatro tratamentos com diferentes granulometrias de substratos de rocha gnaisse e um tratamento controle, utilizando pedrisco de quartzo, dispostos em aquários de 14 litros com cinco repetições. Os resultados mostraram que os substratos de rocha gnaisse aumentaram a alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio e potássio na água, em comparação ao grupo controle ($P < 0,05$). No entanto, não houve diferença significativa nos parâmetros zootécnicos, como no peso final dos alevinos. A biomassa final e a mortalidade dos alevinos foram menores nos aquários com substratos de rocha gnaisse. A mortalidade dos alevinos foi observada em todos os tratamentos, mas as causas não foram determinadas, e análises adicionais não detectaram contaminação por elementos como ferro, alumínio e bário. Um aumento inesperado na concentração de sílica na água do grupo controle foi observado, e uma correlação positiva entre a concentração de sílica e a mortalidade dos alevinos foi identificada. Exames histopatológicos não revelaram diferenças significativas entre os grupos tratados e o controle, mas ainda são necessários estudos adicionais para compreender as causas da mortalidade e as possíveis influências externas. Este estudo destaca a complexidade do uso de rochas como substratos em sistemas de criação de tilápias, com benefícios potenciais em termos de disponibilidade de minerais. São necessárias investigações adicionais para esclarecer os fatores que afetam a mortalidade dos peixes e otimizar essa prática inovadora na aquicultura.

Palavras-chave: histopatologia, minerais, pó de rocha, silicatos, tilapicultura

Abstract

This study investigated the use of rocks as mineral-rich substrates in tilapia farming systems, focusing on fry production. Four treatments with different particle sizes of gneiss rock substrates and a control treatment using quartz gravel were evaluated in 14-liter aquariums with five repetitions. The results showed that gneiss rock substrates increased water alkalinity, hardness, calcium, magnesium, and potassium compared to the control group ($P < 0.05$). Bringing some numerical results, however, there were no significant differences in zootechnical parameters, such as the final weight of the fry. Final biomass and fry survival were lower in aquariums with gneiss rock substrates. Fry mortality was observed in all treatments, but the causes were not determined, and additional analyses did not detect contamination by elements such as iron, aluminum, and barium. An unexpected increase in silica concentration in the water of the control group was observed, and a positive correlation between silica concentration and fry mortality was identified. Histopathological examinations did not reveal significant differences between the treated groups and the control, but further studies are still needed to understand the causes of mortality and possible external influences. This study highlights the complexity of using rocks as substrates in tilapia farming systems, with potential benefits in terms of mineral availability. Additional investigations are needed to clarify the factors affecting fish survival and optimize this innovative practice in aquaculture.

Keywords: histopathology, minerals, rock powder, silicates, tilapia farming.

Introdução

A crescente demanda por alimentos, em um cenário de recursos naturais limitados e preocupações ambientais crescentes, têm impulsionado a busca por práticas aquícolas mais sustentáveis e eficientes (Baroso et al., 2016; Peixe BR, 2023). A alevinagem de tilápias tem se destacado como uma prática fundamental na aquicultura global, contribuindo significativamente para o suprimento de proteína animal e conseguindo atender as exigências de segurança alimentar em muitas regiões do mundo (FAO, 2009; FAO, 2010; Peixe BR, 2023). No entanto, apesar de seus benefícios, essa atividade também apresenta uma série de desafios e impactos negativos que merecem atenção e análise crítica, como por exemplo as altas taxas de mortalidade nas fases iniciais e a dificuldade no manejo dos animais (Valenti, 2002; Bezerra et al, 2008; FAO, 2009; FAO, 2010; Baroso et al.,2016; Peixe BR, 2023).

O uso de rochas como fertilizantes aquícolas emerge como uma alternativa promissora e inovadora para promover o crescimento saudável de organismos aquáticos, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais associados à agricultura convencional (Bergmann et al, 2014). A fertilização de ambientes aquáticos, como lagoas e tanques de criação, é uma estratégia comumente utilizada na aquicultura para otimizar a produção de organismos aquáticos, como peixes e camarões. Tradicionalmente, essa fertilização tem se baseado no uso de produtos químicos e nutrientes solúveis, o que muitas vezes resulta em impactos adversos para a qualidade da água, no ecossistema circundante e na saúde dos organismos cultivados (Valenti, 2002).

A utilização de rochas como fontes de nutrientes tem ganhado reconhecimento devido aos seus múltiplos benefícios (Bergmann et al, 2014). Ao contrário dos fertilizantes químicos, as rochas fornecem nutrientes de forma gradual e contínua, o que reduz o risco de eutrofização e poluição da água. Além disso, a utilização de rochas como fertilizantes pode contribuir para a remineralização do solo e da água, melhorando a qualidade dos substratos e promovendo a saúde geral dos organismos aquáticos (Nishanth & Biswas, 2008; Astera & Agricola, 2010; Bergmann et al, 2014; Ramos et al, 2015; Uhlig et al, 2017; Medeiros, 2022).

Adicionalmente, essa prática pode reduzir a dependência de fertilizantes químicos, que frequentemente requerem energia intensiva para a sua produção e transporte, tornando a aquicultura mais sustentável do ponto de vista ambiental. No âmbito econômico, o uso de rochas como fertilizantes aquícolas pode representar uma alternativa de baixo custo em comparação com os fertilizantes químicos convencionais, o que pode aumentar a rentabilidade

dos produtores e promover o desenvolvimento econômico de comunidades rurais (Nishanth & Biswas, 2008; Uhlig et al, 2017; Medeiros, 2022). Além disso, essa prática pode reduzir a vulnerabilidade dos sistemas aquícolas, flutuações de preços e disponibilidade de fertilizantes químicos (Astera & Agrícola, 2010).

Os gnaisses são rochas metamórficas que podem ser formadas a partir de granitos submetidos a altas temperaturas e grande pressão durante um período prolongado (Silveira, 2005; Tambara et al., 2019). Essas rochas apresentam elevadas concentrações de fósforo e potássio em sua composição, minerais altamente eficazes como fertilizantes agrícolas. Isso amplia a quantidade de nutrientes no solo, incrementando a rentabilidade das atividades agrícolas e, conseqüentemente, aprimorando tanto a quantidade quanto a qualidade dos vegetais produzidos (Camargo, 2013; Valentini et al., 2016; Viana e Cruz, 2016). Apesar desse imenso potencial, observa-se que a maioria dos substratos ricos em fontes de cálcio e magnésio, substâncias necessárias para o crescimento saudável dos alevinos na aquicultura, são originados de produtos destinados à agricultura, proporcionando assim um baixo desempenho e expressiva variação na produção de peixes (Silveira, 2005; Camargo, 2013; Viana e Cruz, 2016; Valentini et al., 2016; Tambara et al., 2019).

Neste contexto, este estudo se propõe a explorar em detalhes os principais aspectos positivos do uso de rochas gnaiss de diferentes granulometrias como substratos em sistemas fechados de aquicultura, enfatizando os benefícios dessa prática com aplicação a cadeia produtiva e sua influência nos peixes expostos aos minerais na fase de alevinagem. A análise desses aspectos fornecerá uma base sólida para a promoção e adoção dessa prática inovadora na aquicultura moderna, contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas de produção aquícola e para a conservação dos recursos hídricos globais.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório Multiusuário do Instituto de Pesca/APTA/SAA, localizado em São Paulo/SP por 30 dias (iniciando no dia 22/09/2022, seguindo até o dia 21/10/2022) tendo o número de aprovação 04/2022 junto ao CEEAIP (Comitê de Ética em Experimentação Animal do Instituto de Pesca). Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições. Vinte aquários de 14 litros foram dispostos paralelamente em uma bancada de laboratório, com controle de temperatura e fotoperíodo. Cada aquário recebeu 2 kg de cada um dos seguintes substratos:

- f) Pedrisco de quartzo (tratamento controle);
- g) Areia de brita fina: constituído de rocha moída de granulometria <0,4 mm;
- h) Areia de brita grossa: constituído de rocha moída de granulometria de 0,4 a 2,9 mm;
- i) Pedrisco fino: constituído de rocha moída de granulometria de 2,9 a 6,3 mm;
- j) Substrato bruto (pó de rocha): constituído de rocha moída de granulometria de 0,0 a 6,3 mm.

Todos os aquários foram equipados com filtragem simples externa tipo hang-on, expostos à fotoperíodo natural (por aproximadamente 12h). Cada aquário recebeu 50 alevinos de tilápias sexualmente revertidas (tratados com 17 α -metiltestosterona) adquiridos de uma piscicultura comercial.

Os aquários foram reabastecidos diariamente com o volume de água perdido por evaporação. Três vezes por semana, foi realizada a troca parcial de água de aproximadamente 15% do volume total dos aquários. Parâmetros de temperatura, oxigênio, pH e sólidos totais dissolvidos (TDS) foram avaliados utilizando sondas multiparâmetros. Os parâmetros amônia, nitrito e nitrato foram avaliados semanalmente utilizando os testes comerciais da Labcon®. Os parâmetros potássio, cloretos, sulfatos e sílica foram avaliados no início e aos 30 dias de experimento utilizando o espectrofotômetro MD 600 Lovibond® e seus respectivos reagentes. Os parâmetros cálcio, magnésio, alcalinidade e dureza foram avaliados no início e final do experimento pela Unidade Laboratorial de Referência em Limnologia (ULRL) pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Pesqueiros do Instituto de Pesca, localizado na sede, em São Paulo.

Os substratos utilizados no experimento passaram por análise mineralógica e de composição no laboratório de mineralogia da ESALQ - USP. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química total das amostras de pó de rocha realizada pelo laboratório de Mineralogia de Solos - ESALQ/USP.

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
Ag (ppm)	<0,02	Hg (ppm)	<0,05	Sc (ppm)	13,4
Al (%)	6,13	In (ppm)	0,05	Se (ppm)	<2
As (ppm)	<1	K (%)	2,76	Sn (ppm)	2,7
Ba (ppm)	384	La (ppm)	46,8	Sr (ppm)	95,8
Be (ppm)	2,6	Li (ppm)	80	Ta (ppm)	1,82
Bi (ppm)	0,14	Lu (ppm)	0,24	Tb (ppm)	0,77
Ca (%)	3,05	Mg (%)	2,0	Te (ppm)	<0,05
Cd (ppm)	0,04	Mn (%)	0,06	Th (ppm)	17,4
Ce (ppm)	90,36	Mo (ppm)	0,85	Ti (%)	0,34
Co (ppm)	8,7	Na (%)	0,7	Tl (ppm)	0,8
Cr (ppm)	33	Nb (ppm)	15,7	U (ppm)	9,2
Cs (ppm)	10	Ni (ppm)	23,8	V (ppm)	56
Cu (ppm)	14,1	P (ppm)	440	W (ppm)	1,4
Fe (%)	3,73	Pb (ppm)	13,9	Y (ppm)	16,7
Ga (ppm)	17,8	Rb (ppm)	156,2	Yb (ppm)	1,5
Ge (ppm)	<0,1	S (%)	0,02	Zn (ppm)	61
Hf (ppm)	3,57	Sb (ppm)	0,19	Zr (ppm)	123,3

Os organismos aquáticos foram avaliados quanto à mortalidade, ganho de peso (GP) e conversão alimentar aparente (CAA), sendo pesados a cada 15 dias após a insensibilização por eugenol (8 ml de eugenol /50 ml de álcool/100 l de água). As pós-larvas foram criadas na densidade de aproximadamente 4 litros e alimentadas 3 vezes ao dia. A ração em pó, contendo 46% de proteína bruta, foi fornecida na quantidade de 5% da biomassa. A avaliação dos alevinos se deu quanto à sobrevivência, ganho de peso (GP) e conversão alimentar aparente (CAA), conforme descrito por Rossi (2023):

A) Ganho de peso (GP) = peso final - peso inicial;

B) Conversão alimentar aparente (CAA) = consumo de ração diário/ganho em peso;

Ao final do experimento, determinou-se o GP e CAA considerando todo período experimental e a mortalidade. A mortalidade (M) foi dada por:

$$M (\%) = (N^\circ \text{ de peixes mortos} / N^\circ \text{ inicial de peixes}) \times 100;$$

A quantidade de ração fornecida e a eventual mortalidade dos organismos aquáticos foram anotados diariamente. Ao final do experimento, por ocasião das amostragens, 5 alevinos foram insensibilizados por eugenol (8 ml de eugenol / 50 ml de álcool/100 L de água), abatidos por incisão crânio-cervical, e preservados em formol 10% para análise histopatológica quanto a integridade morfológica.

Foram realizados exames histopatológicos dos alevinos considerando principalmente análises de baço, rim, pâncreas, fígado, intestino, SNC e brânquias, onde as principais alterações encontradas foram:

Brânquias - descolamento epitelial nas brânquias, dilatação capilar nas brânquias, presença de eosinófilos, fusão da lamela primária e secundária, rarefação citoplasmática, presença de melanomacrófagos e vasos congestos.

Intestino - achatamento das vilosidades, corpúsculo de inclusão viral, áreas necróticas no intestino, descamação do epitélio, infiltrado inflamatório e perda das vilosidades.

Fígado - presença de melanomacrófagos, áreas necróticas no fígado, rarefação citoplasmática, dissociação de trabéculas e vasos congestos.

Pâncreas - vasos congestos no pâncreas, corpúsculo de inclusão viral, presença de eosinófilos, pancreatite e presença de melanomacrófagos.

Rim - túbulo nefrose, presença de material fibroso, calcificações, glomérulos hiperplásicos e espaço de Bowman aumentado.

Baço - presença de melanomacrófagos, ausência de folículos linfóides, vasos dilatados congestos e áreas com necrose.

Sistema Nervoso Central (SNC) - gliose acentuada, vasos congestos e presença de eosinófilos.

Resultados

Os alevinos de tilápias iniciaram o experimento com $0,4374 \pm 0,0347$ g e $2,856 \pm 0,1119$ cm, não havendo diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$).

As médias dos parâmetros limnológicos no início do experimento estão apresentados na Tabela 2. Não foram observadas diferenças na temperatura, oxigênio, pH, amônia e nitrito ($p > 0,05$). Todos os parâmetros mantiveram-se dentro dos limites aceitáveis para o cultivo de tilápias. Também não foram observadas diferenças significativas nas concentrações de cloretos, ferro e alumínio ($p > 0,05$). Entretanto, foram observadas diferenças significativas nos sólidos dissolvidos totais, sendo maiores nos aquários contendo substratos de menor granulometria, ou seja, areia de brita fina e pó de rocha. (Anova; $p < 0,05$).

Os diferentes substratos de rocha gnaiss também proporcionaram maior alcalinidade da água quando comparado ao tratamento controle, não havendo diferenças significativas entre as diferentes granulometrias do substrato ($p > 0,05$). Entretanto, a dureza da água foi maior nos aquários contendo os substratos de menor granulometria, ou seja, areia de brita fina e pós de rocha ($p < 0,05$).

As concentrações de cálcio, magnésio e potássio também foram superiores nos aquários contendo substratos de rocha gnaiss em relação àquele contendo pedrisco de quartzo ($p < 0,05$). Os substratos de diferentes granulometrias proporcionaram concentrações de cálcio e magnésio semelhantes ($62,08 \pm 7,36$ e $15,21 \pm 3,08$ mg/l, respectivamente), mas 31,3 e 78,3% maiores quando comparado a água dos aquários que receberam pedrisco de quartzo ($47,27 \pm 1,63$ e $8,53 \pm 0,36$ mg/l, respectivamente). Diferenças mais acentuadas foram encontradas nas concentrações de potássio, sendo maiores na água dos aquários contendo substratos de rocha gnaiss em relação àqueles com pedrisco de quartzo. Os substratos de menor granulometria (areia de brita fina e areia de brita grossa) proporcionaram concentrações de potássio 170% superior ao pedrisco de quartzo (média de $19,6 \pm 5,19$ comparado a $7,25 \pm 1,06$ mg/l). As concentrações de potássio nos aquários contendo pedrisco fino e pó de rocha foram 94% superiores aos aquários com pedrisco de quartzo (média de $14,08 \pm 5,84$ mg/l comparado a $7,25 \pm 1,06$ mg/l).

Tabela 2. Média e desvio padrão dos parâmetros limnológicos dos aquários contendo substratos de rocha gnaiss no início do experimento.

Parâmetro	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Temperatura (°C)	23,60 (0,11)A	23,60 (0,15)A	23,48 (0,18)A	23,40 (0,17)A	23,60 (0,14)A
Oxigênio (mg/l)	7,49 (1,24)A	7,34 (0,96)A	6,47 (1,10)A	6,07 (0,26)A	6,63 (0,40)A
pH	7,39 (0,22)A	7,50 (0,04)A	7,51 (0,04)A	7,56 (0,05)A	7,41 (0,28)A
TDS (mg/l)	234,75 (8,77)C	321,25 (9,67)A	295,75 (9,71)B	257,00 (4,24)C	312,25 (15,52)AB
Alcalinidade (mg/l)	64,28 (8,72)B	107,63 (3,96)A	105,73 (5,50)A	102,39 (0,96)A	96,68 (7,68)A
Dureza (mg/l)	82,52 (1,09)C	133,89 (3,73)A	119,13 (2,19)B	120,23 (1,79)B	132,80 (4,85)A
Amônia (mg/l)	2,22 (1,79)A	3,19 (0,37)A	3,86 (0,68)A	4,13 (0,23)A	2,90 (1,01)A
Nitrito (mg/l)	2,04 (0,41)A	1,23 (0,26)A	1,35 (0,11)A	1,26 (0,23)A	1,52 (0,40)A
Cálcio (mg/l)	47,27 (1,63)B	61,33 (9,68)A	60,82 (2,37)A	58,80 (2,98)A	67,39 (2,89)A
Magnésio (mg/l)	8,53 (0,38)B	16,28 (1,85)A	14,17 (0,41)A	14,92 (0,72)A	15,46 (0,93)A
Potássio (mg/l)	7,25 (1,06)C	20,20 (1,81)A	19,00 (2,66)A	12,85 (1,24)B	15,30 (2,61)B
Cloretos (mg/l)	3,02 (0,59)A	3,33 (0,68)A	3,35 (0,80)A	2,69 (1,05)A	3,45 (0,33)A
Sulfatos (mg/l)	25,98 (2,32)A	48,70 (8,23)B	33,33 (7,89)A	28,38 (2,37)A	35,25 (3,05)A
Sílica (mg/l)	7,74 (1,06)B	12,77 (2,45)A	12,29 (2,51)A	9,47 (0,53)AB	12,74 (3,29)A
Ferro (mg/l)	0,24 (0,17)A	0,84 (0,56)A	0,39 (0,25)A	0,24 (0,14)A	0,38 (0,19)A
Alumínio (mg/l)	0,02 (0,02)A	0,05 (0,03)A	0,02 (0,02)A	0,02 (0,01)A	0,02 (0,02)A

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

A concentração de sulfatos também foi maior nos aquários contendo areia de brita fina em relação àqueles contendo substratos de maior granulometria e em relação ao tratamento controle ($p < 0,05$). Sílica foi encontrada em maior concentração nos aquários contendo substratos de menor granulometria em relação àqueles que receberam pedrisco de quartzo.

As médias dos parâmetros limnológicos aos 30 dias de experimentação estão apresentados na Tabela 3. Temperatura, oxigênio, amônia e nitrito não apresentaram diferenças entre os tratamentos ($p>0,05$) e estiveram dentro dos limites aceitáveis para o cultivo de tilápias (El-Sayed, 2006). Também não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos nas concentrações de cloretos, sulfatos, ferro e alumínio. Não foram detectadas concentrações de bário nos tratamentos. Observou-se diferenças no pH, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, dureza, cálcio, magnésio e potássio (Anova; $p<0,05$).

Aos 30 dias de experimentação, foi observada elevação no pH da água de cultivo, sendo maior nos aquários com areia de brita fina e areia de brita grossa em relação ao controle ($p<0,05$). Essa elevação do pH pode estar associada a maior capacidade de trocas iônicas nos tratamentos de menor granulometria, apresentando maior superfície de contato com o meio aquoso. Isso também foi demonstrado pelas maiores concentrações de sólidos dissolvidos totais, alcalinidade e dureza da água nesses tratamentos ($p<0,05$).

As concentrações de cálcio, magnésio e potássio permaneceram superiores nos aquários contendo substratos de rocha gnaisse em relação àqueles contendo pedrisco de quartzo após os 30 dias de cultivo, mesmo com as trocas parciais de água de 15% do volume três vezes na semana, principalmente nos aquários contendo areia de brita fina ($p<0,05$). Os aquários contendo substratos de gnaisse apresentaram mais cálcio, magnésio e potássio quando comparados a água dos aquários que receberam pedrisco de quartzo, embora o cálcio tenha sido significativamente maior apenas nos aquários que receberam areia de brita fina e areia de brita grossa em relação ao controle ($p<0,05$).

As médias dos parâmetros zootécnicos aos 15 dias de experimentação estão apresentados na Tabela 4. Foram observadas diferenças na biomassa final e mortalidade dos alevinos ($p<0,05$).

Tabela 3. Média e desvio padrão dos parâmetros limnológicos dos aquários contendo substratos de rocha gnaiss aos 30 dias de experimentação.

Parâmetro	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Temperatura (°C)	24,47 (0,22)A	24,41 (0,22)A	24,21 (0,39)A	24,30 (0,27)A	24,45 (0,25)A
Oxigênio (mg/l)	6,38 (0,28)A	6,49 (0,49)A	7,20 (0,75)A	6,72 (0,31)A	6,24 (0,31)A
pH	7,34 (0,19)B	7,71 (0,07)A	7,73 (0,10)A	7,51 (0,06)AB	7,55 (0,04)AB
TDS (mg/l)	290,50 (16,22)C	320,75 (2,87)A	319,50 (5,26)AB	297,25 (11,67)BC	306,00 (9,80)ABC
Alcalinidade (mg/l)	12,38 (1,91)D	62,86 (4,11)A	47,62 (5,61)B	36,67 (6,10)C	38,57 (4,76)BC
Dureza (mg/l)	111,48 (7,78)C	138,26 (2,09)A	131,70 (3,28)AB	119,68 (6,53)C	122,41 (4,72)BC
Amônia (mg/l)	0,43 (0,35)A	0,17 (0,03)A	0,20 (0,04)A	0,20 (0,03)A	0,18 (0,02)A
Nitrito (mg/l)	0,85 (0,04)A	0,81 (0,04)A	0,83 (0,04)A	0,81 (0,02)A	0,88 (0,06)A
Cálcio (mg/l)	42,26 (2,95)C	50,87 (1,99)A	47,04 (1,32)AB	43,29 (1,99)BC	43,73 (1,56)BC
Magnésio (mg/l)	8,05 (0,50)B	13,46 (0,66)A	13,98 (1,30)A	12,46 (1,08)A	12,47 (2,57)A
Potássio (mg/l)	6,03 (0,53)B	9,15 (0,72)A	9,45 (1,79)A	9,45 (1,57)A	10,73 (0,05)A
Cloretos (mg/l)	2,79 (0,29)A	3,65 (0,14)A	3,56 (0,21)A	3,34 (0,54)A	2,75 (0,91)A
Sulfatos (mg/l)	44,50 (1,83)A	47,40 (1,54)A	44,78 (1,18)A	43,70 (4,88)A	44,58 (1,20)A
Sílica (mg/l)	11,00 (2,61)A	10,94 (2,23)A	11,04 (2,79)A	9,93 (1,23)A	10,10 (1,92)A
Ferro (mg/l)	0,02 (0,02)A	0,04 (0,04)A	0,15 (0,18)A	0,02 (0,03)A	0,05 (0,06)A
Alumínio (mg/l)	ND	0,02 (0,02)	ND	ND	0,03 (0,04)

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%. ND, não detectado.

Tabela 4. Média e desvio padrão dos parâmetros zootécnicos de alevinos de tilápias cultivados em aquários contendo substratos de rocha gnaisse aos 15 dias de experimento.

Parâmetro	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Peso final (g)	0,35 (0,01)A	0,31 (0,06)A	0,33 (0,02)A	0,26 (0,07)B	0,36 (0,06)A
Biomassa final (g)	7,45 (1,65)A	4,37 (0,92)B	5,59 (1,29)AB	4,77 (2,11)B	5,32 (1,05)AB
Mortalidade (%)	14,00 (6,33)C	28,00 (11,55)A	23,50 (11,48)B	15,00 (5,29)C	24,00 (4,32)B

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

Aos 30 dias, o peso final e biomassa dos alevinos apresentaram diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$). O peso final dos alevinos cultivados em aquários contendo pó de rocha foi superior àqueles cultivados em aquários contendo areia de brita fina ou pedrisco de quartzo ($p < 0,05$), sendo semelhante àqueles cultivados em aquários contendo areia de brita grossa ou pedrisco fino. A biomassa foi superior nos aquários contendo pedrisco fino e pedrisco de quartzo (controle) em relação àqueles contendo areia de brita fina ($p < 0,05$), não sendo diferentes dos aquários contendo areia de brita grossa ou pó de rocha. Não foi observada diferença significativa na mortalidade entre os diferentes tratamentos ($p > 0,05$).

Tabela 5. Média e desvio padrão dos parâmetros zootécnicos de alevinos de tilápias cultivados em aquários contendo substratos de rocha gnaisse aos 30 dias de experimento.

Parâmetro	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Peso final (g)	0,66 (0,13)B	0,69 (0,08)B	0,79 (0,08)AB	0,73 (0,07)AB	0,90 (0,16)A
Biomassa final (g)	7,14 (2,00)A	5,11 (2,11)B	6,18 (1,77)AB	7,24 (1,51)A	6,61 (2,75)AB
Mortalidade (%)	47,50 (6,61)A	55,00 (13,22)A	58,50 (7,19)A	49,00 (7,39)A	52,00 (5,42)A

* Letras diferentes correspondem a diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste SNK a 5%.

A mortalidade acumulada de alevinos de tilápias nos aquários, considerando os diferentes substratos de rocha gnaisse, está apresentada na Figura 1.

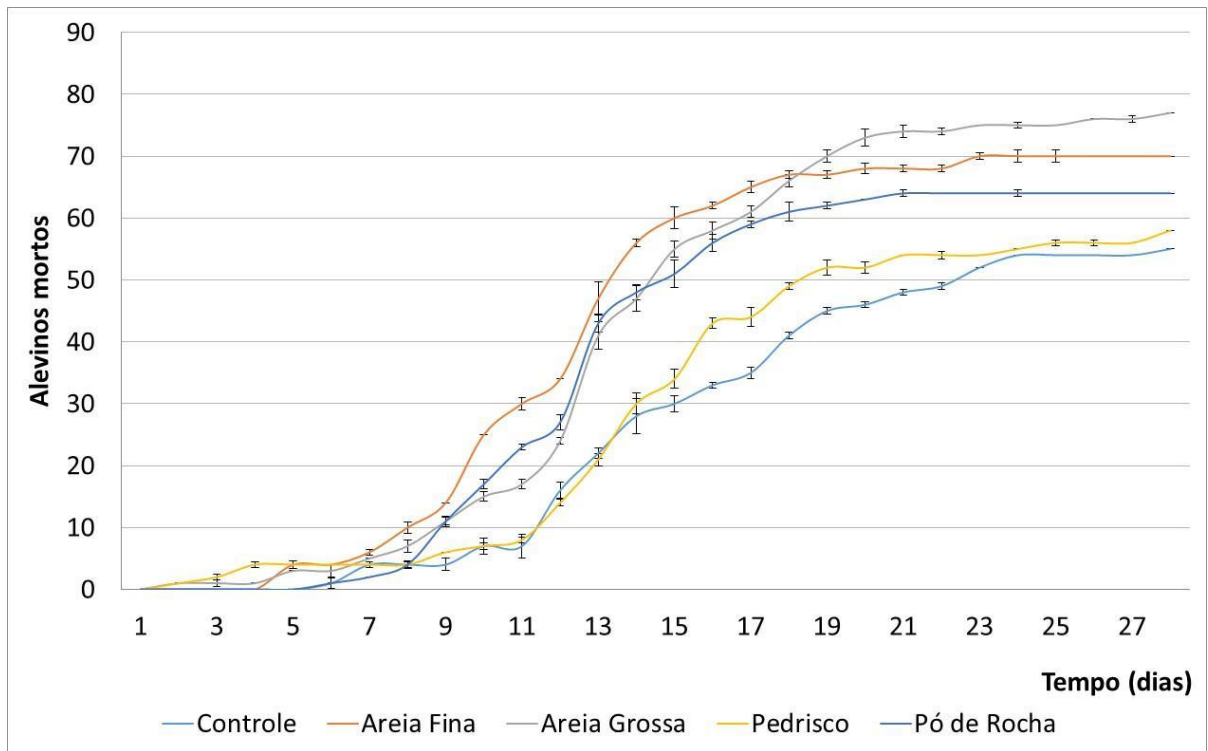


Figura 1. Mortalidade acumulada de alevinos de tilápias cultivados em aquários.

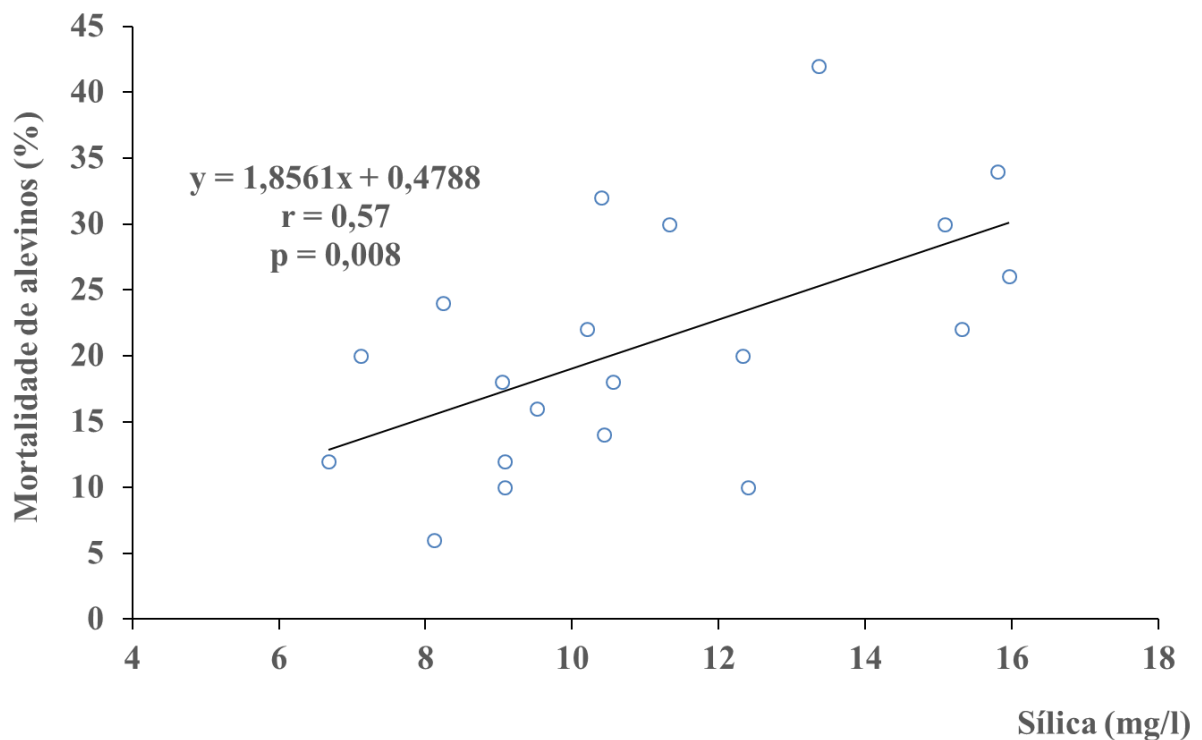


Figura 2. Correlação da mortalidade de alevinos de tilápias em função do teor de sílica da água dos aquários.

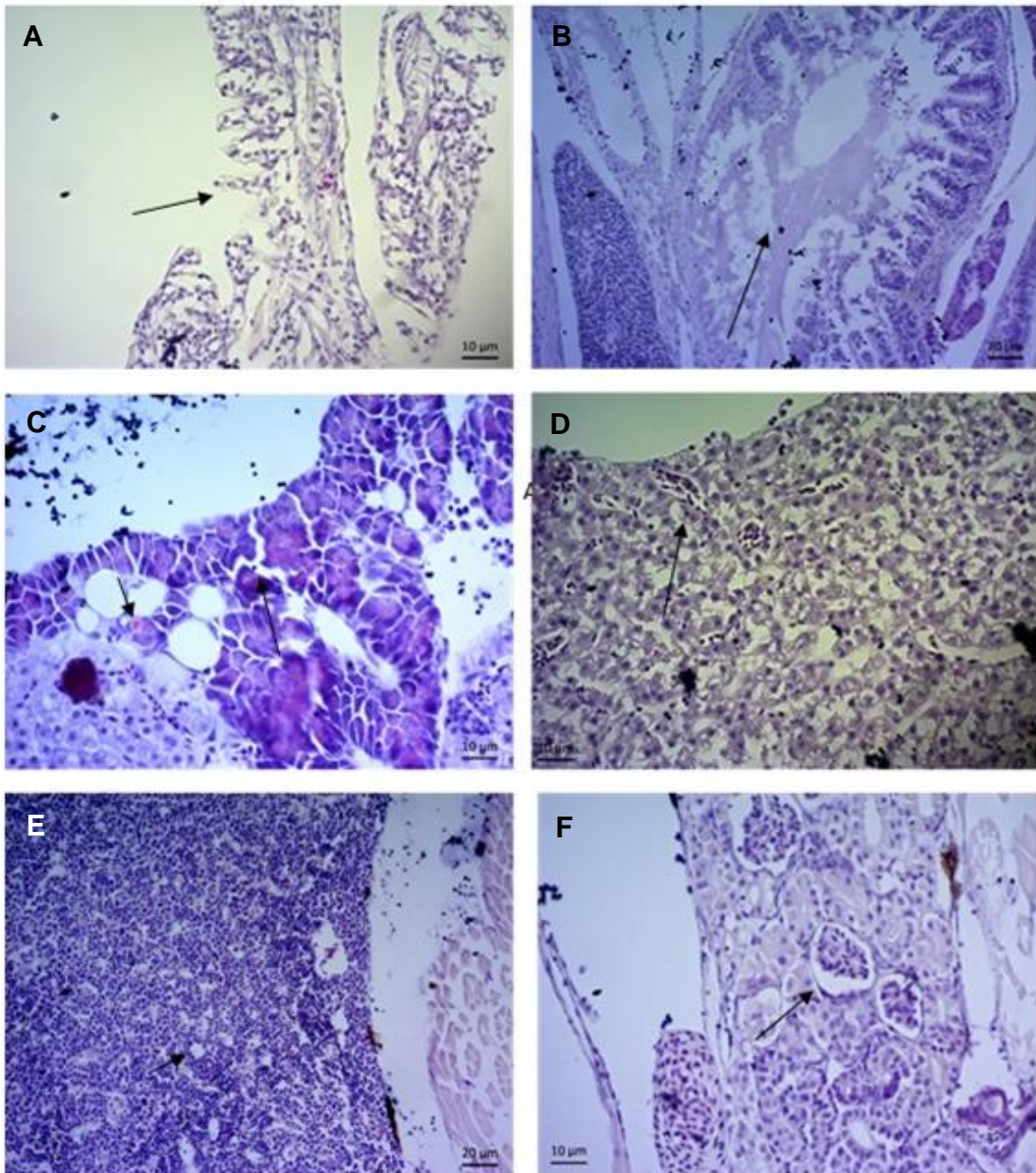


Figura 3. Fotomicrografia de diferentes órgãos de alevinos de tilápias com alterações histopatológicas corados com hematoxilina e eosina. A) Brânquias com fusão das lamelas. B) Intestino com necrose. C) Pâncreas com pancreatite e presença de eosinófilos. D) Fígado com vacuolização. E) Baço com hipoplasia folicular. F) Rim com espaço de Bowman aumentado.

Tabela 6. Observações de alterações histopatológicas em alevinos de tilápias cultivados em diferentes substratos no início e aos 60 dias de experimentação.

Local	Controle	Areia fina	Areia grossa	Pedrisco	Pó de rocha
Brânquias	2,00	1,80	2,60	3,00	3,25
	(1,09)A	(0,92)A	(1,12)A	(1,09)A	(1,11)A
Rins	0,80	0,80	2,20	2,17	0,75
	(0,49)A	(0,80)A	(1,02)A	(0,75)A	(0,75)A
Totais ¹	3,60	3,00	5,60	8,67	4,50
	(1,17)A	(1,26)A	(2,42)A	(2,50)A	(1,56)A

¹ Corresponde ao total de alterações histopatológicas encontradas nas brânquias, rins, baço, intestino, pâncreas, fígado, pele, estômago e sistema nervoso central.

Discussão

A mortalidade observada em todos os tratamentos não teve uma causa identificada. Análises adicionais de ferro, alumínio e bário foram realizadas como indicativo de possível contaminação, entretanto esses elementos apareceram em níveis muito baixos (<0,05 mg/l para ferro e alumínio) ou não foram detectados. Por outro lado, a toxicidade aguda em peixes (*M. mogurnda*) com o LC10 e LC50 de 96 h é de 12 mg/L e 40 mg/L de Mg (Dan et al., 2010). Não foram encontrados valores da toxicidade de magnésio para as tilápias.

O bário (Ba) é um metal alcalino terroso de formação natural, mas prejudicial a qualquer tipo de vida. Sua presença em corpos d'água vem crescendo por conta de atividades humanas, como descargas industriais, resíduos agrícolas e lixo urbano. Sua toxicidade é amplamente estudada, mas sem confirmação de quantidades até o presente estudo, mas o que pode ser afirmado é que tanto o bário em si, como seus compostos, é absorvido pelos órgãos, causando danos e lesões aos tecidos (principalmente os respiratórios e metabólicos), dado o fato de se acumularem por meio de precipitações inorgânicas, podendo ou não bioacumular (variando de acordo com os fatores de recepção de nutrientes específicos das espécies). Alguns estudos citam algumas quantidades, e relacionam sua presença a algumas sintomatologias, porém, por falta de dados, ainda é impossível determinar uma quantidade específica para afetar tilápias (Savazzi et al, 2009; Bezerra et al, 2014; Mendes et al, 2023).

Os resultados mostraram um aumento no teor de sílica (SiO₂) do controle aos 30 dias de experimento. O substrato de quartzo é constituído basicamente por sílica (em formato estável), e sua solubilidade é mutável de acordo com o pH do meio, onde neutro a solubilidade é de aproximadamente 6 mg/L. O que gerou questionamentos foi esse aumento da quantidade de sílica no tratamento controle, se igualando aos aquários tratados (próximo a 11 mg/L), ainda de origem desconhecida. São necessários mais estudos para definir as possíveis causas.

Ressalta-se que os pedriscos de quartzo do tratamento controle foram autoclavados antes de se iniciar a experimentação para a esterilização completa. A exposição desse pedrisco à alta temperatura e pressão pode ter proporcionado aumento da solubilização da sílica nesse tratamento, e a concentração de sílica na água de reposição também se mostrou elevada. Existe toxicidade de nanopartículas da sílica a partir de 20 mg/l em alevinos de tilápias de 15 gramas, trazendo problemas histopatológicos principalmente ao rim e às brânquias (Sjöberg, 1996; Gomes et al, 2018; Abdel-Latif et al, 2021). A plotagem dos dados de mortalidade em relação

às concentrações de sílica dos aquários está apresentada na Figura 2. Observou-se correlação positiva e altamente significativa ($p=0,008$) entre essas variáveis.

Embora os resultados das análises histopatológicas não tenham mostrado diferença significativa entre os aquários contendo substratos de rocha gnaisse e o controle ($p<0,05$), ainda são necessários mais estudos para definir se as alterações foram realmente causadas pela exposição dos animais ao substrato e determinar os possíveis causadores da mortalidade acelerada, se realmente existe algum fator toxicológico ou alguma influência externa ao experimento (Nascimento et al, 2019).

Conclusão

Os substratos de rocha gnaisse disponibilizam altas concentrações de minerais, sobretudo cálcio, magnésio e potássio, sendo inversamente proporcional à granulometria aplicada. Entretanto, a maior disponibilidade dos macros e microminerais, sobretudo da sílica, pode afetar a mortalidade de alevinos de tilápias devido a motivos ainda desconhecidos e, sua aplicabilidade em aquicultura ainda requer estudos adicionais. São necessários mais estudos para investigar as causas de mortalidade dos alevinos e as possíveis técnicas para essa identificação.

Referências

- Abdel-Latif, H.M.R.; Shukry, M.; El Euony, O.I.; Mohamed Soliman, M.; Noreldin, A.E.; Ghetas, H.A.; Dawood, M.A.O.; & Khallaf, M.A. 2021. Hazardous Effects of SiO₂ Nanoparticles on Liver and Kidney Functions, Histopathology Characteristics, and Transcriptomic Responses in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Juveniles. *Biology*, 10(3), 183. <https://doi.org/10.3390/biology10030183>.
- Astera, M.; Agricola. 2010. *The ideal soil: A handbook for the new agriculture*. Soilminerals. com, 139 pag.
- Baroso, R. M.; Munoz, A. E. P.; Ríoz, J. L. 2016. Informativo: O Mercado da Tilápia - 2º trimestre de 2016. *Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, (8).
- Bergmann, M.; Silveira, C. A. P.; Bamberg, A. L.; Martinazzo, R.; Grecco, M. F. 2014. Considerações sobre o potencial de uso agrônômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: Hartmann, L.A., Silva, J, T. Da; Donato, M. (Org.). *Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração*. Porto Alegre: UFRGS, p. 119-126.
- Bezerra, J. D.; Santos Amaral, R.; Santos Junior, J. A. Genezini, F. A.; Menezes, R. S. C. & Oliveira, I. A. 2014. Characterization of Heavy Metals in a Uranium Ore Region of the State of Pernambuco, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(3), 270-273. [10.1007/s00128-1183-4](https://doi.org/10.1007/s00128-1183-4).
- Bezerra, K. S.; Santos A. J. G.; Leite, M. R.; Silva, A. M. D.; Lima, M. R. D. 2008. Crescimento e sobrevivência da tilápia chitralada submetida a diferentes fotoperíodos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43: 737-743. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000600010>
- Camargo, D. J. D. 2013. *Suplementação mineral e vitamínica em dietas para alevinos de tilápia do Nilo* (Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Universidade Estadual do Oeste do Paraná). Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/1926>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture in salt water: environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. *Avances en Nutricion Acuicola VIII*. In: *VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*. Universidade Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations. 2009. *FAO Yearbook: FAO Annuaire. Statistiques Des Pêches Et de L'aquaculture. Fishery and aquaculture statistics*. Fisheries, Aquaculture department, Aquaculture Information, Statistics Service.

- FAO - Food And Agriculture Organization Of The United Nations. 2010. *Cultured Aquatic Species Information Programme, Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758)*.
- Gomes, L. S.; De Souza, M. C.; & Furtado, A. C. R. 2018. A sílica e suas particularidades. *Revista virtual de química*, 10(4): 1018-1038. [10.21577/1984-6835.20180072](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180072).
- Medeiros, F. D. P. 2022. *Bioprocessos para a otimização de pós de rocha utilizados na agricultura* (Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa). Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/29519>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.
- Mendes, F. E. T.; Miranda, G. M.; Camilo, H. K. V. S.; Da Silva Lira, R.; Bitu, V. D. C. N.; De Souza, C. E. S. 2021. Avaliação da atividade antimicrobiana, antioxidante e citoprotetora da quercetina contra a ação tóxica do cloreto de bário. *Research, Society and Development*, 10(6).
- Nascimento, T. S. R.; Boijink, C. L.; Pádua, D. M. C. 2007. Efeito do ph da água no equilíbrio iônico de alevinos de *Piaractus mesopotamicus*. In: Congresso Brasileiro De Produção De Peixes Nativos De Água Doce, Mato Grosso.
- Nishanth, D.; Biswas, D. R. 2008. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresource Technology*, 99(9), 3342 - 3353. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.025>.
- Peixe BR. 2023. Anuário brasileiro da piscicultura Peixe BR 2023. *Associação Brasileira da Piscicultura*. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario/>.
- Ramos, C. G.; Querol, X.; Oliveira, M. L. S.; Pires, K.; Kautzmann, R. M.; Oliveira, L. F. S. 2015. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. *Science of The Total Environment*, 512-513: 371 - 380. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.070>.
- Savazzi, E. A. 2009. *Determinação da presença de Bário, Chumbo e Crômio em amostras de água subterrânea coletadas no Aquífero Bauru* (Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto) Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/60/60134/tde-04062009-164102/pt-br.php>. Acesso em: 10/01/2024.
- Silveira, F. G. 2005. *Investigação do comportamento mecânico de um solo residual de gnaiss da cidade de Porto Alegre* (Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/7224>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.

- Sjöberg, S. 1996. Silica in aqueous environments. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 196: 51-57. [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(95\)00562-5](https://doi.org/10.1016/0022-3093(95)00562-5).
- Tambara, G. B.; Koester, E.; Ramos, R. C.; Porcher, C. C.; Vieira, D. T.; Fernandes, L. A. D. Á.; Cristine, L. E. N. Z. 2019. Geoquímica e geocronologia dos Gnaisses Piratini: magmatismo cálcio-alcalino médio a alto-K de 784 Ma (U-Pb SHRIMP) no SE do Cinturão Dom Feliciano (RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, 46(2). <https://doi.org/10.22456/1807-9806.95466>.
- Uhlig, D.; Schuessler, J. A.; Bouchez, J.; Dixon, J. L.; Von Blanckenburg, F. 2017. Quantifying nutrient uptake as driver of rock weathering in forest ecosystems by magnesium stable isotopes. *Biogeosciences*, 14(12), 3111–3128. <https://doi.org/10.5194/bg-14-3111-2017>.
- Valenti, W. C. 2002. Aquicultura sustentável. In *12º Congresso de zootecnia*. 111-118.
- Valentini, L.; Ferreira, J. M.; Andrade, W.; Oliveira, L.; Shymoia, A. 2016. Avaliação de pó de rocha como fertilizante alternativo em pastagem na Região Noroeste. *Informação tecnológica on line*, 96.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento da tilapicultura é acompanhado pela busca de novos produtos e processos com possíveis aplicações nas diversas fases de cultivo dos peixes.

Durante todas as fases da pesquisa desenvolvida, foi possível observar as interações entre os organismos aquáticos e o material experimentado, de forma benéfica no 1º experimento, de forma negativa no 2º e de forma inconclusiva no 3º. Todas as experimentações foram programadas para sofrer o mínimo impacto possível do meio externo, porém, por fatores desconhecidos, obtivemos uma elevada taxa de mortalidade na 3ª experimentação, incluindo o tratamento controle (sem substratos de rocha gnaisse). A metodologia empregada mostrou-se promissora, mas acabou por não refletir exatamente a vivência do campo dentro de um laboratório.

Embora os resultados ainda sejam inconclusivos, por conta das diversas variáveis avaliadas, é importante ressaltar os dados promissores com relação aos parâmetros limnológicos e a disponibilidade de nutrientes no meio, onde foi possível confirmar que essa disponibilidade foi afetada pelo modo de armazenamento do substrato que, quando exposto ao meio ambiente, é afetado pelo processo natural de intemperismo, o que acaba por carrear parte dos nutrientes presentes. Isso pode ser observado na comparação entre os dados das concentrações de cálcio, magnésio e potássio que foram mais elevadas nas amostras obtidas diretamente da peneira (3º experimento) em relação àquelas armazenadas em exposição no ambiente (2º experimento).

A utilização desse substrato de rocha gnaisse é promissora se aplicada de forma eficiente, evitando gastos e aumentando a disponibilidade de nutrientes para os organismos aquáticos, como citado nos trabalhos acima. Este é um dos primeiros trabalhos a explorar o potencial de substratos originalmente pensados para a aquicultura, tendo uma vasta jornada a ser seguida antes da aplicação propriamente dita. Ainda não foram feitos estudos relacionados à viabilidade financeira dessa utilização, mas torna-se alvo em segundo plano para futuras experimentações.

A possível mortalidade também pode ter sido causada por infecções virais, embora ainda não se tenha um diagnóstico conclusivo, foram encontrados corpúsculos de inclusão viral nas análises histopatológicas. Essas infecções virais têm sido particularmente alarmantes

em operações de produção de tilápias, principalmente o ISKNV (Infectious Spleen and Kidney Necrosis Virus), gerando preocupações e questionamentos sobre a saúde das populações de peixes. É plausível supor que uma proporção substancial das mortalidades registradas na 3ª experimentação possa ter sido atribuída a uma dessas infecções. Este fenômeno destaca a importância de uma vigilância contínua e de estudos epidemiológicos detalhados para identificar os vírus responsáveis e desenvolver estratégias de prevenção e controle eficazes.

Mais estudos com aplicação em viveiros escavados podem trazer respostas adicionais sobre a utilização do pó de rocha, seja na forma de substrato para garantir melhor condição de osmorregulação ou na substituição do processo de adubação e sua relação na produção primária do fitoplâncton. Isso pode afetar de forma significativa o desempenho de tilápias nas diferentes variações de temperatura, entrada constante de água nos viveiros, variações climáticas e outros fatores ambientais não controláveis.

APÊNDICE



Anexo 1. Local da extração da rocha gnaisse, em uma pedreira comercial localizada no Vale do Paraíba.



Anexo 2. Peneira de separação do material.



Anexo 3. Disposição dos aquários na primeira experimentação.



Anexo 4. Disposição dos aquários durante a segunda e a terceira experimentação, demonstrando as diferenças entre os tratamentos constituídos de rocha gnaisse de diferente granulometria.



Anexo 5. Exames parasitológicos realizados na primeira e na segunda experimentação.



Anexo 6. Testes de desenvolvimento de fenol realizados na segunda experimentação.



Anexo 7. Testes de desenvolvimento de fenol realizados na segunda experimentação.



Anexo 7. Representação dos blocos de parafina com os animais, utilizados para realizar as análises histológicas de cálcio e histopatológicas, respectivamente, da segunda e terceira experimentação.



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO - SP
AGENCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO DE PESCA
COMITÊ DE ÉTICA EM EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL



CERTIFICADO

CERTIFICAMOS QUE O PROTOCOLO DE NÚMERO 04/2022 DO TRABALHO DE PESQUISA INTITULADO " AVALIAÇÃO DE SUBSTRATOS DE ROCHA GNAISSE SOBRE O CRESCIMENTO E DESEMPENHO DE ALEVINOS DE TILÁPIAS DO NILO". SOB RESPONSABILIDADE DO PQC VANDER BRUNO DOS SANTOS, ESTÁ DE ACORDO COM OS PRINCÍPIOS ÉTICOS NA EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL ADOTADO PELO COLÉGIO BRASILEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL (COBEA) E FOI APROVADO PELO COMITÊ DE ÉTICA EM EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL DO INSTITUTO DE PESCA (CEEAIIP), EM 29 DE JUNHO DE 2022.

SÃO PAULO, 29 DE JUNHO DE 2022

EDUARDO DE MEDEIROS FERRAZ
Presidente - CEEAIIP

COMITÊ DE ÉTICA EM EXPERIMENTAÇÃO ANIMAL DO INSTITUTO DE PESCA
Av. Conselheiro Rodrigues Alves, 1252 - Vila Mariana, São Paulo - SP, 04014-002- São Paulo - SP
e-mail: ceeaiip@pesca.sp.gov.br / SITE: www.pesca.sp.gov.br

Anexo 8. Certificado de aprovação pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal do Instituto de Pesca (CEEAIIP).