COLUNA DE WINOGRADSKY COMO INDICADORA AMBIENTAL.

Nicoly de Oliveira Paulino, Maria Regina de Aquino Silva.

Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, nicolypaulino2003@gmail.com, mregina@univap.com .

Resumo

A Coluna de Winogradsky é um microcosmo experimental que reproduz processos ecológicos de ecossistemas aquáticos naturais para estudar a sucessão microbiana e gradientes físico-químicos. Este trabalho objetiva compreender o funcionamento desse sistema sob a influência da luz solar e a variação quanto a profundidade. A metodologia baseia-se na montagem de colunas com sedimentos ricos em matéria orgânica, areia e água. O estabelecimento de gradientes ambientais resulta em zonas ecológicas distintas: uma camada superficial aeróbica (algas/cianobactérias), uma intermediária (heterótrofos) e uma profunda anaeróbica. A análise dessas zonas demonstrou a capacidade da coluna em indicar o nível de qualidade ecológica e os impactos da poluição ou carga orgânica sobre a estrutura das comunidades aquáticas.

Palavras-chave: Ecologia, Microcosmo, Microrganismos, Análises.

Área do Conhecimento: Ecologia

Introdução

A Coluna de Winogradsky consiste em um microcosmo experimental que reproduz, em escala reduzida, processos ecológicos complexos observados em ecossistemas naturais. Esse modelo permite a análise controlada de interações tróficas, sucessão microbiana e dinâmica de comunidades aquáticas. Em sistemas fechados, como em colunas de um litro utilizadas como controle, gradientes verticais de nutrientes, oxigênio e luz promovem a formação de microzonas específicas. Nessas regiões, diferentes grupos de microrganismos se estabelecem de acordo com suas exigências fisiológicas e metabólicas (BARROS, 2019).

A iluminação atua como fator determinante na regulação da fotossíntese de algas e cianobactérias no sistema artificial estabelecido pela coluna. A luz penetra na superfície, o que estimula altas taxas fotossintéticas. Nas camadas intermediárias e profundas, a intensidade luminosa diminui progressivamente, o que favorece espécies adaptadas a condições de baixa luminosidade (DANTAS, 2008). Esse gradiente luminoso estabelece distintas zonas ecológicas: a camada superficial abriga algas verdes e cianobactérias; a intermediária mantém microrganismos heterotróficos e consumidores do zooplâncton; e o sedimento profundo, de caráter anaeróbico ou hipóxico, favorece bactérias decompositoras e fotossintéticas anaeróbias (LIRA, 2011).

As algas desempenham papel central como produtores primários no microcosmo. Por meio da fotossíntese, geram oxigênio e matéria orgânica essenciais para a manutenção das zonas aeróbicas e para o suporte do zooplâncton. A variação de luz entre as camadas influencia o crescimento autotrófico e a formação de biofilmes, que funcionam como habitats microbianos e modulam a disponibilidade de nutrientes (SILVA, 2013). As cianobactérias complementam essa dinâmica fixando nitrogênio em regiões de baixa intensidade luminosa. Paralelamente, o zooplâncton (protozoários, crustáceos e rotíferos) regula as populações de fitoplâncton e bactérias, garantindo o equilíbrio trófico e o fluxo de energia no sistema.

Diante disso, este trabalho teve por objetivo analisar o funcionamento da Coluna de Winogradsky sob a influência da luminosidade e da profundidade na estratificação microbiana de ecossistemas dulcícolas, a fim de avaliar a viabilidade desse microcosmo como modelo biológico indicativo da

qualidade ambiental e dos impactos causados por contaminantes, neste caso, a presença de matéria orgânica.

Metodologia

O experimento foi realizado em triplicata para avaliar o efeito da incidência luminosa e de sedimentos ricos em matéria orgânica no desenvolvimento da microbiota aquática. Utilizaram-se amostras de sedimento e água provenientes de dois locais presentes na Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), Campus Urbanova: o lago do Centro de Reabilitação de Animais Silvestres (CRAS) cujo fundo é coberto por uma camada de aproximadamente vinte centímetros de sedimento e em uma lagoa de mineração (antigo porto de areia em processo de recuperação), com sedimento arenoso. Foram coletados 1 kg de sedimento e 10 L de água de cada ponto de amostragem.
Em laboratório, o sedimento foi seco em estufa a 60ºC, por 48 horas, sendo posteriormente pesado em balança semi-analítica e homogeneizado com reagentes de enriquecimento: carboximetilcelulose (CMC), sulfato de sódio (Na_2SO_4), carbonato de sódio (Na_2CO_3), fosfato de potássio (K_2PO_4), sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$) e sulfato de cálcio ($CaSO_4$). A mistura foi transferida para béqueres de 250 mL e provetas adaptadas com capacidade de 1000 mL para observação em menor escala (microcosmo).
Adicionou-se cuidadosamente a água até completar o volume das colunas. O pH, oxigênio dissolvido e condutividade foram verificados por meio de uma sonda multiparâmetros (Akso 88) tendo sido o pH ajustado para valores próximos a 7,0 utilizando soluções de HCl 0,1 M ou NaOH 0,1 M.
Durante o período experimental, realizaram-se observações semanais macroscópicas para registrar mudanças de coloração, formação de biofilmes, liberação de bolhas gasosas e odores, bem como observações microscópicas, por meio de microscópio binocular, a fim de avaliar a biota presente permitindo assim, compreender a dinâmica trófica dos diferentes sistemas estudados.

Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores verificados para a qualidade da água, quanto aos parâmetros analisados, ao final do experimento

Tabela 1: Valores obtidos ao final do experimento para os parâmetros físico químicos analisados

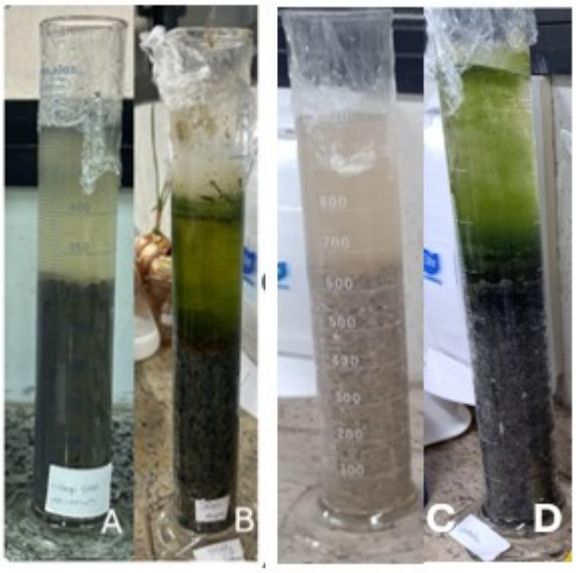
	pH	OD (mg/L)	Condutividade (µs/cm)	Temperatura (°C)
Lago Cras	6,2	1,4	566	18,6
Cavas	7,1	7,6	1,5	20

Fonte: A autora (2026)

Os parâmetros físico-químicos evidenciaram diferenças marcantes entre os ambientes. O Lago do CRAS apresentou baixa concentração de oxigênio dissolvido (1,4 mg/L), pH levemente ácido (6,2) e elevada condutividade (566 µS/cm), características compatíveis com maior carga de matéria orgânica e intensa atividade decompositora. Em contraste, as Cavas apresentaram maior concentração de oxigênio dissolvido (7,6 mg/L), pH próximo à neutralidade (7,1) e baixa condutividade (1,5 µS/cm), indicando condições mais favoráveis à manutenção de organismos aeróbios.
A Figura 1 apresenta as colunas elaboradas a partir de material coletado considerando dois sistemas diferentes no início e ao final do mesmo. A análise comparativa estabelecida visualmente entre A e B após algumas semanas, é que ocorreu uma intensificação de sua coloração verde, com maior impacto na região intermediária, além de uma heterogeneidade visual, sugerindo um aumento da biomassa de organismos fotossintetizantes, como encontrados nas análises microscópicas, sendo microalgas e/ou cianobactérias, deixando evidente pelo mau odor apresentado nas colunas, que são favorecidas pela disponibilidade de incidência solar.

Enquanto nas colunas C e D, após a incubação surgiu uma faixa verde intensa e bem delimitada, acompanhada pelo escurecimento das regiões inferiores, evidenciando o desenvolvimento de uma estratificação vertical na coluna.

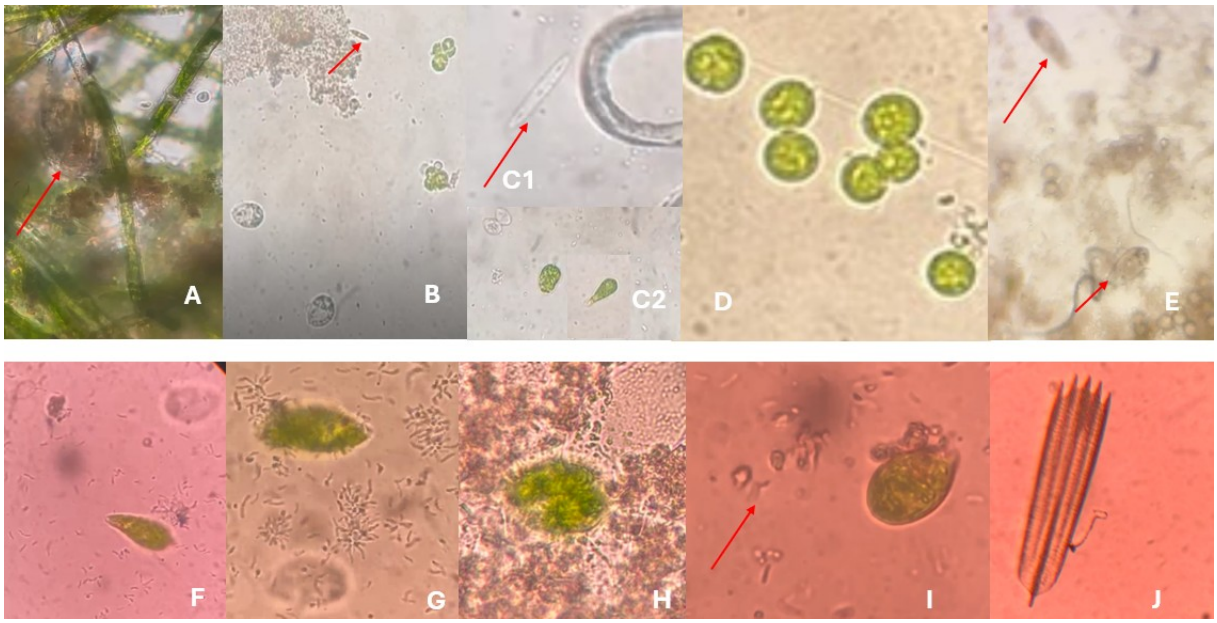
Figura 1: Colunas de Winogradsky considerando dois sistemas estudados (A) e (B): coluna para o ambiente Cras e Cavas respectivamente, (C) e (D).



Fonte: A autora (2026).

A Figura 2 apresenta os organismos visualizados/identificados nos dois ambientes estudados. Assim foi possível observar para que o material coletado nas Cavas, apresentou uma crescente variedade de microrganismos, sendo eles: na figura A) Alga filamentosa, possivelmente *Spirogyra sp.* ,B) Microalga colonial, possivelmente Chlorophyta, C1) Diatomácea, possivelmente *Navícula* C2) Euglenóide, possivelmente *Euglena* ou *Phacus,* D) Alga Verde Colonial, E) Organismo Filamentoso, possivelmente uma cianobactéria. Enquanto na amostra do Lago do Cras, os microrganismos encontrados foram distintos, quando comparados com o ambiente da lagoa de mineração, sendo eles: F) Diatomácea, G) Euglenoide, possivelmente *Phacus sp.* H) Microalga Verde, I) Euglenoide, J) Diatomácea pennada colonial, possivelmente *Bacillaria sp.*

Figura 2: Organismos observados nos dois cenários de estudo.



Fonte: A autora (2026).

As colunas de Winogradsky foram monitoradas por um período superior a 30 dias. Nos primeiros dias de incubação, o sistema apresentou aspecto homogêneo, com deposição do sedimento no fundo e água translúcida. Ao longo das semanas, registraram-se alterações físicas e biológicas decorrentes da estratificação e formação de gradientes ambientais no microcosmo.

Na zona superficial de algumas amostras, observou-se uma coloração esverdeada compatível com o crescimento de organismos fotossintetizantes. Nas camadas profundas, ocorreu o escurecimento do sedimento e o aumento da turbidez da água, indicando intensa atividade microbiana microaerófila/anaeróbica em regiões com baixa disponibilidade de oxigênio.

A análise microscópica revelou organismos filamentosos, estruturas associadas a biofilmes e partículas orgânicas em processo de decomposição.

Identificaram-se microrganismos de ambientes dulcícolas com morfologia compatível com as diatomáceas *Cymbella ventricosa* e *Gomphonema olivaceum*. Estes espécimes encontravam-se associados ao material em suspensão e à matriz dos biofilmes. As figuras a seguir ilustram as principais etapas observadas nas duas colunas analisadas.

Discussão

Os resultados obtidos ao longo do período experimental demonstraram que as colunas de Winogradsky apresentaram comportamento compatível com o modelo teórico esperado para microcosmos aquáticos, evidenciando a formação gradual de gradientes físico-químicos e o estabelecimento de comunidades microbianas estratificadas.

As alterações visuais registradas ao longo de mais de 30 dias, associadas às observações microscópicas, indicam o desenvolvimento progressivo de organismos adaptados às microcondições ambientais de cada faixa do sistema.

A formação de biofilmes e a presença de estruturas filamentosas observadas nas amostras do Lago do CRAS e das Cavas sugerem uma intensa atividade metabólica.

Esse panorama valida as proposições de Barros (2016), que descreve a coluna de Winogradsky como um microcosmo capaz de favorecer a estratificação de comunidades microbiológicas em função da disponibilidade seletiva de nutrientes, oxigênio e compostos sulfurados. Esse processo caracteriza uma sucessão ecológica microbiana clássica, pontuada pelo surgimento gradual de organismos especializados em diferentes nichos energéticos.

As diferenças marcantes observadas entre as frações superficiais e profundas das provetas confirmam a consolidação de zonas ecológicas distintas, aspecto amplamente discutido por Vega (2007), que destaca a estratificação vertical como a principal propriedade funcional desse modelo.

Nas regiões superiores, onde a incidência luminosa atuou de forma direta, o desenvolvimento de estruturas fotossintetizantes e a identificação de diatomáceas como *Cymbella ventricosa* e *Gomphonema olivaceum* corroboram a ocorrência de atividade fotossintética nas regiões superioresl. Em contrapartida, o escurecimento do sedimento e o acúmulo de matéria, sugerindo o predomínio de organismos anaeróbios e decompositores redutores de sulfato. Essa atividade também pode estar relacionada ao forte odor característico de enxofre observado nas amostras ao longo do experimento.

Ademais, as variações visuais e estruturais identificadas entre as colunas de origens distintas sugerem que a carga microbiológica e as características físico-químicas iniciais do sedimento e da água influenciam diretamente a velocidade e o padrão de desenvolvimento do microcosmo.

Essa assinatura ecológica particular reforça o argumento de Gomes e Osório (2025), que propõem a Coluna de Winogradsky como uma ferramenta experimental de alta eficiência para avaliar a qualidade e a dinâmica microbiológica comparativa entre diferentes ecossistemas aquáticos. Os dados obtidos, portanto, corroboram a literatura e confirmam a viabilidade do modelo para o estudo de sucessões ecológicas sob condições controladas.

A comparação entre os dois ambientes permite ainda utilizar a resposta das colunas como indicativo de suas condições ecológicas. O Lago do CRAS apresentou menor concentração de oxigênio dissolvido (1,4 mg/L), elevada condutividade (566 µS/cm) e evidências de processos associados à decomposição e às condições de baixa disponibilidade de oxigênio, sugerindo maior carga orgânica e maior grau de alteração ambiental. Em contrapartida, as Cavas apresentaram elevada concentração de oxigênio dissolvido (7,6 mg/L), pH próximo à neutralidade e maior variedade de morfotipos microbianos observados, características compatíveis com condições ecológicas relativamente mais favoráveis. Dessa forma, considerando os parâmetros avaliados neste estudo, as Cavas apresentaram maior indicativo de equilíbrio ecológico quando comparadas ao Lago do CRAS, enquanto este último demonstrou sinais mais pronunciados de alteração ambiental.

Conclusão

O estudo demonstrou que a Coluna de Winogradsky constitui uma ferramenta experimental de baixo custo para a modelagem e avaliação comparativa de ecossistemas aquáticos. O experimento evidenciou a formação de gradientes verticais físico-químicos e a consequente estratificação de comunidades microbianas, influenciada pela profundidade e pela disponibilidade de radiação luminosa. A identificação de diferentes morfotipos de microrganismos nas regiões superficiais, incluindo diatomáceas, em contraste com as evidências de atividade decompositora e condições de baixa disponibilidade de oxigênio nas porções inferiores, demonstrou a sensibilidade do sistema às diferentes condições ambientais. Além disso, as diferenças observadas entre as amostras do Lago do CRAS e das Cavas indicam que as características físico-químicas da água e do sedimento de origem influenciaram a dinâmica dos microcosmos.

A comparação entre os ambientes indicou maior grau de alteração ambiental no Lago do CRAS, associado à baixa concentração de oxigênio dissolvido e à elevada condutividade, enquanto as Cavas apresentaram condições ecológicas relativamente mais favoráveis, com maior disponibilidade de oxigênio, pH próximo à neutralidade e maior variedade de morfotipos microbianos observados. Dessa forma, considerando os parâmetros avaliados, as Cavas apresentaram maior indicativo de equilíbrio ecológico em comparação ao Lago do CRAS. Conclui-se, portanto, que a Coluna de Winogradsky se mostrou aplicável como modelo biológico comparativo e indicativo das condições ambientais dos sistemas aquáticos estudados.

Referências

BARROS, Luís. Avaliação da utilização de sulfeto e cianobactérias na cinética de crescimento de bactérias fotossintéticas em coluna de Winogradsky. 2016. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016. URL: Dissert_Barros_LuisRA_corrigida.pdf. Acesso em: 08 setembro, 2025.

GOMES, Anderson. OSÓRIO, Lara. Utilização da Coluna de Winogradsky para a demonstração do efeito dos metais pesados na microbiota oxidante de enxofre em ambientes aquáticos: uma abordagem experimental.URL:Vista do Utilização da Coluna de Winogradsky para a Demonstração do Efeito dos Metais Pesados na Microbiota Oxidante de Enxofre em Ambientes Aquáticos: Uma Abordagem Experimental . Acesso em: 08 setembro, 2025.

DANTAS, Ênio. Ecologia da comunidade de algas planctônicas em reservatórios de Pernambuco (Nordeste, Brasil). 2010. 143 f. Tese (Doutorado em Biologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010. URL:TEDE2: Ecologia da comunidade de algas planctônicas em reservatórios de Pernambuco (Nordeste, Brasil). Acesso em: 08 setembro,2025.

VEGA, F. Dinâmica e estrutura de microcosmos aquáticos. Cadernos UniFOA, v. 5, n. 1, p. 45–60, 2007. Disponível em: https://revistas.unifoa.edu.br/cadernos/article/view/1053/920

SILVA, B. Ademir. Identificação de cianobactérias de um ecossistema aquático da área de proteção ambiental (APA) do rio Curiaú, Amapá, Amazônia, Brasil. URL:TCC-ADEMIR_DA_SILVA_BARROS.pdf. Acesso em: 09 setembro, 2025.

BECERRIL, H. David. Biodiversidad de algas planctónicas marinas *(Cyanobacteria, Prasinophyceae, Euglenophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Eustigmatophyceae, Parmophyceae, Raphidophyceae, Bacillariophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Dinoflagellata*) en México. URL:Biodiversidad de algas planctónicas marinas (Cyanobacteria, Prasinophyceae, Euglenophyta, Chrysophyceae, Dictyochophyceae, Eustigmatophyceae, Parmophyceae, Raphidophyceae, Bacillariophyta, Cryptophyta, Haptophyta, Dinoflagellata) en México. Acesso em: 09 setembro, 2025.

ARDOHAIN, D. et al. ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE ROTÍFEROS PLANCTÓNICOS EN DOS LAGUNAS PAMPÁSICAS: SIMILITUDES Y DIFERENCIAS. URL:Biología Acuática N°22. Acesso em: 09 setembro, 2025.

MACHADO, Cláudia Pinto. Ensino de ciências: práticas e exercícios para a sala de aula. Caxias do Sul, RS. 2017. URL:E-book - Ensino de ciências - Cláudia Machado. Acesso em: 20 setembro, 2025.

HAYASHI, Carmino, et al. Ciências ambientais: recursos hídricos. Ribeirão Preto, SP. 2020. URL:Ciencias-Ambientais-Recursos-Hidricos.pdf. Acesso em: 19 setembro, 2025.