
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)**

**EFEITOS DAS VARIAÇÕES DE TEMPERATURA RELACIONADOS ÀS
MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS SOBRE AS RESPOSTAS
FOTOSSINTÉTICAS DE MACROALGAS LÓTICAS TROPICAIS**

LUCAS KORTZ VILAS BOAS

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Julho – 2016

LUCAS KORTZ VILAS BOAS

Efeitos das variações de temperatura relacionados às mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas de macroalgas lóxicas tropicais

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Orientador: Prof. Dr. Ciro Cesar Zanini Branco

Rio Claro
2016

589.3 Vilas Boas, Lucas Kortz
V697e Efeitos das variações de temperatura relacionados às
mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas
de macroalgas lóxicas tropicais / Lucas Kortz Vilas Boas. -
Rio Claro, 2016
76 f. : il., figs., gráfs., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Ciro Cesar Zanini Branco

1. Alga. 2. Mudanças climáticas. 3. Temperatura. 4.
Fotossíntese. 5. Macroalgas. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Efeitos das variações de temperatura relacionados às mudanças climáticas globais sobre as respostas fotossintéticas de macroalgas lólicas tropicais

AUTOR: LUCAS KORTZ VILAS BOAS

ORIENTADOR: CIRO CESAR ZANINI BRANCO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGIA VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. CIRO CESAR ZANINI BRANCO

Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências e Letras de Assis - SP



Profa. Dra. RENATA GIASSI UDULUTSCH

Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências e Letras de Assis - SP



Prof. Dr. EDSON FONTES DE OLIVEIRA

Curso de Engenharia Ambiental / Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Londrina/PR

Rio Claro, 26 de julho de 2016

Agradecimentos

Ao prof. Dr. Ciro Cesar Zanini Branco, pela orientação e por compartilhar comigo sua paixão pela ciência. Agradeço por todos os conselhos, pelas palavras de incentivo e também pela amizade proporcionada nesses anos.

Ao meu “irmão acadêmico” e amigo Régis por toda a ajuda fornecida na realização desse trabalho, pelas conversas e discussões científicas e pelas risadas.

Ao prof. Dr. Pitágoras C. Bispo, pelas conversas esclarecedoras e simpatia.

Aos colegas do Laboratório de Biologia Aquática pela agradável companhia diária e pelas conversas descontraídas.

Aos meus pais, Osmar e Áurea, pelo amor, incentivo e por me apoiarem e me fortalecerem em momentos difíceis e de cansaço. Muito obrigado por sempre acreditarem e confiarem em mim.

Ao meu irmão Léo, pelas risadas, pelos momentos de descontração e por confiar em mim para procurar sanar suas dúvidas de biologia.

À minha tia Aldinha, pelo carinho e todos os “bons trabalhos” diários.

À minha avó Zélia, pelo amor, carinho e cuidados fornecidos.

À minha querida Franciane, pelo companheirismo, carinho, amor e apoio. Obrigado por me incentivar e por estar sempre ao meu lado compartilhando e promovendo tantos momentos felizes.

Ao Adriano, pela hospitalidade em Rio Claro e pela amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo auxílio financeiro.

“A sabedoria da natureza é tal que não produz nada de supérfluo ou inútil. ”

Nicolau Copérnico

RESUMO

Apesar da existência de ciclos de alterações da temperatura média global na história da Terra, atividades antrópicas têm causado um aumento das concentrações de gases do efeito estufa na atmosfera desde a revolução industrial, causando mudanças climáticas já observadas nas últimas décadas. Tais mudanças climáticas afetam os organismos de ambientes aquáticos continentais, incluindo os produtores primários (p.ex., macroalgas). Utilizando as técnicas da evolução da concentração de oxigênio dissolvido, da concentração de pigmentos fotossintetizantes e da fluorescência da clorofila *a*, avaliou-se o efeito do aumento de temperatura devido ao aquecimento global, previsto em dois cenários futuros (RCP 4.5 e RCP 8.5 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC) sobre as respostas fotossintéticas de macroalgas lóticis. As temperaturas controle foram determinadas, para os períodos de inverno e verão, a partir da temperatura média de riachos da região onde as amostras de macroalgas (Filos Rhodophyta, Cyanobacteria e Chlorophyta) foram coletadas e as temperaturas experimentais calculadas adicionando-se os aumentos previstos pelos cenários testados do IPCC. A resposta à simulação dos cenários do IPCC se deu de modo espécie-específico, contudo, os resultados gerais indicaram que dentre as espécies testadas, as Rhodophyta (*Batrachospermum helminthosum* Bory, *Sirodotia delicatula* Skuja e estágio “Chantransia”) teriam sua eficiência fotossintética prejudicada com o aumento de temperatura, principalmente no cenário RCP 8.5 no verão. Adicionalmente, a maior parte das Chlorophyta investigadas não mostrou perdas significativas na produtividade, com algumas espécies demonstrando inclusive uma melhor performance nos cenários experimentais em relação ao controle. Dessa maneira, na possível concretização do cenário RCP 8.5, a contribuição autóctone das Rhodophyta em riachos seria prejudicada, um efeito que poderia impactar em toda a teia trófica, especialmente em ambientes lóticis sombreados de baixas ordens, onde algas vermelhas estão entre os principais produtores primários. Ao mesmo tempo, a eventual confirmação das previsões do cenário RCP 8.5 poderia produzir um aumento na riqueza, abundância e distribuição de algas verdes, podendo impactar em aspectos importantes das comunidades de produtores primários dos ambientes lóticis.

Palavras-chave: mudanças climáticas, temperatura, fotossíntese, macroalgas.

ABSTRACT

Despite the existence of global mean temperature shift cycles in Earth's history, anthropogenic activities have been causing an increase in the concentration of greenhouse gases since the industrial revolution, inducing the climate changes already observed over the last decades. Such climate changes affect freshwater organisms, including primary producers (i.e. macroalgae). Using the techniques of dissolved oxygen evolution, photosynthetic pigments concentration and chlorophyll *a* fluorescence, we evaluated the effect of projected temperature increase due to global warming of two future scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5 of the Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) on the photosynthetic response of lotic macroalgae. Control temperatures were determined, for summer and winter seasons, from the mean temperature of streams of the region where macroalgae samples (phyla Rhodophyta, Cyanobacteria and Chlorophyta) were collected and experimental temperatures were calculated adding the projected increase of the tested IPCC scenarios. The response to the IPCC scenarios simulation showed a species-specific pattern, although results in general indicated that within tested species, the red algae (*Batrachospermum helminthosum* Bory, *Sirodotia delicatula* Skuja and “Chantransia” stage) would have their photosynthetic efficiency impaired with temperature increase, especially in scenario RCP 8.5 during the summer. In addition, most Chlorophyta investigated did not show a significant productivity loss, with some species demonstrating an improved performance in the experimental scenarios. Hence, if global warming scenario RCP 8.5 comes to occur, the autochthonous contribution of Rhodophyta would be jeopardized, an effect that could propagate throughout the entire food web, especially in shaded, low-order, lotic ecosystems, where red algae are among the main primary producers. Furthermore, the eventual confirmation of RCP 8.5 scenario predictions could result in a boost of green algae richness, abundance and distribution, which may impact important aspects of the primary producers' community in lotic environments.

Keywords: climate change, temperature, photosynthesis, macroalgae.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 15 |
| 2.1. Coleta e preparação dos espécimes algais | 15 |
| 2.2. Determinação das temperaturas experimentais..... | 16 |
| 2.3. Análises experimentais | 17 |
| 2.4. Análise dos dados | 19 |
| 3. RESULTADOS..... | 19 |
| 3.1. Filo Rhodophyta | 19 |
| 3.2. Filo Cyanobacteria..... | 24 |
| 3.3. Filo Chlorophyta | 25 |
| 4. DISCUSSÃO..... | 34 |
| 4.1. Rhodophyta | 34 |
| 4.2. Cyanobacteria | 37 |
| 4.3. Chlorophyta | 38 |
| 5. CONCLUSÃO | 42 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 44 |
| TABELAS E FIGURAS..... | 58 |

1. INTRODUÇÃO

A temperatura é um agente físico altamente relevante na manutenção e no desenvolvimento da vida como a conhecemos. Em nosso planeta os organismos são encontrados ocupando uma amplitude de temperatura que varia em aproximadamente 300°C (Odum e Barret, 2013). A maior parte deles, entretanto, vive dentro em uma faixa mais estreita de temperatura, entre 15°C e 80°C, sendo que os organismos que possuem seu crescimento ideal em temperaturas além dessa extensão são considerados extremófilos (Rothschild e Mancinelli, 2001). Neste caso, são classificados como hipertermófilos ou psicrófilos quando se desenvolvem melhor acima de 80°C ou abaixo de 15°C, respectivamente (Rothschild e Mancinelli, 2001).

A atmosfera terrestre é fundamental para que a temperatura seja mantida em valores relativamente estáveis e conseqüentemente proporcionar condições favoráveis à vida. Há 2,3 bilhões de anos, estima-se que o Sol teria apenas 70% de sua capacidade energética atual e dessa maneira não forneceria calor suficiente para manter água em estado líquido em nosso planeta (Kasting, 2010). Há várias hipóteses que tentam explicar como a Terra se manteve quente o suficiente para o surgimento de água líquida, sendo que a maioria delas está relacionada à composição dos gases atmosféricos no período arqueano, particularmente as altas concentrações de amônia NH_4 (Sagan e Mullen, 1972), gás carbônico (CO_2) (Walker, 1985) e hidrogênio (H_2) (Tian et al., 2005). Contudo, dentre todas as hipóteses apresentadas, as mais aceitas atualmente apontam para a alta concentração atmosférica de gás metano (CH_4) (Pavlov et al., 2000) e a menor capacidade de reflexão da energia solar (Rosing et al., 2010). Os gases envolvidos na manutenção da temperatura terrestre também são conhecidos como gases do efeito estufa, uma vez que sua presença na atmosfera responde pelo fenômeno do efeito estufa, responsável por manter a temperatura terrestre cerca de 30°C mais quente que na eventual ausência dos mesmos (Samimi e Zarinabadi, 2012; WMO, 2013).

Na história da atmosfera terrestre, os valores médios de temperatura globais sofreram profundas variações. Através de estudos paleoclimáticos, percebeu-se a presença de ciclos de eras glaciais, ocorrendo aproximadamente a cada 100.000 anos, com uma variação de temperatura tipicamente da ordem de 5° a 7°C, porém variações mais pronunciadas, da ordem de 10° a 15°C, já foram observadas em algumas regiões do globo (Folland, Karl e Vinnikov, 1990). As alterações nos valores médios de temperatura

terrestre estão diretamente relacionadas às alterações no balanço de energia radiativa do nosso planeta, mediado pelo chamado "forçamento radiativo". O conceito de forçamento radiativo pode ser definido como o fluxo de energia entre a superfície do planeta e a troposfera (Hansen, Sato e Ruedy, 1997; Iacono et al., 2008). Reconstruções e modelagens das variações climáticas de décadas anteriores ao período industrial demonstraram que o forçamento radiativo variou de acordo com a ocorrência de eventos naturais, como erupções vulcânicas e variações na irradiância solar (Solomon et al., 2007).

Há um relativo consenso de que a grande liberação de poluentes atmosféricos a partir da revolução industrial, a utilização de clorofluorcarbonetos (CFCs), a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento foram, e são, os grandes contribuintes para o aumento da concentração de gases do efeito estufa e, conseqüentemente, do aumento da temperatura média global e do forçamento radiativo de nosso planeta nas últimas décadas (Berntsen et al., 1997; Canadell et al., 2007; Solomon et al., 2007; Samimi e Zarinabadi, 2012). Um aumento na temperatura média global foi observado entre os anos de 1880 a 1940, com uma pequena queda até os anos 1970, voltando a aumentar posteriormente (Skinner e Murck, 2011). Apesar da pequena quantidade de dados climáticos globais obtidos anteriormente ao ano 1850, estima-se que as temperaturas mensuradas nos últimos 50 anos apresentaram os valores mais elevados em pelo menos 1300 anos (Solomon et al., 2007). O aumento observado de 0,65°C de 1901 a 2006 é reconhecido como o maior aumento de todos os tempos, pelo menos desde o século XII (Trenberth et al., 2007).

Em 1988, através do programa ambiental da Organização das Nações Unidas (UNEP) e da Organização Meteorológica Mundial (WMO), foi criado o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). O objetivo mais relevante estabelecido para o IPCC foi o de estimar/mensurar as mudanças climáticas causadas por atividades antrópicas, procurando, ao mesmo tempo, prever as suas conseqüências em cenários futuros a fim de auxiliar a tomada de decisões políticas e a formulação de respostas e estratégias (IPCC, 1990). Em um período de aproximadamente 25 anos, o IPCC revisou dados presentes na literatura e através de modelagens matemáticas/computacionais desenvolveu diversos cenários futuros relacionados às mudanças climáticas de origem antropogênica em nosso planeta, avaliando não somente o aumento da temperatura média global, mas também conseqüências como o aumento do

nível do mar (Rahmstorf, 2007), alterações em padrões de precipitação e aumento de eventos climáticos extremos (Meehl et al., 2000; Meehl e Tebaldi, 2004; Sillmann e Roeckner, 2008).

Em sua mais recente publicação, o IPCC desenvolveu quatro novos cenários, nomeados através da sigla de “*Representative Concentration Pathways (RCP)*” e de acordo com o valor estimado de forçamento radiativo para os anos 2081-2100 em comparação com o ano 1750 (IPCC, 2013). O primeiro cenário (RCP 2.3) seria alcançado através do desenvolvimento de uma política global de mitigação das mudanças climáticas; os dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6) corresponderiam a políticas de estabilização da emissão de gases do efeito estufa; e o último cenário (RCP 8.5) corresponde a um futuro com grande emissão de gases do efeito estufa (IPCC, 2013).

Apesar de ainda não haver um consenso no futuro custo econômico de nossa emissão de carbono atual (Pindyck, 2013), estima-se que o impacto social será grande, principalmente em relação à agricultura e à produção de alimentos (Rosenzweig et al., 2001; Deschenes e Greenstone, 2012; Fisher et al., 2012), especialmente em países em desenvolvimento (Mirza, 2003).

Em relação à biodiversidade, as consequências se mostram, do mesmo modo, preocupantes. O trabalho de Thomas et al. (2004), utilizando espécies endêmicas de várias regiões do globo e modelagens climáticas, previu que a partir de 2050 entre 15 e 37% das espécies endêmicas estarão fadadas à extinção. Esses valores são similares ao predito pelo IPCC (30%), caso o aumento de temperatura dos anos 2100 em relação a 1990 seja semelhante ao aumento já observado de 1900 a 2000. Caso o aumento de temperatura seja ainda maior, a taxa de espécies ao redor do globo em risco de extinção pode alcançar proporções entre 40% e 70% (Bernstein et al., 2007). Apesar de ciclos de mudanças climáticas terem ocorrido na história da Terra sem impactos aparentes na perda de biodiversidade, o risco atual é agravado pelas mudanças concomitantes de paisagens produzidas pelas atividades antrópicas (Lovejoy, 2008). Além disso, com a magnitude prevista das mudanças climáticas, as reservas ecológicas atuais não seriam suficientemente capazes de proteger a biodiversidade global, além de correrem sério risco de desaparecerem (Heller e Zavaleta, 2009).

Alguns eventos ecológicos relacionados ao aumento da temperatura média global já têm sido relatados ao redor do mundo. O caso mais facilmente observável relaciona-se a alterações fenológicas de algumas espécies, principalmente aquelas

localizadas no hemisfério norte, onde eventos sazonais que ocorriam com a chegada da primavera estão ocorrendo mais cedo (Walther et al., 2002). Outros casos de interferências do aumento da temperatura nas respostas biológicas e/ou ecológicas têm sido observados quando se analisa o deslocamento dos limites de distribuição geográfica de espécies típicas de climas frios para altitudes e latitudes maiores. Neste contexto, Kelly e Goulden (2008) observaram que o limite altitudinal de distribuição de plantas nas montanhas de Santa Rosa, no sul da Califórnia, se elevou, em média, 65 metros entre 1976-2006 sem uma relação aparente com a poluição do ar ou frequência de fogo. Eventos de extinção de espécies endêmicas relacionados ou agravados pelas mudanças climáticas ocorrida dos anos 70 aos anos 2000 também já foram reportados em alguns lugares do planeta (Pounds e Crump, 1994; Sinervo et al., 2010).

Os ecossistemas terrestres serão afetados diferentemente pelas mudanças climáticas globais. Nesse sentido, a ação de diferentes agentes antrópicos sinérgicos às mudanças de temperatura, tais como a mudança no uso do solo, a poluição e o aumento da população humana (Rosenzweig, 2008), são particularmente relevantes. Estima-se que o uso do solo será o agente que mais irá amplificar, em associação com às mudanças climáticas, a perda da biodiversidade das florestas tropicais e temperadas do hemisfério sul (Sala et al., 2000). Para os ecossistemas alpinos e boreais, pouca ação sinérgica de outras ações antrópicas será observada, sendo a variação de temperatura o principal responsável pela perda da biodiversidade nestes biomas, ao passo que para os ecossistemas mediterrâneos, as savanas e os ambientes temperados do hemisfério norte diversas ações antrópicas, como o uso do solo, a invasão de espécies exóticas e a poluição (Sala et al., 2000), poderão contribuir, sinergicamente com as mudanças climáticas, para a perda do número de espécies.

Nos ecossistemas marinhos, estima-se que o impacto das mudanças climáticas será mais relacionado às mudanças na composição química e nos padrões de circulação dos oceanos (Harley et al., 2006). Algumas respostas a essas influências já foram observadas, como a diminuição na complexidade de habitats, especialmente em recifes de corais (Hoegh-Guldberg, 1999; Hoegh-Guldberg et al., 2007) e nas “florestas” de macroalgas (Harley et al., 2012). Contudo, atividades antrópicas sinérgicas também podem agravar a perda de diversidade marinha (Folke et al., 2004), como as atividades de pesca, a construção de barreiras marítimas, o escoamento de efluentes em zonas litorâneas e a destruição de ecótonos (Scavia et al., 2002; Crain, Kroeker e Halpern,

2008). No futuro, essas condições podem criar situações ecológicas irreversíveis para os ambientes marinhos (Hoegh-Guldberg e Bruno, 2010).

As mudanças climáticas globais também irão afetar os ambientes aquáticos continentais, provocando, principalmente, mudanças na temperatura da água e nos padrões de precipitação (Engelman et al., 2008). Alterações nessas variáveis poderão afetar os níveis de água dos corpos d'água, modificando a distribuição de áreas úmidas (Erwin, 2009) e influenciando a estratificação de lagos (Nickus et al., 2010). Além disso, a frequente utilização humana dos habitats próximos a rios e lagos ainda agrava o problema (Malmqvist et al., 2008). De maneira geral, estima-se que, por serem áreas relativamente isoladas, fragmentadas e cercadas de terra e já bastante degradadas pela utilização humana, os ecossistemas aquáticos continentais são muito susceptíveis à perda de biodiversidade provocada pelas mudanças climáticas e atividades antrópicas sinérgicas (Ricciardi e Rasmussen, 1999; Woodward Perkins e Brown, 2010). Dentre os ambientes aquáticos continentais, a biodiversidade dos ecossistemas lóticos seria mais ameaçada que a presente em ecossistemas lênticos, uma vez que rios e riachos, além de possuírem características estruturais que dificultariam novas colonizações, são profundamente influenciados por escoamentos superficiais que por sua vez podem alterar as características químicas da água (Sala et al., 2000). Além disso, nos ecossistemas lóticos, por conta de sua continuidade longitudinal, um impacto na sua porção superior inicial (p.ex., nas nascentes) pode causar efeitos ramificados nas suas porções inferiores (Malmqvist et al., 2008).

Nos ecossistemas lóticos, em especial aqueles localizados em regiões de clima temperado, a energia proveniente de origem externa (alóctone) representa uma grande fonte de recurso para a manutenção dos organismos consumidores desses ambientes (Tank et al., 2010). Contudo, devido à grande complexidade dos fatores ambientais, além da enorme variedade de espécies consumidoras, nos ecossistemas lóticos localizados nas regiões tropicais a influência capital da energia alóctone não se prova completamente verdadeira para todos os rios e riachos tropicais (Lau, Leung e Dudgeon, 2008). Nessas regiões, o tipo de sustentação energética alóctone ou autóctone é uma característica particular de cada rio/riacho individualmente (Boyero et al., 2009). Dessa maneira, nas regiões tropicais, mesmo em riachos florestados a energia fornecida pelos produtores primários (autóctone) se apresenta como uma importante fonte para a manutenção da teia trófica (March e Pringle, 2003; Mantel, Salas e Dudgeon, 2004). Levando-se em conta

esta especificidade dos ecossistemas lóticos, o aumento da temperatura relacionado às mudanças climáticas globais nos rios e riachos tropicais pode, eventualmente, representar uma variável ambiental com forte influência sobre o papel ecológico dos produtores primários e conseqüentemente provocar um efeito de cascata, influenciando fortemente a estrutura dos ecossistemas lóticos tropicais como um todo.

A comunidade de algas bentônicas, incluindo o perifíton e as macroalgas, se destaca dentre os produtores primários lóticos por fornecerem uma parte significativa da produção primária líquida desses ambientes (Stevenson, 1996), que pode chegar a até 90% em alguns riachos autotróficos (Arscott, Bowden e Finlay, 1998). Mesmo em riachos tipicamente heterotróficos, as macroalgas ainda se apresentam como uma importante fonte de alimento para os consumidores (March e Pringle, 2003), uma vez que são mais facilmente digeridas, contém componentes essenciais para os consumidores e são mais nutritivas que detritos (Mayer e Likens, 1987). Adicionalmente, as macroalgas contribuem para o aumento da complexidade de habitat e, conseqüentemente, da riqueza nos ambientes lóticos (Downes et al., 2000).

Se considerarmos a relevância das mudanças climáticas globais para as alterações na temperatura do planeta e a importância das comunidades de algas bentônicas, em especial as macroalgas, percebe-se que há o real risco de observarmos a ocorrência de efeitos sobre o desempenho ecofisiológico deste grupo de produtores primários. Em última análise, estes efeitos poderiam provocar alterações significativas não apenas na estrutura das comunidades de algas bentônicas *per se*, mas também no funcionamento do ecossistema como um todo ("efeito cascata"). A origem teórica do presente estudo levou em consideração justamente a possibilidade de ocorrência de tais efeitos. Assim, este trabalho teve como objetivo mensurar os impactos das potenciais mudanças de temperatura relacionadas às mudanças climáticas globais, conforme a previsão de dois cenários futuros propostos pelo IPCC (IPCC, 2013), sobre as respostas fotossintéticas de espécies de macroalgas de ambientes lóticos tropicais.

Foram estabelecidas as seguintes hipóteses iniciais que nortearam este estudo:

- 1) As variações de temperatura previstas pelo IPCC devem afetar significativamente as respostas fotossintéticas das macroalgas lóticas como um todo;
- 2) Apesar das variações espécie-específicas, deve haver uma certa coerência nas respostas fotossintéticas de espécies de um mesmo filo algal;
- 3) Por conta de especificidades ecológicas, como a característica formação de blooms e maior afinidade com

temperaturas elevadas em comparação às algas eucarióticas (Kosten et al, 2012) espécies do Filo Cyanobacteria devem sofrer efeitos negativos menos intensos nas respostas fotossintéticas do que espécies dos Filos Chlorophyta e Rhodophyta. Dentre esses dois filios, as Rhodophyta, por possuírem uma distribuição característica de ambientes sombreados (Necchi Júnior, 2016) devem sofrer um efeito negativo mais expressivo que espécies do Filo Chlorophyta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta e preparação dos espécimes algais

As espécies de macroalgas de ecossistemas lóticos utilizadas nos experimentos envolvendo a avaliação das respostas fotossintéticas quando expostas às condições de temperatura dos diferentes cenários preditos pelo IPCC foram as seguintes: *Batrachospermum helminthosum* Bory, *Sirodotia delicatula* Skuja e estágio “Chantransia”, do Filo Rhodophyta; *Phormidium retzii* Kützing ex Gomont do Filo Cyanobacteria; *Desmidium grevillei* (Kützing ex Ralfs) De Bary, *Nitella microcarpa* A. Braun var. *wrightii* Groves & Groves, *Nitella subglomerata* A. Braun, uma espécie de *Oedogonium* Link ex Hirn e outra de *Spirogyra* Link do Filo Chlorophyta.

Devido à falta de material amostral no período de coleta durante a estação de inverno, as espécies *Batrachospermum helminthosum* e *Phormidium retzii* foram avaliadas apenas no verão. Além disso, uma segunda espécie de cianobactéria, *Oscillatoria princeps* Vaucher ex Gomont, foi testada experimentalmente, porém os espécimes utilizados nos tratamentos (incluindo os dos controles) mostraram um severo desgaste fisiológico sob as condições de cultura, tornando os dados pouco confiáveis e difíceis de serem analisados. Por conta desta incerteza, tais resultados foram retirados do trabalho.

Todos os espécimes utilizados nos experimentos foram coletados em ecossistemas lóticos de baixas ordens da microbacia do Cervo, localizada na região oeste do estado de São Paulo. Após coletados, os espécimes algais foram conduzidos ao laboratório em frascos contendo água do próprio local onde foram encontrados. No laboratório, os espécimes foram cuidadosamente limpos com o auxílio de microscópio estereoscópico e pincéis de cerdas duras e jatos de água destilada, a fim de retirar

possíveis sedimentos e epífitos associados ao talo. Após a limpeza, os espécimes foram pesados e separados em amostras de 0,150g, com $n = 8$ amostras para cada tratamento.

As amostras foram então transferidas para erlenmeyers de 150 ml contendo 100ml de meio básico de Bold (Watanabe, 2005) e prontamente aclimatadas nas condições experimentais. Para isto os espécimes foram mantidos em incubadoras tipo B.O.D. (marca Nova Ética, modelo 411/FDP355) sob a temperatura determinada para cada tratamento experimental, irradiância constante ($140 \text{ umol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e fotoperíodo de 12h/12h (ciclo claro/escuro). As medidas de irradiância nas incubadoras foram efetuadas com auxílio de um quantômetro, marca Li-cor, modelo LI-189, acoplado a um sensor quantum esférico, modelo LI-193 AS. As amostras permaneceram sob tais condições de cultura por um período de 10 dias, onde posteriormente foram efetuadas as análises experimentais. A fim de evitar depleção de nutrientes, o meio de cultura das amostras foi renovado periodicamente a cada dois dias.

2.2. Determinação das temperaturas experimentais

Os valores das temperaturas experimentais foram calculados utilizando-se como base de referência um valor aproximado da média das temperaturas máximas (TM) dos riachos da microbacia do Cervo (Tabela 1; Figura 1), região onde os espécimes testados foram coletados. Para se determinar a TM foi conduzida uma avaliação da temperatura em riachos dessa bacia no período das 13:00 as 15:00 no verão e das 15:00 as 17:00 no inverno. A definição dos horários de coleta das temperaturas baseou-se em Necchi Júnior, Branco e Branco (1996), que mostraram que as temperaturas mais altas foram registradas às 14:00h e às 16:00h para a estação de verão e inverno, respectivamente. O estabelecimento das TM, bem como a coleta de material e a efetiva execução dos experimentos, foram realizados para o verão e para o inverno pois a condução dos experimentos nestes dois momentos sazonais permitiu avaliar mais precisamente o efeito da variação de temperatura também sob uma perspectiva sazonal. Dessa forma, com base nas amostragens, os valores da TM da microbacia do Cervo para as estações verão e inverno corresponderam a $23,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e $20,8 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente (Tabela 1).

A partir dos valores de TM foram então calculados os valores das temperaturas experimentais (TE) com base em dois dos cenários futuros apresentados no 5º Relatório de Avaliação do IPCC (Collins et al., 2013) para a região tropical. O primeiro cenário

considerado foi o cenário RCP 4.5, no qual se prevê a estabilização na liberação de carbono na atmosfera e uma amplitude do aumento da temperatura da ordem de 0,9°C a 2,3°C. O segundo cenário utilizado foi o RCP 8.5, no qual se trabalha com uma grande emissão de carbono pela queima de combustíveis fósseis para o crescimento econômico e com uma amplitude de aumento da temperatura variando entre 2,2°C a 4,4°C. Ambos os cenários apresentam como perspectiva temporal os anos de 2081 a 2100.

Neste contexto, o cálculo efetivo dos valores das TEs às quais os táxons foram submetidos experimentalmente se deu pela adição do valor máximo da amplitude do aumento de temperatura previsto para cada cenário à TM da área de estudo. A partir desta metodologia foram determinadas as seguintes temperaturas experimentais: i) para o grupo Controle foi utilizada as Temperaturas Médias (TM) dos riachos da microbacia do Cervo no verão (ControleV) e no inverno (ControleI); ii) para o cenário RCP 4.5 as temperaturas experimentais foram calculadas, para o verão e o inverno, com base na fórmula $TM + 2,3^{\circ}C$. Assim, para o tratamento com base nas temperaturas de verão (RCP 4.5v) a temperatura experimental calculada foi de $25,3^{\circ}C$ ($23,0+2,3$) e para tratamento com base na temperatura de inverno (RCP 4.5i) a temperatura experimental calculada foi de $23,1^{\circ}C$ ($20,8+2,3$); iii) para o cenário RCP 8.5, foram calculadas tanto para o verão como inverno, as temperaturas experimentais como sendo $TM + 4,4^{\circ}C$. Assim, para o tratamento RCP 8.5v a temperatura experimental calculada foi de $27,4^{\circ}C$ ($23,0+4,4$) e para o tratamento RCP 8.5i a temperatura experimental calculada foi de $25,2^{\circ}C$ ($20,8+4,4$).

2.3. Análises experimentais

As respostas fotossintéticas dos táxons investigados foram avaliadas através da técnica da evolução do oxigênio dissolvido (Necchi Júnior e Zucchi, 2001; Vieira Júnior e Necchi Júnior, 2003), da quantificação de pigmentos fotossintéticos e da fluorescência da clorofila *a* (Baker, 2008). As espécies *B. helminthosum* e *P. retzii* não foram avaliadas através da técnica de fluorescência da clorofila *a*, pois a aquisição do equipamento utilizado nessa análise ocorreu posteriormente à coleta e manipulação experimental das amostras dessas macroalgas.

Considerando as análises de oxigênio dissolvido, a fotossíntese líquida e de respiração no escuro foram determinadas com a utilização da técnica das garrafas claras e escuras (Littler e Arnold, 1985; Thomas, 1988). Neste caso, o cálculo da fotossíntese

líquida foi efetuado com base na variação da concentração de oxigênio dissolvido inicial e final nas garrafas claras, e o cálculo da respiração no escuro com base na variação da concentração do oxigênio dissolvido inicial e final nas garrafas escuras, ambas após incubação de um período de uma hora em seus respectivos tratamentos de temperatura. As medições do oxigênio dissolvido foram efetuadas através de oxímetro com barômetro e eletrodo com auto agitação marca YSI, modelo 5100.

Os cálculos dos valores finais da fotossíntese líquida foram realizados de acordo com o proposto por Littler e Arnold (1985), como se segue: $FL = [(F)-(I)]*V/Ti/PS$ e $R = [(I)-(F)]*V/Ti/PS$ onde FL: fotossíntese líquida; R: respiração no escuro; (F): concentração final de oxigênio dissolvido após o período de incubação; (I): concentração inicial de oxigênio após o período de incubação; V: volume de meio no frasco; Ti: tempo de incubação; PS: peso seco.

Após a avaliação da evolução do oxigênio dissolvido, os espécimes algais foram destinados ao processo de quantificação por espectrofotometria de pigmentos fotossintetizantes, especificamente a clorofila *a* e as ficobilinas (no caso das algas vermelhas e cianobactérias). Para a quantificação da clorofila *a* foi utilizada a técnica de Wetzel & Likens (2000) e para as ficobilinas a técnica de Beer & Eshel (1985).

As análises das respostas fotossintéticas a partir da técnica de fluorescência da clorofila *a* foram realizadas através de um fluorômetro Diving-PAM (Walz, Effeltrich, Germany). Após um período de 30 minutos de aclimação no escuro, as amostras foram posicionadas sobre a fibra óptica do equipamento e através da função "Curva de Indução" ("Induction Curve") (Schreiber et al., 1995), 12 pulsos de luz saturante ($2000\mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^2.s^{-1}$) com duração de 0,8s foram aplicados em intervalos de 15s, foram avaliados os seguintes parâmetros (Klughammer e Schreiber, 2008): i) rendimento quântico efetivo do fotossistema II ("Y(II)"); ii) taxa relativa de transporte de elétrons ("rETR"); iii) rendimento quântico da perda de energia não fotoquímica regulada no fotossistema II ("Y (NPQ)"); iv) rendimento quântico da perda de energia não fotoquímica não regulada no fotossistema II ("Y (NO)"); v) dissipação de energia no complexo antena ("D") e vi) dissipação de energia no centro de reação fotossintética ("E").

2.4. Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos inicialmente a estatística descritiva. As diferenças nas respostas fotossintéticas dos espécimes foram avaliadas pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) e, posteriormente, os resultados não paramétricos e paramétricos foram avaliados através da Análise de Variância de Kruskal-Wallis (Theodorsson-Norheim, 1986) e da Análise de Variância de Scott-Knott (Scott e Knott, 1974) respectivamente. Os testes estatísticos foram conduzidos com o auxílio do pacote estatístico Sisvar (Ferreira, 2011) e do software Past 3.13 (Hammer, Harper e Ryan, 2001).

3. RESULTADOS

3.1. Filo Rhodophyta

Batrachospermum helminthosum Bory

Considerando as espécies do filo Rhodophyta analisadas no presente trabalho, *B. helminthosum* foi a mais afetada pelo aumento de temperatura. Apesar dessa espécie só ter sido avaliada nos tratamentos correspondentes à estação de verão, a fotossíntese líquida diminuiu em grandes proporções com o aumento de temperatura (valores 79% e 87% menores para RCP 4.5v e 8.5v, respectivamente) (Figura 2A).

Foi possível observar uma diminuição nos valores de respiração no escuro da ordem de 51% no tratamento RCP 4.5v e 40% no tratamento RCP 8.5v, quando comparados ao ControleV (Figura 2B).

Na análise da concentração de ficobilinas, as maiores concentrações de ficoeritrinas e ficocianinas foram registradas no tratamento RCP 4.5v (710 μ g/g e 532 μ g/g, respectivamente) seguidas das concentrações no ControleV (318 μ g/g e 360 μ g/g) e no tratamento RCP 8.5v (298 μ g/g e 272 μ g/g) (Figura 2C).

Além disso, foi possível observar uma diminuição na concentração de clorofila *a* dessa espécie com o aumento de temperatura nos dois cenários (1,16 μ g/mg em ControleV, 0,83 μ g/mg para RCP 4.5v e 0,67 μ g/mg para 8.5v) (Figura 2D).

Foi encontrada diferença significativa nos resultados dessa espécie apenas para a fotossíntese líquida através da análise de variância de Scott-Knott ($F=13,4$; $P<0,01$).

***Sirodotia delicatula* Skuja**

Na fotossíntese líquida, para as temperaturas de verão, o tratamento RCP 4.5v apresentou um valor médio 7% menor do que o ControleV, enquanto que o tratamento RCP 8.5v registrou um valor 21% maior que ControleV (Figura 3A). Os maiores valores na fotossíntese líquida no inverno para *S. delicatula* foram registrados para as temperaturas do ControleI, com os tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i apresentando valores médios 17% e 22% menores que o ControleI, respectivamente (Figura 3E).

Para a respiração no escuro nos tratamentos de verão, o tratamento RCP 4.5v apresentou um aumento de 3%, enquanto que no tratamento RCP 8.5v observou-se uma diminuição de 28%, ambos em relação ao ControleV (Figura 3B). Para os tratamentos de inverno houve um aumento de 10% e 13% nos valores médios dos tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i respectivamente quando comparados o ControleI (Figura 3F).

Para as temperaturas de verão, o tratamento RCP 8.5v apresentou a menor concentração de ficoeritrinas, com $5,73\mu\text{g/g}$, em comparação ao ControleV ($7,75\mu\text{g/g}$) e ao tratamento RCP 4.5v ($8,19\mu\text{g/g}$) (Figura 3C). Para as temperaturas de inverno, a concentração de ficoeritrinas mensurada no ControleI apresentou o maior valor ($14,13\mu\text{g/g}$), seguido dos tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i apresentando valores de $7,75\mu\text{g/g}$ e $8,19\mu\text{g/g}$, respectivamente (Figura 3G).

Para as ficocianinas, foi observado um aumento na concentração desses pigmentos em quase todos os cenários com aumento de temperatura. Para as temperaturas de verão, o ControleV apresentou um valor médio de $22,06\mu\text{g/g}$ e os tratamentos RCP 4.5v e 8.5v valores de $20,63\mu\text{g/g}$ e $37,13\mu\text{g/g}$, respectivamente (Figura 3C). Com relação as temperaturas de inverno, o ControleI registrou uma concentração de $7,08\mu\text{g/g}$, enquanto que o tratamento RCP 4.5i apresentou uma concentração média de $22,06\mu\text{g/g}$ e o tratamento RCP 8.5i de $20,63\mu\text{g/g}$ (Figura 3G).

Quanto à concentração de clorofila *a*, observou-se uma diminuição deste pigmento nos cenários experimentais. Nas temperaturas de verão, o ControleV apresentou uma média de $0,36\mu\text{g/mg}$, e os tratamentos RCP 4.5v e 8.5v apresentaram, ambos, concentrações médias de clorofila *a* de $0,30\mu\text{g/mg}$ (Figura 3D). Nas temperaturas

experimentais de inverno, o ControleI apresentou o maior valor médio deste pigmento, com 0,49 μ g/mg, enquanto que RCP 4.5i apresentou uma média de 0,36 μ g/mg e RCP 8.5i uma média de 0,30 μ g/mg (Figura 3H).

Não foi encontrada diferença estatística significativa ($P < 0,05$) na Análise de Variância de Scott-Knott entre os tratamentos e os grupos controle para a fotossíntese líquida, e na Análise de Variância de Kruskal-Wallis para a respiração no escuro e a concentração de pigmentos fotossintetizantes.

Nas análises baseadas na fluorescência da clorofila *a* de *Sirodotia delicatula* utilizando as temperaturas experimentais de verão, foram observados os resultados apontados a seguir. Essa espécie de alga vermelha apresentou valores médios de Y(II) de 0,08; 0,10 e 0,08 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v respectivamente. Para a dissipação de energia não fotoquímica regulada no fotossistema II Y(NPQ) os valores médios para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v foram de 0,41; 0,36 e 0,36 respectivamente. Para Y(NO), o tratamento RCP 8.5v apresentou o maior valor (0,56) em comparação a 0,51 do ControleV e 0,53 do RCP 4.5v. A taxa relativa de transporte de elétrons (rETR) para os tratamentos de verão foi de 12,07 para ControleV, 15,26 para RCP 4.5v e 11,50 para RCP 8.5v. Os valores de D foram de 0,44; 0,42 e 0,45 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v respectivamente e E de 0,46; 0,44 e 0,45 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v respectivamente.

Para os experimentos baseados nas temperaturas de verão, foi encontrada diferença estatística significativa entre os tratamentos e o grupo controle para a dissipação de energia não fotoquímica não regulada no fotossistema II (Y(NO)) ($P = 0,04$; $F = 4,23$).

As análises da fluorescência da clorofila *a* com base nas temperaturas de inverno mostraram que os valores de rendimento quântico efetivo (Y (II)) diminuíram no inverno com o aumento de temperatura, com valores de 0,11; 0,08 e 0,10 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. Ainda para as temperaturas de inverno os seguintes resultados foram registrados: i) O valor médio de Y(NPQ) para ControleI foi de 0,39; de 0,41 para RCP 4.5i e de 0,36 para RCP 8.5i; ii) Os valores de Y(NO) foram de 0,51; 0,51 e 0,53 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i respectivamente; iii) A taxa relativa de transporte de elétrons (rETR) foi de 14,26 para ControleI, 12,07 para RCP 4.5i e 12,02 para RCP 8.5i; iv) O ControleI apresentou um maior valor de D (0,50) em comparação aos tratamentos 4.5i (0,44) e 8.5i (0,42) e um menor valor de E (0,37) também em comparação aos dois tratamentos (0,46 para RCP 4.5i e 0,44 para RCP 8.5i).

A análise de variância de Scott-Knott para os parâmetros de fluorescência de clorofila *a* com base nas temperaturas de inverno apresentou diferença estatística significativa para a dissipação de energia no complexo antena (D) ($F=6,2$; $P<0,01$) e na dissipação de energia no centro de reação (E) ($F=9,7$; $P<0,001$).

Estágio “Chantransia”

O “Estágio Chantransia” apresentou uma diminuição na fotossíntese líquida nos dois tratamentos nas temperaturas de verão em relação ao ControleV, o tratamento RCP 4.5v apresentou uma diminuição no valor médio de fotossíntese líquida de 10%, e o tratamento RCP 8.5v uma diminuição no valor médio de 57% (Figura 4A). Já nos experimentos baseados nas temperaturas de inverno, essa macroalga apresentou diminuições na fotossíntese líquida de 26% e 34% em relação ao ControleI no tratamento RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente (Figura 4E).

Para a respiração no escuro, o tratamento 4.5v apresentou uma diminuição em relação ao ControleV da ordem de 15% e o tratamento 8.5v apresentou um aumento de 61% (Figura 4B). Dados dos experimentos com as temperaturas de inverno mostraram que o “estágio Chantransia” apresentou um aumento no valor médio de respiração no escuro, em relação ao ControleI, de 95% e 68% nos tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente (Figura 4F).

Considerando os dados de ficoeritrinas nos experimentos com as temperaturas de verão, o tratamento RCP 4.5v apresentou a maior concentração (4,41 μg de ficoeritrina por grama de Peso Seco), seguido do ControleV (2,76 $\mu\text{g/g}$) e do tratamento RCP 8.5v (1,96 $\mu\text{g/g}$) (Figura 4C). Nas temperaturas de inverno, a maior concentração foi encontrada no ControleI com 8,42 $\mu\text{g/g}$, seguido de 2,76 $\mu\text{g/g}$ e 4,41 $\mu\text{g/g}$ em RCP 4.5i e RCP 8.5i respectivamente (Figura 4G).

As concentrações de ficocianinas nas temperaturas experimentais de verão, apresentaram os maiores valores para os tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v (ambos com 4 $\mu\text{g/g}$), seguidos pelo ControleV, que registrou valor de 3,22 $\mu\text{g/g}$ (Figura 4C). No inverno, o tratamento RCP 8.5i apresentou a maior concentração de ficocianinas (4 $\mu\text{g/g}$) seguido do RCP 4.5i (3,22 $\mu\text{g/g}$) e ControleI (3,15 $\mu\text{g/g}$) (Figura 4G).

As concentrações de clorofila *a* foram iguais para o ControleV e tratamento RCP 8.5v, com 0,16 μg de clorofila *a* por miligrama de Peso Seco. O tratamento RCP 4.5v

apresentou, por sua vez, uma concentração maior (0,23 μ g/mg) (Figura 4D). Para as temperaturas de inverno, o ControleI e o tratamento RCP 8.5i também apresentaram concentrações iguais (0,23 μ g/mg), porém maiores que o tratamento RCP 4.5i (0,16 μ g/mg) (Figura 4G).

Diferenças estatísticas significativas foram observadas para a fotossíntese líquida ($F=4,2$; $P<0,05$) e para a respiração no escuro ($F=6,5$; $P<0,05$) na Análise de Variância de Scott-Knott entre os tratamentos de verão e o ControleV.

Para as temperaturas experimentais de verão os dados relativos aos parâmetros oriundos da técnica da fluorescência da clorofila *a* do estágio "Chantransia" estão descritos a seguir. Para o rendimento quântico efetivo do fotossistema II (Y(II)), RCP 8.5v apresentou uma diminuição em relação ao ControleV, com um valor de 0,002, enquanto ControleV e RCP 4.5v apresentaram valores de 0,04 e 0,05, respectivamente. O valor médio de Y(NPQ) foi maior no tratamento RCP 4.5v (0,48), seguido do ControleV (0,39) e do tratamento RCP 8.5v (0,11). O tratamento RCP 8.5v apresentou o maior valor na dissipação de energia não fotoquímica não regulada no fotossistema II (Y(NO)), com um valor médio de 0,89 nesse parâmetro, enquanto ControleV e RCP 4.5v apresentaram valores médios de 0,50 e 0,47, respectivamente. A taxa relativa de transporte de elétrons (rETR) foi maior no ControleV e tratamento RCP 4.5v (5,17 e 5,76, respectivamente) e menor no tratamento RCP 8.5v (0,24). Para a dissipação de energia no complexo antena (D), o maior valor foi encontrado no tratamento RCP 8.5v (0,91), seguido do ControleV (0,50) e do tratamento RCP 4.5v (0,40). Para a dissipação de energia no centro de reação (E), o maior valor foi observado no tratamento 4.5v (0,53), seguido do ControleV (0,44) e RCP 8.5v (0,09).

A análise de variância de Scott-Knott apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos e o grupo controle baseados nas temperaturas de verão para todos os parâmetros da fluorescência de clorofila *a*: i) Y(II) ($F=11,4$; $P<0,001$), ii) Y(NPQ) ($F=13,4$; $P<0,001$), iii) Y(NO) ($F=52,5$; $P<0,001$), iv) rETR ($F=11,0$; $P<0,01$), v) D ($F=73,5$; $P<0,001$) e vi) E ($F=108,4$; $P<0,001$).

Para as temperaturas experimentais baseadas nas medidas de inverno, os valores de Y(II) para "estágio Chantransia" foram de 0,05; 0,04 e 0,05 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. Os resultados dos demais parâmetros para as temperaturas experimentais de inverno estão apresentados a seguir. O ControleI apresentou um valor médio de 0,47 para Y(NPQ), enquanto para RCP 4.5i o valor médio foi de 0,39 e de 0,48

para RCP 8.5i. Para Y(NO) os valores médios foram de 0,48; 0,50 e 0,47 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. rETR foi menor no tratamento 4.5i, com valor médio de 5,17; enquanto que o ControleI e o tratamento RCP 8.5i apresentaram valores de 6,14 e 5,76, respectivamente. A dissipação de energia no complexo antena (D) demonstrou valores médios de 0,43; 0,50 e 0,40 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente e a dissipação de energia no centro de reação (E) valores médios de 0,50; 0,44 e 0,53 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i respectivamente.

Não foi encontrada diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos baseados nas temperaturas de inverno e o grupo controle para nenhum dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para “estágio Chlantrasia”.

3.2. Filo Cyanobacteria

Phormidium retzii Kützing ex Gomont

Quanto à fotossíntese líquida, *P. retzii* apresentou uma diminuição nesse parâmetro em relação ao ControleV nos cenários de aumento de temperatura. Os valores médios dos tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v foram 44% e 85% menores que à média do ControleV, respectivamente (Figura 5A).

Os valores médios da respiração no escuro também foram menores nos tratamentos, de modo que o RCP 4.5v apresentou uma diminuição de 65% em relação ao ControleV, e o RCP 8.5v um valor médio 56% menor que o valor médio do ControleV (Figura 5B).

P. retzii apresentou concentrações de ficoeritrinas de 89,74µg de por grama de Peso Seco no ControleV e 136µg/g e 106µg/g de ficoeritrinas para RCP 4.5v RCP 8.5v, respectivamente. Para as ficobilinas, o ControleV apresentou a mais alta concentração deste pigmento (253µg/g), seguido do tratamento RCP 4.5v (201µg/g) e RCP 8.5v (114µg/g) (Figura 5C).

Quanto a concentração de clorofila *a*, o valor médio mais alto deste pigmento foi encontrada no ControleV, com 4,09µg de clorofila *a* por miligrama de Peso Seco. Os tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v apresentaram médias de 2µg/mg e 1,16µg/mg (Figura 5D).

Foi encontrada diferença estatística significativa entre os tratamentos e o grupo controle de *P. retzii*, nas temperaturas experimentais de verão para a fotossíntese líquida ($F=47,7$; $P<0,001$) e para a respiração no escuro ($F=13,6$; $P<0,05$) na Análise de Variância de Scott-Knott.

3.3. Filo Chlorophyta

Desmidium grevillei (Kützing ex Ralfs) De Bary

Para a fotossíntese líquida de *Desmidium grevillei* nas temperaturas experimentais de verão, o ControleV apresentou o valor mais elevado quando comparado aos tratamentos, seguidos pelos RCP 4.5v com um valor médio 20% menor em relação ao ControleV, e RCP 8.5v, com um valor 2% menor também em relação ao ControleV (Figura 6A). Com relação às temperaturas experimentais de inverno, a fotossíntese líquida de *D. grevillei* apresentou o maior valor para o tratamento RCP 4.5i, que foi 23% superior do que o ControleI, ao passo que o tratamento RCP 8.5i registrou o menor valor, com uma redução de 21% em comparação ao valor médio do ControleI (Figura 6D).

Os dados experimentais da respiração no escuro de *D. grevillei* nas temperaturas de verão, revelaram que o ControleV foi, entre todos os experimentos, o que registrou o maior valor (Figura 6B). Para este parâmetro, os tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v registraram reduções nos seus valores da ordem de 21% e 31% em relação ao ControleV, respectivamente (Figura 6B). Para as temperaturas experimentais de inverno, no entanto, o maior valor médio foi observado no tratamento RCP 4.5i (9% maior do que o ControleI) e o menor no tratamento RCP 8.5i (14% menor do que ControleI) (Figura 6E).

Quanto à concentração de clorofila *a* nas temperaturas de verão, o ControleV apresentou uma concentração de 2,17 μ g de clorofila *a* por mg de peso seco, enquanto que o tratamento 4.5v apresentou um valor médio menor (0,58 μ g/mg) e o tratamento RCP 8.5v um valor médio maior (3,12 μ g/mg) que ControleV (Figura 6C). Nos experimentos com as temperaturas de inverno, o ControleI registrou uma concentração de 1,83 μ g/mg de clorofila, com valor menor em relação ao tratamento RCP 4.5i (1,87 μ g/mg) e maior em relação ao tratamento RCP 8.5i (0,92 μ g/mg) (Figura 6F).

Foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos através da análise de variância de Scott-Knott apenas nos parâmetros fotossíntese líquida

para as temperaturas de inverno ($F=4,1$; $P<0,05$) e concentração de clorofila *a* nos experimentos de verão ($F=12,3$; $P<0,001$) e através da análise de variância de Kruskal-Wallis para a respiração no escuro no verão ($F=6,7$; $P<0,05$).

A análise de fluorescência de clorofila *a* com base nas temperaturas de verão mostrou os seguintes resultados. O parâmetro $Y(II)$ apresentou valores médios de 0,03 para todos os tratamentos, incluindo o grupo controle. Para $Y(NPQ)$, o ControleV e o tratamento RCP 4.5v apresentaram um valor de 0,61, ao passo que o tratamento RCP 8.5v registrou um valor menor, da ordem de 0,57. Para $Y(NO)$, o valor médio do tratamento RCP 8.5v (0,40) foi maior que os valores médios do ControleV e do tratamento RCP 4.5v (ambos com 0,36). A taxa relativa de transporte de elétrons (rETR) foi de 4,90; 4,19 e 4,50 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente. Para os valores de D , o tratamento RCP 4.5v apresentou o maior valor (0,46), com ControleV (0,34) e RCP 8.5v (0,34) apresentando valores similares e menores. Para a dissipação no centro de reação (E) foi registrado o menor valor no tratamento RCP 4.5v (0,49), com ambos ControleV e RCP 8.5v apresentando um valor igual e superior (0,62).

Diferenças estatísticas significativas foram observadas através da análise de variância de Scott-Knott para os seguintes parâmetros de fluorescência de clorofila *a* para as temperaturas experimentais de verão: i) $Y(NPQ)$ ($F=4,0$; $P<0,05$); ii) $Y(NO)$ ($F=4,1$; $P<0,05$); iii) D ($F=34,1$; $P<0,001$) e iv) E ($F=35,7$; $P<0,001$).

Nas temperaturas experimentais de inverno observou-se os resultados descritos a seguir. O ControleI e tratamento RCP 8.5i registraram valores de 0,02 para $Y(II)$, enquanto que o tratamento RCP 4.5i apresentou um valor médio maior, de 0,03. Para $Y(NPQ)$, o maior valor foi encontrado para o ControleI (0,70), com RCP 4.5i e RCP 8.5i apresentando um valor igual de 0,58. Para $Y(NO)$, foram observados os valores de 0,28 para ControleI e 0,40 tanto para RCP 4.5i quanto para RCP 8.5i. Os valores de rETR foram de 3,19 para ControleI, 3,76 para RCP 4.5i e 2,71 para RCP 8.5i. O parâmetro D teve valores médios de 0,39; 0,41 e 0,41 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. Para a dissipação de energia no centro de reação (E), o ControleI e o tratamento RCP 8.5i apresentaram o mesmo valor (0,57), com o tratamento RCP 4.5i apresentando um valor menor (0,54).

Para as análises de fluorescência de clorofila *a* com base nas temperaturas experimentais de inverno, nenhum dos parâmetros avaliados apresentou diferença estatística significativa ($P<0,05$) entre os tratamentos experimentais e o grupo controle.

***Nitella microcarpa* A. Braun var. *wrightii* Groves & Groves**

A fotossíntese líquida de *N. microcarpa* var. *wrightii* nos experimentos envolvendo as temperaturas de verão apresentou uma diminuição de 46% e 67% em relação ao ControleV nos tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente (Figura 7A). Nos experimentos com as temperaturas de inverno, o tratamento RCP 8.5i apresentou um valor menor (-28%) em relação ao ControleI, enquanto que o tratamento RCP 4.5i, por sua vez, registrou um valor médio 13% superior ao ControleI (Figura 7D).

Para os experimentos de respiração no escuro com as temperaturas de verão, o tratamento RCP 4.5v apresentou um valor médio 70% menor que o ControleV, ao passo que o tratamento RCP 8.5v registrou aumento de 17% nesse parâmetro em relação a ControleV (Figura 7B). Nas temperaturas experimentais de inverno, o tratamento RCP 4.5i a respiração no escuro foi 37% menor e o tratamento RCP 8.5i 171% maior em comparação ao ControleI (Figura 7E).

A concentração de clorofila *a* mensurada nos experimentos com as temperaturas de verão mostrou valor médio ligeiramente menor para o ControleV (8,23µg/mg) em comparação ao tratamento RCP 4.5v (8,58µg/mg). O tratamento RCP 8.5v, por sua vez, apresentou a concentração média de clorofila *a* mais alta entre todos os tratamentos (12,18µg/mg) (Figura 7C). Para as temperaturas de inverno, o tratamento RCP 4.5i (3,33µg/mg) apresentou o menor valor médio, tanto em relação ao ControleI (5,55µg/mg) quanto ao tratamento RCP 8.5i (4,72µg/mg) (Figura 7F).

Foram encontradas diferenças significativas na análise de variância de Kruskal-Wallis para a fotossíntese líquida para as temperaturas de verão ($F=7,6$; $P<0,05$). A análise de variância de Scott-Knott demonstrou diferenças estatisticamente significativas para a fotossíntese líquida ($F=7,7$; $P<0,01$), respiração no escuro ($F=7,4$; $P<0,05$) e para a concentração de clorofila *a* ($F=3,7$; $P<0,05$) nos experimentos envolvendo as temperaturas de inverno.

Os parâmetros mensurados pela técnica da fluorescência da clorofila *a* para *N. microcarpa* var. *wrightii* nos experimentos com as temperaturas de verão são apresentados a seguir (Tabela 5). Os valores de Y(II) diminuíram gradualmente com o aumento de temperatura, uma vez que ControleV e os tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v tiveram valores médios de 0,10, 0,07 e 0,04, respectivamente. O parâmetro Y(NPQ) apresentou valores médios de 0,56, 0,55 e 0,55 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v,

respectivamente. Já o Y(NO) apresentou um valor médio mais alto no tratamento RCP 8.5v (0,41), enquanto que os valores do ControleV (0,35) e do tratamento RCP 4.5v (0,38) registraram valores muito próximos entre si. A taxa de transporte de elétrons (rETR) registrou maior valor para o ControleV (11,60), seguido pelo tratamento RCP 4.5v (9,55) e, finalmente, o tratamento RCP 8.5v (4,50). O valor do parâmetro D foi maior no tratamento RCP 8.5v (0,33) em comparação com o ControleV (0,28) e o tratamento RCP 4.5v (0,26). Para o parâmetro E, os valores do ControleV (0,58) foram menores que os dos tratamentos RCP 4.5v (0,63) e RCP 8.5v (0,62).

A análise de variância de Scott-Knott para os parâmetros de fluorescência de clorofila *a* para as temperaturas de verão revelou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos para Y(II) ($F=24,6$; $P<0,001$), Y(NO) ($F=17,1$; $P<0,001$), rETR ($F=4,5$; $P<0,05$), D ($F=13,0$; $P<0,001$) e E ($F=4,3$; $P<0,05$).

No inverno, o maior valor médio de Y(II) foi observado no tratamento RCP 4.5i (0,10), seguido de RCP 8.5i (0,08) e do ControleI (0,07). O parâmetro Y(NPQ) apresentou os valores médios de 0,57; 0,55 e 0,55 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i respectivamente. Para Y(NO), os valores médios foram de 0,36 para ControleI, 0,35 para RCP 4.5i e 0,37 para RCP 8.5i. O valor mais elevado de rETR foi observado em RCP 4.5i (12,17), seguido de RCP 8.5i (9,88) e de ControleI (8,76). Para D, os valores foram de 0,27; 0,28 e 0,26 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i respectivamente. No parâmetro de dissipação de energia no centro de reação (E) ControleI apresentou um valor de 0,62, próximo ao valor de RCP 8.5i (0,63) e com o tratamento RCP 4.5i apresentando um valor menor de 0,58.

Para as análises de fluorescência da clorofila *a* nos experimentos com as temperaturas de inverno foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e o grupo controle apenas para a dissipação de energia no centro de reação (E) ($F=5,7$; $P<0,01$).

***Nitella subglomerata* A. Braun**

Nas análises realizadas com as temperaturas de verão, *Nitella subglomerata* apresentou um aumento na fotossíntese líquida nos tratamentos relativos aos cenários com aumento de temperatura. O tratamento RCP 4.5v apresentou um aumento de 19% em relação ao ControleV, enquanto RCP 8.5v registrou um aumento de 182% (Figura

8A). Para as temperaturas de inverno foi observado um aumento de 8% e 19% em relação ao ControleI para os tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente (Figura 8D).

A respiração no escuro dessa espécie nos experimentos com as temperaturas de verão para o tratamento RCP 4.5v foi 53% menor em comparação ao valor médio de ControleV. No tratamento RCP 8.5v, a respiração no escuro também foi menor (19%) que o ControleV (Figura 8B). Para as temperaturas de inverno, houve um aumento de 8% e 19% na respiração no escuro para os tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente, em relação à média apresentada pelo ControleI (Figura 8E).

As concentrações de clorofila *a* foram de 2,73µg/mg, 3,15µg/mg e 2,18µg/mg para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente (Figura 8C). Por sua vez, o ControleI apresentou um valor médio de 5,4µg/mg de clorofila, ao passo que o tratamento RCP 4.5i registrou um valor de 7,74µg/mg e o tratamento RCP 8.5i de 2,94µg/mg (Figura 8F).

Diferenças estatísticas significativas foram observadas através da análise de variância de Scott-Knott entre os tratamentos e o grupo controle para as temperaturas de verão para a fotossíntese líquida ($F=10,9$; $P<0,05$) e respiração no escuro ($F=7,8$; $P<0,05$). Para as temperaturas de inverno, apenas a concentração de clorofila *a* apresentou diferença estatística significativa ($F=8,9$; $P<0,001$) entre os tratamentos e o grupo controle.

Para as temperaturas experimentais de verão, o parâmetro Y(II) registrou o valor de 0,02 para ControleV e o tratamento RCP 4.5v, ao passo que o tratamento RCP 8.5v o valor deste parâmetro foi de 0,01. O parâmetro Y(NPQ) também apresentou valores próximos em todos os tratamentos, com 0,60, 0,63 e 0,60 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente. Y(NO) registrou maior valor para o ControleV e RCP 8.5v, ambos com 0,39, enquanto que o valor médio de RCP 4.5v foi de 0,36. A taxa relativa de transporte de elétrons (rETR) foi de 1,28, 1,64 e 1,01 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente. Os valores médios de D foram de 0,31 para ControleV, 0,30 para RCP 4.5v e 0,31 para RCP 8.5v. Finalmente, os valores de E também foram próximos em todos os tratamentos, com 0,67 para RCP 4.5v e 0,68 tanto para o ControleV como para o tratamento RCP 8.5v.

Não foi observada diferença estatística significativa ($P<0,05$) entre os tratamentos na análise de variância de Scott-Knott em nenhum dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para os experimentos com as temperaturas de verão.

Nos experimentos com as temperaturas de inverno, a resposta foi similar à observada nos experimentos de verão, com todos os parâmetros apresentando valores médios próximos nos tratamentos e nos grupos controle. O valor médio de $Y(II)$ foi igual para todos os tratamentos no inverno (0,02). $Y(NPQ)$ registrou valor de 0,59 tanto para ControleI quanto para o tratamento RCP 4.5i, e de 0,60 para o tratamento RCP 8.5i. $Y(NO)$ teve os valores médios de 0,40, 0,39 e 0,39 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. O ControleI registrou valor médio de rETR de 2,52, enquanto que o tratamento RCP 4.5i foi de 2,71 e o tratamento RCP 8.5i de 2,38. O parâmetro D mostrou o seu maior valor no ControleI (0,34), com valores médios de 0,29 e 0,30 para RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. O parâmetro E foi maior no tratamento RCP 4.5i (0,69), seguido pelo tratamento RCP 8.5i (0,68) e o ControleI (0,64).

A análise de variância de Scott-Knott não apresentou diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos e o grupo controle nos parâmetros de fluorescência de clorofila *a* para os experimentos com as temperaturas de inverno para essa espécie.

***Oedogonium* Link ex Hirn**

Para as temperaturas de verão, a fotossíntese líquida da espécie de *Oedogonium* do tratamento RCP 4.5 apresentou um aumento de 17% em relação ao ControleV, ao passo que o tratamento RCP 8.5v este parâmetro fotossintético registrou um valor médio 15% menor que ControleV (Figura 9A). Para as temperaturas da estação de inverno, o tratamento RCP 4.5i apresentou um valor médio de fotossíntese líquida 29% maior do que o valor médio do ControleI, enquanto que o tratamento RCP 8.5i revelou uma diminuição de 2% também em relação ao ControleI (Figura 9D).

A respiração no escuro do tratamento RCP 4.5v, portanto com as temperaturas de verão, apresentou valor médio 84% menores que o ControleV. Já o tratamento RCP 8.5v apresentou um aumento de 7% no valor médio em relação a ControleV (Figura 9B). Para as temperaturas de inverno houve um aumento gradual na respiração no escuro, com valores médios 31% e 67% superiores do que o ControleI para os tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente (Figura 9E).

Considerando a concentração de clorofila *a* nos experimentos de verão, os tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v apresentaram valores médios de 7,85 $\mu\text{g}/\text{mg}$ e

7,19 $\mu\text{g}/\text{mg}$, respectivamente, enquanto o ControleV apresentou um valor médio menor (5,90 $\mu\text{g}/\text{mg}$) (Figura 9C). Para as temperaturas de inverno, o tratamento RCP 8.5i registrou a maior concentração de clorofila *a*, com um valor médio de 9,86 $\mu\text{g}/\text{mg}$. O tratamento RCP 4.5i e o ControleI apresentaram concentrações médias de 5,72 $\mu\text{g}/\text{mg}$ e 6,40 $\mu\text{g}/\text{mg}$, respectivamente (Figura 9D).

Foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e o grupo controle na análise de variância de Scott-Knott para os parâmetros de fotossíntese líquida ($F=5,3$; $P<0,05$) e respiração no escuro ($F=7,2$; $P<0,05$) nas temperaturas de verão. Nos experimentos com as temperaturas de inverno, apenas a concentração de clorofila *a* apresentou diferença estatística significativa ($F=4,5$; $P<0,05$).

Nos experimentos com as temperaturas de verão, o parâmetro Y(II) registrou o valor mais elevado no tratamento RCP 8.5v (0,28), com ControleV (0,25) e o tratamento RCP 4.5 (0,22) apresentando valores menores. O Y(NPQ) foi menor no tratamento RCP 8.5v (0,38) em comparação com o ControleV e o tratamento RCP 4.5v (que registraram 0,39 para ambos). O Y(NO) demonstrou valores médios de 0,27, 0,29 e 0,34 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente. O parâmetro rETR foi maior no tratamento RCP 8.5v (39,19), seguido do ControleV (35,19) e do tratamento RCP 4.5v (31,48). A dissipação de energia no complexo antena (D) foi menor para o ControleV (0,29) e valores médios superiores e iguais (0,32) para os tratamentos RCP 4.5v e RCP 8.5v. Para o parâmetro E observou-se uma diminuição gradual entre os tratamentos, com valores médios de 0,34, 0,33 e 0,30 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente.

A análise de variância de Scott-Knott revelou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e o grupo controle apenas para a dissipação não fotoquímica regulada no fotossistema II (Y(NPQ)) ($F=9,5$; $P<0,01$) nas análises de fluorescência da clorofila *a* para os experimentos com as temperaturas de verão.

Para as temperaturas calculadas para a estação de inverno, o parâmetro Y(II) da espécie de *Oedogonium* apresentou valores médios de 0,12 para ControleI, 0,11 para RCP 4.5i e 0,08 para RCP 8.5i. Para o Y(NPQ) este táxon apresentou valores de 0,56, 0,61 e 0,58 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. O Y(NO) foi menor no tratamento 4.5i (0,28), seguido do ControleI (0,32) e do tratamento RCP 8.5i (0,34). O parâmetro rETR registrou os menores valores para os tratamentos RCP 8.5i (11,63) e RCP 4.5i (15,67), ambos em comparação ao ControleI (17,01). Os valores médios de D

foram de 0,28, 0,30 e 0,32 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente. Já para o parâmetro de dissipação de energia no centro de reação (E), os valores médios observados foram de 0,53, 0,51 e 0,55 para ControleI, RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente.

Diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos e o grupo controle na análise de variância de Scott-Knott foram observadas apenas para Y(II) ($F=4,3$; $P<0,05$) e rETR ($F=4,9$; $P<0,05$) nas análises de fluorescência da clorofila *a* nos experimentos com as temperaturas de inverno.

***Spirogyra* Link**

A fotossíntese líquida da espécie de *Spirogyra* foi estimulada positivamente com o aumento da temperatura nos experimentos de verão. O tratamento RCP 8.5v apresentou um valor médio 165% maior quando comparado ao ControleV, enquanto o tratamento RCP 4.5v registrou um aumento no valor médio, comparado ao ControleV, de 67% (Figura 10A). Nos experimentos com as temperaturas de inverno, o tratamento RCP 4.5i também apresentou um aumento, na ordem de 32%, na fotossíntese líquida em relação ao ControleI, enquanto que o tratamento RCP 8.5i mostrou um aumento de 27% na comparação com o ControleI (Figura 10D).

Para a respiração no escuro dos tratamentos de verão, observou-se a diminuição dos valores nos tratamentos RCP 4.5v (-66%) e RCP 8.5v (-21%) em relação ao ControleV (Figura 10B). Para as temperaturas de inverno foram registradas reduções de 16% e 3% em relação ao valor médio da respiração no escuro do ControleI para os tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente (Figura 10E).

Houve diminuição na concentração de clorofila *a* em ambos os cenários simulados para as temperaturas de verão. O tratamento RCP 4.5v apresentou um valor médio de 4,49 μ g/mg, enquanto o tratamento RCP 8.5v apresentou um valor médio de 3,03 μ g/mg e o ControleV de 6,20 μ g/mg (Figura 10C). Para as temperaturas de inverno, também houve diminuição na concentração de clorofila *a* nos tratamentos em relação ao ControleV, com os seguintes valores nominais: 7,66 μ g/mg para o ControleV; 3,91 μ g/mg para o tratamento RCP 4.5 e 5 μ g/mg para o tratamento RCP 8.5i (Figura 10F).

Foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos e grupo controle na fotossíntese líquida ($F=5,1$; $P<0,05$) nos experimentos com as temperaturas de verão.

Considerando as análises de fluorescência de clorofila *a* para as temperaturas dos experimentos com os dados coletados no verão, observou-se o valor médio mais alto de Y(II) para o tratamento RCP 8.5v (0,04), seguido do RCP 4.5v (0,02) e do ControleV (0,01). O valor médio de Y(NPQ) para o ControleV foi de 0,13, para o tratamento RCP 4.5v foi de 0,19 e para o tratamento RCP 8.5v foi de 0,15. O valor médio de Y(NO) foi maior no ControleV (0,87), com RCP 4.5v e RCP 8.5v apresentando valores de 0,79 e 0,81, respectivamente. O valor médio de rETR aumentou proporcionalmente à temperatura, com o maior valor (4,11) registrado no tratamento RCP 8.5v, seguido pelo tratamento RCP 4.5v (3,27) e, finalmente, o ControleV (1,19). Os valores médios de D foram semelhantes em todos os tratamentos (0,87, 0,84 e 0,85 para ControleV, RCP 4.5v e RCP 8.5v, respectivamente). A dissipação de energia no centro de reação (E) foi menor no ControleV (0,13) e os RCP 4.5v e 8.5v apresentaram o mesmo valor médio (0,15).

Nas análises de fluorescência de clorofila *a* nos experimentos de verão não foi encontrada diferença estatística significativa ($P<0,05$) em nenhum dos parâmetros através da análise de variância de Scott-Knott.

Nos experimentos com as temperaturas de inverno, os valores médios de Y(II) foram de 0,03 para ControleI e 0,02 tanto para RCP 4.5i quanto RCP 8.5i. O valor médio de Y(NPQ) foi maior no ControleI, com um valor médio de 0,17, enquanto que os tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i apresentaram, ambos, um valor médio de 0,11. O parâmetro Y(NO) registrou menor valor médio no ControleI (0,81) quando comparado com os tratamentos RCP 4.5i e RCP 8.5i (ambos com 0,88). O ControleI apresentou o maior valor médio de rETR (4,64), comparado aos valores médios de 2,22 e 2,98 para os tratamentos RCP 4,5i e RCP 8.5i, respectivamente. Para o parâmetro D, o ControleI apresentou um valor menor (0,77) em relação ao tratamento RCP 4.5i (0,90) e ao tratamento RCP 8.5i (0,94). Quanto ao parâmetro E, o ControleI foi maior (0,20) que os demais tratamentos (0,09 e 0,07 para RCP 4.5i e RCP 8.5i, respectivamente).

Para os parâmetros das análises de fluorescência de clorofila *a* dos experimentos com as temperaturas de inverno para a espécie de *Spirogyra*, diferenças estatisticamente significativas foram observadas entre os tratamentos e o grupo controle para os parâmetros de Y(NPQ) ($F=4,1$; $P<0,05$), D ($F=5,5$; $P<0,05$) e E ($F=11,0$; $P<0,001$).

4. DISCUSSÃO

4.1. Rhodophyta

Os resultados obtidos para *Batrachospermum helminthosum* Bory indicaram que essa espécie tem sua máxima eficiência fotossintética em temperaturas mais baixas, uma vez que os valores de fotossíntese líquida foram maiores no ControleV (Figura 2A). Além disso, considerando os altos valores de respiração no escuro mesmo no ControleV (Figura 2B), a temperatura de crescimento ideal para esta espécie encontra-se, provavelmente, abaixo dos 23°C. Estes resultados corroboram dados previamente publicados sobre sua distribuição ecológica, uma vez que, apesar de ser uma espécie amplamente distribuída, a maioria dos registros de ocorrência correspondem a ambientes com temperaturas abaixo de 20°C, tanto em regiões temperadas (Sheath, Vis e Cole, 1994) quanto em regiões tropicais (Jiménez e Fatjó, 2007; Branco et al., 2011).

Sirodotia delicatula Skuja, por sua vez, apresentou valores relativamente altos de fotossíntese líquida em todas as temperaturas testadas, mostrando que esta espécie é capaz de responder efetiva e satisfatoriamente a uma maior amplitude de cenários relativos às variações de temperatura associadas a um potencial aquecimento global (Figuras 3A e 3E). Trabalhos realizados por Zucchi e Necchi Júnior (2001), com espécimes mantidos em culturas dessa mesma espécie, apresentaram resultados similares aos observados no presente estudo. Nestes estudos prévios, houve registros de apenas pequenas diferenças nas taxas de fotossíntese dessa espécie quando submetidas a temperatura variando de 15 a 25°C. Em adição, diferentes populações de *S. delicatula* apresentaram diferentes temperaturas ótimas para a máxima taxa fotossintética (Necchi Júnior e Zucchi, 2001). Estes resultados, vindos do presente trabalho e também da literatura, mostram que *S. delicatula* tem como característica ecofisiológica própria uma certa tolerância a oscilações mais amplas nas condições de temperatura. É importante destacar que tal tolerância também já foi percebida com base em outros parâmetros fotossintéticos e sob várias condições ambientais (Necchi Júnior e Alves, 2005; Kusakariba e Necchi Júnior, 2009).

Contudo, quando considerados os parâmetros mensurados pela técnica de fluorescência da clorofila *a* (Tabela 2) observou-se que, a despeito das tendências apontadas acima pelos dados de produção primária, o aumento da temperatura provocado

pelas condições experimentais pode ter um potencial efeito danoso ao aparato fotossintético dos indivíduos desta espécie. A energia luminosa recebida nos espécimes do grupo controle dos experimentos com as temperaturas de inverno (20,8°C) foi dissipada, em maior parte, no complexo antena (mecanismo revelado pelos maiores valores de D), diferentemente dos tratamentos experimentais (RCP 4.5i e RCP 8.5i) que mostraram maior dissipação no centro de reação (maiores valores de E) (Tabela 2). Estes resultados indicam maior eficiência de foto-proteção na temperatura do ControleI do que nos cenários envolvendo o aumento de temperatura. Considerando que as respostas ao aumento de temperatura na fluorescência da clorofila *a* são similares às respostas ao aumento de intensidade luminosa (Davison, 1991), esses resultados indicam que *S. delicatula* possui um mecanismo fisiológico de foto-proteção aos fotossistemas que funciona em melhores condições em temperaturas mais baixas e, portanto, indicam que o aquecimento global pode ser efetivamente prejudicial à eficiência fotossíntese desta espécie. Além disso, os resultados observados para Y(NO) indicam que a quantidade de energia não fotoquímica liberada de maneira não controlada é significativamente maior no tratamento com a temperatura de 27,4°C (RCP 8.5v) (Tabela 2). Uma vez que altos valores deste parâmetro representam danos por estresse ao aparato fotossintético (Klughammer e Schreiber, 2008), esses resultados corroboram os sinais observados pelos dados de D e E e, reforçam a sugestão de que, embora não tenha havido efeito negativo direto sobre a fotossíntese líquida, maiores temperaturas tendem a produzir efeitos fisiológicos danosos para essa espécie.

Os resultados obtidos para o estágio “Chantransia” revelam que a performance fotossintética deste táxon foi estável e similar em temperaturas experimentais de até 25°C, com os maiores valores de rETR sendo registrados na faixa de temperatura variando entre 20,8°C e 25°C (Tabela 3). Por outro lado, no cenário de potencial aquecimento global mais extremo (RCP 8.5v, com temperatura experimental de 27,4°C) houve uma drástica redução nos valores dos parâmetros que demonstram maior eficiência fotossintética (rETR e Y(II), por exemplo), associada a um aumento na dissipação de energia não fotoquímica não regulada (Y(NO)). Adicionalmente, os altos valores de dissipação de energia tanto no complexo antena como no centro de reação (D e E, respectivamente) indicam que essa temperatura foi, de fato, prejudicial ao aparato fotossintético do estágio “Chantransia” (Tabela 3). Neste sentido, embora grande parte da energia (91%) tenha sido dissipada no complexo antena (D), não houve a utilização da energia para caminhos

fotoquímicos (Y(II)). Esses resultados concordam, pelo menos em parte, com os resultados de Necchi Júnior e Alves (2005) que revelaram, com base em parâmetros obtidos pela técnica de fluorescência de clorofila *a*, que o estágio “Chantransia” apresentou resposta fotossintética mais eficiente, em temperaturas próximas a 10°C e menos eficientes em temperaturas próximas a 30°C.

Os dados obtidos através dos experimentos envolvendo os representantes do Filo Rhodophyta permitem supor que as perspectivas futuras de aumento da temperatura relacionadas às mudanças climáticas globais previstas pelos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC poderão, se concretizadas, afetar de forma prejudicial as respostas fotossintéticas destes organismos. Um aumento de temperatura equivalente ao máximo previsto no cenário RCP 4.5, diga-se, o mais moderado dos aqui testados, afetaria efetivamente a produção fotossintética de *B. helminthosum*, podendo, como uma consequência, acarretar uma diminuição expressiva da biomassa dessa espécie, ao menos durante a estação de verão. Apesar das temperaturas do cenário RCP 4.5 não terem afetado significativamente a performance fotossintética de *S. delicatula* e o estágio “Chantransia”, o aumento da temperatura previsto pelo cenário RCP 8.5, o mais dramático entre os propostos pelo IPCC, revelou efeitos negativos sobre este processo fisiológico destas duas macroalgas.

Apesar da função do estágio “Chantransia” presente no histórico de vida de várias espécies de algas vermelhas de riachos (Batrachospermales em especial) ainda não ter sido totalmente elucidada, acredita-se que uma das suas funções seria manter a população nos ambientes durante todo o período anual devido à sua tolerância a uma ampla gama de condições ambientais (Hambrook e Sheath, 1991; Necchi Júnior, 1993). Neste contexto, o estágio "Chantransia" ocuparia o ambiente durante os meses do verão, para que, com a chegada da estação de inverno, o gametófito atingisse o seu desenvolvimento máximo (Raven, 1993). Dessa maneira, os resultados do presente estudo indicam que o potencial aumento da temperatura predito no cenário RCP 8.5, além de ter produzido efeitos prejudiciais, em menor ou maior graus, nas respostas fotossintéticas dos gametófitos de *B. helminthosum* e de *S. delicatula*, também produziu prejuízos na resposta fotossintética do estágio "Chantransia", em particular nas temperaturas de verão. Este cenário poderia significar a amplificação do efeito negativo do aquecimento global sobre estas espécies, uma vez que este poderia, como consequência, afetar negativamente a formação de novos gametófitos no ciclo sazonal seguinte.

Considerando tais questões, é possível reconhecer que o cenário RCP 8.5 representa, de fato, um risco potencial para as espécies de Rhodophyta testadas. Apesar das algas vermelhas possuírem mecanismos de adaptação à alta intensidade luminosa (Necchi Júnior, 2005), estes são organismos característicos de riachos sombreados (Leukart e Hanelt, 1995; Branco e Necchi Júnior, 1996; Necchi Júnior, Branco e Branco, 1999; Necchi Júnior e Zucchi, 2001) e considerados importantes contribuintes para a produção primária nesses tipos de ambientes lóticos, especialmente em períodos sazonais específicos, tais como o início da primavera (Drerup, Gonzales e Vis, 2015). Dessa maneira, uma alteração ambiental como a proposta pelo cenário do IPCC em questão, poderia produzir, além de uma diminuição na biomassa, uma mudança nos padrões de distribuição sazonal, das espécies deste grupo algal. Uma consequência possível desta nova circunstância poderia ser um efeito de cascata no ecossistema lótico como um todo, especialmente nas teias tróficas que se sustentam energeticamente a partir da produtividade destas algas.

4.2. Cyanobacteria

Os resultados para *Phormidium retzii* Kützing ex Gomont, principalmente levando em consideração a fotossíntese líquida (Figura 5A), indicam que um aumento de temperatura seria prejudicial a essa espécie, visto que se observou uma melhor performance desta espécie nos grupos controles ao invés dos cenários do IPCC aqui testados. Adicionalmente, o alto valor de respiração no escuro registrado para o ControleV (Figura 5B) indica que mesmo nesta temperatura (23°C), houve uma diminuição no balanço entre fotossíntese e respiração no escuro, o que parece ser desfavorável para o máximo desenvolvimento desta espécie. *P. retzii* é, no entanto, uma macroalga amplamente distribuída tanto em águas com temperaturas próximas ou acima de 25°C (Sheath e Cole, 1996; Branco, Necchi Júnior e Branco, 2001) quanto em riachos com temperaturas abaixo de 20°C (Vis et al., 1994; Krupek, Branco e Peres, 2007; Necchi Júnior, Branco e Spezamiglio, 2008), sendo inclusive registrada como sendo dominante em comunidades de macroalgas em riachos de baixas temperaturas no Alasca (Sheath et al, 1986). A recorrência de registros dessa espécie em uma ampla gama de temperaturas pode, aparentemente, ser explicada pelo fato de *P. retzii* ser considerado como um tipo coletivo que, potencialmente, agruparia várias espécies crípticas sob uma mesma

denominação taxonômica (Branco, Necchi Júnior, Branco, 1999; Branco, Krupek e Peres, 2009; Vis, 2016). Assim, é possível que os exemplares testados no presente estudo poderiam estar entre aqueles que seriam fotossinteticamente mais eficientes em temperaturas mais baixas. Neste sentido, pelo menos para o material testado no presente estudo, o aumento de temperatura proposto pelos cenários do IPCC testados poderia, de fato, ser efetivamente prejudicial às suas respostas fotossintéticas. Assim, se concretizadas as previsões dos cenários do IPCC, haveria a possibilidade de haver um prejuízo importante tanto na biomassa como na distribuição de *P. retzii* e, conseqüentemente, um efeito de cascata nos ecossistemas lóticos em que estas algas participam significativamente da comunidade de produtores primários.

4.3. Chlorophyta

Entre as espécies de algas verdes investigadas, *Desmidiium grevillei* (Kützing ex Ralfs) De Bary mostrou que entre as temperaturas de inverno foi registrada maior eficiência fotossintética nos cenários com temperaturas abaixo de 25°C, uma vez que acima dessa temperatura observou-se a diminuição significativa da fotossíntese líquida nos experimentos desta estação (Figura 6D). No entanto, para as temperaturas experimentais de verão, não houve uma variação na fotossíntese líquida entre os tratamentos (Figuras 6A E 6B), indicando que houve, de modo geral, um balanço fotossintético estável mesmo com as elevações de temperatura.

Estes resultados obtidos pela técnica da evolução do oxigênio dissolvido foram corroborados pelas análises da fluorescência da clorofila *a* (Tabela 4), já que o rendimento quântico efetivo (Y(II)) foi similar nos controle e nos cenários para as duas estações testadas. Contudo, levando em consideração que no tratamento associado ao cenário RCP 8.5 (temperatura experimental de 27,4°C) foram observados os maiores valores de Y(NO) e os menores de Y(NPQ), sugere-se que a exposição de *D. grevillei* à essa temperatura poderia provocar danos eventuais ao aparato fotossintético desta alga (Klughammer e Schreiber, 2008).

Assim, os nossos dados sugerem que em face aos cenários testados, *D. grevillei* manteria uma performance fotossintética estável na maioria das temperaturas, registrando um potencial efeito deletério ao aparato fotossintético apenas sob exposição a temperaturas superiores a 27,4°C. Em consonância com os nossos resultados, um estudo

envolvendo a avaliação dos efeitos da temperatura sobre o desenvolvimento de cultura da espécie *Desmidium zwartzii* C. Agardh ex Ralfs, Moss (1973) reportou taxas positivas de crescimento até temperaturas próximas de 30°C e uma reversão para taxas negativas em temperaturas acima desse valor limite.

Quanto a *Nitella microcarpa* var. *wrightii* Groves & Groves, os resultados mostraram que esta espécie registrou maior eficiência fotossintética em temperaturas mais baixas, com evidentes efeitos negativos na fotossíntese líquida (Figuras 7A e 7D) quando submetida às temperaturas experimentais propostas pelos cenários testados do IPCC. Os dados obtidos através da técnica da evolução do oxigênio dissolvido, tanto para as temperaturas experimentais de inverno como para as de verão de ambos cenários testados, revelaram que um aumento da temperatura para valores iguais ou superiores a 25°C (Tratamentos RCP 4.5v, RCP 8.5v e RCP 8.5i) produziram uma diminuição significativa na fotossíntese líquida dessa espécie. Adicionalmente, nas temperaturas experimentais de verão, a redução na fotossíntese líquida respeitou uma relação inversamente proporcional ao aumento das temperaturas testadas. Neste sentido, o tratamento que registrou o mais severo efeito negativo sobre a fotossíntese líquida de *N. microcarpa* var. *wrightii* foi aquele em que estas algas foram submetidas à temperatura experimental do cenário RCP 8.5v (27,4°C), que impôs uma perda de 67% no valor médio desse parâmetro quando comparado ao controle.

Para as temperaturas de inverno, os dados de respiração no escuro de *N. microcarpa* var. *wrightii* (Figura 7E) reportaram um aumento expressivo no consumo de oxigênio no tratamento particularmente para o cenário RCP 8.5, indicando que temperaturas acima de 25,2°C já seriam prejudiciais para a eficiência fotossintética desta espécie por afetar negativamente o balanço fotossintético.

Os dados oriundos da técnica de fluorescência da clorofila *a* confirmaram que, de fato, registrou-se uma queda na eficiência fotossintética de *N. microcarpa* var. *wrightii* nas temperaturas de verão em ambos os cenários testados (Tabela 5), revelada, particularmente, pela redução gradual dos valores de Y(II) nos dois tratamentos, associada a um aumento do Y(NO) e redução do rETR (especialmente no tratamento RCP 8.5v).

Para a outra espécie desse gênero, *Nitella subglomerata* A. Braun, os dados oriundos da técnica de evolução do oxigênio dissolvido revelaram que esta espécie de alga verde teve uma maior eficiência fotossintética nos cenários de temperaturas mais

altas testados no verão (Figura 8A) e por outro lado, nos tratamentos de inverno, essa macroalga respondeu de forma muito similar aos diferentes tratamentos, mantendo a sua performance fotossintética estável em todas as temperaturas experimentais (Figura 8D).

Além disso, os parâmetros obtidos pela técnica de fluorescência da clorofila *a* apresentaram valores próximos, sem diferença significativa, em todos os cenários testados (Tabela 6), indicando que essa espécie seria eficiente fotossinteticamente mesmo nos cenários de aumento de temperatura preditos pelo IPCC.

Variações espécies-específicas nas respostas fotossintéticas dentro do gênero, como registradas no presente estudo, já foram observadas previamente. Vieira Júnior e Necchi Júnior (2003) por exemplo, mostraram que *N. subglomerata* possui uma amplitude de temperatura ótima para fotossíntese entre 20°C e 25°C, ao passo que para outras espécies desse gênero (p.ex., *N. furcata* (C. Roxburgh ex A. Bruzelius) C. Agardh var. *sieberi* (A. Braun) R.D. Wood, *N. cernua* (A. Braun) R.D. Wood) as faixas de temperatura ótima variam ainda mais, com valores que vão de 15° até 30°C (Necchi Júnior, 2004; Vieira Júnior e Necchi Júnior, 2006).

Os dados experimentais da espécie de *Oedogonium* Link ex Hirn mostraram que esta alga verde apresentou distintas respostas fotossintéticas de acordo com as temperaturas testadas para a estação estudada e as técnicas analíticas utilizadas. Para as temperaturas experimentais de verão, por exemplo, através da análise de fotossíntese líquida baseada na técnica da evolução do oxigênio dissolvido (Figura 9A), observou-se que o tratamento RCP 4.5v (25,3°C) proporcionou a máxima eficiência fotossintética. No entanto, pela análise de fluorescência de clorofila *a*, não houve diferença no rendimento quântico efetivo (Y(II)) entre os tratamentos aplicados, indicando uma estabilidade na resposta fotossintética dessa espécie mesmo na temperatura do cenário de aquecimento global mais severo (Tabela 7). Pelos dados obtidos por esta última técnica, apenas o parâmetro Y(NPQ) foi menor para as temperaturas experimentais de RCP 8.5 de verão, revelando uma menor capacidade de liberação de energia não fotoquímica de maneira controlada neste período sazonal.

Para os testes realizados com as temperaturas experimentais da estação de inverno (Tabela 7), a espécie de *Oedogonium* mostrou uma queda significativa nos valores de Y(II) e de rETR no tratamento RCP 8.5i, sugerindo um efeito prejudicial expressivo na sua resposta fotossintética. Assim, embora *Oedogonium* não tenha registrado alterações profundas e efetivas na fotossíntese nas temperaturas propostas pelo

cenário RCP 4.5 do IPCC (RCP 4.5) para ambas as estações, as variações de temperatura previstas pelo cenário RCP 8.5 foram suficientes para revelar um potencial prejuízo neste mecanismo fisiológico, tanto no verão quanto no inverno, com essa segunda estação apresentando uma deterioração ainda mais relevante.

Os resultados obtidos para a espécie de *Spirogyra* Link, especialmente os relativos aos dados de fotossíntese líquida nos tratamentos experimentais de verão (Figura 10A), indicaram que esse táxon registrou melhor eficiência fotossintética nas condições experimentais compatíveis com o cenário RCP 8.5, ou seja, nas temperaturas experimentais dos cenários que refletem o maior efeito do aquecimento global.

Adicionalmente, a técnica de fluorescência da clorofila *a* (Tabela 8) no inverno apresentou os valores mais elevados de dissipação de energia no centro de reação (E) e os menores de dissipação de energia no complexo antena (D) na temperatura experimental do Controle I (20,8°C), indicando que essa espécie apresenta uma capacidade de aclimação aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 no inverno, uma vez que, nesses cenários, o excesso de energia luminosa é dissipado no complexo antena, protegendo o centro de reação.

Em consonância com os nossos resultados, alguns registros prévios indicam que espécies do gênero *Spirogyra* apresentam maior crescimento em temperaturas relativamente altas, variando entre 22 e 32°C (Wang, Hoshaw e McCourt, 1989) e que a temperatura ótima para a máxima fotossíntese encontra-se ao redor de 25°C (Graham, 1995). Neste mesmo sentido, Berry e Lembi (2000) mostraram que várias espécies de *Spirogyra* possuem taxas fotossintéticas relativamente altas independentemente da temperatura às quais estão submetidas e que quedas significativas neste parâmetro começam a ser percebidas apenas em temperaturas acima de 35°C. Além disso, estudos de campo têm mostrado que *Spirogyra* é uma macroalga caracterizada por, em riachos, apresentar um tipo morfológico caracterizado pela formação de emaranhado de filamentos que se posicionam mais ou menos próximo à superfície da água e em exposição a mais altas temperaturas e irradiâncias (Hillebrand, 1983). Esta constatação referente às características ecológicas em escala local de *Spirogyra* também apontam no mesmo sentido dos resultados aqui reportados.

Considerando, então, os dados do presente estudo e também as informações da literatura, parece seguro sugerir que o aumento de temperatura proporcionado pelas potenciais mudanças climáticas globais previstas pelos cenários do IPCC aqui testados

não prejudicaria o desenvolvimento dessa espécie, podendo até acarretar no aumento de eficiência fotossintética e, conseqüentemente, de sua biomassa nos ambientes onde ocorre naturalmente. A maioria das espécies de Chlorophyta testadas no presente estudo não sofreu grandes efeitos negativos associados ao aumento de temperatura previsto para nos futuros cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC. Das cinco espécies testadas, *N. microcarpa* var. *wrightii* foi a única afetada negativamente de forma significativa, revelando que nos cenários futuros utilizados, a abundância e a distribuição espacial dessa espécie poderiam ficar comprometidas. Para as outras macroalgas desse filo, no entanto, as previsões de aumento da temperatura nos termos dos cenários de aquecimento global avaliados não acarretariam, aparentemente, alterações expressivas em suas abundâncias e padrões de distribuição espacial.

Para as algas verdes, é necessário destacar os resultados registrados para *Spirogyra*, os quais revelaram, não apenas ausência de efeitos negativos nos cenários testados, mas um aumento da fotossíntese líquida, e potencialmente das suas abundância e distribuição espacial, sob as condições destes eventuais cenários de aquecimento global. Considerando que espécies de *Spirogyra* possuem uma ampla distribuição global (Sheath e Cole, 1992; Branco e Necchi Júnior, 1996), um eventual aumento da abundância e da amplitude de distribuição espacial de espécies desse gênero poderia impactar de modo significativo a diversidade das comunidades de produtores primários dos ambientes lóticos que se caracterizam pela sua presença, uma vez que estas seriam competitivamente favorecidas em detrimento de outras espécies. Situações similares a esta já foram observadas em testes experimentais com comunidades de fitoplâncton (Burgmer e Hillebrand, 2011).

5. CONCLUSÃO

As espécies de macroalgas avaliadas no presente estudo responderam distintamente, em sentido espécie-específico, às simulações de aumento de temperatura relacionados aos cenários de mudanças climáticas do IPCC, porém dois achados de caráter mais geral encontrados no presente estudo merecem ser destacados. Neste sentido, o resultado mais alarmante obtido a partir dos experimentos aqui relatados foi a observação de efeitos negativos significativos dos aumentos de temperatura associados ao aquecimento global previsto no cenário RCP 4.5 e, principalmente, no cenário RCP

8.5 sobre a fotossíntese das espécies de Rhodophyta testadas. Apesar do efeito negativo ter sido mais expressivo em *B. helminthosum* e estágio “Chantransia”, *S. delicatula* também mostrou, embora em menor grau, indícios de um estresse fotossintético. Uma vez que esses organismos são importantes produtores primários em ambientes lóticos sombreados de baixas ordens (Leukart e Hanelt, 1995; Branco e Necchi Júnior, 1996; Drerup, Gonzales e Vis, 2015), a diminuição de sua capacidade fotossintética poderia acarretar grandes perdas de energia autóctone nesses ambientes, com conseqüente efeito cascata de dimensões imprevisíveis. Adicionalmente, observou-se que a maioria das espécies de Chlorophyta, com exceção de *N. microcarpa* var. *wrightii*, não seriam afetadas de forma significativa pelo aumento de temperatura previsto em ambos os cenários testados. A espécie de *Spirogyra* e *N. subglomerata*, inclusive, apresentaram um aumento na eficiência fotossintética com o aumento das temperaturas experimentais, o que poderia significar que, potencialmente, este táxon seria beneficiado por esta nova circunstância ambiental, acarretando em um aumento da sua abundância e distribuição espacial em ambientes lóticos nos dois cenários climáticos futuros investigados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arcott, D.B., Bowden, W.B. & Finlay, J.C. **Comparison of Epilithic Algal and Bryophyte Metabolism in an Arctic Tundra Stream, Alaska.** J. N. Am. Benthol. Soc., v. 17, p. 210-227, 1998.

Baker, N.R. **Chlorophyll Fluorescence: A probe of Photosynthesis In Vivo.** Annu. Rev. Plant. Biol., v. 59, p. 89-113, 2008.

Beer, S. & Eshel, A. **Determining Phycoerythrin and Phycocyanin Concentrations in Aqueous Crude Extracts of Red Algae.** Aust. J. Mar. Freshw. Res., v. 36, p. 785-792, 1985.

Bernstein, L. et al. **Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** 2007.

Berntsen, T.K. et al. **Effects of Anthropogenic Emissions on Tropospheric Ozone and its Radiative Forcing.** J. Geophys. Res., v. 102, p. 101-128, 1997.

Berry, H.A. & Lembi, C.A. **Effects of Temperature and Irradiance on the Seasonal Variation of a *Spirogyra* (Chlorophyta) Population in a Midwestern Lake (U.S.A.).** J. Phycol., v. 36, p. 841-851, 2000.

Branco, C.C.Z. et al. **Rhodophyta de Ambientes Lóticos de Unidades de Conservação da Região Sul do Brasil.** Biota Neotrop., v.11, p. 365-375, 2011.

Branco, C.C.Z., Krupek, R.A. & Peres, C.K. **Distribution of Stream Macroalgal Communities From the Mid-Western Region of Paraná State, Southern Brazil: Importance of Local Scale Variation.** Braz. Arch. Biol. Technol., v.52, p.379-386, 2009

Branco, C.C.Z. & Necchi Júnior, O. **Distribution of Stream Macroalgae in the Eastern Atlantic Rainforest of São Paulo State, Southeastern Brazil.** Hydrobiologia, v.333, p.139-150, 1996.

Branco, L.H.Z., Necchi Júnior., O. & Branco, C.C.Z. **Cyanophyceae from Lotic Ecosystems of São Paulo State, Southeastern Brazil.** *Algolog. Stud.*, v. 94, p. 63-87, 1999.

Branco, L.H.Z., Necchi Júnior., O. & Branco, C.C.Z. **Ecological distribution of Cyanophyceae in Lotic Ecosystems of São Paulo State.** *Rev. Bras. Bot.*, v. 24, p. 99-108, 2001.

Burgmer, T. & Hillebrand, H. **Temperature Mean and Variance Alter Phytoplankton Biomass and Biodiversity in a long-term Microcosm Experiment.** *Oikos*, v. 120, p. 922-933, 2011.

Boyero, L. et al. **Are Tropical Streams Really Different?** *J. N. Am. Benthol. Soc.*, v. 28, p. 397-403, 2009.

Canadell, J.G. et al. **Contributions to Accelerating Atmospheric CO₂ Growth from Economic Activity, Carbon Intensity, and Efficiency of Natural Sinks.** *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v. 104, p. 18866-18870, 2007.

Carlton, J.T. & Geller, J.B. **Ecological Roulette: The Global Transport of Nonindigenous Marine Organisms.** *Science.*, v. 261, p. 78-82. 1993.

Collins, M. et al. **Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility.** In: IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, United Kingdom, 2013.

Crain, C.M., Kroeker, K. & Halpern, B.S. **Interactive and Cumulative Effects of Multiple Human Stressors in Marine Systems.** *Ecol. Lett.*, v. 11, p. 1304-1315, 2008.

Davison, I.R. **Minireview: Environmental Effects on Algal Photosynthesis: Temperature.** *J. Phycol.*, v. 27, p. 2-8, 1991.

Demmig-Adams, B. et al. **Using Chlorophyll Fluorescence to Assess the Fraction of Absorbed Light Allocated to Thermal Dissipation of Excess Excitation.** *Physiol. Plant.*, v. 98, p. 253-264, 1996.

Deschenes, O. & Greenstone, M. **The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Reply.** *Am. Econ. Rev.*, v. 102, p. 3761-3773, 2012.

Downes, B.J. et al. **Habitat Structure, Resources and Diversity: The Separate Effects of Surface Roughness and Macroalgae on Stream Invertebrates.** *Oecologia*, v. 123, p. 569-581, 2000.

Drerup, S.A., Gonzales, D.A. & Vis, M.L. **Photosynthetic Characteristics of Some Common Temperate Freshwater Red Algal Taxa (Rhodophyta).** *Phycologia*, v. 54, p. 606-616, 2015.

Engelman, R. et al. **Introduction: Climate, people, fisheries and aquatic ecosystems.** In: Polunin, N.V.C. *Aquatic Ecosystems, Trends and Global Prospects.* Cambridge University Press, United Kingdom, 2008.

Erwin, K.L., **Wetlands and Global Climate Change: The Role of Wetland Restoration in a Changing World.** *Wetlands Ecol. Manage.*, v. 17, p. 71-84, 2009.

Ferreira, D.F. **Review. SISVAR: A Computer Statistical Analysis System.** *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

Fisher, A.C. et al. **The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather: Comment.** *Am. Econ. Rev.*, v.1, p. 1-13, 2012.

Folland, C.K., Karl, T. & Vinnikov, K.Y., **Observed Climate Variations and Change.** In: IPCC. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment.* Cambridge University Press, United Kingdom, 1990.

Folke, C. et al. **Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management.** *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, v. 35, p. 557-581, 2004.

Foy, R.H., Gibson, C.E. & Smith, R.V. **The Influence of Daylength, Light Intensity and Temperature on the Growth Rates of Planktonic Blue-green Algae.** *Brit. Phycol. J.*, v. 11, p. 151-163, 1976.

Graham, J.M. et al. **Physiological Responses to Temperature and Irradiance in *Spirogyra* (Zygnematales, Charophyceae).** *J. Phycol.*, v. 31, p. 531-540, 1995.

Hambrook, J.A. & Sheath, R.G. **Reproductive Ecology of the Freshwater Red Alga *Batrachospermum boryanum* Sirodot in a Temperate Headwater Stream.** *Hydrobiol.*, v. 218, p. 233-246, 1991.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., **PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis.** *Palaeontologia Electronica*, v. 4, p. 1-9, 2001.

Hansen, J., Sato, M. & Ruedy, R. **Radiative Forcing and Climate Response.** *J. Geophys. Res.*, v. 102, p. 6831-6864, 1997.

Harley, C.D.G. et al. **The Impacts of Climate Change in Coastal Marine Systems.** *Ecol. Lett.*, v. 9, p. 228-241, 2006.

Harley, C.D.G. et al. **Effects of Climate Change on Global Seaweed Communities.** *J. Phycol.*, v. 48, p. 1064-1078, 2012.

Heller, N.E. & Zavaleta, E.S. **Biodiversity Management in the Face of Climate Change: A Review of 22 years of Recommendations.** *Biol. Conserv.*, v. 142, p. 14-32, 2009.

Hillebrand, H. **Development and Dynamics of Floating Clusters of Filamentous Algae.** In: Wetzel, R.G. *Periphyton on Freshwater Ecosystems*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, 1983.

Hoegh-Guldberg, O. **Climate Change, Coral Bleaching and the Future of the World's Coral Reefs.** *Mar. Freshwater Res.*, v. 50, p. 839-866, 1999.

Hoegh-Guldberg, O. & Bruno, J.F. **The Impact of Climate Change on the World's Marine Ecosystems.** *Science*, v. 328, p. 1523-1528, 2010.

Hoegh-Guldberg, O. et al. **Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification.** *Science*, v. 318, p. 1737-1742, 2007.

Iacono, M.J. et al. **Radiative Forcing by Long-lived Greenhouse Gases: Calculations with the AER Radiative Transfer Models.** *J. Geophys. Res.*, v. 113, p. 3-8, 2008.

IPCC. **Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Report Prepared for IPCC by Working Group 1.** Cambridge University Press, United Kingdom, 1990.

IPCC. **Summary for Policymakers.** In: IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, United Kingdom, 2013.

Jiménez, J.C. & Fatjó, G.V. **Survey and Distribution of Batrachospermaceae (Rhodophyta) in Tropical, High-altitude Streams from Central Mexico.** *Cryptogamie, Algol.*, v. 28, p. 271-282, 2007.

Kasting, J.F. **Faint Young Sun Redux.** *Nature*, v. 464, p. 687-689, 2010.

Kelly, A.E. & Goulden, M.L. **Rapid Shifts in Plant Distribution with Recent Climate Change.** *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v. 105, p. 11823-11826, 2008.

Klughammer, C. & Schreiber, U. **Complementary PS II quantum yields calculated from Simple Fluorescence Parameters Measured by PAM Fluorometry and the Saturation Pulse Method.** PAM Application Notes, v. 1, p. 27-35, 2008.

Kosten, S. et al. **Warmer Climate Boost Cyanobacterial Dominance in Shallow Lakes.** Glob. Change Biol., v. 18, p. 118-126, 2012.

Krupek, R.A., Branco, C.C.Z. & Peres, C.K. **Distribuição Ecológica das Comunidades de Macroalgas da Bacia de Drenagem do Rio das Pedras, Região Centro-Sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil.** Rev. Bras. Bot., v. 30, p. 173-182, 2007.

Kusakariba, T. & Necchi Júnior., O. **Daily Dynamics of Photosynthesis of the Freshwater Red Alga *Sirodotia delicatula* (Batrachospermales, Rhodophyta).** Phycol. Res., v. 57, p. 268-277, 2009.

Lau, D.C.P., Leung, K.M.Y. & Dudgeon, D. **Experimental Dietary Manipulations for Determining the Relative Importance of Allochthonous and Autochthonous Food Resources in Tropical Streams.** Freshwater Biol., v. 53, p. 139-147, 2008.

Leukart, P. & Hanelt, D. **Light Requirements for Photosynthesis and Growth in Several Macroalgae from a Small Soft-water Stream in the Spessart Mountains, Germany.** Phycologia, v. 34, p. 528-532, 1995.

Littler, M.M. & Arnold, K.E. **Electrodes and Chemicals.** In: Stein, J.R. et al. *Handbook of Phycological Methods.* Cambridge University Press, United Kingdom, 1985.

Lodge, D.M. et al. **Predicting Impact of Freshwater Exotic Species on Native Biodiversity: Challenges in Spatial Scaling.** Aust. J. Ecol., v. 23, p. 53-67, 1998.

Lovejoy, T. **Climate Change and Biodiversity.** Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz. v. 27, p. 1-8, 2008.

March, J.G. & Pringle, C.M. **Food Web Structure and Basal Resource Utilization along a Tropical Island Stream Continuum, Puerto Rico.** *Biotropica*, v.35, p. 84-93, 2003.

Malmqvist, B. et al. **Prospects for Streams and Rivers: An Ecological Perspective.** In: Polunin, N.V.C. *Aquatic Ecosystems. Trends and Global Prospects.* Cambridge University Press, United Kingdom, 2008.

Mantel, S.K., Salas, M. & Dudgeon, D. **Foodweb Structure in a Tropical Asian Forest Stream.** *J. N. Am. Benthol. Soc.*, v. 23, p. 728-755, 2004.

Mayer, M.S. & Likens, G.E. **The Importance of Algae in a Shaded Headwater Stream as Food for an Abundant Caddisfly (Trichoptera).** *J. N. Am. Benthol. Soc.*, v. 6, p. 262-269, 1987.

Meehl, G.A. et al. **Trends in Extreme Weather and Climate Events: Issues Related to Modeling Extremes in Projections of Future Climate Change.** *B. Am. Meteorol. Soc.*, v. 81, p. 427-436, 2000.

Meehl, G.A. & Tebaldi, C. **More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century.** *Science*, v. 305, p. 994-997, 2004.

Mirza, M.M.Q. **Climate Change and Extreme Weather Events: Can Developing Countries Adapt?** *Climate Policy*, v. 3, p. 233-248, 2003.

Moss, B. **The Influence of Environmental Factors on the Distribution of Freshwater Algae: An Experimental Study - III. Effects of Temperature, Vitamin Requirements and Inorganic Nitrogen Compounds on Growth.** *J. Ecol.* v. 61, p. 179-192, 1973.

Necchi Júnior, O. **Rhodophyta de Água Doce do Estado de São Paulo: Levantamento Taxonômico.** *Bolm Botânica*, v. 11, p. 11-69, 1989.

Necchi Júnior, O. **Distribution and Seasonal Dynamics of Rhodophyta in the Preto River Basin, Southeastern Brazil.** *Hydrobiologia*, v. 250, p. 81-90, 1993.

Necchi Júnior, O. **Photosynthetic Responses to Temperature in Tropical Lotic Macroalgae.** *Phycol. Res.*, v. 51, p. 140-148, 2004.

Necchi Júnior, O. **Light-related Photosynthetic Characteristics of Freshwater Rhodophytes.** *Aquat. Bot.*, v. 82, p. 193-209, 2005.

Necchi Júnior, O. **Red Algae (Rhodophyta) in Rivers.** In.: Necchi Júnior, O. *River Algae*. Springer International Publishing, Switzerland, 2016.

Necchi Júnior, O. & Alves, A.H.S. **Photosynthetic Characteristics of the Freshwater Red Alga *Batrachospermum delicatulum* (Skuja) Necchi & Entwisle.** *Acta Bot. Bras.*, v. 19, p. 125-137, 2005.

Necchi Júnior, O., Branco, C.C.Z. & Branco, L.H.Z. **Distribution of Rhodophyta in Streams from São Paulo State, Southeastern Brazil.** *Arch. Hydrobiol.*, v. 147, p. 73-89, 1999.

Necchi Júnior, O., Branco, L.H.Z. & Branco, C.C.Z. **Análise Nictemeral e Sazonal de Algumas Variáveis Limnológicas em um Riacho no Noroeste do Estado de São Paulo.** *Acta Limnol. Bras.*, v. 8, p. 169-182, 1996.

Necchi Júnior, O., Branco, L.H.Z. & Spezamiglio, D.N. **Distribuição Ecológica de Comunidades de Macroalgas de Ambientes Lóticos do Parque Nacional de Itatiaia (RJ, MG), Brasil.** *Rev. Bras. Bot.*, v. 31, p. 135-145, 2008.

Necchi Júnior, O. & Zucchi, M.R. **Photosynthetic Performance of Freshwater Rhodophyta in Response to Temperature, Irradiance, pH and Diurnal Rhythm.** *Phycol. Res.*, v. 49, p. 305-318, 2001.

Nickus, U., et al. **Direct Impacts of Climate Change on Freshwater Ecosystems.** In: Kernan, M., Battarbee, R.W. & Moss, B. *Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems.* Blackwell Publishing, United Kingdom, 2010.

Nwankwo, D.I. **Phytoplankton Diversity and Succession in Lagos Lagoon, Nigeria.** Arch. Hydrobiol., v. 135, p. 529-542, 1996.

Odum, E.P. & Barret, G.W. **Fundamentos de Ecologia.**, Cengage Learning, São Paulo, 2013.

Pavlov, A.A. et al. **Greenhouse Warming by CH₄ in the Atmosphere of Early Earth.** J. Geophys. Res., v. 105, p. 11981-11990, 2000.

Pindyck, R.S. **Climate Change Policy: What do the Models Tell Us?** J. Econ. Lit., v. 51, p. 860-872, 2013;

Post, A.F., de Wit, R. & Mur, L.R. **Interactions between Temperature and Light Intensity on Growth and Photosynthesis of the Cyanobacterium *Oscillatoria agardhii*.** J. Plankton Res., v. 7, p. 487-495, 1985.

Pounds, J.A. & Crump, M.L. **Amphibian Declines and Climate Disturbance: The Case of the Golden Toad and the Harlequin Frog.** Conserv. Biol., v. 8, p. 72-85.

Rahmstorf, S. **A Semi-Empirical Approach to Projecting Future Sea-Level Rise.** Science, v. 315, p. 368-370, 2007.

Raven, J.A. **The Roles of the *Chantransia* Phase of *Lemanea* (Lemaneaceae, Batrachospermales, Rhodophyta) and of the 'Mushroom' Phase of *Himantalia* (Himantaliaceae, Fucales, Phaeophyta).** Bot. J. Scotl., v. 46, p. 477-485, 1993.

Ricciardi, A. & Rasmussen, J.B. **Extinction Rates of North American Freshwater Fauna.** Conserv. Biol., v. 13, p. 1220-1222, 1999.

Robarts, R.D. & Zohary, T. **Temperature Effects on Photosynthetic Capacity, Respiration, and Growth Rates of Bloom-forming Cyanobacteria.** *New Zeal. J. Mar. Fresh.*, v. 21, p. 391-399, 1987.

Rosenzweig, C. et al. **Climate Change and Extreme Weather Events - Implications for Food Production, Plant Diseases, and Pests.** *Global Change and Human Health*, v. 2, p. 90-104, 2001.

Rosenzweig, C. et al. **Attributing Physical and Biological Impacts to Anthropogenic Climate Change.** *Nature*, v. 453, p. 353-358, 2008.

Rosing, M.T. et al. **No climate Paradox Under the Faint Early Sun.** *Nature*, v. 464, p. 744-749, 2010.

Rothschild, L.J.& Mancinelli, R.L. **Life in Extreme Environments.** *Nature*, v. 409, p. 1092-1101, 2001.

Sagan, C. & Mullen, G. **Earth and Mars: Evolution of Atmospheres and Surface Temperatures.** *Science*, v. 177, p. 52-56, 1972.

Sala, O.E. et al. **Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100.** *Science*, v. 287, p. 1770-1774, 2000.

Samimi, A. & Zarinabadi, S. **Reduction of Greenhouse Gases Emission and Effect on Environment.** *J. Am. Sci.*, v. 8, p. 1011-1015, 2012.

Scavia, D. et al. **Climate Change Impacts on U.S. Coastal and Marine Ecosystems.** *Estuaries*, v. 25, p. 149-164, 2002.

Schreiber, U., Bilger, W. & Neubauer, C. **Chlorophyll Fluorescence as a Nonintrusive Indicator for Rapid Assessment of In Vivo Photosynthesis.** In: Schulze, E. & Caldwell, M.M. *Ecophysiology of Photosynthesis*. Springer, Berlin, 1995.

Scott, A.J. & Knott, M. **A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance.** *Biometrics*, v. 30, p. 507-512, 1974.

Shapiro, S.S & Wilk, M.B. **An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples).** *Biometrika*, v. 52, p. 591-611, 1965.

Sheath, R.G. & Cole, K.M. **Biogeography of stream macroalgae in North America.** *J. Phycol.*, v.28, p.448-460, 1992.

Sheath, R.G. & Cole, K.M. **Stream Macroalgae of the Fiji Islands: A Preliminary Study.** *Pac. Sci.*, v. 50, p. 46-54, 1996.

Sheath, R.G., Vis, M.L. & Cole, K.M. **Distribution and Systematics of *Batrachospermum* (Batrachospermales, Rhodophyta) in North America. 4. Section *Virescentia*.** *J. Phycol.*, v. 30, p. 108-117, 1994.

Sheath, R.G. et al. **Distribution of Stream Macroalgae in South-central Alaska.** *Hydrobiol.*, v. 135, p. 259-269, 1986.

Sillmann, J. & Roeckner, E. **Indices for Extreme Events in Projections of Anthropogenic Climate Change.** *Climatic Change*, v. 86, p. 83-104, 2008.

Sinervo, B. et al. **Erosion of Lizard Diversity by Climate Change and Altered Thermal Niches.** *Science*, v. 328, p. 894-899, 2010.

Sivonen, K. **Effects of Light, Temperature, Nitrate, Orthophosphate, and Bacteria on Growth of and Hepatotoxin Production by *Oscillatoria agardhii* Strains.** *Appl. Environ. Microb.*, v. 56, p. 2658-2666, 1990.

Skinner, B.J. & Murck, B.W. **The Blue Planet. An Introduction to Earth System Science.** John Wiley & Sons, 2011.

Solomon, S. et al. **Technical Summary**. In: Solomon, S. et al. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom, 2007.

Stevenson, R.J. **An Introduction to Algal Ecology in Freshwater Benthic Habitats**. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. & Lowe, R.L. *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*. Elsevier, San Diego, 1996.

Tank, J.L. et al. **A Review of Allochthonous Organic Matter Dynamics and Metabolism in Streams**. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, v. 29, p. 118-146, 2010.

Theodorsson-Norheim, E. **Kruskall-Wallis test: Basic Computer Program to Perform Nonparametric One-way Analysis of Variance and Multiple Comparisons on Ranks of Several Independent Samples**. *Comput. Meth. Prog. Bio.*, v. 23, p. 57-62, 1986.

Thomas, M.L.H. **Photosynthesis and respiration of aquatic macro-flora using the light and dark bottle oxygen method and dissolved oxygen analyzer**. In: Lobban, C.S., Chapman, D.J. & Kremer, B.P. *Experimental Phycology: A Laboratory Manual*. Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

Thomas, C.D. et al. **Extinction Risk from Climate Change**. *Nature*, v. 427, p. 145-148, 2004.

Tian, F. et al. **A Hydrogen-Rich Early Earth Atmosphere**. *Science*, v. 308, p. 1014-1017, 2005.

Trenberth, K.E. et al. **Observations: Surface and Atmospheric Climate Change**. In: Solomon, S. et al. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom, 2007.

Vieira Júnior, J. & Necchi Júnior, O. **Photosynthetic Characteristics of Charophytes from Tropical Lotic Ecosystems.** *Phycol. Res.*, v. 51, p. 51-60, 2003.

Vieira Júnior, J. & Necchi Júnior, O. **Photosynthetic Characteristics of a Tropical Population of *Nitella cernua* (Characeae, Chlorophyta).** *Braz. J. Plant. Physiol.*, v. 18, p. 379-388, 2006.

Vis, M.L. **Biogeography of River Algae.** In: Necchi Júnior., O. *River Algae.* Springer International Publishing, Switzerland, 2016.

Vis, M.L. et al. **Stream Macroalgae of the Hawaiian Islands: A Preliminary Study.** *Pac. Sci.*, v. 48, p. 175-187, 1994.

Walker, J.C.G. **Carbon Dioxide on the Early Earth.** *Origins of Life*, v. 16, p. 117-127, 1985.

Walther, G. et al. **Ecological Responses to Recent Climate Change.** *Nature*, v. 416, p. 389-395, 2002.

Wang, J, Hoshaw, R.W. & McCourt, R. **Diversity of *Spirogyra* (Chlorophyta) filament types on an altitudinal gradient.** *Br. Phycol. J.*, v. 24, p. 367-373, 1989.

Watanabe, M.M. **Freshwater Culture Media.** In: Andersen, R.A. *Algal Culturing Techniques.* Elsevier, China, 2005.

Wetzel, R.G. & Likens, G.E. **Limnological Analyses.** Springer, New York, 2000.

WMO - World Meteorological Organization. **A Summary of Current Climate Change Findings and Figures.** WMO, Geneva, 2013.

Woodward, G., Perkins, D.M. & Brown, L.E. **Climate Change and Freshwater Ecosystems: Impacts Across Multiple Levels of Organization.** *Phil. Trans. R. Soc.*, v. 365, p. 2093-2106, 2010.

Zucchi, M.R. & Necchi Júnior, O. **Effects of Temperature, Irradiance and Photoperiod on Growth and Pigment Content in Some Freshwater Red Algae in Culture.** Phycol. Res., v. 49, p. 103-114, 2001.

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Valores de temperatura no verão e inverno (°C) e coordenadas geográficas de riachos da microbacia do cervo.

| Riacho | Latitude | Longitude | Temperatura | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | | Verão | Inverno |
| 1 | 22° 38' 37.6" S | 50° 21' 56.2" O | 23,79°C | 21,76°C |
| 2 | 22° 38' 32.6" S | 50° 20' 29.2" O | 23,16°C | 21,35°C |
| 3 | 22° 38' 18.1" S | 50° 19' 10.6" O | 22,82°C | 20,7°C |
| 4 | 22° 38' 08.6" S | 50° 12' 03.0" O | 22,54°C | 18,56°C |
| 5 | 22° 38' 28.1" S | 50° 12' 10.7" O | 20,95°C | 18,92°C |
| 6 | 22° 38' 40.2" S | 50° 27' 46.5" O | 24,49°C | 23,38°C |
| Média | | | 22,96°C | 20,78°C |
| Valor utilizado no Controle | | | 23°C | 20,8°C |

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para *Sirodotia delicatula* Skuja nos cenários experimentais de verão e inverno.

| | Verão | | | Inverno | | |
|---------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Controle (23°C) | RCP 4.5 (25,2°C) | RCP 8.5 (27,4°C) | Controle (20,8°C) | RCP 4.5 (23,1°C) | RCP 8.5 (25,2°C) |
| Y(II) | 0,08±0,02a | 0,10±0,03a | 0,08±0,03a | 0,11±0,03a | 0,08±0,02a | 0,10±0,03a |
| D | 0,44±0,02a | 0,42±0,04a | 0,45±0,03a | 0,50±0,03a | 0,44±0,02b | 0,42±0,04b |
| E | 0,46±0,03a | 0,44±0,04a | 0,45±0,04a | 0,37±0,05a | 0,46±0,03b | 0,44±0,04b |
| Y(NO) | 0,51±0,04a | 0,53±0,05a | 0,56±0,04b | 0,51±0,04a | 0,51±0,04a | 0,53±0,05a |
| Y(NPQ) | 0,41±0,05a | 0,36±0,06a | 0,36±0,04a | 0,39±0,06a | 0,41±0,05a | 0,36±0,06a |
| rETR | 12,07±2,46a | 15,26±4,79a | 11,50±4,27a | 14,26±4,00a | 12,07±2,46a | 12,02±2,46a |

*médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para “estágio Chantransia” nos cenários experimentais de verão e inverno.

| | Verão | | | Inverno | | |
|---------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Controle (23°C) | RCP 4.5 (25,2°C) | RCP 8.5 (27,4°C) | Controle (20,8°C) | RCP 4.5 (23,1°C) | RCP 8.5 (25,2°C) |
| Y(II) | 0,04±0,03a | 0,05±0,01a | 0,002±0,001b | 0,05±0,02a | 0,04±0,03a | 0,05±0,01a |
| D | 0,50±0,12a | 0,40±0,01b | 0,91±0,04c | 0,43±0,01a | 0,50±0,12a | 0,40±0,01a |
| E | 0,44±0,08a | 0,53±0,02b | 0,09±0,04c | 0,50±0,03a | 0,44±0,08a | 0,53±0,02a |
| Y(NO) | 0,50±0,17a | 0,47±0,02a | 0,89±0,02b | 0,48±0,01a | 0,50±0,17a | 0,47±0,02a |
| Y(NPQ) | 0,39±0,15a | 0,48±0,02a | 0,11±0,02b | 0,47±0,01a | 0,39±0,15a | 0,48±0,02a |
| rETR | 5,17±3,58a | 5,76±0,82a | 0,24±0,10b | 6,14±1,89a | 5,17±3,58a | 5,76±0,82a |

*médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott

Tabela 4. Valores médios dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para *Desmidium grevillei* (Kützing ex Ralfs) De Bary nos cenários experimentais de verão e inverno.

| | Verão | | | Inverno | | |
|---------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Controle (23°C) | RCP 4.5 (25,2°C) | RCP 8.5 (27,4°C) | Controle (20,8°C) | RCP 4.5 (23,1°C) | RCP 8.5 (25,2°C) |
| Y(II) | 0,03±0,01a | 0,03±0,01a | 0,03±0,01a | 0,02±0,003a | 0,03±0,01a | 0,02±0,004a |
| D | 0,34±0,03a | 0,46±0,03b | 0,34±0,01a | 0,39±0,01a | 0,41±0,03a | 0,41±0,03a |
| E | 0,62±0,03a | 0,49±0,04b | 0,62±0,01a | 0,57±0,01a | 0,54±0,02a | 0,57±0,03a |
| Y(NO) | 0,36±0,03a | 0,36±0,03a | 0,40±0,01b | 0,28±0,03a | 0,40±0,06a | 0,40±0,06a |
| Y(NPQ) | 0,61±0,03a | 0,61±0,03a | 0,57±0,01b | 0,70±0,03a | 0,58±0,05a | 0,58±0,05a |
| rETR | 4,90±1,28a | 4,19±1,98a | 4,50±0,96a | 3,19±0,48a | 3,76±1,42a | 2,71±0,54a |

*médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott

Tabela 5. Valores médios dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para *Nitella microcarpa* var. *wrightii* Groves & Groves nos cenários experimentais de verão e inverno.

| | Verão | | | Inverno | | |
|---------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | Controle | RCP 4.5 | RCP 8.5 | Controle | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
| | (23°C) | (25,2°C) | (27,4°C) | (20,8°C) | (23,1°C) | (25,2°C) |
| Y(II) | 0,10±0,01a | 0,07±0,02b | 0,04±0,004c | 0,07±0,01a | 0,10±0,04a | 0,08±0,04a |
| D | 0,28±0,03a | 0,26±0,02a | 0,33±0,02b | 0,27±0,03a | 0,28±0,03a | 0,26±0,02a |
| E | 0,58±0,02a | 0,63±0,04b | 0,62±0,02b | 0,62±0,02a | 0,58±0,02b | 0,63±0,04a |
| Y(NO) | 0,35±0,02a | 0,38±0,02a | 0,41±0,01b | 0,36±0,03a | 0,35±0,04a | 0,37±0,04a |
| Y(NPQ) | 0,56±0,01a | 0,55±0,03a | 0,55±0,01a | 0,57±0,03a | 0,55±0,02a | 0,55±0,04a |
| rETR | 11,6±04,85a | 9,55±4,44a | 4,50±0,96b | 8,76±1,32a | 12,17±4,81a | 9,88±4,42a |

*médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott

Tabela 6. Valores médios dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para *Nitella subglomerata* A. Braun nos cenários experimentais de verão e inverno.

| | Verão | | | Inverno | | |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Controle | RCP 4.5 | RCP 8.5 | Controle | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
| | (23°C) | (25,2°C) | (27,4°C) | (20,8°C) | (23,1°C) | (25,2°C) |
| Y(II) | 0,02±0,01a | 0,02±0,01a | 0,01±0,02a | 0,02±0,01a | 0,02±0,02a | 0,02±0,02a |
| D | 0,31±0,01a | 0,30±0,02a | 0,31±0,03a | 0,34±0,05a | 0,29±0,01a | 0,30±0,03a |
| E | 0,68±0,02a | 0,67±0,04a | 0,68±0,03a | 0,64±0,06a | 0,69±0,02a | 0,68±0,05a |
| Y(NO) | 0,39±0,08a | 0,36±0,01a | 0,39±0,07a | 0,40±0,05a | 0,39±0,02a | 0,39±0,01a |
| Y(NPQ) | 0,60±0,07a | 0,63±0,02a | 0,60±0,05a | 0,59±0,05a | 0,59±0,02a | 0,60±0,02a |
| rETR | 1,28±0,59a | 1,64±1,09a | 1,01±2,53a | 2,52±1,35a | 2,71±2,63a | 2,38±2,18a |

*médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott

Tabela 7. Valores médios dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para a espécie de *Oedogonium* Link ex Hirn nos cenários experimentais de verão e inverno.

| | Verão | | | Inverno | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Controle | RCP 4.5 | RCP 8.5 | Controle | RCP 4.5 | RCP 8.5 |
| | (23°C) | (25,2°C) | (27,4°C) | (20,8°C) | (23,1°C) | (25,2°C) |
| Y(II) | 0,25±0,03a | 0,22±0,04a | 0,28±0,04a | 0,12±0,02a | 0,11±0,02a | 0,08±0,01b |
| D | 0,29±0,02a | 0,32±0,05a | 0,32±0,01a | 0,28±0,03a | 0,30±0,02a | 0,32±0,01a |
| E | 0,34±0,04a | 0,33±0,06a | 0,30±0,06a | 0,53±0,03a | 0,51±0,03a | 0,55±0,03a |
| Y(NO) | 0,27±0,02a | 0,29±0,08a | 0,34±0,04a | 0,32±0,13a | 0,28±0,03a | 0,34±0,07a |
| Y(NPQ) | 0,49±0,04a | 0,49±0,06a | 0,38±0,02b | 0,56±0,11a | 0,61±0,02a | 0,58±0,07a |
| rETR | 35,19±3,65a | 31,48±5,42a | 39,19±5,28a | 17,01±3,20a | 15,67±3,43a | 11,63±1,45b |

*médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott

Tabela 8. Valores médios dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* para a espécie de *Spirogyra* Link nos cenários experimentais de verão e inverno.

| | Verão | | | Inverno | | |
|---------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| | Controle (23°C) | RCP 4.5 (25,2°C) | RCP 8.5 (27,4°C) | Controle (20,8°C) | RCP 4.5 (23,1°C) | RCP 8.5 (25,2°C) |
| Y(II) | 0,01±0,004a | 0,02±0,01a | 0,04±0,03a | 0,03±0,01a | 0,02±0,01a | 0,02±0,01a |
| D | 0,87±0,06a | 0,84±0,15a | 0,85±0,21a | 0,77±0,11a | 0,90±0,05b | 0,94±0,08b |
| E | 0,13±0,05a | 0,15±0,08a | 0,15±0,08a | 0,20±0,09a | 0,09±0,04b | 0,07±0,04b |
| Y(NO) | 0,87±0,02a | 0,79±0,08a | 0,81±0,08a | 0,81±0,08a | 0,88±0,03a | 0,88±0,03a |
| Y(NPQ) | 0,13±0,02a | 0,19±0,06a | 0,15±0,04a | 0,17±0,05a | 0,11±0,03b | 0,11±0,01b |
| rETR | 1,19±0,82a | 3,27±2,12a | 4,11±2,92a | 4,64±2,32a | 2,22±1,83a | 2,98±1,03a |

*médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott

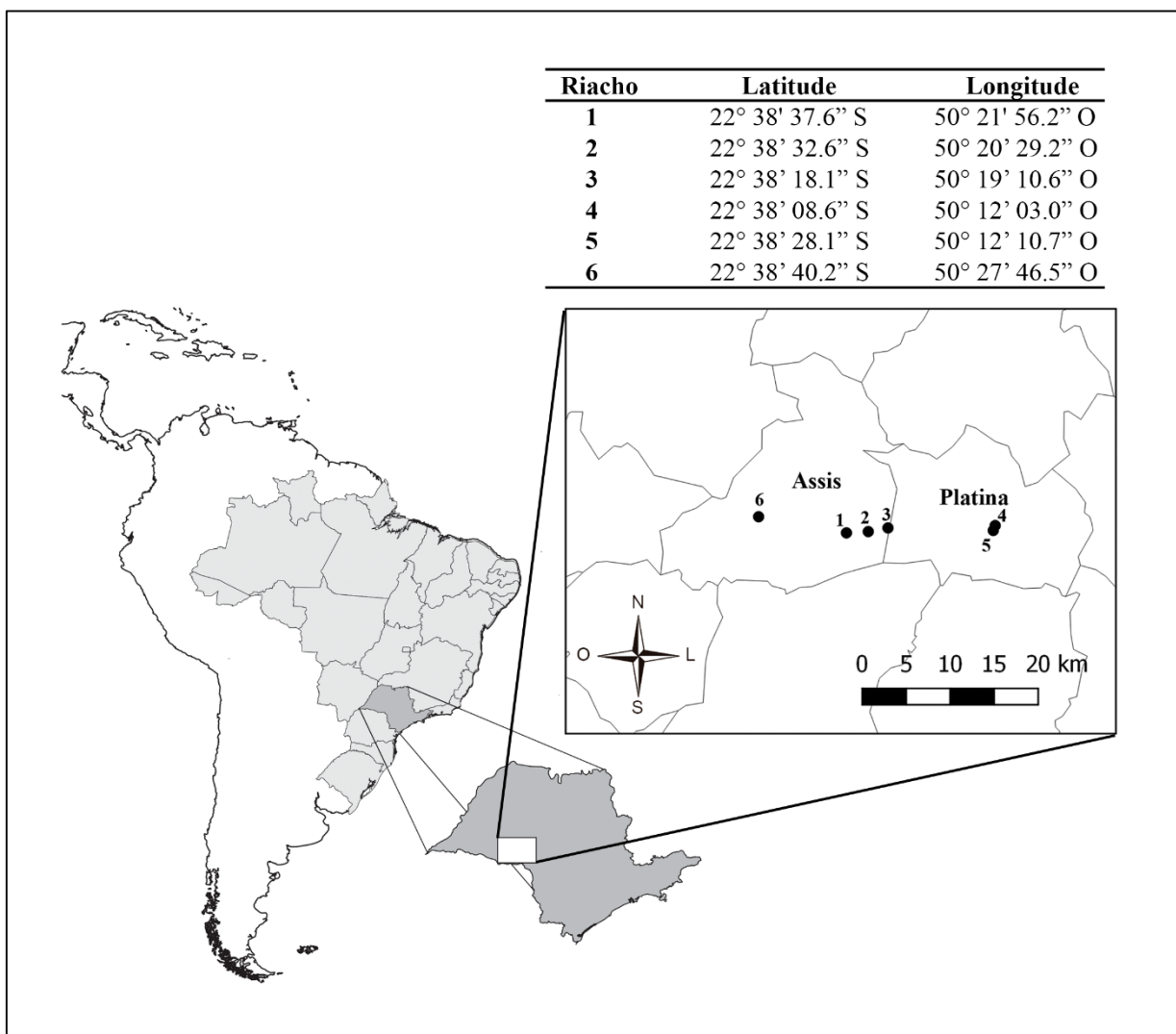


Figura 1. Localização dos riachos da microbacia do cervo onde as temperaturas foram mensuradas.

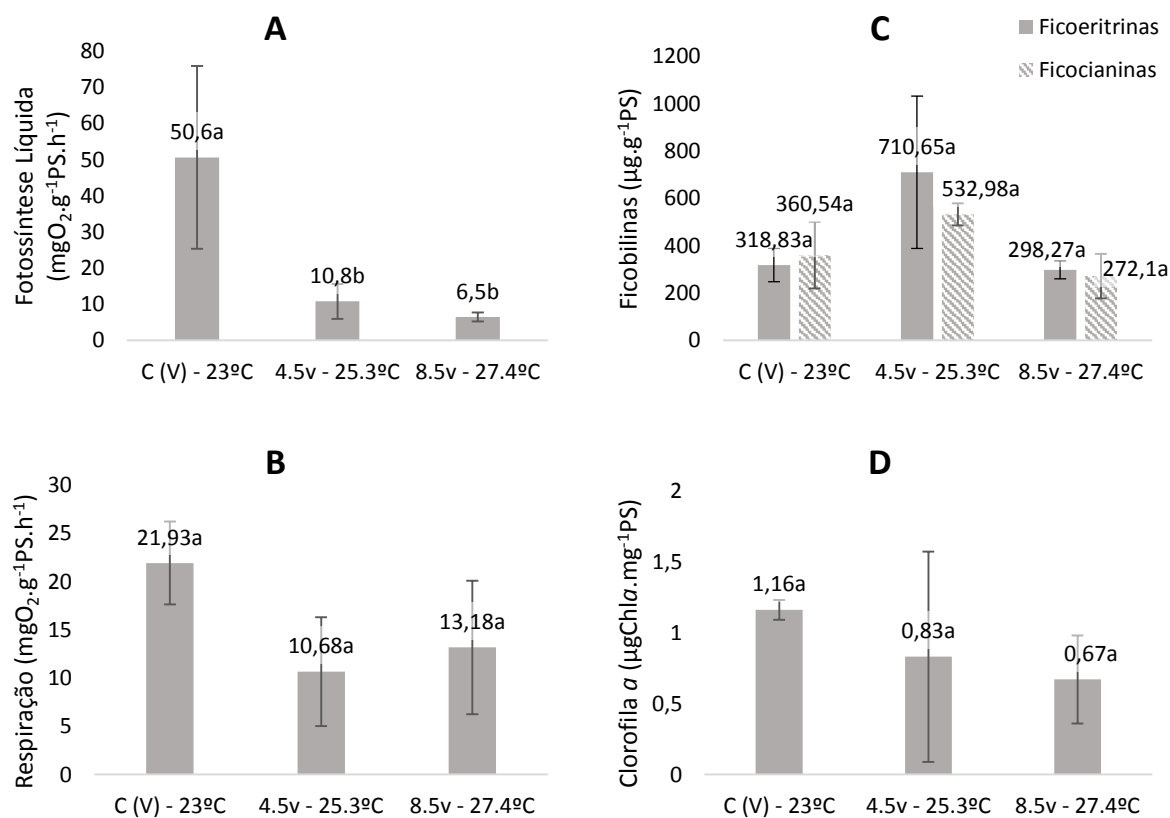


Figura 2. Médias dos parâmetros fotossintéticos de *Batrachospermum helminthosum* Bory nos tratamentos de verão: (A) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C) Ficobilinas (µg.g⁻¹PS), (D) Clorofila *a* (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott.

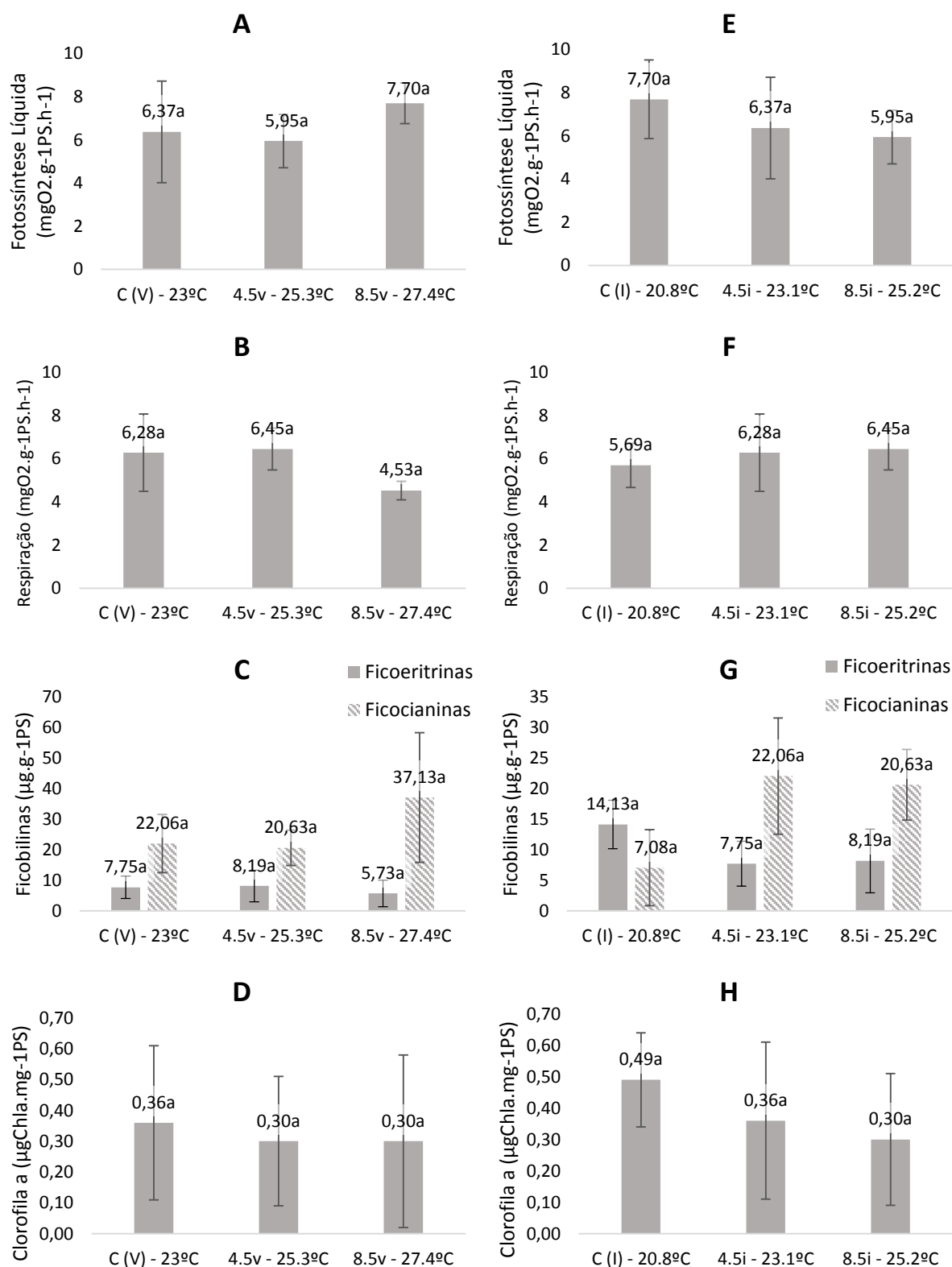


Figura 3. Médias dos parâmetros fotossintéticos de *Sirodotia delicatula* Skuja nos tratamentos de verão (A-D) e inverno (E-H): (A/E) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B/F) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C/G) Ficobilinas (µg.g⁻¹PS), (D/H) Clorofila *a* (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa.

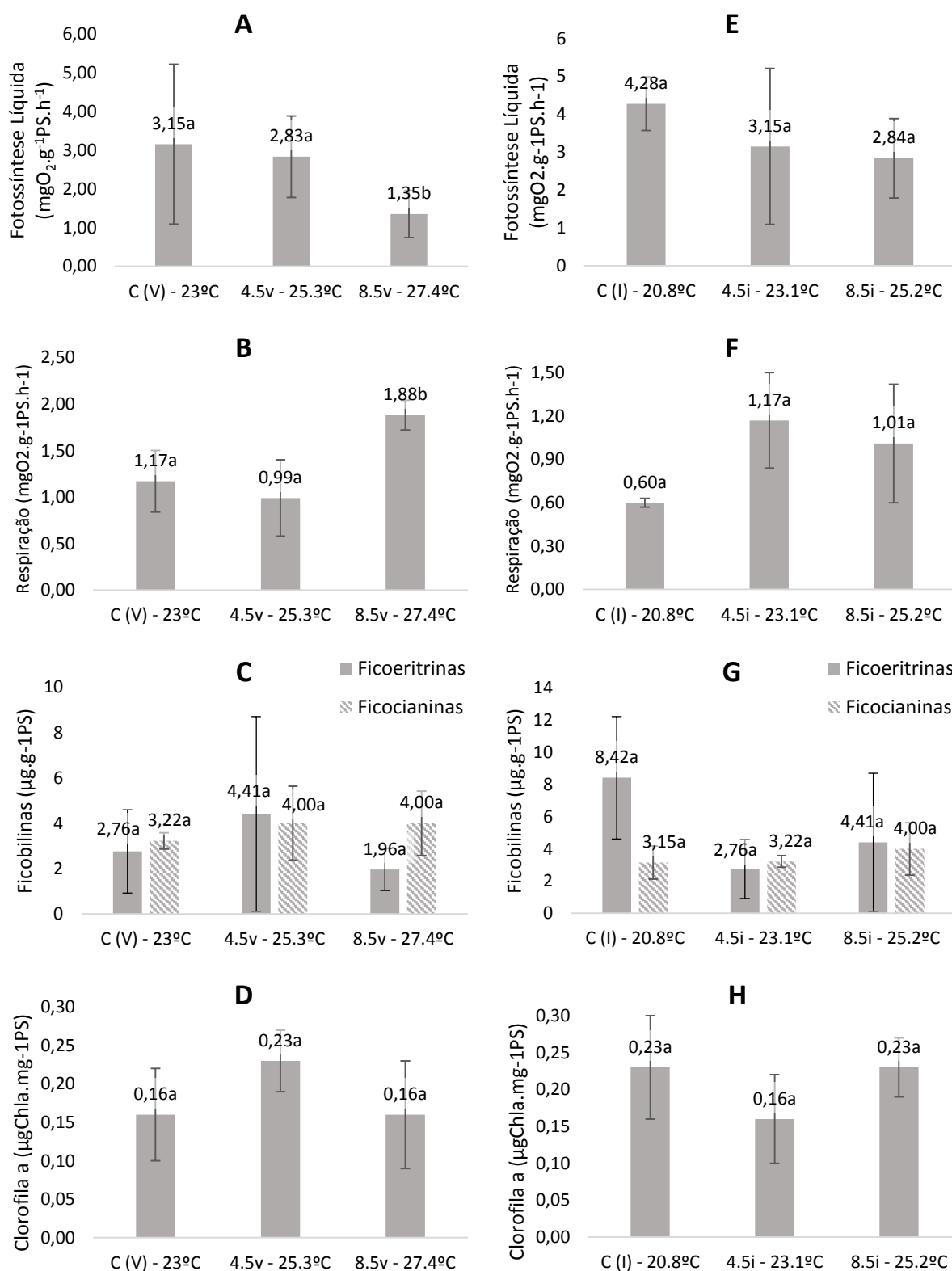


Figura 4. Médias dos parâmetros fotossintéticos de “estágio Chantransia” nos tratamentos de verão (A-D) e inverno (E-H): (A/E) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B/F) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C/G) Ficobilinas (µg.g⁻¹PS), (D/H) Clorofila a (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa.

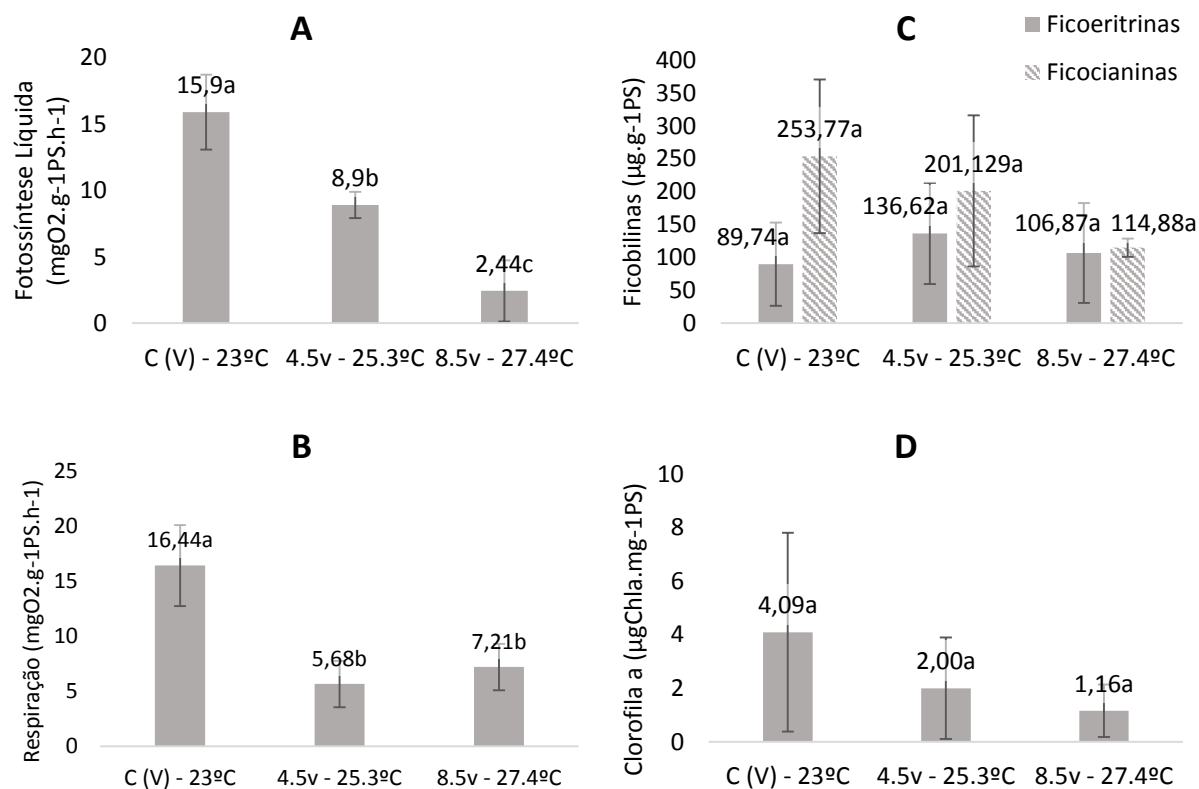


Figura 5. Médias dos parâmetros fotossintéticos de *Phormidium retzii* Kützing ex Gomont nos tratamentos de verão: (A) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C) Ficobilinas (µg.g⁻¹PS), (D) Clorofila *a* (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa na análise de variância de Scott-Knott.

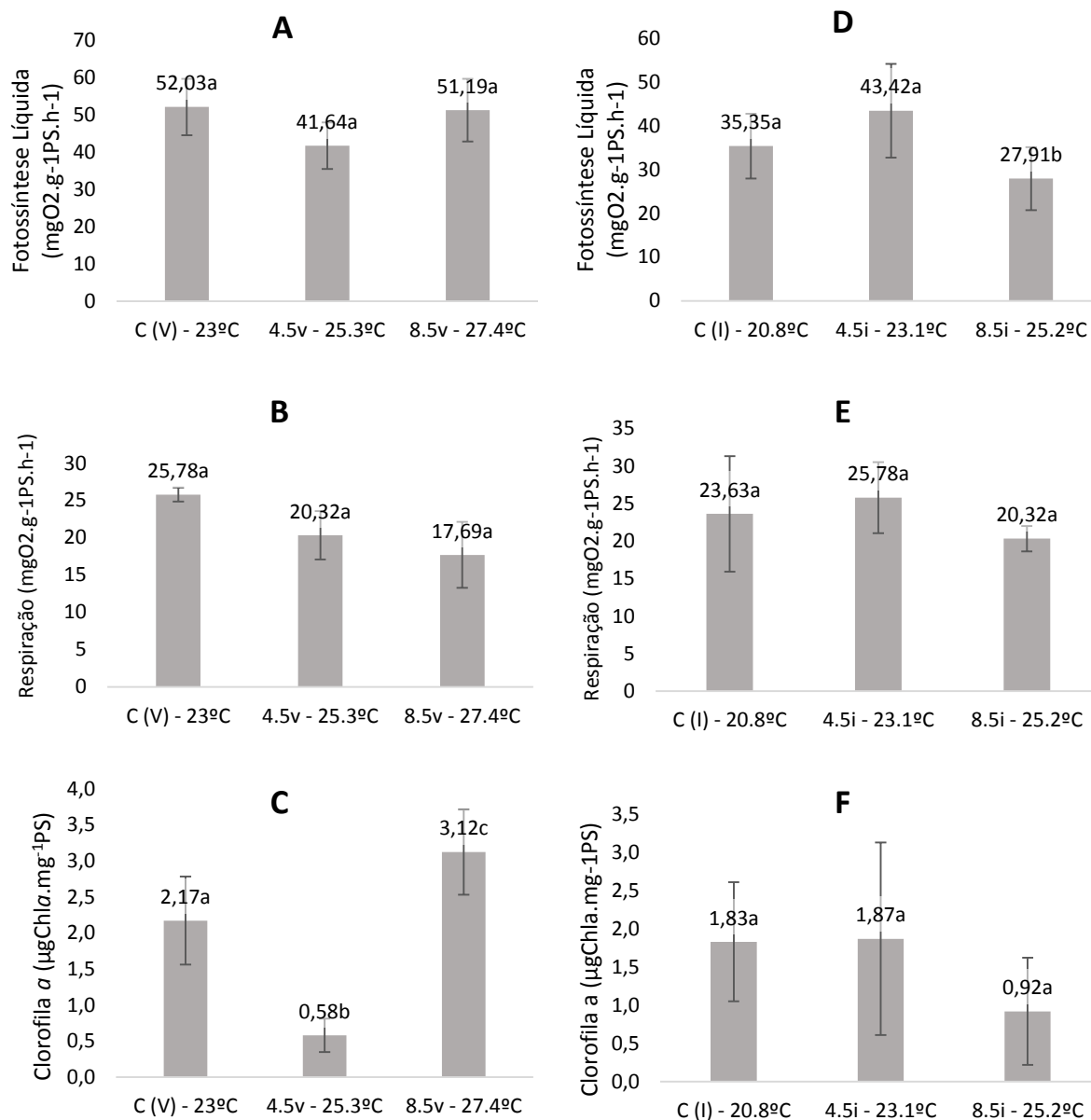


Figura 6. Médias dos parâmetros fotossintéticos de *Desmidium grevillei* (Kützinger ex Ralfs) De Bary nos tratamentos de verão (A-C) e inverno (D-F): (A/D) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B/E) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C/F) Clorofila a (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa.

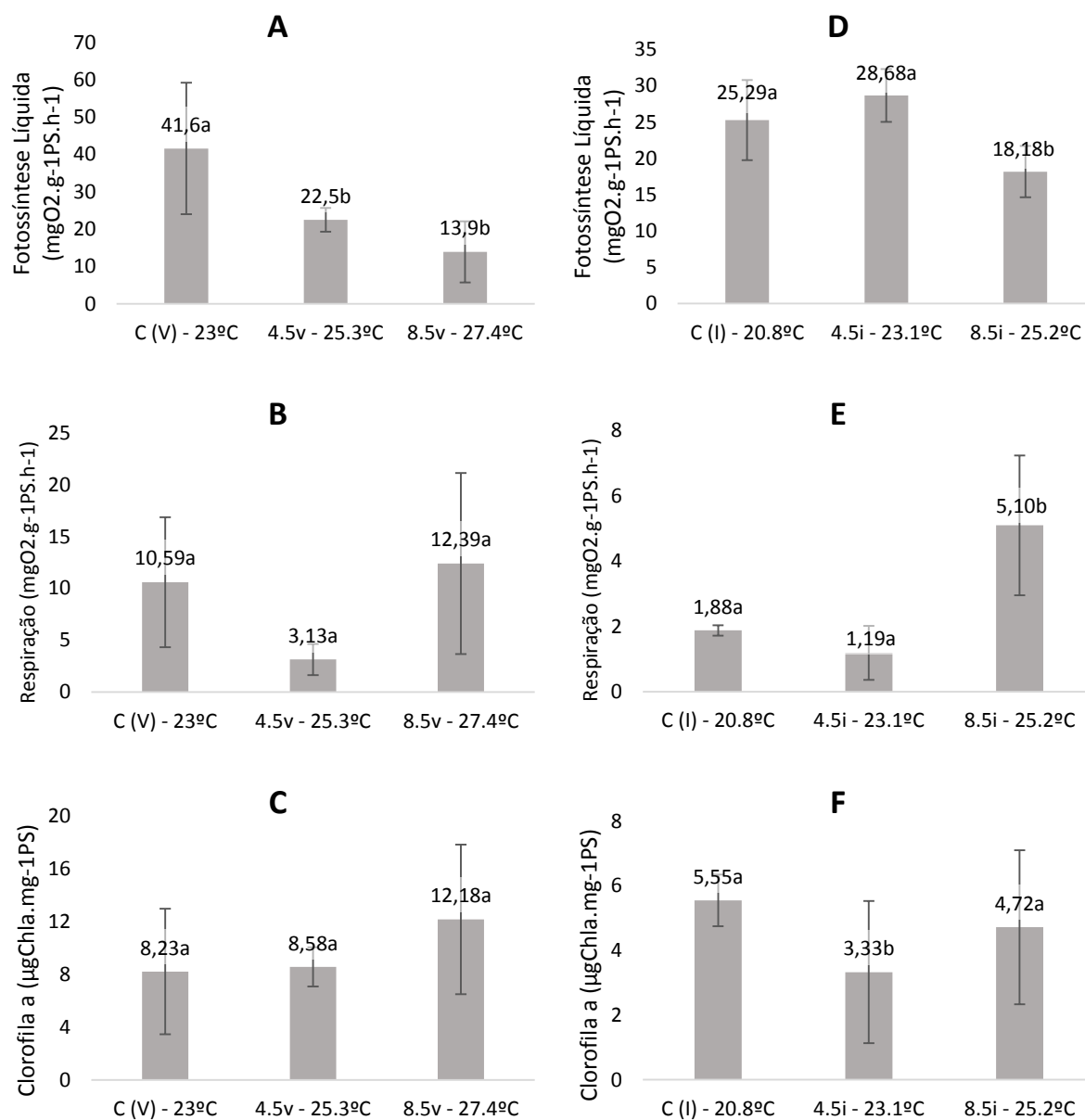


Figura 7. Médias dos parâmetros fotossintéticos de *Nitella microcarpa* var. *wrightii* Groves & Groves nos tratamentos de verão (A-C) e inverno (D-F): (A/D) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B/E) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C/F) Clorofila a (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa.

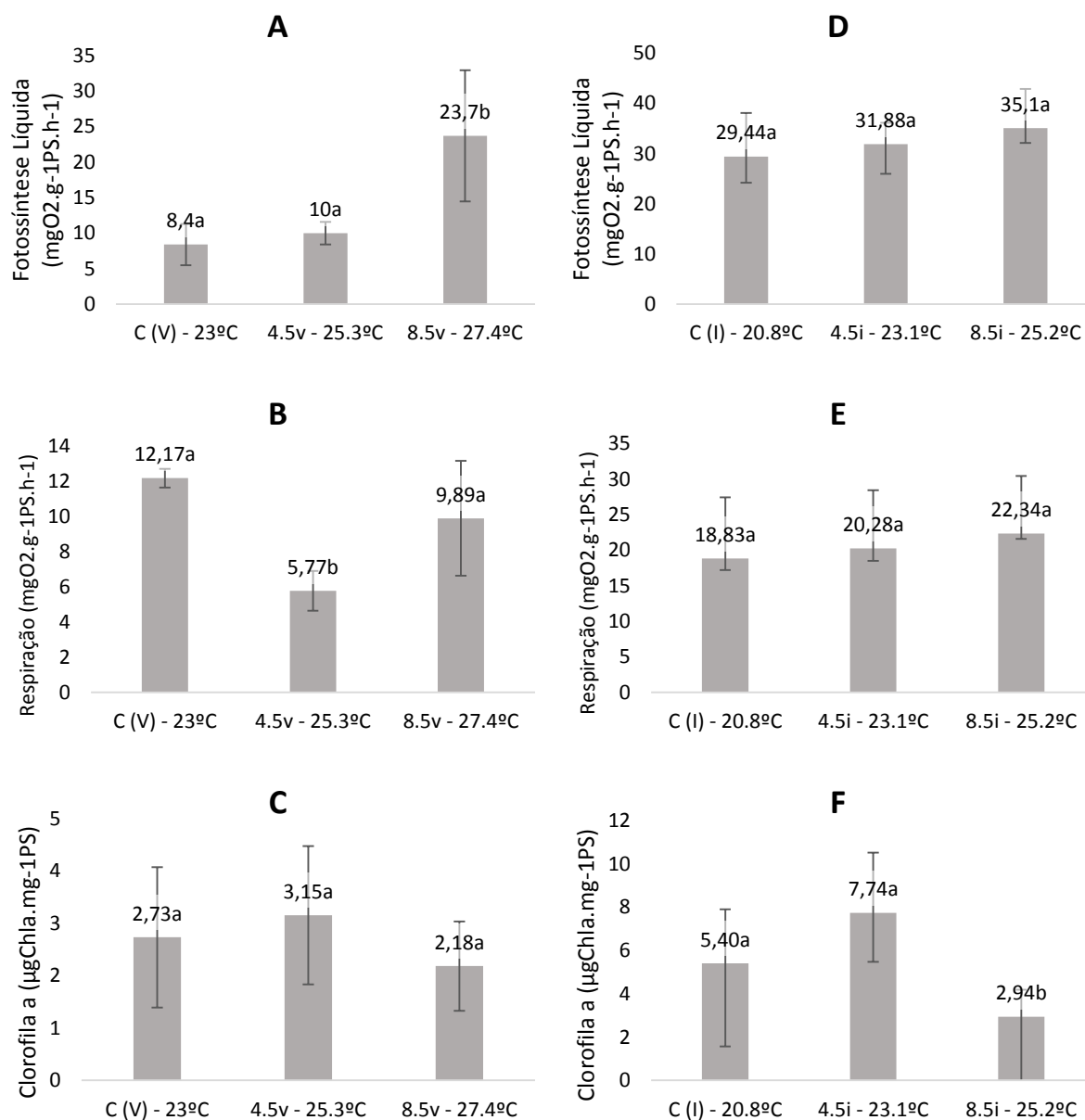


Figura 8. Médias dos parâmetros fotossintéticos de *Nitella subglomerata* A. Braun nos tratamentos de verão (A-C) e inverno (D-F): (A/D) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B/E) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C/F) Clorofila a (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa.

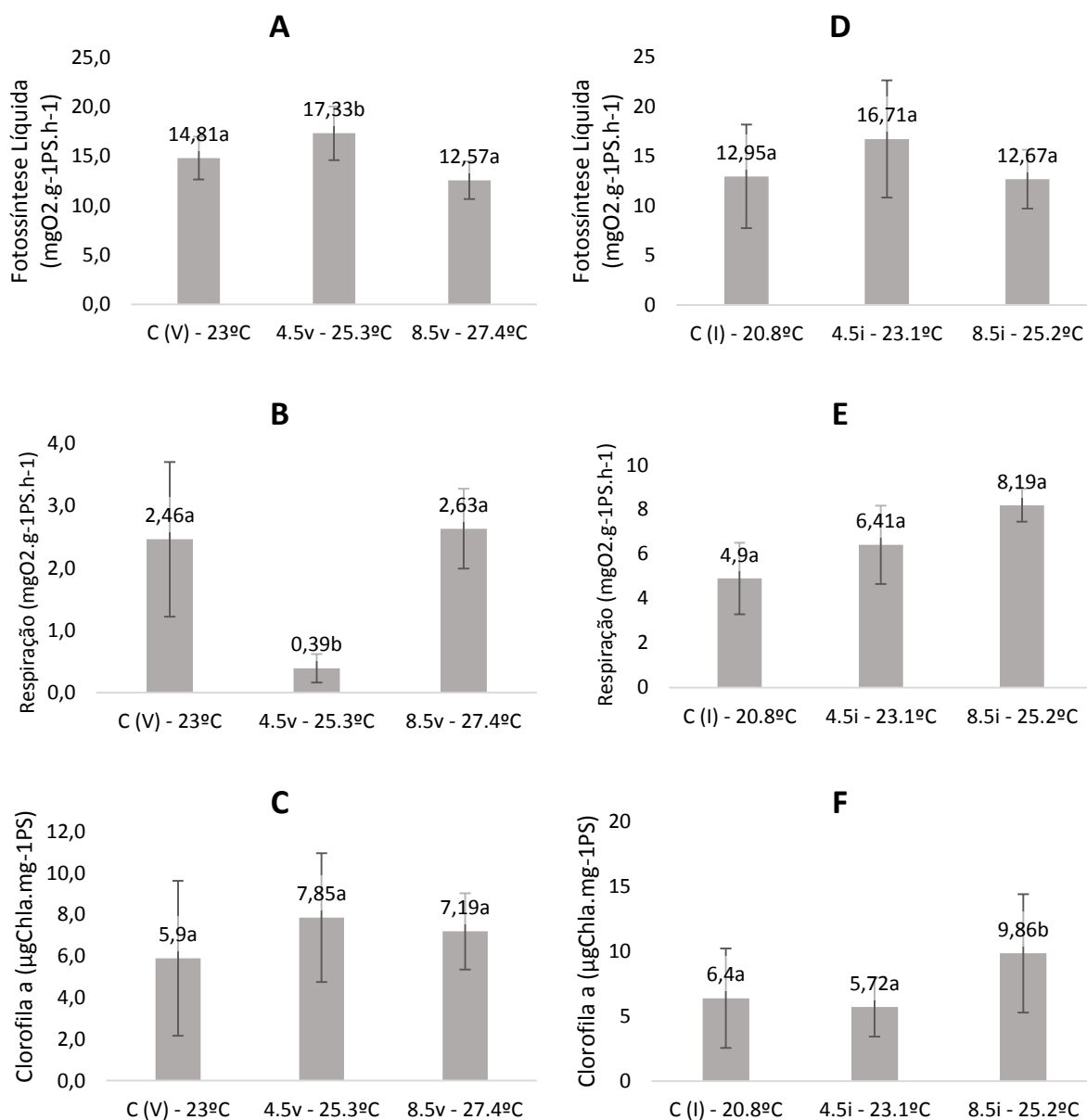


Figura 9. Médias dos parâmetros fotossintéticos da espécie de *Oedogonium* Link ex Hirn nos tratamentos de verão (A-C) e inverno (D-F): (A/D) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B/E) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C/F) Clorofila a (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa.

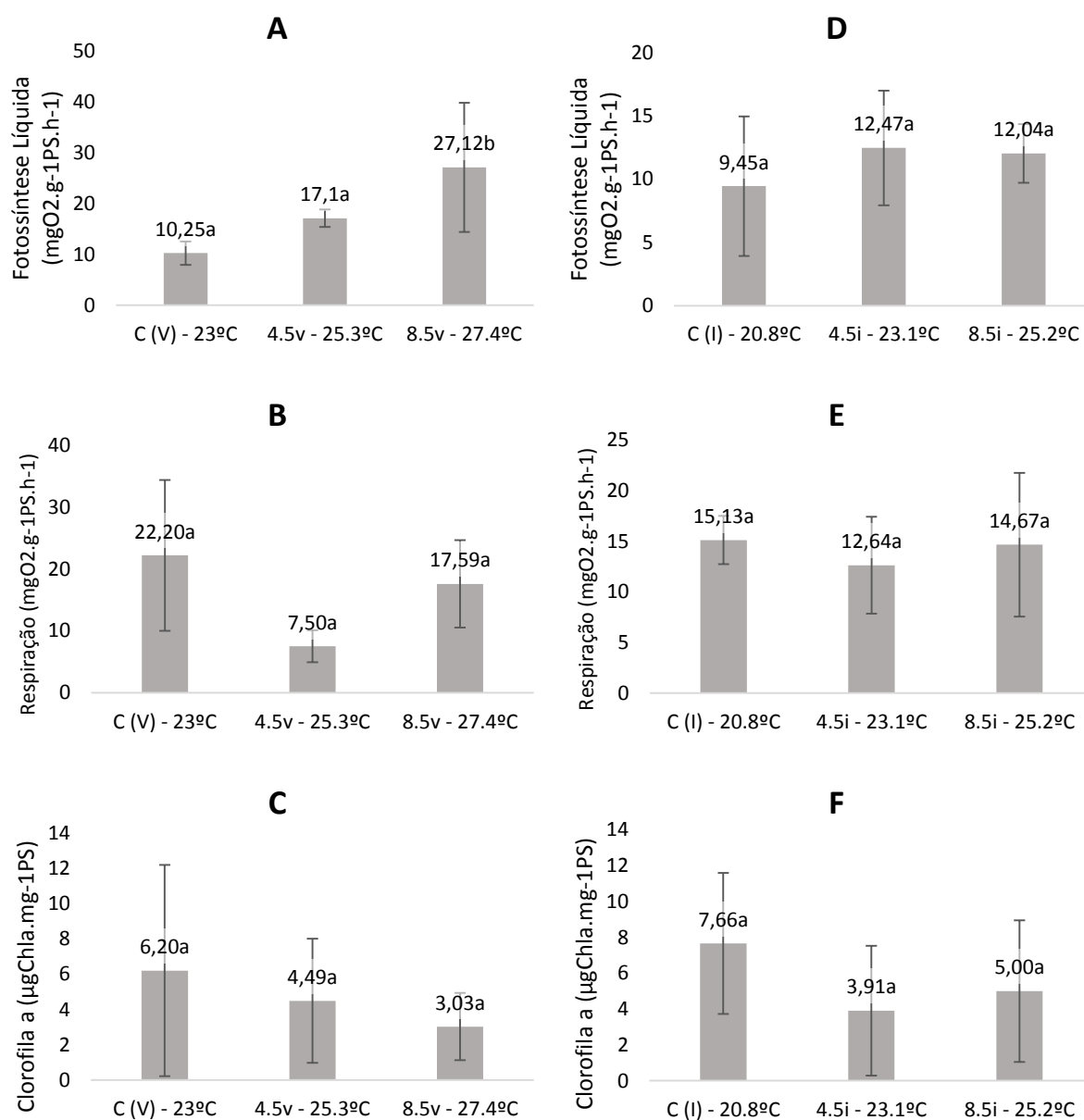


Figura 10. Médias dos parâmetros fotossintéticos da espécie de *Spirogyra* Link nos tratamentos de verão (A-C) e inverno (D-F): (A/D) Fotossíntese Líquida (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (B/E) Respiração no escuro (mgO₂.g⁻¹PS.h⁻¹), (C/F) Clorofila a (µg.mg⁻¹PS). Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença estatística significativa.