



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

GABRIELA SPONCHIADO HEIN

Mudanças globais: avaliando as interações entre CO₂, eutrofização e espécies não nativas em ecossistemas aquáticos continentais

Maringá
2022

GABRIELA SPONCHIADO HEIN

Mudanças globais: avaliando as interações entre CO₂, eutrofização e espécies não nativas em ecossistemas aquáticos continentais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia.

Área de concentração: Ecologia e Limnologia

Orientador: Prof. Dr. Roger Paulo Mormul

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Renata Ruaro

Maringá
2022

"Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

H468m Hein, Gabriela Sponchiado, 1997-
Mudanças globais : avaliando as interações entre CO₂, eutrofização e espécies não-nativas em ecossistemas aquáticos continentais / Gabriela Sponchiado Hein. -- Maringá, 2022.
42 f. : il. (algumas color.).
Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Roger Paulo Mormul.
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Renata Ruaro.
1. Ecossistemas de água doce - Mudanças globais - Múltiplos fatores - Revisão de literatura. 2. Mudanças globais - Ecossistemas de água doce - Múltiplos fatores - Revisão de literatura. 3. Ambientes aquáticos continentais - Efeitos da ação do homem - Impactos ambientais sinérgicos. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -577.62

GABRIELA SPONCHIADO HEIN

Mudanças globais: avaliando as interações entre CO₂, eutrofização e espécies não nativas em ecossistemas aquáticos continentais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia e aprovada pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Roger Paulo Mormul
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Bruno Renaly Souza Figueiredo
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof.^a Dr.^a Louizi de Souza Magalhães Braghin
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 08 de abril de 2022.

Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

AGRADECIMENTOS

Agora, ao finalizar mais uma etapa de minha formação acadêmica, gostaria de agradecer a todas as pessoas que estiveram presentes durante este processo, me auxiliando na questão acadêmica e pessoal.

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha família por estar sempre ao meu lado, me apoiando em todas as situações, principalmente aos meus pais, Fernando Aloisio Hein e Verlaine Sponchiado Hein, por não medirem esforços no auxílio da realização dos meus sonhos, é por causa do apoio de vocês que consegui chegar até aqui!

Ao Prof. Dr. Roger Paulo Mormul, meu orientador, pelo aceite de minha orientação, pela oportunidade de realizar o mestrado, por todo apoio, incentivo, amizade e trocas durante este período.

A Prof.^a Dr.^a Renata Ruaro, minha coorientadora, pelas correções e sugestões, as quais foram fundamentais para o trabalho, mas acima de tudo, pelo jeito doce e humano de se relacionar no meio acadêmico.

As professoras que participaram da minha banca no EPGPEA e na qualificação, Dr.^a Danielle Katharine Petsch, Dr.^a Taise Lopes, Dr.^a Renata Ruaro e Dr.^a Dayani Bailly, pelas contribuições ao trabalho e à minha formação.

Aos docentes do PEA, que engrandeceram minha formação com suas sabedorias e vivências.

A Bete, por todo o auxílio, apoio e esclarecimentos durante estes dois anos.

Aos meus colegas de mestrado, especialmente, Gustavo Alda Martins, Larissa Pinha e Jaqueline Dantas, pela amizade e por compartilharem os momentos de felicidade, esperança, ansiedade e medo, passar por isso juntos com certeza facilitou o processo.

Aos membros da banca por terem aceito contribuir com este trabalho.

A Universidade Estadual de Maringá e ao Nupélia pela estrutura.

A CAPES pela bolsa concedida.

E a todos que contribuíram de alguma forma para minha jornada e para que eu pudesse chegar até aqui, muito obrigada!!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, bem como faz parte do projeto “Avaliação da expansão e impactos de espécies não nativas em múltiplas escalas: um desafio global com iniciativas locais”, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – processo 302798/2019-6.

Mudanças globais: avaliando as interações entre CO₂, eutrofização e espécies não nativas em ecossistemas aquáticos continentais

RESUMO

Os ecossistemas respondem aos efeitos diretos, indiretos e sinérgicos das mudanças globais causadas pela atividade humana. A compreensão sobre os impactos dessas mudanças e principalmente da interação entre os impactos ainda é limitada, especialmente para os ambientes aquáticos, pois raramente a interação entre eles é considerada nos estudos e avaliações ambientais. Realizou-se uma revisão sistemática da literatura para verificar como a combinação dos fatores: (i) aumento da concentração de CO₂, (ii) eutrofização, e (iii) espécies não nativas, está sendo abordada no contexto de mudanças globais em ecossistemas aquáticos continentais. Por meio da plataforma *Web of Science*, procurou-se por artigos publicados em inglês, até 2020. Seguindo o protocolo PRISMA, 62 artigos foram analisados. Apenas 8% dos estudos abordaram a combinação dos três fatores, dentre eles, a eutrofização foi o fator de mudança global mais avaliado. Ainda, os estudos não parecem estar buscando respostas de forma ampla e abrangendo diversos aspectos ecológicos, visto que, se concentram em regiões específicas, na Holanda e nos Estados Unidos (44%), focam em ambientes lênticos; utilizam majoritariamente organismos da base da cadeia trófica; são em sua maioria experimentais; e avaliam um nível organizacional (comunidade) e uma variável resposta (biomassa). Raramente o efeito da combinação dos fatores é classificado com os termos sinérgico e antagônico, mesmo quando os autores encontram esses padrões. Como resultados principais evidenciou-se que pouca atenção tem sido dada à combinação dos fatores nos ecossistemas aquáticos continentais. Os estudos analisados mostraram que quando consideradas as interações, espécies não nativas tendem a ser favorecidas e florações algais intensificadas (74%). Considerando que um dos maiores desafios atuais é compreender como a interação entre fatores de mudanças globais afetará os ecossistemas, a combinação de fatores ainda precisa ser priorizada nos estudos dos ecossistemas aquáticos.

Palavras-chave: Impactos sinérgicos. Mudanças climáticas. Dióxido de carbono. Enriquecimento. Espécies invasoras.

Global change: assessing the interactions between CO₂, eutrophication and non-native species in inland aquatic ecosystems

ABSTRACT

Ecosystems respond to the direct, indirect and synergistic effects of global changes caused by human activity. The understanding of the impacts of these changes and especially of the interaction between the impacts is still limited, especially for aquatic environments, because the interaction between them is rarely considered in environmental studies and assessments. We conducted a systematic literature review on the combination of the factors (i) increase of CO₂, (ii) eutrophication and (iii) non-native species to verify how these factors have been considered in the context of climate change in freshwater ecosystems studies. Through the Web of Science database, we searched for articles published in English, up to 2020. Following the PRISMA protocol, 62 articles were analyzed. Only 8% of them addressed the combination of the three factors, among them, eutrophication was the most evaluated global change. Still, the studies do not seem to be looking for answers in a broad way and covering several ecological aspects, since they are concentrated in specific regions such as the Netherlands and United States (44%). Studies most focus on one type of environment, the lentic; use organisms from the base of the food-web; apply the experimental approach; evaluate one organizational level (community) and one response variable (biomass). We identified that the effect of the combination of factors is rarely classified with the terms synergistic and antagonist, even when the authors find these patterns. Our main findings reveal that little attention has been given to the combination of factors in freshwater ecosystems. We also find that when interactions are considered, non-native species tend to be favored and algal blooms intensified (74%). Considering that one of the major challenges is to understand how the interaction between global change factors will affect ecosystems, the combinations of factors still need to be prioritized in studies of aquatic ecosystems.

Keywords: Synergistic impacts. Climate change. Carbon dioxide. Enrichment. Invasive species.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas de publicação científica *Freshwater Biology*. Disponível em:
<<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/13652427/homepage/forauthors.html>>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 MÉTODOS.....	11
3 RESULTADOS	15
4 DISCUSSÃO	21
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26
REFERÊNCIAS	27
APÊNDICE - Lista dos artigos utilizados na revisão sistemática conforme combinação....	36

1 INTRODUÇÃO

Diversas atividades humanas têm causado drásticas mudanças a nível global (Reid et al., 2019), que incluem a perda de *habitat* e biodiversidade, bem como a alteração de múltiplas variáveis relacionadas ao clima (Sala et al., 2000; IPCC, 2021). O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, desde a revolução industrial, é o principal responsável por modificações relacionadas ao clima, como, a elevação da temperatura, a acidificação dos corpos aquáticos e mudanças nos padrões de chuvas e escoamentos (IPCC, 2018; IPCC, 2021). Consequentemente, essas alterações podem modificar características físicas e químicas dos ecossistemas e a relação entre os organismos e o ambiente, tendo implicações quanto a manutenção da biodiversidade (McCarty et al., 2017; Tian & Benton, 2020) e o estabelecimento de espécies não nativas (Hellmann et al., 2008). As mudanças climáticas podem impor condições para que outros fatores de mudanças globais possam agir concomitantemente, exercendo assim um estresse adicional aos ecossistemas aquáticos (Nickus et al., 2010; Birk et al., 2020), e resultando em efeitos sinérgicos ou antagônicos (Folt et al., 1999). Neste sentido, os sistemas biológicos respondem aos fatores de mudanças globais de forma isolada e em interação.

O aumento na concentração de CO₂ atmosférico pode levar a uma fraca acidificação dos ecossistemas aquáticos continentais (Stets et al., 2017). Apesar de ser pouco estudado nestes ambientes, esse fenômeno foi relacionado a diversas modificações na biota, como, a alteração da taxa de crescimento de indivíduos e populações, redução da reprodução, limitação da diversidade (Hasler et al., 2018) e ao favorecimento dos produtores primários (Dülger et al., 2017), principalmente em condições relativamente eutróficas (Schippers et al., 2004). As cianobactérias, por exemplo, podem ter sua taxa de crescimento e biomassa aumentadas (Verspagen et al., 2014b), levando a florações. Existem relatos de invasões biológicas de espécies de cianobactérias em diversas regiões do planeta (Harke et al., 2016), o que pode estar associado tanto ao processo de acidificação quanto ao processo de eutrofização.

A eutrofização é o problema mais antigo relacionado ao efeito das atividades antrópicas na qualidade da água (Vollenweider, 1992), o qual torna-se ainda mais importante atualmente devido a necessidade de avanços quanto ao uso sustentável dos recursos hídricos (Farjalla et al., 2021), mudanças nos padrões climáticos (IPCC, 2021) e implicações quanto à saúde e abastecimento públicos (Habtemariam et al., 2021). As alterações referentes aos

padrões de precipitação podem impactar os ecossistemas aquáticos por causarem modificações do estado trófico, principalmente em locais que sofreram alterações quanto ao uso do solo, como a agricultura, tendo em vista que esta é uma reconhecida fonte difusa de nitrogênio (N) e fósforo (P) (Carpenter et al., 1998), nutrientes que podem chegar ao ecossistema aquático por meio da precipitação e levar a eutrofização (Jeppesen et al., 2009; Jeppesen et al., 2011) (Fig. 1). A mudança de estado trófico causa alterações catastróficas no ecossistema, no qual pode-se registrar a perda de biodiversidade e simplificação de cadeias tróficas (Scheffer et al., 2001; Moi et al., 2021; Moi et al., 2022).

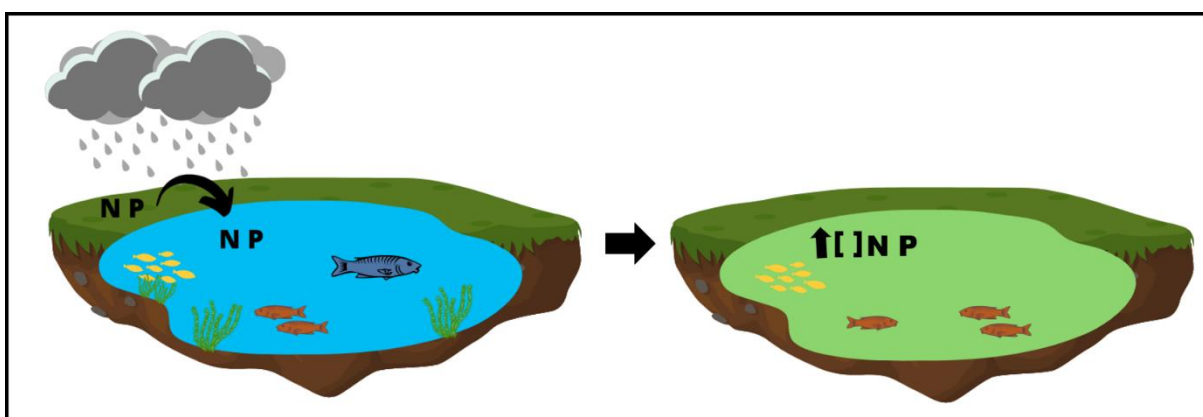


Figura 1. Esquema das mudanças nos padrões de precipitação modificando o estado trófico. Onde: N = nitrogênio; P = fósforo.

Outro fator de impacto são as espécies não nativas. Alterações no clima podem modificar os filtros ambientais aos quais as espécies estão expostas, alterando mecanismos de transporte, introdução, estabelecimento e distribuição (Hellmann et al., 2008, Diez et al., 2012). Por exemplo, uma maior carga de nutrientes pode tornar o ecossistema mais suscetível à invasão por peixes planctívoros (Alsip et al., 2020), ou atuar em conjunto com o CO₂ e aumentar o potencial de invasão de macrófitas submersas (Mormul et al., 2020) e favorecer florações de cianobactérias (Verspagen et al., 2014a). Desta forma, alterações no clima global podem modificar a performance de espécies não nativas, sua coocorrência com espécies nativas, e conseqüentemente, os impactos no ecossistema (Stephens et al., 2019).

O ecossistema aquático é um dos mais vulneráveis à crise ambiental global (WWF, 2020). Devido a essa vulnerabilidade, a *global agenda for advancing freshwater biodiversity research* propõe que cientistas avancem nos estudos sobre as respostas da biodiversidade aquática a múltiplos estressores e às mudanças globais (Maasri et al., 2022) como, por exemplo, o aumento da concentração de CO₂, a eutrofização e a introdução de espécies não nativas (Sage, 2020). Essa compreensão é de extrema importância, tendo em vista que os

efeitos da interação entre fatores podem variar conforme o papel e a posição dos organismos na cadeia trófica (Beauchesne et al., 2021), levando a efeitos propagados na cadeia, podem alterar serviços ecossistêmicos, a autodepuração da água, recursos pesqueiros (Postel & Carpenter, 1997) a produção primária e o fluxo de carbono (Moss, et al., 2011; Verspagen et al., 2014b; Chen et al., 2019). Assim, conhecer os impactos de múltiplos estressores pode auxiliar nas bases de criação de políticas públicas que visem mitigar e manejar os efeitos das mudanças globais.

Apesar de diversos fatores interagirem no ecossistema aquático, grande parte dos trabalhos relacionados às mudanças globais, parecem se concentrar nos efeitos dos fatores (i.e., aumento de concentração de CO₂, eutrofização e espécies não nativas) de forma independente (Rahel & Olden, 2008; Stewart et al., 2013; Sabater et al., 2019). A interação entre os fatores parece ser pouco compreendida e possuir altos níveis de imprevisibilidade (Reid et al., 2019). Para isso, realizou-se uma revisão sistemática da literatura, abrangendo artigos publicados em periódicos científicos com revisão por pares, que abordassem a combinação dos fatores aumento da concentração de CO₂, eutrofização e espécies não nativas no contexto de mudanças globais em ecossistemas de água doce. A revisão sistemática foi realizada com o objetivo de identificar 1) A tendência temporal e espacial nas publicações que avaliam de maneira conjunta esses diferentes fatores de mudança global; 2) Como os estudos que avaliam esses fatores de maneira combinada são realizados, especialmente no que diz respeito à: combinação dos fatores; Taxa envolvidos; Abordagem metodológica; Tipo de ambiente; Nível organizacional; e variáveis resposta. Para contribuir com o avanço desse campo científico, também se identificou as principais lacunas relacionadas à combinação entre esses fatores. As análises foram conduzidas buscando sintetizar o conhecimento e direcionar pesquisas futuras que auxiliem no entendimento desta temática.

2 MÉTODOS

Procurou-se por artigos publicados em inglês, que tratassem da combinação dos fatores: aumento da concentração de CO₂, eutrofização e espécies não nativas, em ecossistemas aquáticos continentais, num contexto de mudança global. Para isso, utilizou-se a plataforma *Web of Science (Clarivate Analytics - ISI Web of Knowledge - apps.isiknowledge.com)* para filtrar artigos publicados em inglês, até 2020.

Para realizar as buscas os fatores aumento da concentração de CO₂ (CO₂), eutrofização (EUT) e espécies não nativas (ENN) foram combinados de quatro formas. Nestas

combinações foram utilizados termos relacionados às mudanças globais (MG) e à água doce (AD) para manter o foco da pesquisa no tema de mudanças globais em ecossistemas aquáticos continentais. As combinações e termos utilizados para as buscas foram: Tópico: (1) CO₂ + ENN + AD + MG: (*acidif** OU *CO2* OU "*carbon dioxide*" OU "*greenhouse gas**") E ("*alien species*" OU "*invasive species*" OU "*exotic species*" OU "*non-native species*" OU "*non native species*" OU "*invasive alien species*") E (*freshwater* OU "*inland waters*" OU "*continental waters*" OU *lake** OU *river** OU *stream** OU *lagoon*) E ("*climate change**" OU "*global warming*" OU "*future scenario**" OU "*global future scenario**" OU "*scenario* of change**" OU "*chang* in climate*" OU "*global chang**"); (2) EUT + ENN + AD + MG: (*eutrophic** OU *enrichment* OU *nitrogen* OU *phosphorous*) E ("*alien species*" OU "*invasive species*" OU "*exotic species*" OU "*non-native species*" OU "*non native species*" OU "*invasive alien species*") E (*freshwater* OU "*inland waters*" OU "*continental waters*" OU *lake** OU *river** OU *stream** OU *lagoon*) E ("*climate change**" OU "*global warming*" OU "*future scenario**" OU "*global future scenario**" OU "*scenario* of change**" OU "*chang* in climate*" OU "*global chang**"); (3) CO₂ + EUT + AD + MG: (*acidif** OU *CO2* OU "*carbon dioxide*" OU "*greenhouse gas**") E (*eutrophic** OU *enrichment* OU *nitrogen* OU *phosphorous*) E (*freshwater* OU "*inland waters*" OU "*continental waters*" OU *lake** OU *river** OU *stream** OU *lagoon*) E ("*climate change**" OU "*global warming*" OU *future scenario**" OU "*global future scenario**" OU "*scenario* of change**" OU "*chang* in climate*" OU "*global chang**"); e (4) CO₂ + EUT + ENN + AD + MG: (*acidif** OU *CO2* OU "*carbon dioxide*" OU "*greenhouse gas**") E (*eutrophic** OU *enrichment* OU *nitrogen* OU *phosphorous*) E ("*alien species*" OU "*invasive species*" OU "*exotic species*" OU "*non-native species*" OU "*non native species*" OU "*invasive alien species*") E (*freshwater* OU "*inland waters*" OU "*continental waters*" OU *lake** OU *river** OU *stream** OU *lagoon*) E ("*climate change**" OU "*global warming*" OU "*future scenario**" OU "*global future scenario**" OU "*scenario* of change**" OU "*chang* in climate*" OU "*global chang**").

A primeira combinação (CO₂ + ENN + AD + MG) resultou em 95 artigos, a segunda (EUT + ENN + AD + MG) em 204, a terceira (CO₂ + EUT + AD + MG) em 1.731 e a quarta (CO₂ + EUT + ENN + AD + MG) em 36 artigos. Os artigos encontrados na busca foram refinados por áreas de pesquisa relacionadas à grande área biodiversidade (*Environmental Sciences Ecology* OU *Meteorology Atmospheric Sciences* OU *Marine Freshwater Biology* OU *Fisheries* OU *Water Resources* OU *Biodiversity Conservation* OU *Plant Sciences* OU *Evolutionary Biology* OU *Science Technology Other Topics* OU *Zoology* OU *Oceanography*

OU *Entomology* OU *Developmental Biology*) resultando em 94, 203, 1.643 e 36 artigos, respectivamente (Tabela 1).

A revisão foi realizada de acordo com o protocolo para revisões sistemáticas PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (Moher et al., 2009) (Figura 2). De acordo com o PRISMA, após a pesquisa, o primeiro passo para realização de revisões sistemáticas é a remoção de duplicatas. Após a seleção dos artigos, duplicatas entre as buscas foram encaixadas na combinação de fatores mais específica, por exemplo, ao tratar de todos os fatores o artigo foi encaixado na combinação 4 (CO₂ + EUT + ENN + AD + MG) e excluído das demais.

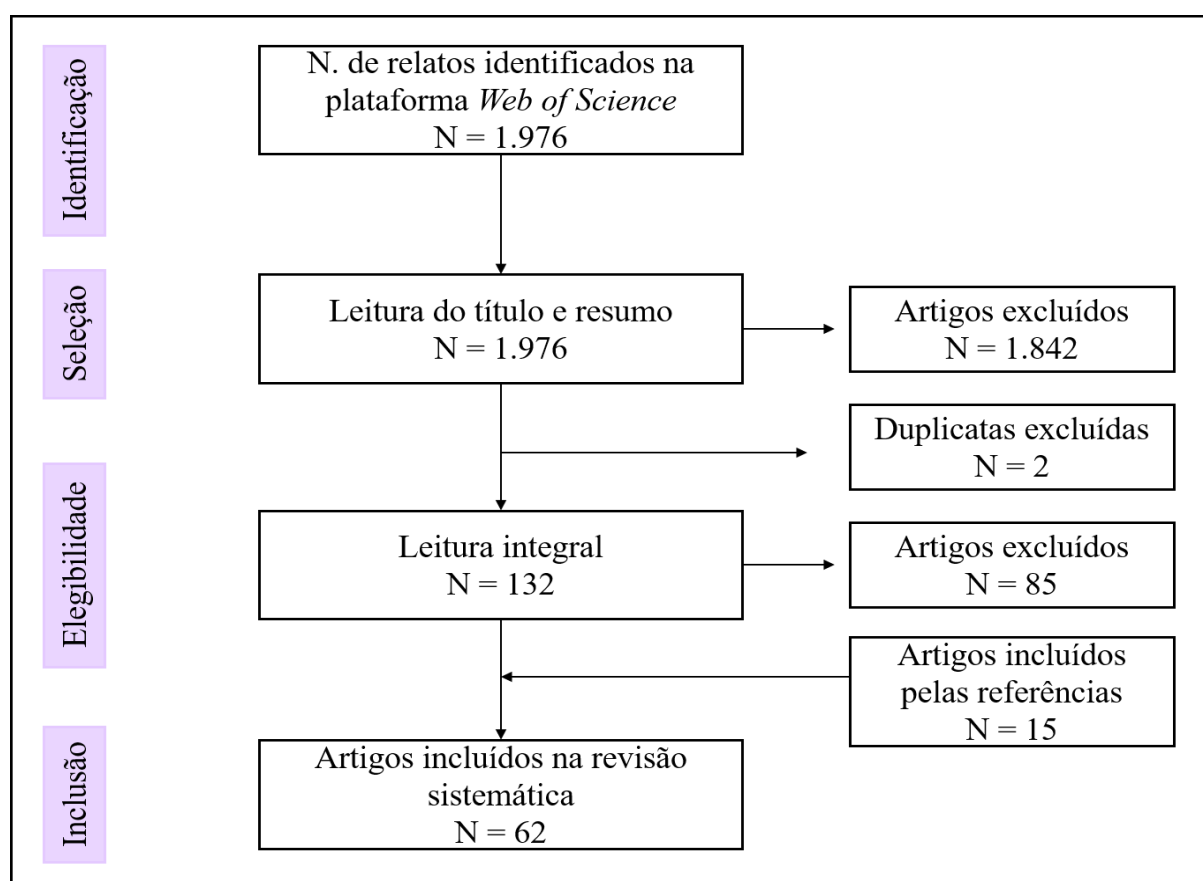


Figura 2. Fluxograma do processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos artigos para a revisão sistemática. Adaptado de Moher et al., 2009.

Os artigos selecionados a partir dos termos de busca, foram filtrados por meio da leitura de seus títulos e resumos. A leitura de outras partes, como palavras-chave, introdução ou metodologia, foi realizada quando a abordagem da temática ou de algum fator não foi suficientemente clara. Nesta etapa foi verificado se os artigos se encaixavam no critério para a inclusão na revisão sistemática. Para ser incluído na revisão o artigo precisava abordar os fatores utilizados em cada uma das buscas (aumento da concentração de CO₂ e/ou

eutrofização e/ou espécies não nativas) em contexto de mudanças globais (mencionar esse contexto direta ou indiretamente no resumo, introdução ou discussão) em ecossistemas de água doce. Assim, contextualizar as mudanças globais foi um critério de inclusão/exclusão utilizado para verificar a relação do estudo com os fatores abordados na busca. Por exemplo, a acidificação, deveria ser causada pelo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e não por outros compostos, como lançamento de ácidos fortes. Seguindo este critério, 47 artigos foram selecionados. Buscando obter a maior quantidade de dados possíveis, as referências destes 47 artigos foram analisadas. A análise das referências se deu inicialmente pela leitura do título e posteriormente do resumo, caso o título tratasse de forma explícita dos fatores utilizados nas buscas (CO₂ e/ou EUT e/ou ENN). Os trabalhos que se encaixaram no critério foram incluídos nesta revisão e também tiveram suas referências analisadas. Por meio deste processo (análise das referências dos artigos e referências das referências) 15 artigos foram selecionados, totalizando 62 publicações que foram analisadas para essa revisão sistemática (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados das buscas na plataforma *Web of Science* e filtragem dos artigos conforme a combinação utilizada.

Combinação de termos	Artigos retidos a partir da pesquisa na base <i>Web of Science</i>	Artigos filtrados e retidos para a revisão a partir base <i>Web of Science</i> (título e resumo)	Artigos e retidos para a revisão a partir da leitura das referências	Total
(1) CO ₂ + ENN + AD + MG	94	3	3	6
(2) EUT + ENN + AD + MG	203	24	3	27
(3) CO ₂ + EUT + AD + MG	1.643	18	6	24
(4) CO ₂ + EUT + ENN + AD + MG	36	2	3	5
Total de artigos analisados				62

Onde: CO₂ = aumento da concentração de CO₂; EUT = eutrofização; ENN = espécies não nativas; AD = água doce; MG = mudanças globais.

A partir da leitura integral dos 62 artigos selecionados, foram avaliados os seguintes tópicos: 1) O ano de publicação, foi utilizado para avaliar tendências quanto à este tema; 2) A combinação entre os fatores da busca, foi utilizada para avaliar se os fatores estão sendo

avaliados de maneira conjunta e se sim, como isso está sendo abordado em nível global; 3) País de realização da pesquisa, foi utilizado para avaliar a extensão geográfica da temática e locais com maior e menor aplicação do tema; 4) *Taxa* envolvidos na pesquisa, foram utilizados para verificar se organismos vêm sendo utilizados nesses estudos, e se sim, quais os principais organismos e níveis tróficos empregados na avaliação dos fatores de mudança global abordados; 5) Abordagem metodológica, foi utilizada para avaliar quais metodologias (experimento, campo observacional, modelagem e base de dados) estão sendo mais empregadas no estudo da temática; 6) Tipo de ambiente no qual o estudo foi conduzido, foi utilizado para determinar em quais ambientes (lótico ou lêntico) as questões são mais abordadas; 7) Nível organizacional, foi utilizado para verificar em qual nível os estudos estão sendo realizados; 8) As variáveis resposta analisadas, foram utilizadas para identificar quais processos estão sendo estudados quanto às mudanças globais; 9) Identificação de lacunas, foi utilizada para direcionar pesquisas futuras. Esses tópicos foram analisados para verificar se os estudos se concentraram em áreas e níveis específicos ou se buscaram respostas de forma ampla, abrangendo diversos aspectos ecológicos.

Na análise dos *taxa* envolvidos nos estudos, os organismos foram subdivididos em duas categorias (i) *Taxa nativos* e (ii) *Taxa não-nativos*. Nesta etapa os organismos foram classificados como não nativos quando o estudo analisado mencionou este fato de alguma forma, por exemplo, a partir da utilização dos termos *non-native*, *invasive*, *non-indigenous*, *exotic*, *alien*, outros ou suas variações. Quando não havia menção a espécie ser não nativa ela foi classificada como nativa. Os organismos foram considerados como produtores primários quando se encaixaram nas categorias:(i) plantas aquáticas,(ii) alga filamentosa, (iii) fitoplâncton (algas e cianobactérias) ou (iv) perifíton e como consumidores quando se encaixaram nas categorias:(i) macroinvertebrados bentônicos, (ii) peixes, (iii) zooplâncton, (iv) anfíbio ou (v) ave.

Essa forma de abordagem e análises dos estudos possibilitou a inclusão de um mesmo estudo em diferentes categorias analisadas, principalmente quando o estudo utilizou mais de um táxon, abordagem metodológica ou incluiu mais de um nível organizacional.

3 RESULTADOS

A abordagem da temática do aumento da concentração de CO₂, eutrofização e espécies não nativas em contexto de mudanças globais em ecossistemas aquáticos continentais ocorreu de forma gradual, iniciando com a combinação de dois fatores. O primeiro artigo a tratar

sobre estes tópicos foi publicado em 1986 (CO₂ + ENN), com a questão das mudanças globais tratada de forma secundária. A temática voltou a ser abordada em 2004 (EUT + ENN e CO₂ + EUT) e posteriormente em 2008 (EUT + ENN), mas foi apenas em 2009 que a combinação dos três fatores foi utilizada pela primeira vez (Fig. 3). A partir deste momento houve outras publicações utilizando as quatro combinações, porém, sem uma tendência clara de aumento nos últimos anos. A maior parte dos artigos abrangeu a combinação de apenas dois fatores (92%), entre os quais EUT + ENN e CO₂ + EUT representaram 83% de todas as publicações.

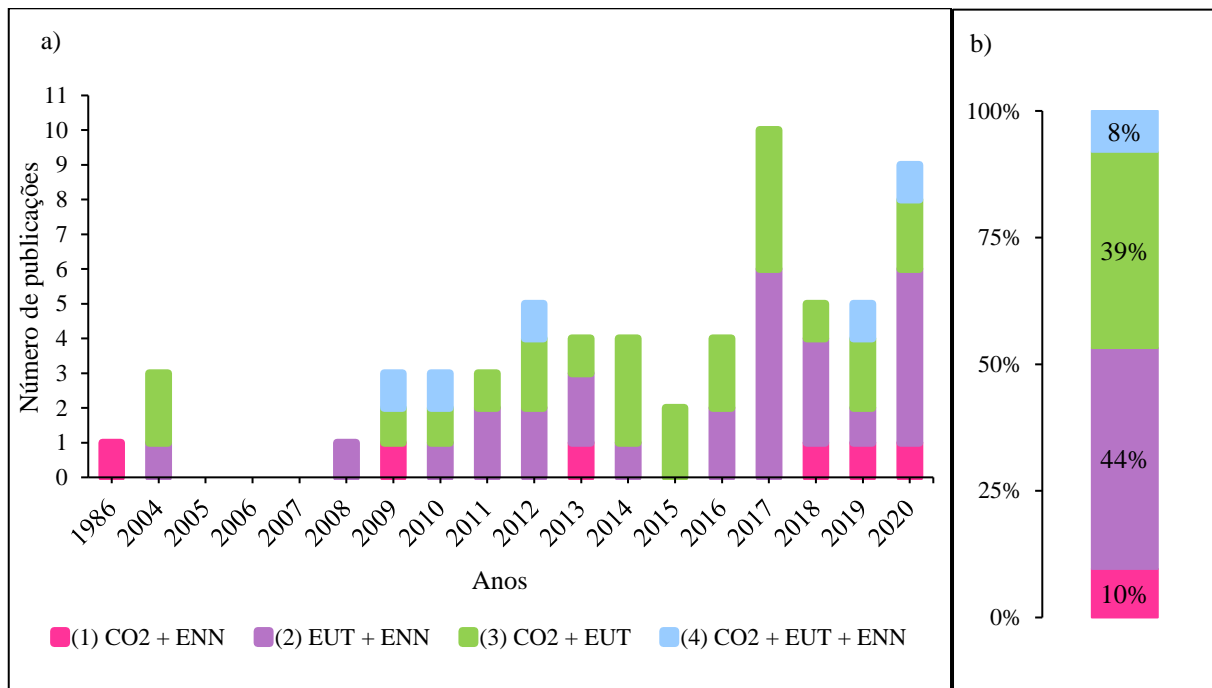


Figura 3. a) Número de publicações por ano conforme combinação de fatores; b) Proporção de publicações conforme combinação de fatores.

Os estudos foram realizados em 22 países, localizados em todos os continentes (Fig. 4). A Holanda se destacou quanto ao número de publicações (14), seguida pelos Estados Unidos (13), pioneiro no estudo conjunto dos temas, Canadá (7) e China (6). Houve 14 países com registro de apenas uma publicação. Dos 22 países identificados a partir dos artigos, apenas 6 tiveram publicações abordando mais de uma combinação (Austrália, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos e Holanda), porém, nenhum deles abrangeu as quatro (Fig. 5). A Holanda e os Estados Unidos, países com mais publicações relacionadas ao tema, se diferenciaram quanto ao foco das pesquisas. A Holanda teve 79% de seus trabalhos utilizando a combinação CO₂ + EUT, enquanto os Estados Unidos utilizaram a combinação EUT + ENN em 62% dos estudos.

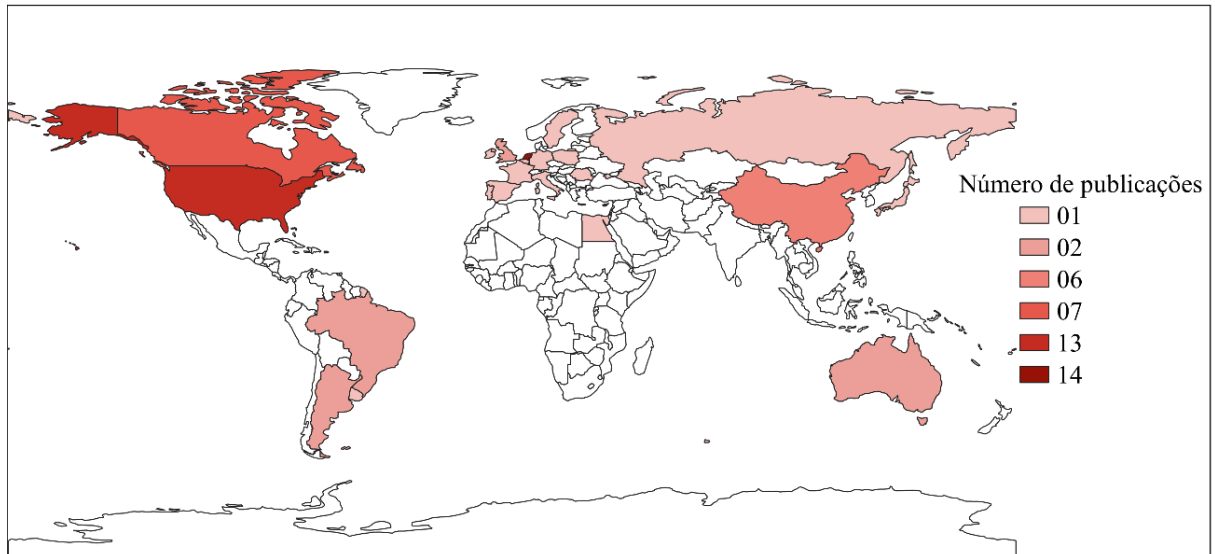


Figura 4. Mapa dos países com publicações abordando os fatores de aumento de CO₂, eutrofização e espécies não nativas.

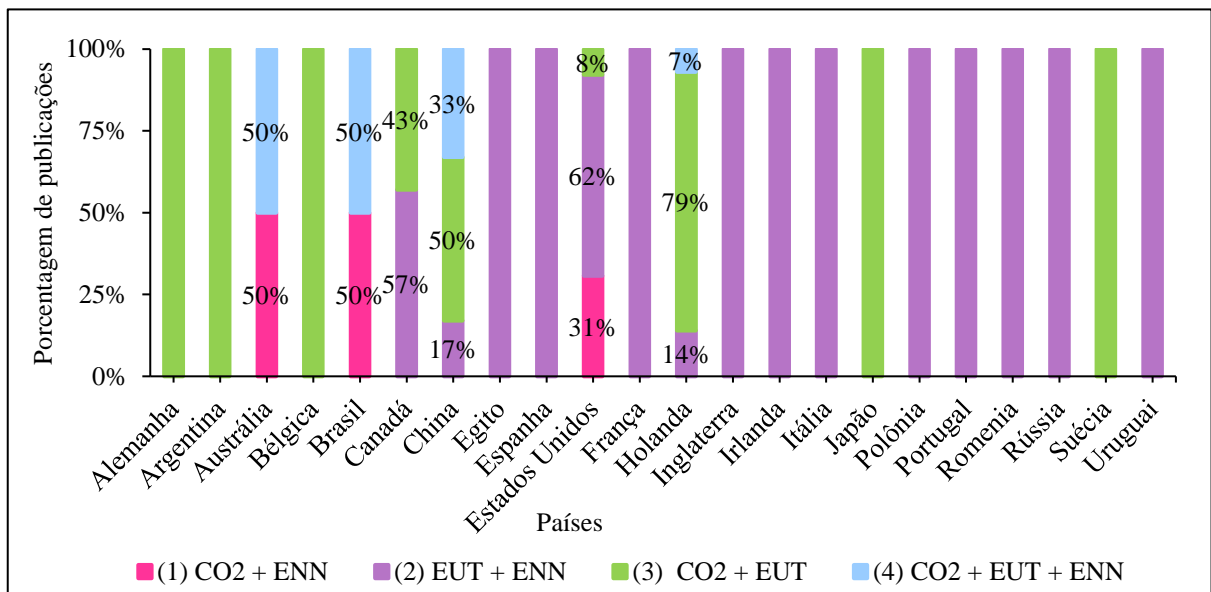


Figura 5. Relação das combinações de fatores utilizadas nas publicações dos países.

Em relação à utilização de organismos nos estudos, verificamos que todos utilizaram pelo menos um grupo biológico. As macrófitas foram o grupo mais estudado em relação aos *taxa* não nativos (36%), apesar disso, os consumidores se destacaram, estando presentes em 53% dos estudos, com os macroinvertebrados bentônicos como seus principais representantes (22%). Em relação aos *taxa* nativos, o fitoplâncton foi o grupo mais estudado, seguido pelas macrófitas (41% e 21%, respectivamente), fato que fez os produtores primários se destacarem. O zooplâncton (11%) e os peixes (10%) foram os principais representantes dos consumidores entre os *taxa* nativos estudados (Fig. 6).

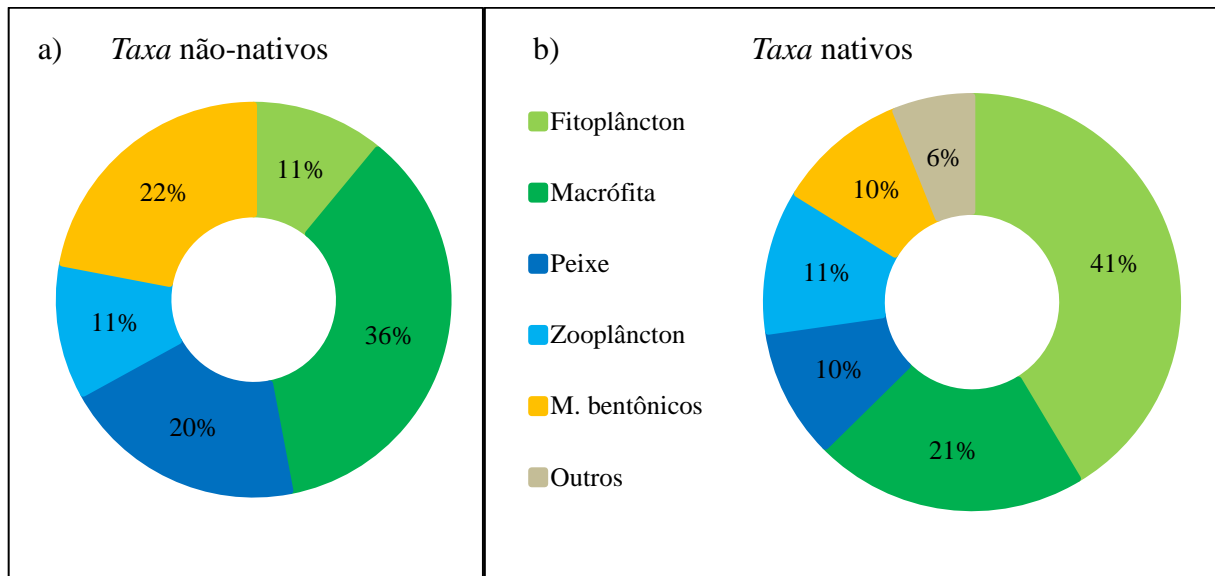


Figura 6. Proporção de estudos que avaliaram a combinação de fatores de mudanças globais por: a) *Taxa* não-nativos (n=45) e b) *Taxa* nativo (n=70). Onde: M. bentônicos = macroinvertebrados bentônicos; Outros = anfíbio, ave, alga filamentosa e perífíton.

A maior parte dos estudos, em ambas as categorias (*taxa* não-nativos e *taxa* nativos), se concentra na base da cadeia alimentar estudando os produtores primários e herbívoros (Fig. 6). Os predadores de topo foram abordados em poucos trabalhos, todos na combinação EUT + ENN. Em relação aos peixes, os piscívoros representam apenas 8% dentre todos os organismos utilizados (9% planctívoros, 7% bentívoros, 2% herbívoros, 2% detritívoros, 1% omnívoros), representando 11% dentro da categoria *taxa* não-nativos e 9% na categoria *taxa* nativos.

Quanto a abordagem metodológica e o tipo de ambiente, os estudos que abordaram as combinações 1 e 4 (CO₂ + ENN e CO₂ + EUT + ENN, respectivamente) foram apenas experimentais e em ambientes lênticos. Nas combinações 2 e 3 (EUT + ENN e CO₂ + EUT) as abordagens de experimento, observacional em campo, modelagem e base de dados foram utilizadas, tanto de forma isolada como combinadas. O campo foi a abordagem mais utilizada na combinação 2 (EUT + ENN) e o experimento na combinação 3 (CO₂ + EUT) (Fig. 7). Considerando o tipo de ambiente, dos 62 estudos 57 abordaram somente ambientes lênticos. A condição lótica *per se* foi abordada em dois estudos, enquanto que a combinação das condições lêntica e lótica apareceu em três estudos, considerando as combinações 2 e 3 (EUT + ENN e CO₂ + EUT, respectivamente).

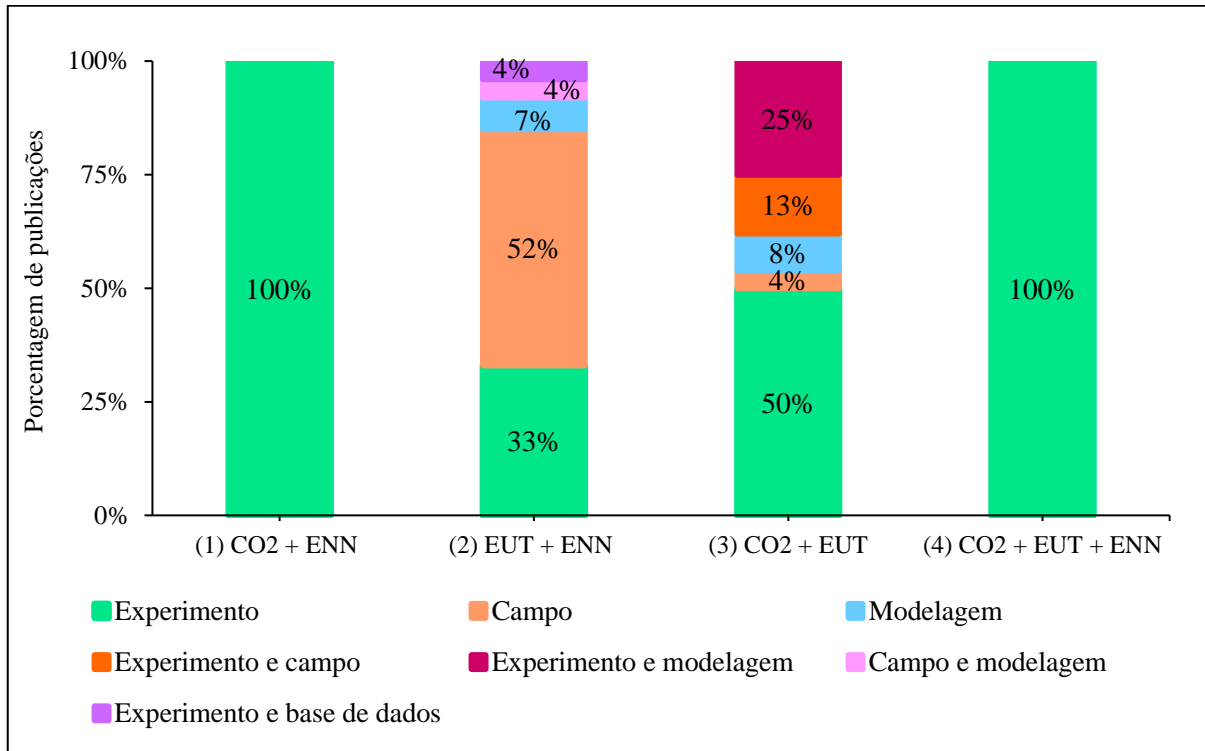


Figura 7. Abordagens metodológicas utilizadas nas publicações.

As combinações 1 (CO₂ + ENN) e 4 (CO₂ + EUT + ENN) foram estudadas abordando, principalmente, o nível organizacional de indivíduo, enquanto que nas combinações 2 (EUT + ENN) e 3 (CO₂ + EUT) maior enfoque foi dado ao nível de comunidade.

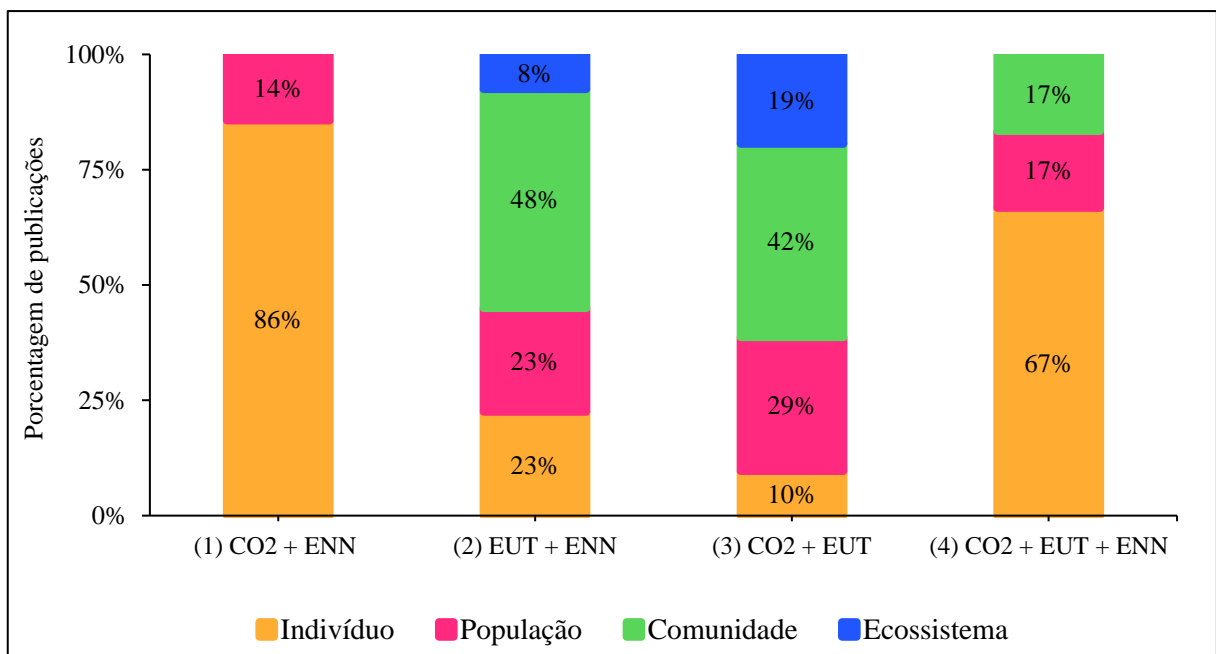


Figura 8. Nível organizacional conforme combinação utilizada.

Diversas variáveis resposta foram utilizadas nas publicações. Em relação às combinações 1, 3 e 4 (CO₂ + ENN, CO₂ + EUT e CO₂ + EUT + ENN) a variável mais estudada foi biomassa/crescimento (40%, 28% e 50%, respectivamente para as combinações de fatores). Em relação a combinação 2 (EUT + ENN) a variável que se destacou foi a composição da comunidade (30%), a biomassa/crescimento foi a segunda mais estudada (23%), sendo, portanto, a variável que se destacou de forma geral entre todas as combinações (Fig. 9).

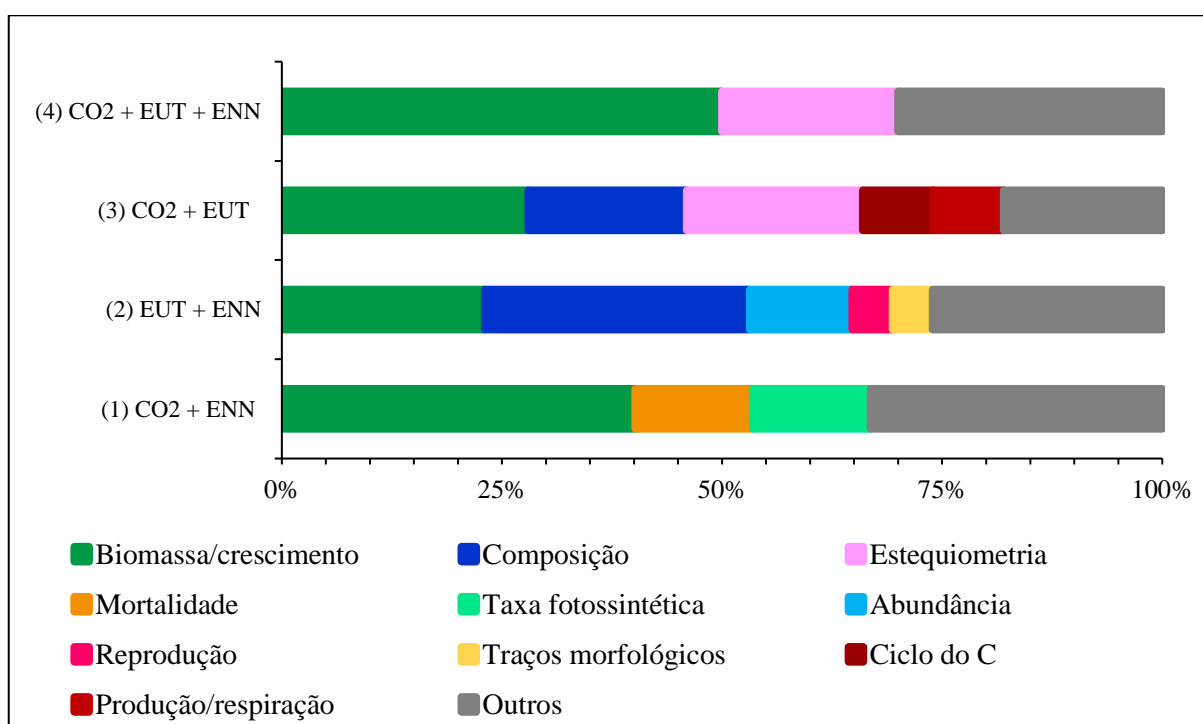


Figura 9. Variáveis resposta mais representativas de cada uma das combinações estudadas. Onde C = carbono; Outros (1) CO₂ + ENN = reparo da concha, ramificação, reprodução, área foliar e estequiometria; Outros (2) EUT + ENN = ciclo do carbono, depleção da reserva energética, produção de fezes, sobrevivência, ciclo do fósforo, pigmentos, dieta, distribuição espacial, estequiometria e alocação de biomassa; Outros (3) CO₂ + EUT = morfologia, plasticidade fenotípica, ciclo do nitrogênio, alocação de biomassa, estado fisiológico, toxicidade e adaptação (expressão de genes). Outros (4) CO₂ + EUT + ENN = ramos laterais, taxa fotossintética, alocação de biomassa.

Em relação as lacunas do conhecimento quanto ao estudo da combinação dos fatores aumento da concentração de CO₂, eutrofização e espécies não nativas, identificamos a pouca utilização dos termos sinérgico e antagônico nos trabalhos analisados. Apesar de os estudos tratarem sobre a combinação entre os fatores, apenas sete deles (Netten et al., 2010; Buchaca et al., 2011; Low-Décarie et al., 2014; Baffico et al., 2017; Kelly et al., 2017; Preston et al., 2018; Chen et al., 2019), utilizaram esses termos ou suas variações nos resultados ou discussão. Outra lacuna identificada a partir deste estudo, foi a pouca utilização das combinações entre os fatores CO₂ e espécies não nativas (CO₂+ ENN, n=6) e CO₂,

eutrofização e espécies não nativas ($\text{CO}_2 + \text{EUT} + \text{ENN}$, $n=5$), e a ausência de estudos com predadores de topo nessas combinações para ecossistemas aquáticos continentais.

4 DISCUSSÃO

Neste estudo evidenciou-se que pouco enfoque tem sido dado pelos cientistas aquáticos para compreensão da interação conjunta dos fatores de mudanças globais (aumento da concentração de CO_2 , eutrofização e introdução de espécies não nativas), o que pode limitar a compreensão da interação de múltiplos fatores de impactos, e conseqüentemente a adoção de medidas efetivas para a gestão ambiental.

Os resultados mostraram que, dos estudos que avaliam de maneira combinada diferentes fatores de mudança global em ecossistemas de água doce, a eutrofização foi recorrente, uma vez que a maior parte das publicações avaliaram a eutrofização, especialmente em conjunto com espécies não nativas ($\text{EUT} + \text{ENN}$) e CO_2 ($\text{CO}_2 + \text{EUT}$). Os relatos encontrados indicam a falta de respostas mais amplas e abrangendo diversos aspectos ecológicos, pois os estudos estão concentrados na região temperada, com destaque para a Holanda e os Estados Unidos (44%); foram realizados principalmente em ambientes lênticos; utilizaram majoritariamente organismos da base da cadeia trófica; foram em sua maioria experimentais; e avaliaram um nível organizacional (comunidade) e uma variável resposta (biomassa). Dentre as lacunas identificadas por este trabalho, estão, a dificuldade quanto a classificação das interações observadas e o estudo das combinações $\text{CO}_2 + \text{ENN}$ e $\text{CO}_2 + \text{EUT} + \text{ENN}$. Por fim, os estudos analisados mostraram que quando consideradas as interações entre os fatores há uma tendência quanto ao favorecimento de espécies não nativas e a intensificação de florações algais (74%; enquanto 12% mostraram tendências contrárias e 14% foram inconclusivos, $n=50$).

Os resultados corroboram a proposição de que a eutrofização é o estressor dominante em lagos (Birk et al., 2020), o que explica a maior parte dos estudos terem avaliado combinações contendo o fator eutrofização e terem sido conduzidos em ambientes lênticos. Considera-se que o foco nessas combinações pode ter ocorrido por dois motivos, a questão histórica (Vollenweider, 1992) e a importância atual desta temática (Habtemariam et al., 2021; IPCC, 2021). Conhecer os efeitos da eutrofização em conjunto com os outros fatores de mudanças globais torna-se fundamental para mitigar e manejar seus efeitos nos ecossistemas aquáticos continentais. A eutrofização foi estudada principalmente com os fatores espécies não nativas e CO_2 . As questões mais abordadas dentro das combinações foram os efeitos dos

fatores nas espécies não nativas e as interações destas com o meio e outros organismos (EUT + ENN), e os efeitos dos fatores na comunidade fitoplanctônica e no desenvolvimento de florações algais (CO₂ + EUT). Essas são questões de suma importância, entretanto, a eutrofização está relacionada a diversos aspectos ecológicos, como mudanças entre estados estáveis alternativos. Este assunto foi abordado por apenas um trabalho, que avaliou as dinâmicas entre macrófita submersa naturalizada e flutuante não-nativa (Netten et al., 2010), todavia, efeitos relacionados às mudanças de estados alternativos, como, por exemplo, a perda da biodiversidade e a simplificação de cadeias tróficas (Moi et al., 2021; Moi et al., 2022), que poderiam estar sendo modificados por conta dos outros fatores, não foram estudados.

Apesar de diversos países terem contribuído com os estudos de forma geral, as publicações se concentraram na Holanda (CO₂ + EUT, n=11) e nos Estados Unidos (EUT + ENN, n=8). Ambos tiveram como foco combinações envolvendo a eutrofização, isto pode ter ocorrido, pois, a eutrofização é uma problemática histórica, que persiste (Holanda - EEA, 2018; Lürling & Mucci, 2020; Estados Unidos - McDowell et al., 2004; Pericherla et al., 2020), apesar das legislações e programas voltados à conservação dos ambientes de água doce (Parma, 1980; EPA, 1972; Parlamento Europeu, 2000; USEPA, 2021). O CO₂ é um composto importante na formação e manutenção das florações algais (Low-Décarie et al., 2014), e vem tendo sua concentração aumentada na atmosfera ao longo do tempo (IPCC, 2021). Por isso, dado que proliferações maciças de cianobactérias são observadas com frequência na Holanda (Lürling & Mucci, 2020), estudos envolvendo essas temáticas são recorrentes no país. Por outro lado, nos Estados Unidos, os estudos avaliaram, principalmente, a combinação da eutrofização e espécies não nativas. Isto pode ter ocorrido, pois, a questão das espécies não nativas é recorrente no país desde o século passado (Elton, 1959) e teve grande desenvolvimento por conta de importantes pesquisadores, como, por exemplo, Daniel Simberloff (p. ex., Simberloff, 1995; Simberloff, 2014; Simberloff et al., 2020). Ainda, o custo de invasão nos Estados Unidos é mais evidente (Diagne et al., 2021), o que pode ter favorecido o maior número de estudos no país. A Europa e os Estados Unidos também possuem grande incentivo e investimento na pesquisa, fato que faz com que se destaquem em diversas áreas do conhecimento (Harke et al., 2016; Radinger et al., 2019; Ruaro et al., 2020a; MacLeod & Urquiola, 2021). Os resultados deste trabalho mostraram que pesquisas em regiões tropicais são menos numerosas em todas as combinações, o que pode ser reflexo de menores investimentos na ciência e conservação do meio ambiente. Situação preocupante visto que são áreas com grande biodiversidade (Rosenzweig, 1992).

Efeitos propagados na cadeia podem não estar sendo detectados, pois, existem níveis tróficos que estão sendo pouco abordados pelos estudos. A maior parte utilizou apenas organismos localizados na base ou próximos a base da cadeia trófica (p. ex., produtores e consumidores primários). A eutrofização, de forma isolada, pode levar a diminuição (Jeppesen et al., 2000), desaparecimento (Moi et al., 2021), e substituição de piscívoros nativos, que dominam em ambientes oligotróficos, por não nativos (Jeppesen et al., 2000). Assim, a pouca utilização de predadores de topo nos estudos, pode levar a não detecção dessas modificações, as quais poderiam estar sendo ocasionadas pela interação entre os fatores de mudanças globais, assim como, de seus efeitos na cadeia. Os efeitos de múltiplos fatores podem ser subestimados se desconsideradas as interações entre os organismos (Beauchesne et al., 2021), isso ocorre pois o impacto de um fator em uma espécie inicia respostas secundárias ao longo da cadeia trófica (Sage, 2020). Nesta perspectiva, a chegada de uma espécie invasora se torna ainda mais importante na mensuração destes efeitos, uma vez que estas podem modificar interações anteriormente estabelecidas no local (Pearson & Callaway, 2003). Assim, torna-se fundamental estudar todos os níveis tróficos e suas interações para compreender como a cadeia trófica irá responder às mudanças globais (Rosenblatt & Schmitz, 2016), principalmente no que se refere aos grupos de organismos-chave como predadores de topo (Paine, 1966; Paine, 1974), especialmente sensíveis a alterações (Beauchesne et al., 2021).

O experimento foi a abordagem mais utilizada entre todas as combinações, o que pode evidenciar a grande aplicação dessa abordagem para os estudos dos fatores de mudança global, e em contrapartida, dificuldades por parte dos pesquisadores em estudar múltiplos fatores por meio de outras metodologias, como observacionais em campo. Isto pode ter ocorrido, pois algumas de suas características, como, o controle das variáveis, a relativa rapidez, replicabilidade e poder estatístico (Carpenter, 1996), podem ter sido consideradas vantajosas e facilitado sua utilização no estudo de múltiplas variáveis. Para realização de abordagens observacionais em campo há a necessidade do conhecimento prévio do local, para averiguar os efeitos dos fatores analisados, ou a comparação entre locais semelhantes, com fatores distintos, o que pode ser considerado um fator limitante na avaliação de múltiplos fatores. Em relação a estudos de campo de longo prazo, se faz necessário que as variáveis em questão tenham sido mensuradas anteriormente ou que comecem a ser, fato que também pode configurar uma limitação. Apesar disto, esses estudos podem ser fundamentais no entendimento dos efeitos das mudanças globais, pois auxiliam na compreensão de efeitos de

maneira mais holística e possibilitam a identificação de pequenas mudanças e padrões inerentes ao ecossistema. A modelagem pode ser dificultada pelo pequeno número de dados envolvendo a combinação dos fatores. Por isso, apesar das dificuldades, muitas vezes, a realização do experimento ainda é a forma mais fácil de estudar múltiplas variáveis.

A invasão biológica é um fenômeno relacionado ao nível populacional (Parker, 2000), por isso, verificar efeitos neste nível é um dos primeiros passos para identificá-la, assim como, seus impactos em níveis superiores, como comunidade e ecossistema (Sanders, 2010), todavia, este não foi o padrão identificado neste estudo. Ruaro et al.(2020b), em uma revisão recente, também encontraram poucos trabalhos em nível populacional. O nível mais estudado de forma geral foi o de comunidade. Situações em que as invasões ocorreram há algum tempo, e por isso, são conhecidas, possibilitam a verificação de efeitos em outros níveis (Haubrock et al., 2020). Isto pode explicar o foco no nível de comunidade, tendo em vista que, o objetivo dos estudos analisados não foi identificar a presença das espécies não nativas, mas sim estudar a interação entre espécies e os efeitos dos fatores. A combinação 3 (CO₂ + EUT), não relacionada ao fenômeno da invasão, foi altamente explorada a nível de comunidade, resultado potencialmente atrelado à predominância de estudos envolvendo respostas da comunidade fitoplânctônica. Devido ao pequeno número de trabalhos envolvendo as combinações entre os fatores, incentivamos que todos os níveis organizacionais sejam contemplados com estudos, pois a identificação de modificações ao longo da cadeia trófica é imprescindível para a compreensão dos efeitos das mudanças globais nos ecossistemas aquáticos. Todavia, avaliar todos os níveis é muito difícil, assim, parcerias e redes colaborativas tornam-se fundamentais. A variável mais estudada de forma geral foi a biomassa/crescimento, isso pode ter ocorrido pois tal variável foi grandemente utilizada no estudo do fitoplâncton (Winston et al., 2016). A biomassa também é uma variável muito versátil, podendo ser mensurada em trabalhos abordando diversos níveis organizacionais (indivíduo, Spierenburg et al., 2009; população, Ji et al., 2020; comunidade, Winston et al., 2016; ecossistema Chen et al., 2019), ser um indicativo de tamanho populacional (Wu *et al.*, 2012), da plasticidade fenotípica (Ji et al., 2020), de modificações do ciclo do carbono (Verspagen et al., 2014b; Chen et al., 2019), do sucesso de invasão (Liu et al., 2010; Mormul et al., 2020) e, no caso de peixes, de seu recrutamento (Dippold et al., 2020) e da avaliação do serviço ecossistêmico de segurança alimentar (Duffy et al., 2016). Essa versatilidade pode ter auxiliado em sua grande utilização nos estudos.

Entre as lacunas identificadas está a pouca utilização dos termos sinérgico e antagônico, a baixa quantidade de estudos utilizando a combinação entre os fatores CO₂ e espécies não nativas (CO₂ + ENN), bem como entre CO₂, eutrofização e espécies não nativas (CO₂ + EUT + ENN). A interação entre fatores pode resultar em efeitos sinérgicos ou antagônicos (Folt et al., 1999), todavia, a identificação destes pode ser difícil, limitando sua aplicação (Côté et al., 2016). Acredita-se que a pouca utilização desses termos nos estudos analisados (n=7) realmente possa demonstrar uma limitação, uma vez que diversos trabalhos trataram sobre efeitos resultantes da interação, os descreveram, mas poucos os classificaram. Alguns dos trabalhos descreveram relações onde um fator compensou/neutralizou o outro (p. ex., Mormul et al., 2020; Reitsema et al., 2020), o que poderia estar relacionado a um efeito antagônico, em contrapartida, outros descreveram relações onde a combinação entre ambos os fatores favoreceu a variável analisada, esses casos poderiam vir a se encaixar em efeitos sinérgicos (p. ex., Van de Wall et al., 2009; Cheng et al., 2010; Liu et al., 2010; Wu et al., 2012; Gufu et al., 2019a). Não foi percebida a utilização de outras terminologias para retratar essas interações. Fato que reforça a questão da limitação da utilização dos termos sinérgico e antagônico. Dessa forma, identificamos a necessidade da correta identificação e classificação dos efeitos das interações entre fatores.

A potencial lacuna de conhecimento relacionada com as combinações entre os fatores, ocorre devido a forma de abordagem e/ou objeto de estudo. Por exemplo, na combinação CO₂ + ENN o foco dos estudos tem sido a relação do CO₂ com a ENN e sua resposta. Talvez, a fraca acidificação da água por CO₂ pode não apresentar efeitos tão claros sobre espécies nativas quanto seus efeitos sobre as ENN, fazendo com que o efeito da acidificação da água por CO₂ sobre as comunidades nativas seja considerado uma lacuna nos ecossistemas aquáticos continentais (Ou et al., 2015). A pouca compreensão em relação aos efeitos da interação entre esses fatores no meio pode dificultar a identificação de modificações, assim como, do manejo e mitigação de seus efeitos. Estas relações parecem estar mais claras no ecossistema marinho (Smith et al., 2016; Algueró-Muñiz et al., 2019), o qual pode auxiliar na compreensão de mecanismos nos ecossistemas de água doce. Nesta combinação, as questões mais abordadas foram os efeitos do CO₂ nas espécies não nativas e a interação destas com as nativas. Nesse sentido, os estudos apontam que espécies não nativas estão sendo favorecidas (Sullivan et al., 2009; Fasoli et al., 2018; David et al., 2020), o que pode ampliar seu efeito nas nativas e dificultar seu manejo, todavia, também foi apontado não haver mudanças nos atributos avaliados (Gufu et al., 2019b). Dessa forma, elevar o número de trabalhos abordando

a temática é necessário para o entendimento da interação entre os fatores. Destaca-se ainda que os predadores de topo não foram estudados nesta combinação.

A combinação CO₂+ EUT + ENN, apesar de ter o fator eutrofização em sua composição, é uma lacuna, isto pode ter ocorrido pela maior quantidade de fatores envolvidos. Múltiplas variáveis encarecem (Caughlan & Oakley, 2001) e dificultam a realização de estudos. Nesta combinação, foram avaliados os efeitos dos fatores nas espécies invasoras e seu potencial de invasão, as interações entre nativas e não nativas, a partir do uso de experimentos, e de forma geral, foi indicado que o sucesso de invasão é aumentado quando se considera a combinação entre os fatores (Spierenburg et al., 2009; Liu et al., 2010; Mormul et al., 2020). Porém, assim como na combinação anterior, não foram realizados estudos com predadores de topo. A falta de estudos com predadores de topo pode levar a não identificação de efeitos propagados na cadeia trófica, o que pode dificultar o manejo e a mitigação das mudanças globais nos ecossistemas aquáticos continentais. A interação entre os três fatores pode levar a efeitos diferentes dos conhecidos quando isolados ou quando combinados em pares (Folt et al., 1999), por isso, torna-se importante a realização de estudos envolvendo tal combinação.

Espécies criptogênicas podem ser um ponto de viés na análise dos trabalhos encontrados. Esse termo foi cunhado por Carlton em 1982, e refere-se a espécies cuja origem é desconhecida, por isso, não podem ser classificadas como nativas nem como invasoras (Carlton, 1996), apesar de poder apresentar comportamento invasor (Micael et al., 2020). Algumas espécies como, por exemplo, a cianobactéria *Microcystis aeruginosa*, a qual foi utilizada em diversos trabalhos analisados, é uma espécie com distribuição cosmopolita (Van Gremberghe et al., 2011), considerada criptogênica por alguns autores (Latini et al., 2016). Assim, como incluímos essa espécie na categoria nativa, o número de estudos com espécies nativas pode ser ainda menor do que o apresentado. Dessa forma, enfatizamos a necessidade de utilizar critérios refinados para classificação da origem da espécie usada nos estudos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender como os fatores de mudança global interagem e quais os seus efeitos sobre os ecossistemas é fundamental para que possam ser tomadas medidas de manejo e mitigação de alterações ambientais. Pouca atenção tem sido dada à combinação dos fatores aumento da concentração de CO₂, eutrofização e introdução de espécies não nativas nos

ecossistemas aquáticos continentais, e a eutrofização segue como o maior estressor de ambientes lânticos. Ainda, é necessário aumentar os esforços para a busca de respostas amplas e abrangendo diversos aspectos ecológicos, visto que, os estudos encontrados se concentraram em regiões específicas, utilizando majoritariamente organismos da base da cadeia, uma abordagem metodológica, um nível organizacional e possuem dificuldade quanto a classificação das interações observadas. Entretanto, mostraram que quando consideradas as interações, as espécies não nativas tendem a ser favorecidas e as florações algais intensificadas.

Avanços quanto a esta temática podem ser realizados com o aumento do número de trabalhos utilizando as combinações entre os fatores e a ampliação dos aspectos abordados, outro ponto importante é a averiguação dos resultados obtidos por meio de experimentos, em campo. Maior investimento em pesquisas, redes integradas e colaborativas podem ser de grande valia, tendo em vista que a avaliação de múltiplos fatores encarece os estudos (Caughlan & Oakley, 2001). Assim, essas redes podem ser utilizadas como alternativas para elucidar e compreender os impactos das mudanças globais nos ecossistemas aquáticos continentais. Ainda, reiteramos a importância de os diversos níveis tróficos serem contemplados por estudos, para possibilitar a detecção de efeitos propagados na cadeia, assim como, do estudo de ambientes tropicais, os quais possuem imensa biodiversidade. Considerando que um dos maiores desafios atuais é compreender como a interação entre fatores de mudanças globais afetará os ecossistemas, a combinação de fatores ainda precisa ser priorizada nos estudos dos ecossistemas aquáticos relacionados à diversidade, funcionamento e serviços ecossistêmicos, os quais podem vir a ser perdidos com os avanços das mudanças globais.

REFERÊNCIAS

- Algueró-Muñiz, M., Horn, H.G., Alvarez-Fernandez, S., Spisla, C., Aberle, N., Bach, L.T., Guan, W., Achterberg, E.P., Riebesell, U., Boersma, M. (2019). Analyzing the Impacts of Elevated-CO₂ Levels on the Development of a Subtropical Zooplankton Community During Oligotrophic Conditions and Simulated Upwelling. *Front. Mar. Sci*, 6 (61), 1-18. DOI: 10.3389/fmars.2019.00061
- Alsip, P.J., Zhang, H., Rowe, M.D., Rutherford E., Mason M.D., Catherine R., Su Z. (2020). Modeling the interactive effects of nutrient loads, meteorology, and invasive mussels on suitable habitat for Bighead and Silver Carp in Lake Michigan. *Biol Invasions*, 22, 2763–2785. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02296-4>

- Baffico, G., Diaz, M., Beamud, G., Schultz, S., Temporetti, P., Pedrozo, F. (2017). Lake Caviahue: an extreme environment as a potential sentinel for nutrient deposition in Patagonia. *Hydrobiologia*, 816 (1), 49-60. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-017-3281-5>.
- Beauchesne, D., Cazelles, K., Archambault, P., Dee, L.E., Gravel, D. (2021). On the sensitivity of food webs to multiple stressors. *Ecology Letters*, 24 (10), 2219-2237. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ele.13841>.
- Birk, S., Chapman, D., Carvalho, L., Spears, M.B., Andersen, E.H., ... Hering, D. (2020). Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 4 (8), 1060-1068. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-020-1216-4>.
- Buchaca, T., Skov, T., Amsinck, S.L., Gonçalves, V., Azevedo, J.M.N., Andersen, T.J., Jeppesen, E. (2011). Rapid Ecological Shift Following Piscivorous Fish Introduction to Increasingly Eutrophic and Warmer Lake Furnas (Azores Archipelago, Portugal): a paleoecological approach. *Ecosystems*, 14 (3), 458-477. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-011-9423-0>.
- Carlton, J.T. (1996). Biological Invasions and Cryptogenic Species. *Ecology*, 77 (6), 1653-1655. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2265767>.
- Carpenter, S.R. (1996). Microcosm Experiments have Limited Relevance for Community and Ecosystem Ecology. *Ecology*, 77 (3), 677-680. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2265490>.
- Carpenter, S. R., Caraco, N.F., Correl, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H. (1998). Nonpoint Pollution Of Surface Waters With Phosphorus And Nitrogen. *Ecological Applications*, 8 (3), 559-568. DOI: [http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:nposww\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:nposww]2.0.co;2).
- Caughlan, L., & Oakley, K. L. (2001). Cost considerations for long-term ecological monitoring. *Ecological Indicators*, 1 (2), 123-134. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(01\)00015-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00015-2).
- Chen, Z., Huang, P., Zhang, Z. (2019). Interaction between carbon dioxide emissions and eutrophication in a drinking water reservoir: a three-dimensional ecological modeling approach. *Science of the Total Environment*, 663 (1), 369-379. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.336>.
- Cheng, W., Sakai, H., Matsushima, M., Yagi, K., Hasegawa, T. (2010). Response of the floating aquatic fern *Azolla filiculoides* to elevated CO₂, temperature, and phosphorus levels. *Hydrobiologia*, 656 (1), 5-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-010-0441-2>.
- Côté, I.M., Darling, E.S., Brown, C.J. (2016) Interactions among ecosystem stressors and their importance in conservation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283 (1824), 1-9, DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2015.2592>.
- David, A.A., Pettit, L., Edmund, M. (2020). Resilience of a highly invasive freshwater gastropod, *Viviparus georgianus* (Caenogastropoda: viviparidae), to CO₂-induced acidification. *Journal of Molluscan Studies*, 86 (3), 259-262. DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/mollus/eyaa008>.

Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, A. C., Gozlan, R. E., Roiz, D., Jarić, I., Salles, J. M., Bradshaw, C. J. A., Courchamp, F. (2021). High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, 592 (7855), 571-576. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>.

Diez, J. M., D'Antonio, C.M., Dukes, J.S., Grosholz E.D., Miller L.P. (2012). Will extreme climatic events facilitate biological invasions? *Frontiers In Ecology And The Environment*, 10 (5), 249-257. DOI: <http://dx.doi.org/10.1890/110137>.

Dippold, D.A., Aloysius, N.R., Keitzer, S.C., Yen, H., Arnold, J.G., Daggupati, P., Fraker, M.E., Martin, J.F., Robertson, D.M., Sowa, S.P. (2020). Forecasting the combined effects of anticipated climate change and agricultural conservation practices on fish recruitment dynamics in Lake Erie. *Freshwater Biology*, 65 (9), 1487-1508. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.13515>.

Duffy, J.E., Lefcheck, J.S., Stuart-Smith, R.D., Navarrete, S.A., Edgar, G.J. (2016). Biodiversity enhances reef fish biomass and resistance to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113 (22), 6230-6235. DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1524465113>.

Dülger, E., Heidbüchel, P., Schumann, T., Mettler-Altmann, T., Hussner, A. (2017). Interactive effects of nitrate concentrations and carbon dioxide on the stoichiometry, biomass allocation and growth rate of submerged aquatic plants. *Freshwater Biology*, 62 (6), 1094-1104. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.12928>.

EEA, European Environment Agency. (2018). Surface water bodies: water body category and ecological status or potential. Water body category and Ecological status or potential. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/wise-wfd>. Acesso em: 18 jan. 2022.

Elton, C.S. (1958). *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (1nd ed) . London, Chapman and Hall.

EPA, United States Environmental Protection Agency. (1972). *The National Eutrophication Survey*. United States: Special Projects Staff.

Farjalla, V. F., Pires, A.P.F., Agostinho, A.A., Amado, A.M., Bozelli, R.L., ... Scarano, F.R. (2021). Turning Water Abundance Into Sustainability in Brazil. *Frontiers In Environmental Science*, 9 (727051), 1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2021.727051>.

Fasoli, J.V.B., Mormul, R.P., Cunha, E.R., Thomaz, S.M. (2018). Plasticity responses of an invasive macrophyte species to inorganic carbon availability and to the interaction with a native species. *Hydrobiologia*, 817 (1), 227-237. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-018-3543-x>.

Folt, C. L. (1999). Synergism and antagonism among multiple stressors. *Limnology and Oceanography*, 2(44), 864-877. DOI: https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.3_part_2.0864.

Gufu, G.D., Manea, A., Leishman, M.R. (2019a). Experimental evidence that CO₂ and nutrient enrichment do not mediate interactions between a native and an exotic free-floating macrophyte. *Hydrobiologia*, 846 (1), 75-85. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-019-04053-8>.

Gufu, G.D., Manea, A., Leishman, M.R. (2019b). Growth, reproduction and functional trait responses of three freshwater plant species to elevated carbon dioxide. *Aquatic Botany*, 154, 18-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.12.006>.

Habtemariam, H., Kifle, D., Leta, S., Beekman, W., Lüring, M. (2021). Cyanotoxins in drinking water supply reservoir (Legedadi, Central Ethiopia): implications for public health safety. *Sn Applied Sciences*, 3 (3), 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s42452-021-04313-0>.

Harke, M.J., Steffen, M.M., Gobler, C.J., Otten, T.G., Wilhelm, S.W., Wood, S.A., Paerl, H.W. (2016). A review of the global ecology, genomics, and biogeography of the toxic cyanobacterium, *Microcystis* spp. *Harmful Algae*, 54, 4-20. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hal.2015.12.007>.

Hasler, C.T., Jeffrey J.D., Schneider E.V.C., Hannan, K.D., Tix, J.A., Suski C.D. (2018). Biological consequences of weak acidification caused by elevated carbon dioxide in freshwater ecosystems. *Hydrobiologia*, 806 (1), 1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-017-3332-y>.

Haubrock, P.J., Pilotto, F., Innocenti, G., Cianfanelli, S. Haase, P. (2020). Two centuries for an almost complete community turnover from native to non-native species in a riverine ecosystem. *Global Change Biology*, 27 (3), 606-623. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15442>.

Hellmann, J.J., Byers, J.E., Bierwagen, B.G., Dukes, J.F. (2008). Five Potential Consequences of Climate Change for Invasive Species. *Conservation Biology*, 22 (3), 534-543. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x>.

IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change.* (Eds V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, et al.), Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC.(2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Eds Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou). Cambridge University Press.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T., Landkildehus, F. (2000). Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology*, 45 (2), 201-218. DOI: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.2000.00675.x>.

Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., Hansen, K.M., ... Olesen, J.O. (2009). Climate Change Effects on Runoff, Catchment Phosphorus Loading and Lake Ecological State, and Potential Adaptations. *Journal Of Environmental Quality*, 38 (5), 1930-1941. DOI: <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2008.0113>.

Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J.E., Audet, J., Søndergaard, M., Özkan, K. (2011). Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe:

implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation. *Hydrobiologia*, 663 (1), 1-21. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-010-0547-6>.

Ji, X., Verspagen, J.M.H., Waal, D.B. Van De, Rost, B., Huisman, J. (2020). Phenotypic plasticity of carbon fixation stimulates cyanobacterial blooms at elevated CO₂. *Science Advances*, 6 (8), 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.aax2926>.

Kelly, N.E., Young, J.D., Winter, J.G., Palmer, M.E., Stainsby, E.A., Molot, L.A. (2017) Sequential rather than interactive effects of multiple stressors as drivers of phytoplankton community change in a large lake. *Freshwater Biology*, 62 (7), 1288-1302. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/fwb.12945>.

Latini, A. O., Resende, D.C., Pombo, V. B., Coradin, L. (2016). Espécies exóticas invasoras de águas continentais no Brasil. (Série Biodiversidade, 39). Brasília: MMA.

Liu, J.Z., Ge, Y.M., Zhou, Y.F., Tian, G.M. (2010). Effects of Elevated CO₂ on Growth and Nutrient Uptake of *Eichhornia crassipes* Under Four Different Nutrient Levels. *Water, Air, & Soil Pollution*, 212, 387-394. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s11270-010-0352-x>.

Low-Décarie, E., Bell, G., Fussmann, G.F. (2014). CO₂ alters community composition and response to nutrient enrichment of freshwater phytoplankton. *Oecologia*, 177 (3), 875-883. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s00442-014-3153-x>.

Lürling, M., & Mucci, M. (2020). Mitigating eutrophication nuisance: in-lake measures are becoming inevitable in eutrophic waters in the Netherlands. *Restoration of Eutrophic Lakes*, 847, 4447-4467. DOI:<https://doi.org/10.1007/s10750-020-04297-9>.

Maasri, A., Jähnig, S.C., Adamescu, M.C., Adrian, R., Baigun, C., ... Worischka, S. (2022). A Global Agenda for Advancing Freshwater Biodiversity Research. *Ecology Letters*, 25(2), 255-263. DOI:<https://doi.org/10.1111/ele.13931>.

Macleod, W.B., & Urquiola, M. (2021). Why Does the United States Have the Best Research Universities? Incentives, Resources, and Virtuous Circles. *Journal of Economic Perspectives*, 35 (1), 185-206. DOI:<http://dx.doi.org/10.1257/jep.35.1.185>.

Mccarty, J. P., Wolfenbarger, L. L., Wilson, J. A. (2017). Biological Impacts of Climate Change. *Els*, 1-13. DOI:<http://dx.doi.org/10.1002/9780470015902.a0020480.pub2>.

Mcdowell, R.W., Biggs, B.J.F., Sharpley, A.N., Nguyen, L. (2004). Connecting phosphorus loss from agricultural landscapes to surface water quality. *Chemistry and Ecology*, 20 (1), 1-40. DOI:<http://dx.doi.org/10.1080/02757540310001626092>.

Micael, J., Rodrigues, P., Gíslason, S. (2020). *Rhizoclonium riparium* (Roth) Harvey: a cryptogenic species with an invasive behaviour in reyúarfjörúur, iceland. *Nordic Journal of Botany*, 38 (12), 1653-1655. DOI:<http://dx.doi.org/10.1111/njb.02803>.

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6 (7). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Moi, D.A., Alves, D.C., Antigueira, P.A.P., Thomaz, S.M., Mello, F.T., Bonecker, C.C., Rodrigues, L.C., García-Ríos, R., Mormul, R.P. (2021). Ecosystem Shift from Submerged to Floating Plants Simplifying the Food Web in a Tropical Shallow Lake. *Ecosystems*, 24 (3), 628-639. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s10021-020-00539-y>.

Moi, D. A., Romero, G. Q., Jeppesen, E., Kratina, P., Alves, D. C., Antigueira, P. A. P., Mello, F. T., Figueiredo, B. R. S., Bonecker, C. C., Pires, A. P. F. (2022). Regime shifts in a shallow lake over 12 years: consequences for taxonomic and functional diversities, and ecosystem multifunctionality. *Journal of Animal Ecology*, 91 (3), 551-565. DOI:<http://dx.doi.org/10.1111/1365-2656.13658>.

Mormul, R.P., Thomaz, S.M., Jeppesen, E. (2020). Do interactions between eutrophication and CO₂ enrichment increase the potential of elodeid invasion in tropical lakes? *Biological Invasions*, 22 (9), 2787-2795. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-020-02284-8>.

Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., ... Scheffer, M. (2011). Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters*, 1 (2), 101-105. DOI: <http://dx.doi.org/10.5268/iw-1.2.359>.

Netten, J.J.C.A., Nes, E.H., Scheffer, M., Roijackers, R.M.M. (2010). Effect of temperature and nutrients on the competition between free-floating *Salvinia natans* and submerged *Elodea nuttallii* in mesocosms. *Fundamental and Applied Limnology*, 177 (2), 125-132. DOI:<http://dx.doi.org/10.1127/1863-9135/2010/0177-0125>.

Nickus, U., Bishop, K., Erlandsson, M., Evans, C.D., Forsius, M., ... Thies, H. (2010). Direct Impacts of Climate Change on Freshwater Ecosystems. Chapter 3. In: Kernan, M., Battarbee, R.W., Moss, B. *Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems*. Chichester: Blackwell Publishing Ltd.

Ou, M., Hamilton, T.J., Eom, J., Lyall, E.M., Gallup, J., Jiang, A., Lee, J., Close, D.A., Yun, S., Brauner, C.J. (2015). Responses of pink salmon to CO₂-induced aquatic acidification. *Nature Climate Change*, 10 (5), 950-955. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2694>.

Paine, Robert T. (1966). Food Web Complexity and Species Diversity. *The American Naturalist*, 100 (910), 65-75. DOI:<http://dx.doi.org/10.1086/282400>.

Paine, R. T. (1974). Intertidal community structure. *Oecologia*, 15 (2), 93-120. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/bf00345739>.

Parker, I.M. (2000). Invasion Dynamics of *Cytisus scoparius*: a matrix model approach. *Ecological Applications*, 10 (3), 726-743. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0726:IDOCSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0726:IDOCSA]2.0.CO;2).

Parlamento Europeu. (2000). Directiva nº 2000/60/CE, de 23 de outubro de 2000. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20141120&from=GA>. Acesso em: 22 mar. 2022.

Parma, S. (1980). The history of the eutrophication concept and the eutrophication in the Netherlands. *Hydrobiological Bulletin*, 14, 5-11. DOI:<https://doi.org/10.1007/BF02260267>.

Pearson, D.E., & Callaway, R.M. (2003). Indirect effects of host-specific biological control agents. *Trends in Ecology & Evolution*, 18 (9), 456-461. DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347\(03\)00188-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347(03)00188-5).

Pericherla, S., Karnena, M.K., Vara, S. A.(2020). Review on Impacts of Agricultural Runoff on Freshwater Resources. *International Journal on Emerging Technologies*, 2 (11), 829-833.

Postel, S., & Carpenter, S. (1997). *Freshwater Ecosystem Services*. Chapter 11. In: DAILY, G. C. *Nature's Services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington: Island Press.

Preston, D.L., Hedman, H.D., Johnson, P.T.J. (2018). Nutrient availability and invasive fish jointly drive community dynamics in an experimental aquatic system. *Ecosphere*, 9(3), 1-15. DOI:<http://dx.doi.org/10.1002/ecs2.2153>.

Radinger, J., Britton, J.R., Carlson, S.M., Magurran, A.E., Alcaraz-Hernández, J.D., Almodóvar, A., Benejam, L., Fernández-Delgado, C., Nicola, G.G., Oliva-Paterna, F.J. (2019). Effective monitoring of freshwater fish. *Fish and Fisheries*, p. 730-741. DOI:<http://dx.doi.org/10.1111/faf.12373>.

Rahel, F.J., & Olden, J.D. (2008). Assessing the Effects of Climate Change on Aquatic Invasive Species. *Conservation Biology*, 22 (3), 521-533. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00950.x>.

Reid, A.J., Carlson, A.K., Creed, I.F., Eliason, E.J., Gell, P.A., Johnson, P.T.J., Kidd, K.A., Maccormack, T.J., Olden, J.D., Ormerod, S.J. (2018). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94 (3), 849-873. DOI:<http://dx.doi.org/10.1111/brv.12480>.

Reitsema, R.E., Preiner, S., Meire, P., Hein, T., Boeck, G., Blust, R., Schoelynck, J. (2020). Implications of climate change for submerged macrophytes: effects of CO₂, flow velocity and nutrient concentration on *Berula erecta*. *Aquatic Ecology*, 54 (3), 775-793. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s10452-020-09776-8>.

Rosenblatt, A.E., & Schmitz, O.J. (2016). Climate Change, Nutrition, and Bottom-Up and Top-Down Food Web Processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 31 (12), 965-975. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2016.09.009>.

Rosenzweig, M.L. (1992). Species Diversity Gradients: we know more and less than we thought. *Journal of Mammalogy*, 73 (4), 715-730. DOI:<http://dx.doi.org/10.2307/1382191>.

Ruaro, R., Tramonte, R.P., Buosi, P.R.B., Manetta, G.I., Benedito, E. (2020b). Trends in Studies of Nonnative Populations: invasions in the upper Paraná River floodplain. *Wetland*, 40, 113-124. DOI:<https://doi.org/10.1007/s13157-019-01161-y>.

Ruaro, R., Gubiani, E.A., Hughes, R.M., Mormul, R.P. (2020a). Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. *Ecological Indicators*, 110, 1-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105862>.

Sabater, S., Elosegí, A., Ludwig, R. (2019). Defining Multiple Stressor Implications. Chapter 1. In: Sabater, S., Elosegí, A., Ludwig, R. *Multiple Stressors in River Ecosystems: status, impact and prospects for the future*. Elsevier.

Sage, R.F. (2019). Global change biology: a primer. *Global Change Biology*, 26 (1), 3-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/gcb.14893>.

Sala, O.E. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, 287 (5459), 1770-1774. DOI:<http://dx.doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>.

Sanders, N.J. (2010). Population-level traits that affect, and do not affect, invasion success. *Molecular Ecology*, 19 (6), 1079-1081. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04551.x>.

Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, A., Walker, B. (2001). Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413 (6856), 591-596. DOI:<http://dx.doi.org/10.1038/35098000>.

Schippers, P., Mooij, W. M., Vermaat, J. E., Klein, J. (2004). The Effect of Atmospheric Carbon Dioxide Elevation on Plant Growth in Freshwater Ecosystems. *Ecosystems*, 7 (1), 63-74. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s10021-003-0195-z>.

Simberloff, D. (1995). Why Do Introduced Species Appear to Devastate Islands More Than Mainland Areas? *Pacific Science*, 49 (1), 87-97.

Simberloff, D. (2014). Biological invasions: what's worth fighting and what can be won? *Ecological Engineering*, 65, 112-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.08.004>.

Simberloff, D., Barney, J.N., Mack, R.N., Carlton, J.T., Reaser, J.K., Stewart, B.S., Tabor, G., Lane, E.M., Hyatt, W., Malcom, J. W. U.S. (2020). action lowers barriers to invasive species. *Science*, 367 (6478), 636-636. DOI:<http://dx.doi.org/10.1126/science.aba7186>.

Smith, J.N., De'ath, G., Richter, C., Cornils, A., Hall-Spencer, J.M., Fabricius, K.E. (2016). Ocean acidification reduces demersal zooplankton that reside in tropical coral reefs. *Nature Climate Change*, 6 (12), 1124-1129. DOI:<http://dx.doi.org/10.1038/nclimate3122>.

Spierenburg, P., Lucassen, E.C.H.E.T., Lotter, A.F., Roelofs, J.G.M. (2009). Could rising aquatic carbon dioxide concentrations favour the invasion of elodeids in isoetid-dominated softwater lakes? *Freshwater Biology*, 54 (9), 1819-1831. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02229.x>.

Stephens, K.L., Dantzler-Kyer, M.E., Pattern, M.A., Souza, L. (2019). Differential responses to global change of aquatic and terrestrial invasive species: evidences from a meta-analysis. *Ecosphere*, 10 (4), 1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ecs2.2680>.

Stets, E.G., Butman, D., McDonald C.P., Stackpoole, S.M., DeGrandpre, M.D., Striegl, R.G. (2017). Carbonate buffering and metabolic controls on carbon dioxide in rivers. *Global Biogeochemical Cycles*, 31 (4), 663-677. DOI:<http://dx.doi.org/10.1002/2016gb005578>.

Stewart, R.I.A., Dossena, M., Bohan, D.A., Jeppesen, E., Kordas, R.L., Woodward, G. (2013). Mesocosm Experiments as a Tool for Ecological Climate-Change Research. Chapter 2. In: WOODWARD, G.; O'GORMAN, E.J. *Global Change in Multispecies Systems*: San Diego: Elsevier Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417199-2.00002-1>.

Sullivan, L., Wildova, R., Goldberg, D., Vogel, C. (2009). Growth of three cattail (*Typha*) taxa in response to elevated CO₂. *Plant Ecology*, 207 (1), 121-129. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11258-009-9658-4>.

Tian, L., & Benton, M.J. (2020). Predicting biotic responses to future climate warming with classic ecogeographic rules. *Current Biology*, 30 (13), 744-749. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2020.06.003>.

Usepa (united states environmental protection agency). (2021). Background of the National Aquatic Resource Surveys. Disponível em: <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/background-national-aquatic-resource-surveys>. Acesso em: 01 mar. 2022.

Van De Waal, D. B., Verspagen, J.M.H., Lüring, M., Van Donk, E., Visser, P.M., Huisman, J. (2009). The ecological stoichiometry of toxins produced by harmful cyanobacteria: an experimental test of the carbon-nutrient balance hypothesis. *Ecology Letters*, 12 (12), 1326-1335. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01383.x>.

Van Gremberghe, I., Leliaert, F., Mergeay, J., Vanormelingen, P., Gucht, K. Van Der, Debeer, A.E., Lacerot, G., Meester, L., Vyverman, W. (2011). Lack of Phylogeographic Structure in the Freshwater Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* Suggests Global Dispersal. *Plos One*, 6 (5), 1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0019561>.

Verspagen, J.M.H., Waal, D.B. Van De., Finke, J.F., Visser, P.M., Huisman, J. (2014a). Contrasting effects of rising CO₂ on primary production and ecological stoichiometry at different nutrient levels. *Ecology Letters*, 17 (8), 951-960. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ele.12298>.

Verspagen, J.M.H., Waal, D.B. Van De., Finke, J.F., Visser, P.M., Van Donk, E., Huisman, J. (2014b). Rising CO₂ Levels Will Intensify Phytoplankton Blooms in Eutrophic and Hypertrophic Lakes. *Plos One*, 9 (8), 1-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0104325>.

Vollenweider, A.R. (1992). Coastal marine eutrophication: principles and control. *Marine Coastal Eutrophication*, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89990-3.50011-0>

Winston, B., Scott, J.T., Pollock, E. (2016). The synergistic effect of elevated CO₂ and phosphorus on reservoir eutrophication. *Lake And Reservoir Management*, 32 (4), 373-385. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10402381.2016.1231247>.

Wu, Z., Zeng, B., Li, R., Song, L. (2012). Combined effects of carbon and phosphorus levels on the invasive cyanobacterium, *Cylindrospermopsis raciborskii*. *Phycologia*, 51 (2), 144-150. DOI: <http://dx.doi.org/10.2216/10.87.1>.

WWF. (2020). Living Planet Report 2020: bending the curve of biodiversity loss. Gland: Almond, R.e.A., Grooten M. And Petersen, T. Disponível em: <https://livingplanet.panda.org/pt-br/about-the-living-planet-report>. Acesso em: 17 jan. 2022.

APÊNDICE - Lista dos artigos utilizados na revisão sistemática conforme combinação.

Combinação 1: CO ₂ + ENN			
Autor	Título	Revista	Ano
DAVID, A. Andrew; PETTIT, Lily; EDMUND, Meghan.	Resilience of a highly invasive freshwater gastropod, <i>Viviparus georgianus</i> (Caenogastropoda: viviparidae), to CO ₂ -induced acidification.	Journal of Molluscan Studies	2020
GUFU, Guyo D.; MANEA, Anthony; LEISHMAN, Michelle R.	Growth, reproduction and functional trait responses of three freshwater plant species to elevated carbon dioxide.	Aquatic Botany	2019
SMITH, C.; BALDWIN, A. H.; SULLIVAN, J.; LEISHMAN, P. T.	Effects of Elevated Atmospheric CO ₂ on Competition Between the Mosquitoes <i>Aedes albopictus</i> and <i>Aedes triseriatus</i> via Changes in Litter Quality and Production.	Journal of Medical Entomology	2013
SULLIVAN, Lauren; WILDOVA, Radka; GOLDBERG, Deborah; VOGEL, Chris.	Growth of three cattail (<i>Typha</i>) taxa in response to elevated CO ₂ .	Plant Ecology	2009
FASOLI, José Vitor Botter; MORMUL, Roger Paulo; CUNHA, Eduardo Ribeiro; THOMAZ, Sidinei Magela.	Plasticity responses of an invasive macrophyte species to inorganic carbon availability and to the interaction with a native species.	Hydrobiologia	2018
SPENCER, William; BOWES, George.	Photosynthesis and Growth of Water Hyacinth under CO ₂ Enrichment.	Plant Physiology	1986

Combinação 2: EUT + ENN			
Autor	Título	Revista	Ano
ALSIP, Peter J.; ZHANG, Hongyan; ROWE, Mark D.; RUTHERFORD, Edward; MASON, Doran M.; RISENG, Catherine; SU, Zhenming	Modeling the interactive effects of nutrient loads, meteorology, and invasive mussels on suitable habitat for Bighead and Silver Carp in Lake Michigan.	Biological Invasions	2020
BăNĂDUC, Doru; JOY, Michael; OLOSUTEAN, Horea; AFANASYEV, Sergey; CURTEAN-BăNĂDUC, Angela	Natural and anthropogenic driving forces as key elements in the Lower Danube Basin–South-Eastern Carpathians–North-Western Black Sea coast area lakes: a broken stepping stones for fish in a climatic change scenario?	Environmental Sciences Europe	2020
BONILLA, Sylvia; AUBRIOT, Luis;	What drives the distribution of the bloom-forming	Fems Microbiology	2011

SOARES, Maria Carolina S.; GONZÁLEZ-PIANA, Mauricio; FABRE, Amelia; HUSZAR, Vera L.M.; LÜRLING, Miquel; ANTONIADES, Dermot; PADISÁK, Judit; KRUK, Carla.	cyanobacteria <i>Planktothrixagardhii</i> and <i>Cylindrospermopsisraciborskii</i> ?	Ecology	
BUCHACA, Teresa; SKOV, Tue; AMSINCK, Susanne Lildal; GONÇALVES, Vitor; AZEVEDO, José Manuel Neto; ANDERSEN, ThorbjørnJoest; JEPPESEN, Erik.	Rapid Ecological Shift Following Piscivorous Fish Introduction to Increasingly Eutrophic and Warmer Lake Furnas (Azores Archipelago, Portugal): a paleoecological approach.	Ecosystems	2011
DIPPOLD, David A.; ALOYSIUS, Noel R.; KEITZER, Steven Conor; YEN, Haw; ARNOLD, Jeffrey G.; DAGGUPATI, Prasad; FRAKER, Michael E.; MARTIN, Jay F.; ROBERTSON, Dale M.; SOWA, Scott P.	Forecasting the combined effects of anticipated climate change and agricultural conservation practices on fish recruitment dynamics in Lake Erie.	Freshwater Biology	2020
FERREIRA-RODRÍGUEZ, Noé; PARDO, Isabel.	The interactive effects of temperature, trophic status, and the presence of an exotic clam on the performance of a native freshwater mussel.	Hydrobiologia	2017
FLOURY, Mathieu; USSEGLIO-POLATERA, Philippe; FERREOL, Martial; DELATTRE, Cecile; SOUCHON, Yves.	Global climate change in large European rivers: long-term effects on macroinvertebrate communities and potential local confounding factors.	Global Change Biology	2013
GRUTTERS, Bart; ABEN, Ralf; KOSTEN, Sarian; BAKKER, Elisabeth.	Impact of native and non-native aquatic plants on methane emission and phytoplankton growth.	Aquatic Invasions	2017
HANN, Brenda; SALKI, Alex.	Patterns in the crustacean zooplankton community in Lake Winnipeg, Manitoba: response to long-term environmental change.	Journal of Great Lakes Research	2016
HINTZ, William D.; SCHULER, Matthew S.; BORRELLI, Jonathan J.; EICHLER, Lawrence W.; STOLER, Aaron B.; MORIARTY, Vincent W.; AHRENS, Laurie E.; BOYLEN, Charles W.; NIERZWICKI-BAUER, Sandra A.; RELYEA, Rick A.	Concurrent improvement and deterioration of epilimnetic water quality in an oligotrophic lake over 37 years.	Limnology and Oceanography	2019
HUDON, Christiane.	Shift in wetland plant composition and biomass following low-level episodes in the St. Lawrence River: looking into the future.	Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	2004
KELLY, Noreen E.; YOUNG, Joelle D.; WINTER, Jennifer G.; PALMER, Michelle E.; STAINSBY, Eleanor A.; MOLOT, Lewis A..	Sequential rather than interactive effects of multiple stressors as drivers of phytoplankton community change in a large lake.	Freshwater Biology	2017
KOKOCIŃSKI, Mikołaj; SOININEN, Janne.	Environmental factors related to the occurrence of	European Journal of	2012

	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> (Nostocales, Cyanophyta) at the north-eastern limit of its geographical range.	Phycology	
MEZA-LOPEZ, Maria M.; SIEMANN, Evan.	Nutrient enrichment increases plant biomass and exotic plant proportional cover independent of warming in freshwater wetland communities.	Plant Ecology	2017
MEZA-LOPEZ, Maria M.; SIEMANN, Evan.	Warming alone increased exotic snail reproduction and together with eutrophication influenced snail growth in native wetlands but did not impact plants.	Science of the Total Environment	2020
MORRISSEY-MCCAFFREY, Emma; SHEPHARD, Samuel; KELLY, Fiona L.; KELLY-QUINN, Mary.	Non-native species and lake warming negatively affect Arctic char <i>Salvelinus alpinus</i> abundance; deep thermal refugia facilitate co-existence.	Journal of Fish Biology	2018
NETTEN, Jordie J.C. Arts; NES, Egbert H.; SCHEFFER, Marten; ROIJACKERS, Rudi M.M	Effect of temperature and nutrients on the competition between free-floating <i>Salvinia natans</i> and submerged <i>Elodea nuttallii</i> in mesocosms.	Fundamental and Applied Limnology	2010
NORTH, Rebecca.	The state of Lake Simcoe (Ontario, Canada): the effects of multiple stressors on phosphorus and oxygen dynamics.	Inland Waters	2013
PINARDI, Monica; BRESCIANI, Mariano; VILLA, Paolo; CAZZANIGA, Ilaria; LAINI, Alex; TÓTH, Viktor; FADEL, Ali; AUSTONI, Martina; LAMI, Andrea; GIARDINO, Claudia.	Spatial and temporal dynamics of primary producers in shallow lakes as seen from space: intra-annual observations from sentinel-2a.	Limnologica	2018
PRESTON, Daniel L.; HEDMAN, Hayden D.; JOHNSON, Pieter T. J.	Nutrient availability and invasive fish jointly drive community dynamics in an experimental aquatic system.	Ecosphere	2018
RYAN, Caitlin N.; THOMAS, Mridul K.; LITCHMAN, Elena.	The effects of phosphorus and temperature on the competitive success of an invasive cyanobacterium.	Aquatic Ecology	2017
SHADRIN, N. V.; EL-SHABRAWY, G. M.; ANUFRIIEVA, E. V.; GOHER, M. E.; RAGAB, E.	Long-term changes of physicochemical parameters and benthos in Lake Qarun (Egypt): can we make a correct forecast of ecosystem future?	Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems	2016
SORENSEN, Michael L.; BRANSTRATOR, Donn K.	The North American invasive zooplanktivore <i>Bythotrephes longimanus</i> is less hypoxia-tolerant than the native <i>Leptodora kindtii</i> .	Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	2017
WINFIELD, Ian J.; FLETCHER, Janice M.; JAMES, J. Ben.	Long-term changes in the diet of pike (<i>Esox lucius</i>), the top aquatic predator in a changing Windermere.	Freshwater Biology	2012
WINFIELD, Ian J.; FLETCHER, Janice M.; JAMES, J. Ben.	The Arctic charr (<i>Salvelinus alpinus</i>) populations of Windermere, UK: population trends associated with eutrophication, climate change and increased abundance of roach (<i>Rutilus rutilus</i>).	Environmental Biology of Fishes	2008
YOU, Wenhua; YU, Dan; XIE, Dong; YU,	Responses of the invasive aquatic plant water hyacinth to	Aquatic Botany	2014

Lingfei; XIONG, Wen; HAN, Cuimin.	altered nutrient levels under experimental warming in China.		
ZUBOVA, Elena M.; KASHULIN, Nikolay A.; DAUVALTER, Vladimir A.; DENISOV, Dmitry B.; VALKOVA, Svetlana A.; VANDYSH, Oksana I.; SLUKOVSKII, Zakhar I.; TEREPTYEV, Peter M.; CHEREPANOV, Alexander A.	Long-Term Environmental Monitoring in an Arctic Lake Polluted by Metals under Climate Change.	Environments	2020

Combinação 3: CO₂ + EUT

Autor	Título	Revista	Ano
BAFFICO, Gustavo; DIAZ, Mónica; BEAMUD, Guadalupe; SCHULTZ, Sabina; TEMPORETTI, Pedro; PEDROZO, Fernando.	Lake Caviahue: an extreme environment as a potential sentinel for nutrient deposition in Patagonia.	Hydrobiologia	2017
CHEN, Zhonghan; HUANG, Ping; ZHANG, Zhou.	Interaction between carbon dioxide emissions and eutrophication in a drinking water reservoir: a three-dimensional ecological modeling approach.	Science of the Total Environment	2019
CHENG, Weiguo; SAKAI, Hidemitsu; MATSUSHIMA, Miwa; YAGI, Kazuyuki; HASEGAWA, Toshihiro.	Response of the floating aquatic fern <i>Azolla filiculoides</i> to elevated CO ₂ , temperature, and phosphorus levels.	Hydrobiologia	2010
DÜLGER, Emin; HEIDBÜCHEL, Patrick; SCHUMANN, Tobias; METTLER-ALTMANN, Tabea; HUSSNER, Andreas.	Interactive effects of nitrate concentrations and carbon dioxide on the stoichiometry, biomass allocation and growth rate of submerged aquatic plants.	Freshwater Biology	2017
JANSSON, Mats; KARLSSON, Jan; JONSSON, Anders.	Carbon dioxide supersaturation promotes primary production in lakes.	Ecology Letters	2012
JI, Xing; VERSPAGEN, Jolanda M H;	Competition between cyanobacteria and green algae at	Journal of	2017

STOMP, Maayke; HUISMAN, Jef.	low versus elevated CO ₂ : who will win, and why?	Experimental Botany	
JI, Xing; VERSPAGEN, Jolanda M. H.; WAAL, Dedmer B. van de; ROST, Björn; HUISMAN, Jef.	Phenotypic plasticity of carbon fixation stimulates cyanobacterial blooms at elevated CO ₂ .	Science Advances	2020
LOW-DÉCARIE, Etienne; BELL, Graham; FUSSMANN, Gregor F.	CO ₂ alters community composition and response to nutrient enrichment of freshwater phytoplankton.	Oecologia	2014
LOW-DÉCARIE, Etienne; JEWELL, Mark D.; FUSSMANN, Gregor F.; BELL, Graham.	Long-term culture at elevated atmospheric CO ₂ fails to evoke specific adaptation in seven freshwater phytoplankton species.	Proceedings of the Royal Society	2013
MUSHET, Graham R.; FLEAR, Karlee; WILTSE, Brendan; PATERSON, Andrew M.; CUMMING, Brian F.	Increased relative abundance of colonial scaled chrysophytes since pre-industrial times in minimally disturbed lakes from the Experimental Lakes Area, Ontario.	Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences	2018
REITSEMA, Rosanne E.; PREINER, Stefan; MEIRE, Patrick; HEIN, Thomas; BOECK, Gudrun de; BLUST, Ronny; SCHOELYNCK, Jonas.	Implications of climate change for submerged macrophytes: effects of CO ₂ , flow velocity and nutrient concentration on <i>Berula erecta</i> .	Aquatic Ecology	2020
SANDRINI, Giovanni; CUNSOLO, Serena; SCHUURMANS, J. Merijn; MATTHIJS, Hans C. P.; HUISMAN, Jef.	Changes in gene expression, cell physiology and toxicity of the harmful cyanobacterium <i>Microcystis aeruginosa</i> at elevated CO ₂ .	Frontiers in Microbiology	2015
SANDRINI, Giovanni; JI, Xing; VERSPAGEN, Jolanda M. H.; TANN, Robert P.; SLOT, Pieter C.; LUIMSTRA, Veerle M.; SCHUURMANS, J. Merijn; MATTHIJS, Hans C. P.; HUISMAN, Jef.	Rapid adaptation of harmful cyanobacteria to rising CO ₂ .	Proceedings of the National Academy of Sciences	2016
SCHIPPERS, Peter; LURLING, Miquel; SCHEFFER, Marten.	Increase of atmospheric CO ₂ promotes phytoplankton productivity.	Ecology Letters	2004

SCHIPPERS, Peter; MOOIJ, Wolf M.; VERMAAT, Jan E.; KLEIN, Jeroen de.	The Effect of Atmospheric Carbon Dioxide Elevation on Plant Growth in Freshwater Ecosystems.	Ecosystems	2004
SHI, Man; LI, Jiangye; ZHANG, Weiguo; ZHOU, Qi; NIU, Yuhan; ZHANG, Zhenhua; GAO, Yan; YAN, Shaohua.	Contrasting impact of elevated atmospheric CO ₂ on nitrogen cycle in eutrophic water with or without <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.	Science of the Total Environment	2019
SHI, Xiaoli; TANG, Longsheng; LI, Shengnan; XU, Ping; KONG, Fanxiang.	The effects of CO ₂ on sestonic stoichiometry and community structure of crustacean zooplankton in a eutrophic lake: increased competitive ability of <i>Bosmina</i> .	Biochemical Systematics and Ecology	2015
VALIÑAS, Macarena S.; VILLAFANE, Virginia E.; CABRERIZO, Marco J.; ROMERO, Cristina Durán; HELBLING, E. Walter.	Global change effects on plankton community structure and trophic interactions in a Patagonian freshwater eutrophic system.	Hydrobiologia	2017
VAN DE WAAL, Dedmer B van de; VERSPAGEN, Jolanda Mh; FINKE, Jan F; VOURNAZOU, Vasiliki; IMMERS, Anne K; A KARDINAAL, W Edwin; TONK, Linda; BECKER, Sven; VAN DONK, Ellen; VISSER, Petra M.	Reversal in competitive dominance of a toxic versus non-toxic cyanobacterium in response to rising CO ₂ .	The ISME Journal	2011
VAN DE WAAL, Dedmer B.; VERSPAGEN, Jolanda M. H.; LÜRLING, Miquel; VAN DONK, Ellen; VISSER, Petra M.; HUISMAN, Jef.	The ecological stoichiometry of toxins produced by harmful cyanobacteria: an experimental test of the carbon-nutrient balance hypothesis.	Ecology Letters	2009
VERSCHOOR, Antonie M.; VAN DIJK, Mark A.; HUISMAN, Jef; VAN DONK, Ellen.	Elevated CO ₂ concentrations affect the elemental stoichiometry and species composition of an experimental phytoplankton community.	Freshwater Biology	2012
VERSPAGEN, Jolanda M. H.; WAAL, Dedmer B. van de; FINKE, Jan F.; VISSER, Petra M.; HUISMAN, Jef.	Contrasting effects of rising CO ₂ on primary production and ecological stoichiometry at different nutrient levels.	Ecology Letters	2014

VERSPAGEN, Jolanda M. H.; WAAL, Dedmer B. van de; FINKE, Jan F.; VISSER, Petra M.; VAN DONK, Ellen; HUISMAN, Jef.	Rising CO ₂ Levels Will Intensify Phytoplankton Blooms in Eutrophic and Hypertrophic Lakes.	PlosOne	2014
WINSTON, Byron; SCOTT, J. Thad; POLLOCK, Erik.	The synergistic effect of elevated CO ₂ and phosphorus on reservoir eutrophication.	Lake and Reservoir Management	2016

Combinação 4: CO₂ + EUT + ENN

Autor	Título	Revista	Ano
GUFU, GuyoDuba; MANEA, Anthony; LEISHMAN, Michelle R.	Experimental evidence that CO ₂ and nutrient enrichment do not mediate interactions between a native and an exotic free-floating macrophyte.	Hydrobiologia	2019
LIU, Jun-Zhi; GE, Ya-Ming; ZHOU, Yu-Fei; TIAN, Guang-Ming.	Effects of Elevated CO ₂ on Growth and Nutrient Uptake of <i>Eichhornia crassipe</i> Under Four Different Nutrient Levels.	Water, Air, & Soil Pollution	2010
MORMUL, Roger Paulo; THOMAZ, Sidinei Magela; JEPPESEN, Erik.	Do interactions between eutrophication and CO ₂ enrichment increase the potential of elodeid invasion in tropical lakes?	Biological Invasions	2020
SPIERENBURG, P.; LUCASSEN, E.C.H.e.T.; LOTTER, A.F.; ROELOFS, J.G.M	Could rising aquatic carbon dioxide concentrations favour the invasion of elodeids in isoetid-dominated softwater lakes?	Freshwater Biology	2009
WU, Zhongxing; ZENG, Bo; LI, Renhui; SONG, Lirong.	Combined effects of carbon and phosphorus levels on the invasive cyanobacterium, <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i> .	Phycologia	2012