

Amorim, Cihelio Alves. *Florações Algas no Estado de Pernambuco: Causas, Consequências e Controle*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco. 18 de junho de 2021. Orientadora: Ariadne do Nascimento Moura. Coorientador: Ênio Woclyli Dantas.

RESUMO

A presente tese visa compreender os fatores regulatórios das florações algais em reservatórios tropicais, considerando as características morfofuncionais das espécies, além de definir as causas, consequências sobre o fitoplâncton e zooplâncton e propor estratégias de controle destas florações. O estudo foi realizado em 10 reservatórios de abastecimento público com diferentes condições climáticas e de eutrofização no estado de Pernambuco, Brasil. Foi realizado um monitoramento trimestral, durante um ano em cada ambiente ($n = 42$), para entender o papel das variáveis limnológicas, climáticas e bióticas sobre a intensidade das florações e os efeitos delas nas comunidades planctônicas. Todos os ambientes apresentaram florações de cianobactérias classificadas no nível 1 (biomassa $>0,2$ e <10 mg L^{-1}) ou nível 2 (biomassa >10 mg L^{-1}) de alerta da Organização Mundial de Saúde. A partir daí, os dados foram distribuídos em cinco artigos. O primeiro artigo teve o objetivo de avaliar as influências das variáveis físico-químicas e interações tróficas com o zooplâncton sobre as florações de cianobactérias. A análise de correspondência canônica parcial revelou que as florações foram direcionadas principalmente pelas variáveis químicas, seguida das físicas e zooplâncton. Para atingir o objetivo, foi construído um modelo de equações estruturais, o qual demonstrou que a biomassa de cianobactérias foi favorecida principalmente pelo fósforo total dissolvido e presença de copépodos Cyclopoida. Por outro lado, a radiação solar, temperatura do ar, zona de mistura, salinidade, copépodos Calanoida e cladóceros foram importantes para explicar a biomassa dos morfotipos de cianobactérias. No segundo artigo, objetivou-se compreender as dinâmicas dos grupos funcionais do fitoplâncton de Reynolds para estabelecer as relações entre os fatores direcionadores da sua biomassa e distribuição. Foram criados os modelos de habitat e regras de assembleia para 20 grupos funcionais, integrando dados das preferências e tolerâncias dos grupos a 10 gradientes ambientais. Modelos generalizados aditivos revelaram que a salinidade, estado trófico, fósforo solúvel reativo, transparência da água, biomassa relativa do zooplâncton herbívoro e nitrogênio inorgânico dissolvido foram os principais preditores da biomassa dos grupos funcionais. O objetivo do terceiro artigo foi entender como as florações algais intensificam a deterioração da qualidade da água, alteram a diversidade e estrutura do fitoplâncton e zooplâncton e afetam o funcionamento do ecossistema. Os dados foram comparados com ambientes sem florações. Nesse estudo, florações de cianobactérias e mistas (cianobactérias, dinoflagelados, clorófitas e diatomáceas) estiveram associadas com uma intensa deterioração da qualidade da água, redução da riqueza e eficiência do uso do recurso do zooplâncton, enquanto estas florações aumentaram a riqueza de espécies e eficiência do uso do recurso fitoplâncton. Por outro lado, florações de dinoflagelados e clorófitas apresentaram menores impactos aos ambientes. Os outros dois artigos visaram analisar o potencial controle das florações de cianobactérias através da biomanipulação das macrófitas submersas e zooplâncton de grande tamanho (cladóceros), além de verificar os impactos dessas adições na estrutura do fitoplâncton e zooplâncton. Após 10 dias de experimento, todos os tratamentos com adição de macrófitas apresentaram uma redução de até 85% da biomassa total de cianobactérias e até 99% das filamentosas, mesmo com o incremento dos nutrientes. Além disso, as macrófitas reduziram a biomassa das cianobactérias e algas verdes, enquanto o zooplâncton consumiu as diatomáceas e fitoflagelados. Nesse sentido, as macrófitas constituíram o principal fator direcionador da diversidade, composição e estrutura do fitoplâncton e zooplâncton nativo. Portanto, a introdução de macrófitas submersas com

potencial alelopático mostrou ser uma técnica eficiente para controlar florações de cianobactérias tropicais. De maneira geral, a presente tese contribui para o entendimento do papel das variáveis climáticas, eutrofização, salinidade e interações tróficas sobre a dominância de diversos grupos fitoplanctônicos, além de verificar como macrófitas submersas e grandes grupos zooplanctônicos podem controlar as florações. Os resultados desta tese destacam o potencial risco de incremento das florações algais nocivas em reservatórios tropicais, especialmente no semiárido brasileiro, considerando as previsões de aumento da temperatura, secas prolongadas, eutrofização e salinidade nos corpos hídricos, com sérios impactos na biodiversidade e funcionamento dos ecossistemas. Portanto, medidas de mitigação precisam ser adotadas para melhorar a eficiência e conservação dos recursos hídricos em reservatórios de abastecimento público com florações, garantindo uma maior oferta de água potável.

Palavras-chave: funcionamento do ecossistema, manejo da água, modelagem, reservatórios tropicais, semiárido brasileiro.

Amorim, Cihelio Alves. Algal Blooms in Pernambuco State: Causes, Consequences, and Control. Doctoral Thesis, Graduate Program in Biodiversity, Federal Rural University of Pernambuco, Recife, Pernambuco. June 18th, 2021. Supervisor: Ariadne do Nascimento Moura. Co-supervisor: Ênio Woclyli Dantas.

ABSTRACT

This thesis aims to understand the regulatory factors of algal blooms in tropical reservoirs, considering the morphofunctional characteristics of the species, in addition to defining the causes and consequences on phytoplankton and zooplankton and proposing strategies to control these blooms. This study was performed in 10 public water supply reservoirs with different climatic and eutrophication conditions in Pernambuco state, Brazil. Samples were collected quarterly for one year in each environment ($n = 42$) to understand the role of limnological, climatic, and biotic variables on the intensity of blooms and their effects on planktonic communities. All reservoirs showed cyanobacterial blooms classified as level 1 (biomass >0.2 and $<10 \text{ mg L}^{-1}$) or level 2 (biomass $>10 \text{ mg L}^{-1}$) of World Health Organization alert. With that, data were distributed in five articles. The first article aimed to evaluate the influence of physicochemical variables and trophic interactions with zooplankton on cyanobacterial blooms. The partial canonical correspondence analysis revealed that blooms were driven mainly by chemical variables, followed by physical and zooplankton variables. To achieve the objective, a structural equation model was built, which demonstrated that the cyanobacterial biomass was mainly favored by the total dissolved phosphorus and the presence of cyclopoid copepods. On the other hand, solar radiation, air temperature, mixing zone, salinity, calanoid copepods, and cladocerans explained the biomass of cyanobacterial morphotypes. In the second article, the objective was to understand the dynamics of the functional groups of Reynolds phytoplankton to establish the relationships between the driving factors of its biomass and distribution. Habitat templates and assembly rules for 20 functional groups were created, integrating data on group preferences and tolerances to 10 environmental gradients. Additive generalized models revealed that salinity, trophic state, reactive soluble phosphorus, water transparency, relative biomass of herbivorous zooplankton, and dissolved inorganic nitrogen were the main predictors of functional group biomass. The third article aimed to understand how algal blooms intensify the deterioration of water quality, alter the diversity and structure of phytoplankton and zooplankton, and affect ecosystem functioning. To that, data were compared to environments without blooms. In this study, cyanobacterial and mixed blooms (cyanobacteria, dinoflagellates, chlorophytes, and diatoms) were associated with an intense deterioration of water quality, reduced richness, and zooplankton resource use efficiency, while these blooms increased phytoplankton species richness and resource use efficiency. On the other hand, blooms of dinoflagellates and chlorophytes had less impact on the environment. The other two articles aimed to analyze the potential control of cyanobacterial blooms through the biomanipulation of submerged macrophytes and large zooplankton (cladocerans), in addition to verifying the impacts of these additions on phytoplankton and zooplankton structures. After 10 days of the experiment, all treatments with macrophyte additions reduced up to 85% of the total biomass of cyanobacteria and up to 99% of filamentous cyanobacteria, even with nutrient additions. Furthermore, macrophytes reduced the biomass of cyanobacteria and green algae, while zooplankton consumed diatoms and phytoflagellates. In this sense, macrophytes were the main driver of the diversity, composition, and structure of native phytoplankton and zooplankton. Therefore, the introduction of submerged macrophytes with allelopathic potential proved to be an efficient technique to control tropical cyanobacterial blooms. In general, this thesis contributes to the understanding of the role of climatic variables, eutrophication, salinity, and trophic interactions on the dominance of several phytoplankton groups, in addition to

verifying how submerged macrophytes and large zooplankton can control blooms. The results of this thesis highlight the potential risk of increasing harmful algal blooms in tropical reservoirs, especially in the Brazilian semiarid region, considering the forecasts of increased temperature, prolonged droughts, eutrophication, and salinity in water bodies, with serious impacts on biodiversity and ecosystem functioning. Therefore, mitigation measures need to be adopted to improve the efficiency and conservation of water resources in drinking water reservoirs with blooms, ensuring the supply of potable water.

Keywords: Brazilian semiarid, ecosystem functioning, modeling, tropical reservoirs, water management.