

**Avaliação das respostas fotossintéticas de
macroalgas lólicas sobre diferentes composições
espectrais da radiação incidente**

BRUNO PEREIRA CRULHAS

- Rio Claro -

Estado de São Paulo

2013

Avaliação das respostas fotossintéticas de macroalgas lólicas sobre diferentes composições espectrais da radiação incidente

BRUNO PEREIRA CRULHAS

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências do “Campus” de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências biológicas (Área Biologia Vegetal)

Orientador:

Prof. Dr. Ciro Cesar Zanini Branco

Co-Orientador:

Prof. Dr. Orlando Necchi Júnior

- Rio Claro -

Estado de São Paulo

2013

“Aprender sem pensar é tempo perdido.”

(Confúcio)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr.º **Ciro Cesar Zanini Branco** por me aceitar no seu laboratório desde a graduação, e principalmente pelo seu jeito de nos animar com seus ensinamentos sobre tudo, sendo um grande exemplo de profissional no qual quero me tornar um dia, aprendi muito com ele durante esses anos.

Ao prof.º Dr.º **Orlando Necchi Júnior** não só pela co-orientação, mas também por colocar a disposição todo o seu laboratório para a produção da dissertação e por estar sempre disposto a responder minhas dúvidas por mais banais que fossem.

Ao prof.º Dr.º **Pitágoras Bispo**, pelos seus conselhos, dicas e valiosos ensinamentos, a sua amizade, sempre com um sorriso no rosto e nunca hesitando em ajudar os ficólogos do laboratório.

Aos meus avós **Antônio e Neusa** e meu pai **José** que me deram todo o conhecimento, educação e carinho necessário para eu estar aqui hoje, e sempre se esforçando para entender o que eram meus experimentos, coletas e análises. Não seria metade da pessoa que sou hoje se não fosse por vocês.

A minha mãe **Célia** que mesmo apesar da distância, sempre esteve presente me auxiliando e me apoiando nas minhas escolhas.

Aos meus irmãos de sangue, **Fábio, João Pedro** e a **Ana Carolina** que fizeram dos meus finais de semana em **Marília** sempre mais engraçados e reconfortantes, dividiram momentos únicos e essenciais, desde brincadeiras bobas até conversas mais sérias, vocês são únicos em minha vida!

A minha namorada **Mariana**, por estar sempre ao meu lado me dando apoio e força para seguir em frente, sempre carinhosa e atenciosa, você é uma pessoa espetacular e compartilhar minha vida com você é muito especial, meu mundo fica mais colorido com você.

Aos meus amigos de **Marília**, que nada mais são que irmãos escolhidos por mim para me acompanharem nessa jornada, **Amanda (mandinha), Conrado (Con), Leandro (Galan), Maria Paula (Maria), Vanessa (Van)** e **William (Will)**, vocês dividiram comigo, as risadas, choros, nervosismos, tentaram entender o mundo da biologia, e pelas conversas de barzinhos, festas, jantares, vídeo game, cinemas, viagens! Vocês são anjos em minha vida.

Aos meus amigos/irmãos e companheiros de laboratório de Assis, Aurélio (Lélinho) e Thaís (Gon), por aguentarem as minhas péssimas piadas e comentários sem graças e principalmente por aprender muito com vocês, passamos praticamente os últimos dois anos juntos e também aos meus amigos/irmãos Kassandra (Ká) e Thaís (Caçula), pelos banquetes feitos no clube do garfo, pelas conversas, apoio e muitas, muitas, muitas risadas! As palavras são poucas para descrever o enorme carinho que tenho por todos, guardo todos no meu coração!

Ao pessoal do Laboratório de Biologia Aquática, Marcos (Carneiro), Thiago (Bob), Gabriel Paciência e Rafael (Piriquito) por fazer os dias de experimentos serem mais fáceis, sempre ajudando quando necessário.

Ao pessoal do LABI II (Laboratório de Biologia Industrial II) por autoclavarem as águas dos experimentos e fornecerem materiais para as análises.

Aos técnicos de laboratório Gilberto e Allan, por serem sempre solícitos e disponibilizarem reagentes e vidrarias para os experimentos.

As funcionárias da seção de pós-graduação da Unesp de Rio Claro, Vanessa e Rosemary, por sempre me atenderem prontamente e estarem sempre dispostas a tirar qualquer dúvida burocrática.

A minha turma de pós-graduação, Milene, Luís, Rita e o pessoal do Instituto Botânico de São Paulo, e em especial Danilo (Dan) e o Tiago (Haruo) e quantas risadas demos juntos, mesmo passando maior parte do tempo longe pareciam que estavam do meu lado!

E a FAPESP, pela bolsa concedida (Nº processo 2011/04434-0).

Sumário

Resumo.....	v
Abstract	vi
1. Introdução.....	1
2. Material e Métodos.....	6
3. Resultados	10
Atividade fotossintética dos táxons individualmente em resposta aos tratamentos de irradiância e composição espectral da luz incidente	10
Atividade fotossintética comparativa dos filos algais em resposta aos tratamentos quali- quantitativos de luz incidente.....	18
4. Discussão	21
Referências Bibliográficas	27
Apêndice: Tabelas	37
Apêndice: Figuras.....	49

Resumo

A luz incidente é certamente uma das principais variáveis ambientais que influenciam a distribuição, estrutura e funcionamento das comunidades de macroalgas de ecossistemas lóticos. Por isso, a influência da variação qualitativa e quantitativa da luz incidente sobre as respostas fotossintéticas foi analisada em onze táxons macroalgais pertencentes aos Filos Chlorophyta, Cyanobacteria, Rhodophyta e Xanthophyta, utilizando as técnicas de oxigênio dissolvido e fluorescência da clorofila *a*. Através destas técnicas foram produzidas curvas de fotossíntese-irradiância e então calculados vários parâmetros fotossintéticos. As espécies do Filo Chlorophyta registraram uma preferência pela luz verde, com altos valores de P_{max} , eficiência fotossintética e rendimento quântico efetivo, nesta faixa do espectro luminoso. Em relação à quantidade de luz disponível, o grupo apresentou padrões espécie-específicos, tanto com espécies tidas como de sombra como de sol. O Filo Cyanobacteria apresentou melhor aproveitamento fotossintético quando exposto à luz vermelha, pois, obteve altos valores de rendimento quântico efetivo e eficiência fotossintética neste tratamento. Quanto à quantidade de luz incidente, o grupo demonstrou resposta indiferente, sem uma clara tendência nos seus parâmetros fotossintéticos nos tratamentos de atenuação. O Filo Rhodophyta demonstrou altos valores de eficiência fotossintética e rendimento quântico efetivo nos espectros luminosos azul e vermelho e, considerando os dados quantitativos, o grupo apresentou respostas fotossintéticas típicas de plantas de sombra, com baixos valores de P_{max} , e do ponto de saturação e altos valores de rendimento quântico efetivo e eficiência fotossintética sob menores irradiâncias. O Filo Xanthophyta, no experimento qualitativo, obteve valores similares dos parâmetros fotossintéticos entre os tratamentos testados sendo, portanto, indiferente quanto ao tipo de espectro disponível. No experimento quantitativo, o representante deste grupo algal, apresentou preferência por locais abertos e com sombreamento moderado, com valores significativamente menores no tratamento com 87% de atenuação. Quando os resultados fisiológicos obtidos no presente estudo foram confrontados com os dados disponíveis sobre a ecologia destes grupos algais, observa-se claramente que as respostas fotossintéticas filo-específicas às diferentes condições de luz representam um importante fator na compreensão dos padrões de distribuição ambiental destes organismos.

Palavras chave: macroalgas lóticas, fotossíntese, fluorescência, qualidade de luz, quantidade de luz.

Abstract

The incident light is certainly one of the main environmental variables which influence the distribution, structure and functioning of lotic macroalgae communities. Therefore, the influence of qualitative and quantitative variation of incident light on the photosynthetic responses were analyzed in eleven species pertaining to Chlorophyta, Cyanobacteria, Rhodophyta and Xanthophyta, using the techniques of dissolved oxygen and chlorophyll *a* fluorescence. Through these techniques the irradiance curves were made and then the photosynthetic parameters were analyzed. The species of Chlorophyta recorded a preference for the green light, with high P_{max} , photosynthetic efficiency and quantum yield, in this range of the light spectrum. Relative to the quantity of light available, the group presented species-specific patterns with both sun and shade species. The Cyanobacteria showed better exploitations when exposed to red light, whereas, obtained high values of effective quantum yield and photosynthetic efficiency in this treatment. Regarding to the amount of incident light, the group showed indifferent response, with no clear trend in its photosynthetic parameters in the attenuation treatments. The Rhodophyta, in the qualitative experiment demonstrated high values of photosynthetic efficiency and effective quantum yield in the blue and red spectrum, and in the quantitative experiment, the group presented photosynthetic results typical of shade plants due to low P_{max} and saturation point, and high values of effective quantum yield and photosynthetic efficiency under lower irradiances. The Xanthophyta obtained milder and similar values of photosynthetic parameters among the tested treatments in the qualitative experiment, being indifferent to the type of available spectrum. In the quantitative experiment, it showed a preference for open and slightly shaded sites with a significantly lower values in the treatment with 87% of attenuation. When the physiological results obtained in the present study were confronted with the available ecological data of these algal groups, it clearly appears that the phylo-specific photosynthetic responses in the different light conditions are an important factor in understanding the patterns of environmental distribution of these organisms.

Keywords: Lotic macroalgae, photosynthesis, fluorescence, light quality, light quantity.

1. Introdução

Ambientes lóticos possuem como característica exclusiva a movimentação unidirecional de água, diferindo assim dos ambientes lênticos e criando condições bióticas e abióticas únicas (Maitland, 1990). Neste sentido, a velocidade da correnteza cria nos ambientes lóticos uma condição única para as espécies que o habitam, gerando por sua vez uma comunidade dominada por organismos bentônicos, devido sua habilidade de adesão ao substrato (Giller & Malmqvist, 1998; Lampert & Sommer, 2007).

Os ambientes lóticos naturais também podem ser caracterizados pela formação de mosaicos de habitats com características específicas que podem ser definidas tanto em escala local (p.ex., tipo e textura do substrato, intensidade e qualidade de luz disponível, intensidade da velocidade de correnteza, competição, predação, distúrbios físicos e químicos) como em escala regional (p.ex., geologia, clima e bacia hidrográfica) (Dudley & D'Antonio, 1991; Murdock & Dodds 2007).

As características locais e regionais exercem relevantes papéis na determinação da heterogeneidade das comunidades de algas bentônicas lóticas, pois são capazes de influenciar a riqueza e abundância de espécies, a diversidade e a composição das comunidades, além dos padrões de distribuição espaço-temporal (Dudley & D'Antonio, 1991; Downes *et al.*, 1998; Ensminger *et al.*, 2005; Murdock & Dodds, 2007). Estudos com estas comunidades de produtores primários são importantes, pois, estes organismos atuam como base de diversas teias alimentares (Lamberti 1996), além de oferecerem habitat para diferentes espécies (Downes *et al.*, 2000).

A comunidade bentônica algal possui, em geral, ampla ocorrência em ambientes lóticos, pois para seu crescimento é necessário apenas um substrato para fixação e luz para a fotossíntese, de modo que sua ocorrência é comum tanto em pequenos riachos como rios de grande porte (Lamberti, 1996; Allan & Castillo, 2007). Contudo, a comunidade ficológica que irá se estabelecer nos ambientes lóticos, apresentará diferentes formas e arranjos. Parte importante da flora bentônica é caracterizada por espécies que apresentam crescimento macroscópico evidente, ou seja, são visíveis e caracterizáveis em campo a olho nu (Sheath *et al.*, 1986; 1989), recebendo, neste caso, a denominação de macroalgas lóticas (Sheath & Cole, 1992).

Estudos realizados nas últimas décadas têm contribuído significativamente para a ampliação do conhecimento, tanto taxonômico quanto ecológico, sobre as comunidades de macroalgas de ambientes lóticos. Contudo, mesmo com o aumento significativo na quantidade de trabalhos, as informações sobre as comunidades de macroalgas lóticas ainda são insuficientes para que se possa ter uma compreensão precisa do seu real papel ecológico. Uma das maiores dificuldades para se encontrar respostas mais diretas sobre processos ecológicos envolvendo organismos lóticos, incluindo também as macroalgas lóticas, reside na dificuldade de como conduzir os experimentos ecológicos, que permitiriam estudar os efeitos isolados das variáveis ambientais e suas interações sobre tais organismos (Dudley & D'Antonio, 1991; Downes *et al.*, 2000).

Considerando as comunidades de macroalgas em especial, os principais estudos realizados com este grupo de organismos têm tentado descrever, em várias regiões do mundo, as relações entre a ocorrência e abundância das macroalgas com parâmetros físicos, químicos e climáticos do ambiente, destacando as suas flutuações no espaço e no tempo (Branco & Necchi Júnior, 1996a, 1996b; Necchi Júnior *et al.*, 2000, 2003, 2008; Verb & Vis 2001; Branco *et al.*, 2005, 2008a, 2008b, 2009; Hu & Xie, 2006; Krupek *et al.*, 2007, 2008; Peres *et al.*, 2008, 2009).

Nas últimas três décadas, vários trabalhos desta natureza têm mostrado que a distribuição ecológica das comunidades de macroalgas de riachos pode ser determinada por diferentes variáveis ambientais. Neste contexto, a literatura especializada tem disponibilizado descrições das relações destas variáveis ambientais (isoladamente ou em conjunto) com a diversidade, a abundância e a composição das comunidades de macroalgas no Brasil e em outras partes do mundo. Alguns importantes exemplos são apresentados a seguir.

Sheath & Burkholder (1985) atribuíram o padrão de distribuição geográfica das comunidades de macroalgas em riachos de águas moles do estado de Rhode Island (USA) às variações de pH, e, em adição, comentaram que quantidade de luz disponível seria o principal fator responsável pela sazonalidade de tais comunidades. Sheath *et al.* (1989) observaram uma alta correlação entre número de espécies com temperatura e pH para riachos da região leste da Floresta Boreal da América do Norte, Dudley & D'Antonio (1991), por sua vez, investigaram os efeitos da textura do substrato, herbivoria e distúrbios sobre o estabelecimento de macroalgas e demonstraram que cada riacho é composto por mosaicos de microhabitats com características específicas, o que

é determinante para a coexistência de diferentes espécies e a criação de refúgios contra o ataque de herbívoros e a lixiviação pela correnteza. Branco & Necchi Júnior (1996b) indicaram a alta precipitação pluviométrica como o principal fator responsável pela baixa diversidade de espécies nos rios/riachos da região oriental de Mata Atlântica do Estado de São Paulo. Necchi Júnior *et al.* (2003) apontaram o substrato rochoso, os baixos valores de pH e os altos valores de demanda química de oxigênio, a cor da água e a velocidade da correnteza, como os fatores mais intimamente relacionados com a distribuição das macroalgas na Bacia do Rio São Francisco, Serra da Canastra, Minas Gerais. Necchi Júnior *et al.* (2008) afirmaram que a temperatura da água foi a variável ambiental com maior e mais consistente influência sobre a riqueza, abundância e diversidade de espécies de macroalgas do Parque Nacional de Itatiaia, Rio de Janeiro.

A despeito destes trabalhos reconhecerem um grande número de variáveis ambientais como tendo relevantes influências sobre as respostas ecológicas das comunidades de macroalgas lótic, uma análise mais minuciosa dos estudos envolvendo estes organismos revela que a maioria das espécies apresenta ocorrência restrita (ver síntese apresentada por Branco *et al.*, 2009) e que, justamente por isso, a relação da distribuição ecológica destes organismos com o ambiente deve ser analisada de forma mais ampla e cuidadosa (Krupek *et al.*, 2007; Branco *et al.*, 2009).

Um exemplo claro da necessidade de uma análise mais refinada na ecologia das macroalgas lótic foi encontrado em uma investigação realizada em 105 riachos de dez unidades de conservação dos quatro principais biomas da região sul do Brasil (Branco *et al.* – comunicação pessoal). Neste estudo, observou-se que a única relação entre as macroalgas e os ambientes lótic investigados foi detectada em uma escala geográfica maior, ou seja, quando considerados os biomas como unidade de análise. Nesta escala, verificou-se que os valores de riqueza de espécies em riachos dos Campos/Estepe (um bioma não florestado) foram significativamente maiores do que aqueles registrados para as Florestas Ombrófila Densa, Ombrófila Mista e Estacional. Porém, quando investigadas estas mesmas relações em escalas geográficas menores, ou seja, quando considerados os riachos como unidade de análise, nenhuma das variáveis ambientais mensuradas individualmente (ou mesmo em conjunto) respondeu diretamente pelas variações encontradas na distribuição ambiental destas comunidades.

Contudo, na natureza, a quantidade e a qualidade da luz incidente, disponível nos ambientes lótic, são determinadas, fundamentalmente, pela presença e pelo tipo de estrutura da cobertura vegetal ripária, uma vez que os sistemas foliares da vegetação

marginal constituem, além de um anteparo físico, um filtro que seleciona comprimentos de onda específicos (Sheath & Burkholder, 1985), neste sentido, biomas florestados com a presença de um amplo dossel recobrendo os riachos irão determinar a passagem de um espectro filtrado, bem como atenuar a luminosidade se comparado com biomas não florestados.

A importância da luz sobre o metabolismo das algas é amplamente conhecida, visto que esta variável ambiental é fundamental para os processos fotossintéticos, representando a grande fornecedora de energia luminosa que será transformada em energia química metabolizável (Raven *et al.*, 2001). A luz é de fato um fator determinante na estruturação e regulação das comunidades algais, atuando em processos de ganho e perda de biomassa (Steinman & McIntire, 1987; Steiman *et al.*, 1989), modulação da produtividade (Bott *et al.*, 1985; King & Cummins, 1989) e determinação de sua composição taxonômica (Lyford & Gregory, 1975; Shoetreed & Stockner, 1983).

As análises dos efeitos da luz sobre os organismos fotossintetizantes podem ser realizadas tanto pelo prisma da quantidade luminosa (irradiância) como da qualidade do espectro luminoso (composição espectral) que é absorvido pelas plantas no decorrer do seu desenvolvimento (Batschauer, 1998). Embora se reconheça a relevância dos espectros quantitativos e qualitativos da luz sobre a resposta fotossintética das comunidades algais, micro e macroalgas, a maioria dos estudos focados nos efeitos das diferentes condições luminosas sobre estas comunidades tratam das variações de irradiância, já que a intensidade da luz claramente oferece forte influência nas suas taxas fotossintéticas, além de influenciar as suas preferências ecológicas (p. ex., plantas de sombra vs. plantas de sol) (Hill *et al.*, 1995; Roberts *et al.*, 2004; Rier *et al.*, 2006).

Embora negligenciada, é evidente que a qualidade de luz também possui forte relação com o comportamento ecológico das comunidades algais (Antoine & Benson-Evans, 1983a, 1983b; Prézelin *et al.*, 1991; Stevenson, 1996). Por exemplo, Sheath & Burkholder (1985) demonstraram que a vegetação ripária absorve comprimentos de onda de luz na faixa do azul e vermelho, e disponibiliza o comprimento de onda de luz verde, o qual é pouco utilizado na fotossíntese pela clorofila *a*, podendo ser aproveitado por outros pigmentos fotossintetizantes, como as ficobiliproteínas. Para estes autores, este fato explicaria a ampla ocorrência de algas vermelhas e cianobactérias em ambientes sombreados.

Considerando este horizonte, a presente dissertação foi conduzida com a finalidade de desenvolver e analisar as influências da composição espectral e da irradiância da luz sobre os padrões ecofisiológicos de um relevante grupo de produtores primários de ambientes lóticos de baixas ordens, as macroalgas, através de investigações experimentais. Pretendeu-se, como objetivo específico do presente estudo, avaliar os efeitos provocados pela composição espectral sobre as respostas fotossintéticas de espécies das divisões Chlorophyta, Rhodophyta, Xanthophyta, além de cianobactérias, grupos largamente reportados como dominantes nas comunidades de macroalgas em águas correntes do Brasil e do mundo (Branco *et al.*, 2009). Em adição, as informações fisiológicas obtidas no presente estudo foram correlacionadas com dados disponíveis sobre as distribuições ecológicas dos grupos investigados.

Estudos prévios sugerem que, em riachos, espécies de cianobactérias de crescimento macroscópico e macroalgas das divisões Rhodophyta, Chlorophyta e Xanthophyta possuem diferentes tipos de adaptações a diversos níveis de irradiância e composição espectral (Necchi Júnior, 2004). As Rhodophyta são invariavelmente reportadas como algas de sombra; as Chlorophyta como tipicamente algas de sol; enquanto que as Xanthophyta e as cianobactérias são tratadas como grupos intermediários (Necchi Júnior & Zucchi 2001; Bautista & Necchi Júnior, 2007). Alguns autores (p. ex., Branco & Necchi Júnior, 1996a; Peres *et al.*, 2008) sugerem que tais adaptações favoreçam cada grupo algal especificamente para obter melhor desempenho ecofisiológico em diferentes ambientes quanto à quantidade e qualidade da luz disponível. Neste contexto, a hipótese do trabalho foi que as macroalgas tenderiam a apresentar, de modo geral, respostas específicas segundo as divisões algais a que pertencem, visto que tais grupos taxonômicos apresentam complexos pigmentares distintos e particulares que podem estar diretamente relacionados com as variações do espectro luminoso (Carnicas *et al.*, 1999). Portanto, os objetivos deste trabalho foram analisar as respostas ecofisiológicas das algas das principais divisões algais (Chlorophyta, Cyanobacteria, Rhodophyta e Xanthophyta) em diferentes composições espectrais e quantidade de luz incidente, além de correlacionar os padrões encontrados com a distribuição dos grupos em ambientes naturais.

2. Material e Métodos

As espécies de macroalgas analisadas nos experimentos que avaliaram a influência da irradiância e da composição espectral da luz incidente sobre as suas respostas fotossintéticas foram escolhidas entre aquelas reportadas como de ampla ocorrência nos ambientes lóticos brasileiros. Neste sentido, onze táxons foram investigados, sendo quatro pertencentes ao Filo Chlorophyta (*Microspora willeana* Lagerheim, *Nitella furcata* (Rox Burgh ex Bruzelius) C. Agardhemend R.D. Wood subsp. *mucronata* (A. Braun) R.D. Wood var. *mucronata* R.D. Wood f. *wrightii* (J. Groves) R.D. Wood), *Oedogonium* sp., e *Spirogyra* sp.) três deles pertencentes ao Filo Cyanobacteria (*Lyngbya majuscula* Gomont, *Phormidium retzii* (C. Agardh) Gomont, e *Scytonema arcangelli* Bornet ex Flahault) três ao Filo Rhodophyta (*Batrachospermum helminthosum* Bory, estágio “Chantransia” forma *Pygmaea* e *Sirodotia delicatula* Skuja) e, finalmente, um ao Filo Xanthophyta (*Vaucheria* sp.).

Todos os espécimes utilizados nos experimentos foram coletados em riachos da região oeste do estado de São Paulo, compreendendo a bacia hidrográfica do rio do Cervo (latitude 22°39'42"S e longitude 50°24'44"W) e bacia do rio Pari (latitude 22°38'16" S e longitude 50° 12' 14" W). Esta região do estado de São Paulo possui uma grande variedade de riachos de pequeno e médio portes que apresentam evidente e significativo desenvolvimento de espécies de macroalgas em seus substratos naturais.

Os espécimes foram coletados à medida que os experimentos foram conduzidos, de modo que nenhum espécime permaneceu no laboratório por mais tempo do que o previsto para sua aclimação às condições pré-experimentais. Imediatamente após as coletas, os espécimes foram acondicionados em um recipiente grande (volume igual a 1 litro) contendo água do próprio riacho, sendo assim transportados ao laboratório.

No laboratório foi procedida a limpeza dos indivíduos com o auxílio de microscópio estereoscópico e pincel de cerdas duras, a fim de retirar sedimentos e epífitos associados ao talo. Após a limpeza, os indivíduos foram pesados e transferidos para um erlenmeyer com 110 mL de água do próprio riacho filtrada com bomba a vácuo (marca Max Pump, modelo MP – 650 – OF) e filtros de fibra de vidro (similar ao Whatman GF/C com poro de 1,2 µm de diâmetro) e mantidos, em aclimação, por três dias em incubadoras tipo B.O.D. (marca Nova Ética, modelo 411/FDP355) sob condições constantes de temperatura (20,0 °C) e irradiância ($140 \pm 15 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

Os experimentos, realizados em quintuplicata, foram conduzidos com água do próprio riacho filtrada e autoclavada (Necchi Júnior & Zucchi, 2001). Antes do início de cada experimento os espécimes foram transferidos para um erlenmeyer (110 mL) contendo água do próprio riacho suplementada com $2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ de NaHCO_3 (1 mL/100 mL) (Necchi Júnior & Zucchi, 2001) e incubados por um período de 60 minutos sob as condições específicas de cada tratamento qualitativo e quantitativo (Necchi Júnior & Zucchi, 2001).

A manipulação da composição espectral da luz incidente, nos experimentos designados como qualitativos, foi realizada pela aplicação de diferentes tipos de filtros específicos sobre as lâmpadas internas da incubadora tipo B.O.D.. Os filtros de luz foram construídos a partir de películas redutoras de luminosidade das cores verde (VD), azul (AZ) e vermelho (VM) (marca Insulfilm®, modelo Climatizado). Tonetto *et al.* (2012) mostraram que estes tipos de película, de fato, selecionam comprimentos de onda específicos. Neste estudo, a avaliação da composição espectral da luz filtrada mostrou que a película azul permitiu a passagem do comprimento de onda entre 420-480 nm, enquanto a verde entre 500-550 nm e a vermelha entre 600-660 nm (Figura 1). Para evitar efeitos da intensidade de luz nas respostas qualitativas, a irradiância utilizada no experimento foi similar a de aclimação ($140 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), mudando somente o comprimento de onda disponível para as algas.

A manipulação da intensidade da luz incidente, nos experimentos designados como quantitativos, também foi realizada pela aplicação de filtros sobre as lâmpadas internas da incubadora tipo B.O.D.. Entretanto, neste caso foram utilizadas películas de cor cinza e com diferentes níveis de atenuação da irradiância (marca Insulfilm®, modelo Climatizado). A simulação de sombreamento foi realizada pela utilização de três tipos de atenuação em relação a irradiância de aclimação ($140 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), a saber, i) 60% de atenuação ($53,5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), ii) 75% de atenuação ($35,4 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e iii) 87% de atenuação ($28 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Segundo Simão *et al.* (2008), películas redutoras desta natureza produzem um efeito redutor da irradiância similar ao produzido pela cobertura vegetal natural.

Além dos tratamentos qualitativos e quantitativos, foram utilizados experimentos de controle (CT), ou seja, sem a aplicação das películas redutoras. As irradiâncias utilizadas para a aclimação e para o controle foram sempre as mesmas ($140 \pm 15 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

A fim de evitar respostas fotossintéticas enviesadas por possíveis diferenças nas irradiâncias, durante os experimentos qualitativos e quantitativos os espécimes foram reposicionados dentro da incubadora a cada 12 minutos. Todas as medidas de irradiância dentro da incubadora foram realizadas com o auxílio de um quantômetro, marca Li-Cor, modelo LI-189, acoplado a um sensor de quantum esférico, modelo LI-193 SA.

As respostas fotossintéticas das espécies de macroalgas após o período de aclimação foram avaliadas através das técnicas de fluorescência de clorofila *a* e da evolução do oxigênio dissolvido.

A medição de fluorescência da clorofila *a* é um método amplamente usado nos estudos ecofisiológicos para avaliação das respostas fotossintéticas (Necchi Júnior & Zucchi 2001; Bautista & Necchi Júnior 2007). O princípio desta análise se baseia na possibilidade da luz absorvida pelas moléculas de clorofila seguir três caminhos: i) etapas fotoquímicas (fotossíntese), ii) excesso absorvido é dissipado na forma de calor (extinção não-fotoquímica) e iii) excesso é reemitido na forma de fluorescência com um comprimento de onda maior e menos energético. Estes três ocorrem simultaneamente, sendo que a fluorescência reemitida pode ser detectada e, a partir dela, calculados diversos parâmetros fotossintéticos. (Maxweel & Johnson, 2000).

No presente estudo, para a detecção da fluorescência da clorofila *a* foi utilizado o fluorômetro subaquático Diving-PAM (Walz, Effeltrich, Germany), no qual, fragmentos do talo ou talos inteiros, das algas sob análise, foram posicionados diretamente sobre a fibra óptica do equipamento. O resultado foi obtido a partir de curvas rápidas de luz (White & Critchley, 1999) com oito níveis de irradiância, durante quinze segundos cada, dentro do intervalo de 0 a 706 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Entre dois níveis subsequentes foi aplicado um pulso de luz saturante a aproximadamente 6.000 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$, por oito segundos. As curvas foram geradas tendo como base a taxa relativa de transporte de elétrons (rETR), calculada pela fórmula proposta por Kromkamp *et al.* (1998), onde: $\text{rETR} = \Delta F - F_m' \times \text{irradiância} \times 0,5$. Os seguintes parâmetros foram calculados a partir das curvas geradas, segundo a equação de Platt *et al.* (1980): i) eficiência fotossintética (αETR), ii) taxa fotossintética máxima ($P_{\text{máx}} = \text{ETR}_{\text{Máx}}$), e iii) parâmetro de fotoinibição (βETR), além do ponto de saturação de luz (I_k).

A evolução do oxigênio dissolvido, assim como a fluorescência da clorofila *a* também é utilizada nos estudos ecofisiológicos para avaliação das respostas

foto-sintéticas (Necchi Júnior & Zucchi 2001, Bautista & Necchi Júnior 2007). A partir desta técnica é possível mensurar a liberação de oxigênio e associar estes valores com as taxas foto-sintéticas das macroalgas lólicas nas diferentes condições experimentais.

No presente trabalho, a evolução do oxigênio dissolvido seguiu os mesmos procedimentos descritos por Necchi Júnior & Zucchi (2001) e Vieira & Necchi Júnior (2003). A taxa de liberação do oxigênio foi determinada pela variação na concentração de oxigênio dissolvido através da técnica das garrafas claras (Littler & Arnold, 1985; Thomas, 1988). O procedimento consistiu na incubação das algas em frascos de vidro transparentes, nos quais foram adicionados 110 mL de água do riacho filtrada, autoclavada e com baixa quantidade de oxigênio dissolvido. Posteriormente, as réplicas foram incubadas por uma hora na B.O.D. e submetidas a cada um dos tratamentos testados (qualitativo e quantitativo), além do experimento controle. As variações do oxigênio dissolvido foram mensuradas por meio de um oxímetro com barômetro e eletrodo com auto-agitação (Marca YSI, Modelo 5100), em temperatura constante ($20 \pm 0,5$ °C) e leve agitação. Os cálculos dos valores finais da evolução do oxigênio foram realizados de acordo com a equação proposta por Littler & Arnold (1985), segundo a qual: $EO = CFO - CIO / TI / OS$, onde: EO = Evolução do oxigênio, CFO = Concentração final de oxigênio, CIO = Concentração inicial de oxigênio, TI = Tempo de incubação, PS = Peso seco.

Ao final de cada experimento, pigmentos foto-sintetizantes foram determinados e quantificados através das técnicas de fotoespectrometria propostas por Beer & Eshel (1985) para ficobiliproteínas e Wetzel & Likens (2000) para clorofila *a*.

Os dados obtidos a partir dos experimentos quantitativos e qualitativos foram submetidos inicialmente à estatística descritiva. As diferenças nas respostas foto-sintéticas das diferentes macroalgas em cada tratamento e destas em relação ao experimento controle foram avaliadas através de análise de variância (ANOVA, one-way), seguida pelo teste de tukey. Os testes e representações gráficas foram realizados com o software MicrocalOrigin 5.0 e BioEstat 5.0.

3. Resultados

Atividade fotossintética dos táxons individualmente em resposta aos tratamentos de irradiância e composição espectral da luz incidente

A alga verde *Microspora willeana*, no experimento qualitativo apresentou baixos valores na liberação de oxigênio, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos testados (Figura 2). Contudo, ao avaliar a fluorescência da clorofila e os parâmetros fotossintéticos, diferenças significativas foram encontradas. A variação da rETR foi semelhante (Figura 3), porém, os valores de Pmax apresentaram diferenças ($F=24,06$ e $p<0,01$), onde o tratamento VD e CT apresentaram os maiores valores, seguidos por VM e AZ respectivamente. A eficiência fotossintética revelou a mesma variação encontrada em Pmax ($F=43,84$ e $p<0,01$). O rendimento quântico efetivo foi maior no tratamento VM, seguido por CT, VD e AZ respectivamente. Os valores de fotoinibição e do ponto de saturação foram baixos e similares entre os tratamentos (Tabela 1). As concentrações de clorofila *a* foram maiores nos tratamentos em relação ao controle, porém, sem diferenças estatisticamente significativas (Figura 4).

M. willeana, apresentou, no experimento quantitativo, taxas fotossintéticas baixas de oxigênio nos tratamentos testados em relação ao controle, com diferença significativa somente entre o CT com maior valor em relação às atenuações de 75% e 87% em relação ao controle ($F = 5,72$, $p < 0,05$) (Figura 2). A análise dos parâmetros fotossintéticos a partir da fluorescência da clorofila *a* demonstrou semelhança na variação da rETR (Figura 3). Os valores de Pmax e a eficiência fotossintética, apesar de não serem significativamente diferentes, demonstraram menores valores em 75% e 87% de atenuação. O rendimento quântico efetivo foi maior em 75% de atenuação em relação aos outros tratamentos testados ($F=43,65$ e $p<0,01$) e os valores do ponto de saturação, foram semelhantes, com um pequeno aumento na atenuação de 87% porém, sem diferença estatística (Tabela 1). As concentrações de clorofila *a* foram maiores nos tratamentos em relação ao controle, porém, sem diferenças estatísticas (Figura 4).

A Chlorophyta *Nitella furcata* subsp. *mucronata* var. *mucronata* f. *wrightii*, apresentou, no experimento qualitativo, pela evolução do oxigênio dissolvido, maiores valores da taxa fotossintética nos tratamentos AZ e VD (Figura 2). Pela técnica da fluorescência da clorofila, a rETR mostrou valores semelhantes, sem diferença

significativa entre os tratamentos e o CT (Figura 5). Os maiores valores de P_{max} foram registrados no controle e tratamento VM (Tabela 2), porém, a única diferença significativa encontrada foi entre o tratamento AZ e o CT ($F=3,75$, $p<0,05$). Quanto aos demais parâmetros fotossintéticos calculados, o rendimento quântico foi similar entre os tratamentos; a eficiência fotossintética foi maior no tratamento VD, uma maior fotoinibição ocorreu nos tratamentos AZ e VD e o ponto de saturação demonstrou valores ligeiramente maiores no CT e VM, porém, sem diferenças estatísticas. A concentração de clorofila a foi alta em todos os tratamentos, porém os maiores valores foram registrados para o CT e tratamentos VM e VD (Figura 6).

O experimento quantitativo envolvendo esta espécie de alga verde revela, pela evolução do oxigênio dissolvido, diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 2), sendo que os maiores valores ocorreram em 60% e 75% de atenuação e no CT ($F=5,19$, $p<0,05$). Pela técnica de fluorescência da clorofila a , os valores de rETR foram semelhantes entre os tratamentos e o controle (Figura 5). Quanto aos parâmetros fotossintéticos (Tabela 2), a P_{max} mostrou diferenças significativas entre os tratamentos ($F=5,18$ e $p<0,05$), com menor valor em 87% de atenuação; o rendimento quântico efetivo foi semelhante entre os tratamentos; a eficiência fotossintética e a fotoinibição foram maiores no tratamento com 87% de atenuação e por sua vez, os valores de I_k diferiram estatisticamente e o maior valor foi encontrado no CT e o menor em 87% ($F=18,25$ e $p<0,01$). A concentração de clorofila a mostrou altos valores em todos os tratamentos, sem que diferenças significativas fossem observadas (Figura 6).

O experimento qualitativo realizado com *Oedogonium* sp., demonstrou baixos valores na liberação de oxigênio dissolvido, sendo os maiores encontrados em VM e CT (Figura 2). A análise da fluorescência da clorofila a revelou valores semelhantes na rETR (Figura 7), contudo, alguns parâmetros fotossintéticos apresentaram diferenças estatísticas (Tabela 3). A P_{max} e o rendimento quântico efetivo foram menores em AZ em relação a todos os tratamentos ($F=4,1$ e $p<0,05$ e $F=7,75$ e $p<0,01$, respectivamente). A eficiência fotossintética, apesar de não significativa foi menor em AZ, enquanto que a fotoinibição apresentou baixos valores em todos os tratamentos e o ponto de saturação não apresentou diferenças entre os tratamentos. A análise de clorofila a apresentou menor valor em VD e maiores em VM e CT (Figura 8).

O experimento quantitativo realizado com *Oedogonium* sp., apresentou maior valor na liberação de oxigênio dissolvido no controle em relação a 60%, 75% e 87% de atenuação (Figura 2). Os parâmetros fotossintéticos, estimados pela fluorescência da

clorofila *a*, demonstraram semelhança na variação do rETR (Figura 7). A Pmax mostrou valores maiores no CT e 75% de atenuação. O rendimento quântico efetivo, por sua vez, foi maior em 87% de atenuação ($F=13,51$ e $p<0,05$). A eficiência fotossintética, a fotoinibição e o ponto de saturação foram semelhantes entre os tratamentos (Tabela 3). A concentração de clorofila *a* apresentou maior valor em 75% de atenuação e menor valor em 87% de atenuação (Figura 8).

No experimento qualitativo, *Spirogyra* sp. não apresentou diferenças significativas pela técnica de evolução do oxigênio, porém, os menores valores foram encontrados em AZ e VM (Figura 2). A técnica de fluorescência da clorofila *a*, por sua vez, mostrou que a rETR foi maior no tratamento VD (Figura 9). Os parâmetros fotossintéticos mostraram valores semelhantes entre os tratamentos, exceto a Pmax que apresentou diferenças significativas ($F=9,22$ e $p<0,01$), sendo os maiores valores observados em VD e CT (Tabela 3). A concentração de clorofila *a* observada nos tratamentos não apresentou diferenças significativas, porém os menores valores foram encontrados para AZ e CT (Figura 10).

O experimento quantitativo envolvendo *Spirogyra* sp. apresentou, pela técnica de evolução do oxigênio dissolvido, diferenças estatísticas ($F=5,02$ e $p<0,05$), com o valor registrado para o tratamento com 87% de atenuação sendo significativamente menor que o observado para os demais (Figura 2). Considerando a técnica da fluorescência da clorofila *a*, os valores de rETR foram similares (Figura 9). Os parâmetros fotossintéticos avaliados mostraram que a Pmax apresentou maiores valores em 60% e 75% de atenuação, com diferenças significativas entre os tratamentos ($F=9,22$ e $p<0,01$). O rendimento quântico efetivo foi levemente maior nas atenuações de 60% e 75%, enquanto que a eficiência fotossintética foi semelhante entre os tratamentos. A fotoinibição foi mais acentuada na atenuação de 60%, ao passo que o ponto de saturação registrou maiores valores nas atenuações de 75% e 87% (Tabela 4). A concentração de clorofila *a* não apresentou diferenças estatísticas, porém, observou-se uma maior concentração deste pigmento no tratamento com 75% de atenuação (Figura 10).

A cianobactéria *Lyngbya majuscula* apresentou no experimento qualitativo, em todos os tratamentos, baixos valores de taxa fotossintética tanto pela evolução do oxigênio dissolvido quanto pela fluorescência da clorofila *a* (Figuras 2 e 11, respectivamente). A comparação da resposta fotossintética desta espécie no experimento

envolvendo a composição espectral, baseada na evolução do oxigênio dissolvido, mostrou que os tratamentos apresentaram valores próximos entre si e com o controle (Figura 2) sem diferença estatisticamente significativa entre eles. Porém, a análise dos resultados obtidos a partir da fluorescência da clorofila mostrou que houve diferenças significativas em relação à fotossíntese máxima ($F = 16,40$ e $p < 0,001$), com maior valor sendo observado para o controle em relação aos tratamentos qualitativos (Tabela 5). Os demais parâmetros fotossintéticos foram semelhantes em todos os tratamentos, sem diferenças estatísticas. O conteúdo pigmentar diferiu significativamente ($F=13,24$ e $p < 0,01$) entre os tratamentos qualitativos, no qual a clorofila *a* apresentou maiores valores no tratamento VM, seguido pelo CT (Figura 12) e a concentração de ficobiliproteína foi semelhante entre os tratamentos sem diferenças estatísticas significativas (Figura 12).

No experimento quantitativo, *L. majuscula* apresentou diferenças estatisticamente significativas na taxa fotossintética, com base na técnica da evolução de oxigênio dissolvido, onde o CT e os tratamentos com 60% e 75% apresentaram maiores valores em comparação ao de 87% de atenuação (Figura 2). Com base na técnica de fluorescência da clorofila *a*, a rETR mostrou valores relativamente baixos e próximos entre os tratamentos quantitativos (Figura 11). Porém, para eficiência fotossintética foi observada diferença significativa ($F=11,55$ e $p < 0,00105$), com menores valores registrados para 75% e 87% de atenuação, assim como também observado para a P_{max} ($F=4,59$ e $p < 0,05$), com o menor valor registrado para o tratamento com 60% de atenuação. O valor do ponto de saturação foi significativamente diferente ($F=13,24$ e $p < 0,01$), onde os maiores valores encontrados foram em 87% e 75%, e os menores em CT e 60%, respectivamente (Tabela 5). A concentração de clorofila *a* foi menor nas atenuações de 60% e 87%, enquanto para a atenuação de 75% e o CT terem registrados os maiores valores ($F=5,00$ e $p < 0,05$). O conteúdo de ficobiliproteína foi semelhante entre os tratamentos sem diferenças estatísticas significativas (Figura 12).

A espécie de cianobactéria *Phormidium retzii* também apresentou baixos valores de taxa fotossintética nos tratamentos qualitativos, com base na técnica da evolução do oxigênio dissolvido (Figura 2), com diferença significativa sendo observada entre os tratamentos ($F=4,60$ e $p < 0,05$), sendo que o maior valor foi encontrado para o tratamento VM. Pela técnica de fluorescência da clorofila *a* (Figura 13), a única diferença encontrada foi para o parâmetro P_{max} do tratamento AZ, sendo este significativamente menor do que o observado em todos os outros tratamentos ($F=6,02$ e

$p<0,05$) (Tabela 6). A concentração de clorofila *a* foi semelhante em todos os tratamentos, porém a concentração de ficobiliproteínas foi estatisticamente diferente entre os tratamentos ($F=15,53$ e $p<0,01$), com os maiores valores observados em AZ e VD (Figura 14).

No experimento quantitativo *P. retzii*, por sua vez, apresentou, tanto na evolução do oxigênio dissolvido (Figura 2) quanto na fluorescência da clorofila *a* (Figura 13), baixos valores de taxa fotossintética para os tratamentos e para o CT. Pmax foi o único parâmetro fotossintético que registrou diferença significativa entre os tratamentos e o controle, sendo que os maiores valores foram observados no CT e 87% (Tabela 6). A concentração de clorofila *a* apresentou maior valor no CT enquanto que a concentração de ficobiliproteínas foi aumentando quantitativamente conforme aumentou a atenuação (Figura 14).

A cianobactéria *Scytonema arcangeli* demonstrou baixos valores de liberação de oxigênio dissolvido (Figura 2), com os maiores no tratamento VM e no CT e os menores nos tratamentos em AZ e VD ($F=168,19$ e $p<0,01$). Analisando a taxa de transferência de elétrons pela fluorescência da clorofila *a* (Figura 15), o menor valor encontrado foi no tratamento AZ ($F=4,49$ e $p<0,01$). Avaliando os parâmetros fotossintéticos (Tabela 7), a Pmax obteve menores valores em AZ e foi estatisticamente diferente em todos os tratamentos, exceto na comparação de VM com CT ($F=24,9$ e $p<0,01$). A eficiência fotossintética apresentou diferença estatística entre todos os tratamentos testados ($F=13,18$ e $p<0,01$), sendo os maiores valores encontrados em VM e VD, enquanto que o processo de fotoinibição foi semelhante entre os tratamentos. O rendimento quântico efetivo também diferiu estatisticamente entre todos os grupos testados ($F=57,5$ e $p<0,01$), sendo o maior valor encontrado em VM, seguido por CT, VD e AZ. O Ponto de saturação foi significativamente diferente ($F=219,07$ e $p<0,01$), com o maior valor em CT, valores intermediários em VD e VM e o menor em AZ. As concentrações pigmentares de clorofila *a* e ficobiliproteínas (Figura 16), apresentaram diferenças estatísticas, onde, para a clorofila *a*, os maiores valores foram encontrados em VM e CT, e o menor em VD ($F=11,05$ e $p<0,01$), enquanto que as ficobiliproteínas apresentaram maiores valores, respectivamente, em VM, CT, AZ e VD ($F=24,86$ e $p<0,01$).

No experimento quantitativo, *S. arcangeli* demonstrou baixos valores de liberação de oxigênio dissolvido (Figura 2), com os maiores no CT ($F=44,41$ e $p<0,01$). Analisando a taxa de transferência de elétrons pela fluorescência da clorofila *a* (Figura 15), os menores valores encontrados foram no tratamento com 75% de atenuação ($F=3,56$ e $p<0,05$). Avaliando os parâmetros fotossintéticos (Tabela 7), a P_{max} registrou maiores valores em CT e 87% de atenuação, sendo estatisticamente diferente entre si ($F=37,02$ e $p<0,01$). A eficiência fotossintética apresentou maiores valores nos tratamentos CT e 87% de atenuação e menores valores em 60% e 75% de atenuação ($F=19,01$ e $p<0,01$). O parâmetro de fotoinibição foi semelhante entre os tratamentos. O rendimento quântico efetivo também diferiu estatisticamente entre os grupos testados ($F=22,32$ e $p<0,01$) sendo os maiores valores encontrados em CT, seguido por 87%, 60% e 75%. O Ponto de saturação foi significativamente diferente ($F=26,71$ e $p<0,01$), no qual o experimento CT foi diferente de todos os tratamentos e apresentou maiores valores. As concentrações pigmentares de clorofila *a* e ficobiliproteínas (Figura 16), apresentaram diferenças estatísticas, onde, para a clorofila *a* os maiores valores foram encontrados em CT e 87%, e o menores em 60% e 75% ($F=18,53$ e $p<0,01$), por sua vez, as ficobiliproteínas apresentaram maiores valores, respectivamente em CT, 60%, 75% e 87% ($F=17,82$ e $p<0,01$).

A espécie de alga vermelha *Batrachospermum helminthosum* demonstrou diferenças estatisticamente significativas no experimento qualitativo, para a técnica de evolução do oxigênio dissolvido ($F=27,93$ e $p<0,01$), sendo os maiores valores no tratamento VD e no controle e menor valor no VM (Figura 2). Pela técnica de fluorescência da clorofila *a*, a $rETR$ registrou valores semelhantes em todos os tratamentos (Figura 17). Na análise dos parâmetros fotossintéticos, A P_{max} apresentou os maiores valores nos tratamentos CT e AZ, porém, sem diferenças significativas. Em relação aos outros parâmetros fotossintéticos, o rendimento quântico efetivo foi significativamente diferente entre os tratamentos VD e CT ($F=4,91$ e $p<0,05$), a eficiência fotossintética foi menor em VM, a fotoinibição foi similarmente baixa para todos os tratamentos, assim como o ponto de saturação (Tabela 8). A análise da clorofila *a* apresentou maiores valores nos tratamentos AZ e VD, porém, sem diferenças estatísticas. Por sua vez, o conteúdo pigmentar de ficobiliproteínas apresentou diferenças significativas ($F=9,12$ e $p<0,05$), na qual, o tratamento AZ apresentou maiores concentrações em relação aos tratamentos VD e VM (Figura 18).

Avaliando os tratamentos de quantidade de luz incidente em *B. helminthosum*, a técnica de evolução do oxigênio dissolvido demonstrou valores semelhantes entre todos os tratamentos (Figura 2), porém, com uma ligeira queda na atenuação de 87%. Analisando a fluorescência da clorofila, os valores de rETR foram semelhantes (Figura 17) e os parâmetros fotossintéticos não apresentaram diferenças significativas, porém, o maior valor Pmax ocorreu na atenuação de 87%. A eficiência fotossintética foi maior nos tratamentos do que no controle, a fotoinibição mostrou-se menor à medida que a atenuação aumentou e o ponto de saturação alcançou valores similares nos tratamentos (Tabela 8). A análise do conteúdo pigmentar não apresentou diferenças significativas, porém, para a clorofila *a* maiores valores foram encontrados nas atenuações de 60% e 87% e em relação as ficobiliproteínas o maior valor encontrado ocorreu no controle (Figura 18).

O estágio táxon-forma “*Chantransia pygmaea*”, no experimento qualitativo, apresentou valores relativamente baixos de evolução do oxigênio dissolvido (Figura 2), com maior valor em VM e menor em CT ($F=7,11$ e $p<0,01$). A taxa de transferência de elétrons mensurada pela fluorescência da clorofila *a*, não apresentou diferenças significativas (Figura 19). Os parâmetros fotossintéticos avaliados apresentaram diferenças significativas (Tabela 9), onde Pmax demonstrou maiores valores em VM, seguido por CT, VD e AZ ($F=24,97$ e $p<0,01$). O valor da eficiência fotossintética foi relativamente maior em VM e AZ, porém, sem diferenças estatísticas, enquanto que a fotoinibição não foi acentuada e os valores foram semelhantes entre os tratamentos. Os valores do ponto de saturação foram estatisticamente diferentes, onde o tratamento AZ apresentou o menor valor e diferiu de todos os outros ($F=24,97$ e $p<0,01$). Analisando o conteúdo pigmentar (Figura 20), a clorofila *a*, apresentou valores maiores no VM seguido pelo CT e AZ e menor em VD, porém, sem diferenças estatísticas, a análise de ficobiliproteínas, por sua vez, demonstrou diferenças entre os tratamentos, onde, AZ apresentou maiores valores, diferindo de todos os outros ($F=27,41$ e $p<0,01$).

O estágio “*Chantransia*” forma *pygmaea* no experimento quantitativo apresentou valores relativamente baixos de evolução do oxigênio dissolvido (Figura 2), sem diferenças estatísticas, porém, com maior valor em CT, valores ligeiramente menores e semelhantes em 60% e 75% e menor valor em 87%. A taxa de transferência de elétrons mensurada pela fluorescência da clorofila *a* apresentou flutuação semelhante em todos os tratamentos (Figura 19). Os parâmetros fotossintéticos avaliados apresentaram diferenças significativas (Tabela 9). Onde Pmax demonstrou maior valor em CT,

diferindo de todos os tratamentos e o menor valor em 75% ($F=37,02$ e $p<0,01$); a eficiência fotossintética foi relativamente maior em 75% em relação aos outros tratamentos, porém, a diferença estatística foi encontrada somente na comparação de 75% com 87% de atenuação ($F=4,7$ e $p<0,05$); a fotoinibição não foi acentuada e os valores foram semelhantes entre os tratamentos e os valores do ponto de saturação também diferiram estatisticamente ($F=27,46$ e $p<0,01$), com o CT e o tratamento de 87% de atenuação apresentando os maiores valores. A análise do conteúdo pigmentar envolvendo a clorofila *a*, apresentou valor maior em 60% seguido por 87% e CT, sendo menor em 75%. Por sua vez, a análise de ficobiliproteínas demonstrou maiores valores em 87% e 60%, seguidos por CT e 75% respectivamente (Figura 20).

A espécie de Rhodophyta *Sirodotia deliculatula* apresentou, tanto na evolução do oxigênio dissolvido (Figura 2) como na fluorescência de clorofila *a* (Figura 21), menores valores para os tratamentos AZ e VM do que os observados para o tratamento VD e o CT. Considerando os parâmetros fotossintéticos (Tabela 10), P_{max} mostrou diferença significativa entre os tratamentos ($F=141,15$ e $p<0,001$), com maiores valores observados para o CT e VD; Também foram observadas diferenças significativas para a eficiência fotossintética ($F=20,16$ e $p<0,001$), sendo os maiores valores observados para os tratamentos AZ e VM; o rendimento quântico efetivo apresentou valores semelhantes entre os tratamentos e a fotoinibição apresentou o maior valor no tratamento AZ e o menor em CT. O ponto de saturação apresentou diferenças significativas ($F=31,7$ e $p<0,01$), com maior valor no CT. Comparando a concentração de pigmentos fotossintéticos (Figura 22), o tratamento AZ apresentou o menor valor de clorofila *a*, enquanto o tratamento VM o maior ($F=3,96$ e $p<0,05$). Por sua vez a concentração de ficobiliproteínas foi maior no CT em comparação com os tratamentos qualitativos, e apresentou diferença significativa em relação ao tratamento AZ ($F=3,94$ e $p<0,05$).

No experimento quantitativo, *S. deliculatula* apresentou na evolução do oxigênio (Figura 2) os maiores valores no tratamento com 60% de atenuação, seguido pelo CT, 75% e 87% ($F=6,92$ e $p<0,01$). Pela técnica de fluorescência de clorofila *a* (Figura 21) a variação do rETR foi semelhante entre os tratamentos. Os parâmetros fotossintéticos calculados (Tabela 10) seguiram padrão semelhante ao observado na técnica da evolução do oxigênio dissolvido, onde, a P_{max} apresentou maiores valores no tratamento com 60% e no CT ($F=3,62$ e $p<0,05$). A concentração de clorofila *a* não apresentou variação significativa entre os tratamentos (Figura 22). As ficobiliproteínas (Figura 22), por sua vez, apresentaram maior concentração no CT, sendo

significativamente diferente dos valores registrados para os tratamentos com 75% e 87% de atenuação ($F=6,04$ e $p<0,01$).

Os experimentos qualitativos envolvendo *Vaucheria* sp. apresentaram baixos valores na liberação de oxigênio dissolvido, sem diferenças significativas (Figura 2). Porém, os parâmetros fotossintéticos estimados pela fluorescência da clorofila *a* apresentaram diferenças significativas. A variação da rETR foi similar nos tratamentos (Figura 23), contudo, a Pmax apresentou menor valor em VD em relação a todos os outros tratamentos ($F=4,33$ e $p<0,05$). O rendimento quântico efetivo e a eficiência fotossintética não foram significativamente diferentes, porém, o tratamento AZ apresentou os menores valores para os dois parâmetros avaliados. A fotoinibição não ocorreu no tratamento VD, sendo, portanto, significativamente diferente em relação a todos tratamentos testados ($F=16,9$ e $p<0,01$). O valor do ponto de saturação foi maior em AZ, porém, sem diferenças estatísticas (Tabela 11). Na análise do conteúdo pigmentar, a concentração de clorofila *a* entre os tratamentos demonstrou pequenas diferenças, onde os maiores valores foram encontrados em AZ e VM (Figura 24).

No experimento quantitativo, *Vaucheria* sp. apresentou novamente valores extremamente baixos na liberação de oxigênio dissolvidos para todos os tratamentos testados, sendo a única diferença encontrada entre o CT e 87% de atenuação ($F=9,5$ e $p<0,01$) (Figura 2). Por sua vez, os parâmetros fotossintéticos envolvendo a fluorescência da clorofila *a* apresentaram diferenças significativas. A variação da rETR foi semelhante entre os tratamentos (Figura 23). A Pmax obteve menor valor em 87% de atenuação ($F=10,22$ e $p<0,01$). O rendimento quântico efetivo obteve maiores valores em CT e 60% de atenuação e os menores em 75% e 87% de atenuação ($F=4,3$ e $p<0,01$). A eficiência fotossintética foi menor em 87% de atenuação em relação aos outros tratamentos ($F=13,84$ e $p<0,01$). A fotoinibição apresentou valores significativamente diferentes, sendo que esta não ocorreu na atenuação de 75% e o maior valor foi encontrado em 60% ($F=24,76$ e $p<0,01$) (Tabela 11). Na análise do conteúdo pigmentar de clorofila *a* entre os tratamentos demonstrou pequenas diferenças, sendo o menor valor encontrado em 75% de atenuação (Figura 24).

Atividade fotossintética comparativa dos filós algais em resposta aos tratamentos qualitativos de luz incidente

A comparação da atividade fotossintética entre os grupos algais no experimento qualitativo apresentou diferenças nos tratamentos utilizados com tendências específicas de cada filo algal.

No tratamento azul, as taxas fotossintéticas medidas pelo oxigênio dissolvido apresentaram maiores valores na filo Chlorophyta, que diferiu estatisticamente de todos os outros tratamentos ($F=9,57$ e $p<0,01$). Os parâmetros fotossintéticos obtidos a partir da fluorescência da clorofila *a*, também demonstraram variações filo específicas; os valores de P_{max} foram maiores em Chlorophyta e em *Vaucheria* sp. (Xanthophyta) diferindo estatisticamente dos valores observados para a filo Rodophyta e das cianobactérias ($F=7,91$ e $p<0,01$). A eficiência fotossintética, por sua vez, apresentou maiores valores para Rodophyta, que diferiu de todos os outros grupos algais ($F=5,73$ e $p<0,01$). O rendimento quântico efetivo apresentou grandes diferenças, no qual, Chlorophyta e Rodophyta apresentam os maiores valores, diferindo de *Vaucheria* sp, que registrou valores moderados e das cianobactérias que demonstraram os menores valores ($F=22,12$ e $p<0,01$). Os parâmetros de fotoinibição e ponto de saturação foram relativamente baixos e semelhantes entre os grupos algais.

O tratamento qualitativo envolvendo a luz verde, com relação à liberação de oxigênio dissolvido, apresentou maiores valores nas divisões Chlorophyta e Rhodophyta e menores em cianobactéria e *Vaucheria* sp. ($F=5,15$ e $p<0,01$). Os parâmetros fotossintéticos, obtidos a partir da fluorescência da clorofila *a*, apresentaram diferenças significativas, onde, o valor da P_{max} foi maior em Chlorophyta, que diferiu de todos os outros grupos algais que obtiveram valores semelhantes ($F=5,91$ e $p<0,01$). A fotoinibição apresentou variações semelhantes entre todos os grupos algais, a única diferença foi entre Chlorophyta e *Vaucheria* sp. ($F=5,29$ e $p<0,01$). Os parâmetros de eficiência fotossintética, ponto de saturação e rendimento quântico efetivo não apresentaram diferenças estatísticas entre os grupos.

A ação da luz vermelha sobre os grupos algais apresentou, na evolução do oxigênio, valores brutos maiores em Chlorophyta, seguido por Rhodophyta e cianobactéria, com valores intermediários e por último *Vaucheria* sp. que obteve os menores valores, porém, para este parâmetro, a única diferença significativa ocorreu entre Chlorophyta e *Vaucheria* sp. ($F=3,77$ e $p<0,01$). A análise dos parâmetros fotossintéticos, obtidos a partir da fluorescência da clorofila *a*, também apresentaram variações filo-específicas, na qual a P_{max} , foi significativamente distinta, com maiores valores na filo Chlorophyta, seguido por *Vaucheria* sp. e cianobactéria e por último com

menores em valores Rhodophyta ($F=9,54$ e $p<0,01$). A eficiência fotossintética apresentou valores inversos ao reportado para P_{max} , no qual a filo Rhodophyta apresentou os maiores valores e foi significativamente diferente de todos os outros grupos algais ($F=5,1$ e $p<0,01$). O rendimento quântico efetivo revelou grandes diferenças, onde Rhodophyta alcançou os maiores valores, diferindo de todos os outros grupos, enquanto que a filo Chlorophyta, juntamente com *Vaucheria* sp., apresentaram valores intermediários, ao passo que as cianobactérias registraram os menores valores ($F=60,73$ e $p<0,01$). O valor do ponto de saturação diferiu somente entre Chlorophyta, com maiores valores, e Rhodophyta, com valores menores, cianobactéria e *Vaucheria* sp. apresentaram valores intermediários ($F=4,12$ e $p<0,05$). A fotoinibição foi semelhante entre os grupos e apresentou baixos valores.

O experimento quantitativo também apresentou diferenças específicas entre os grupos algais.

O tratamento quantitativo envolvendo 60% de atenuação de luz, apresentou, em relação à evolução de oxigênio dissolvido, maiores valores nas divisões Chlorophyta, valores intermediários em Rodophyta, e menores em cianobactéria e *Vaucheria* sp.. Diferenças significativas foram observadas entre Chlorophyta e cianobactéria e Chlorophyta e *Vaucheria* sp. ($F=5,05$ e $p<0,05$). Os parâmetros fotossintéticos obtidos a partir da fluorescência da clorofila apresentaram, para a P_{max} os maiores valores em Rodophyta e cianobactéria, valores intermediários em *Vaucheria* sp. e menores na filo Chlorophyta, que diferiu significativamente de Rodophyta e cianobactéria ($F = 7,93$ e $p < 0,01$). O rendimento quântico efetivo foi o contrário a P_{max} , com maiores valores para Chlorophyta, intermediários em *Vaucheria* sp. e menores em Rodophyta e cianobactéria ($F = 112,67$ e $p < 0,01$). A eficiência fotossintética foi semelhante entre os grupos. O valor de I_k foi baixo e sem diferenças estatísticas entre os grupos, ocorreu a presença de fotoinibição, porém, sem diferenças significativas.

O experimento, envolvendo o tratamento com 75% de atenuação apresentou, pela técnica de evolução do oxigênio dissolvido, maiores valores em Rhodophyta, que diferiu significativamente de cianobactéria e *Vaucheria* sp.. Chlorophyta apresentou valores intermediários e os menores foram registrados em cianobactéria e *Vaucheria* sp. ($F=6,8$ e $p<0,01$). Os parâmetros fotossintéticos apresentaram diferenças significativas, na qual a P_{max} foi maior em Chlorophyta, diferindo estatisticamente de todos os outros grupos ($F = 9,58$ e $p < 0,01$). Por sua vez, a eficiência fotossintética foi semelhante entre os grupos algais com a única diferença entre cianobactéria e *Vaucheria* sp. ($F=3,13$ e

$p < 0,01$). O rendimento quântico efetivo foi maior em Chlorophyta, diferindo de todos os outros grupos estudados, por sua vez, cianobactéria obteve valores intermediários e Rhodophyta juntamente com *Vaucheria* sp. apresentaram valores baixos ($F = 21,45$ e $p < 0,01$). A fotoinibição apresentou pequenas diferenças entre os grupos, sendo levemente maior em Rhodophyta, seguido de cianobactéria e Chlorophyta e menor em *Vaucheria* sp. ($F = 9,23$ e $p < 0,01$). O valor de I_k foi baixo e não diferiu entre os grupos.

A avaliação das respostas ecofisiológicas dos grupos algais no tratamento com 87% de atenuação da luz resultou, pela técnica de evolução do oxigênio, valores ligeiramente maiores em Rhodophyta seguido por cianobactéria e Chlorophyta e menores valores para *Vaucheria* sp., que diferiu dos outros grupos ($F=5,6$ e $p < 0,01$). Os parâmetros fotossintéticos obtidos a partir da fluorescência da clorofila *a* também apresentaram diferenças significativamente estatísticas, onde, a P_{max} foi maior em Chlorophyta, sendo estatisticamente diferente de todos os outros grupos avaliados ($F=9,58$ e $p < 0,01$). O rendimento quântico efetivo apresentou maior valor em Chlorophyta, diferindo novamente de todos os outros grupos, valores e intermediários em Rodophyta e *Vaucheria* sp. e menores em cianobactéria que também diferiu significativamente com todos os grupos avaliados ($F=64,5$ e $p < 0,01$). A eficiência fotossintética foi semelhante entre os grupos.

4. Discussão

A avaliação das variações da luz incidente testada por meio dos experimentos qualitativos (espectro luminoso) e quantitativos (incidência luminosa) revelou evidente ocorrência de efeitos significativos na atividade fotossintética sobre espécies de macroalgas lólicas e os grupos algais investigados em relação aos parâmetros fotossintéticos obtidos a partir da fluorescência da clorofila *a*. Os valores encontrados na técnica de evolução do oxigênio dissolvido serviram, no geral, como complemento para os resultados encontrados nos parâmetros fotossintéticos obtidos pela fluorescência da clorofila *a*.

Nas análises específicas de cada grupo algal verificou-se, em geral, padrões particulares de respostas em relação aos diferentes tratamentos testados, embora variações espécie-específicas também tenham sido observadas.

As algas pertencentes ao Filo Chlorophyta utilizadas no presente estudo apresentaram, no geral, um alto desempenho fotossintético nos tratamentos qualitativos testados. Contudo, foi possível observar um padrão filo-específico, com forte preferência pelo tratamento com luz VD, revelada pelos altos valores do rendimento quântico efetivo, da eficiência fotossintética e da Pmax para todos os táxons deste grupo neste tratamento. Esta resposta observada difere, em parte, dos resultados encontrados por Tonetto *et al.* (2012) que registraram maior abundância de algas verdes nas comunidades de macroalgas sob tratamentos de luzes filtradas azul e verde. Esta aparente incongruência pode ser explicada por uma sobreposição dos espectros luminosos azul e verde observada nos tratamentos AZ e VD utilizados no presente estudo (Figura 1). Em adição, a alta concentração de clorofila mensurada nos táxons investigados pode também ter aumentado a eficiência fotossintética destas algas em luz verde. De todo modo, a despeito da preferência pela luz verde, as algas verdes também apresentaram bom desempenho fotossintético no tratamento AZ, com altos valores do rendimento quântico efetivo, da eficiência fotossintética, da Pmax, associados à ausência de fotoinibição. Uma das possíveis razões para o eficiente desempenho fotossintético das Chlorophyta sob efeito da luz azul, um comprimento de onda mais curto e, portanto, mais energético, é a existência, neste grupo de algas, do ciclo da xantofila (também conhecido como ciclo da violaxantina) (Takaichi, 2011). Como resultado deste ciclo, há a produção de um carotenoide chamado zeaxantina que é utilizado para dissipar o excesso de energia luminosa (Takaichi, 2011).

No experimento quantitativo, as algas verdes apresentaram variações espécie-específicas muito pronunciadas para os parâmetros fotossintéticos avaliados. Neste contexto, *Spirogyra* sp. e *Microspora willeana* foram reconhecidas como tendo maior preferência por condições experimentais com alta incidência luminosa, uma vez que, para as maiores irradiâncias testadas, as suas respostas mostraram, em regra, altos valores de Pmax, de rendimento quântico efetivo e de eficiência fotossintética, além de baixos valores de fotoinibição. Por outro lado, *N. furcata* subsp. *murconata* var. *murconata* f. *wrightii* e *Oedogonium* sp. mostraram, no geral, maiores valores de Pmax, rendimento quântico efetivo e eficiência fotossintética nos tratamentos com menores irradiâncias entre os tratamentos testados. Estes resultados, associados a dados ecofisiológicos preliminares (Ensminger *et al.*, 2001, 2002; Necchi Júnior, 2004; Vieira & Necchi Júnior, 2006; Tonetto *et al.*, 2012), sugerem que as Chlorophyta, como um

grupo, são capazes de responder fotossinteticamente de forma eficiente tanto em situações de alta como de baixa disponibilidade de luz incidente.

Adicionalmente, a plasticidade fotossintética registrada nos tratamentos qualitativos e, principalmente, nos quantitativos do presente estudo permite compreender melhor a distribuição ecológica das algas verdes. Na literatura, as Chlorophyta são frequentemente tratadas como o grupo de macroalgas lólicas que apresenta a mais ampla ocorrência ambiental, tanto em escala local como regional e global, sendo recorrentemente registrada a sua maior frequência de ocorrência, diversidade e abundância de espécie, entre os componentes destas comunidades (Biggs, 1996; Steinman *et al.* 1997; Menendez & Sanchez, 1998; Vieira *et al.* 2003; Vieira & Necchi Júnior 2003, Necchi Júnior *et al.*, 2008; Branco *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2011; Araújo *et al.*, 2012).

As algas pertencentes ao Filo Cyanobacteria que foram estudadas apresentaram, no tratamento qualitativo, um aproveitamento maior da fotossíntese na exposição à luz vermelha em relação aos outros tratamentos, uma vez que estas algas apresentaram maiores rendimento quântico efetivo e eficiência fotossintética no tratamento VM. *L. majuscula* não registrou uma resposta tão clara quanto às outras duas cianobactérias, uma vez que estes parâmetros foram muito semelhantes entre todos os tratamentos e o controle. Antoine & Benson-Evans (1983a) reportaram resultados semelhantes para cianobactérias bentônicas e explicaram estas respostas em função de uma possível adaptação cromática comumente encontrada nas cianobactérias. Com este comportamento, as cianobactérias conseguem alterar a composição quantitativa de suas ficobiliproteínas frente às mudanças do espectro de luz incidente (Grossman, 1990). Ajustes nas concentrações de ficobiliproteínas parecem ser realmente relevantes quando estas algas estão submetidas à alta concentração de luz vermelha (como no caso do presente estudo), uma vez que estes pigmentos são responsáveis pela absorção de comprimentos de onda mais longos (565-650 nm), justamente a faixa do espectro luminoso que coincide com este tipo de luz.

Estudos experimentais de campo realizados em riachos a partir do uso de substratos artificiais e filtros capazes de selecionar comprimentos de ondas específicos também registraram um maior desenvolvimento no percentual de cobertura e ocorrência de espécies de cianobactérias bentônicas em regime de luz vermelha quando comparado com tratamentos azul e verde (DeNicola & Hoagland, 1996; Tonetto *et al.*, 2012).

No experimento quantitativo, as algas do Filo Cyanobacteria estudadas não apresentaram uma clara tendência de variação dos parâmetros fotossintéticos em relação aos tratamentos de irradiância testados, sugerindo que estas algas são indiferentes em termos de adaptação à luz, com um comportamento fotossintético mais espécie-específico do que filo-específico. Os resultados do presente estudo essencialmente concordam com o descrito por Necchi Júnior (2004), que identificou uma ampla variação nos parâmetros fotossintéticos entre sete espécies de cianobactérias de riachos submetidas a um mesmo tratamento de irradiância.

A análise dos parâmetros de cada táxon individualmente mostra que nenhuma das espécies testadas pôde ser considerada como especificamente adaptada a condições de alta (e.g., plantas de sol) ou baixa irradiância (e.g., plantas de sombra), uma vez que incongruências entre parâmetros analisados foram verificadas. Por exemplo, para as três espécies (*Lyngbya majuscula*, *Phormidium retzii* e *Scytonema arcangelli*) foram observados maiores valores de Pmax no controle e no tratamento com máxima redução da irradiância (87%). Para *L. majuscula* o ponto de saturação apresentou um aumento à medida que a irradiância diminuiu e a eficiência fotossintética mostrou um comportamento inverso. Situações semelhantes a estas também foram encontradas para as outras duas espécies.

As informações sobre a distribuição ecológica das cianobactérias bentônicas de ambientes lóticos temperados e tropicais (p.ex., Sheath & Cole, 1992; Necchi Júnior *et al.*, 2000; McClintic *et al.*, 2003; Peres *et al.*, 2008; Krupek *et al.*, 2008; Branco *et al.*, 2009) mostram que o Filo Cyanobacteria é um dos grupos algais mais dominantes, ou até mesmo o principal grupo amostrado, nestes ambientes. A plasticidade nas respostas fotossintéticas das cianobactérias frente a diferentes condições de irradiância observadas no presente estudo pode, ao menos em parte, explicar este padrão de distribuição ambiental consistentemente descrito para o grupo (Tonetto *et al.*, 2012). Em adição, os resultados do presente estudo confirmam a postulação proposta por Necchi Júnior *et al.* (2008), que atribuíram o predomínio de cianobactérias em ambientes lóticos do Parque Nacional de Itatiaia (RJ, MG) à capacidade de adaptação das espécies deste grupo frente a ambientes com diferentes graus de incidência luminosa, incluindo locais abertos e sombreados.

As algas pertencentes ao Filo Rhodophyta apresentaram no experimento qualitativo melhor performance fotossintética nos tratamentos azul e vermelho, uma vez que o rendimento quântico efetivo e a eficiência fotossintética mostraram altos valores sob

estas condições de luz. O único trabalho publicado até o presente momento que avaliou a relação das algas vermelhas de ambientes lóticos com diferentes composições espectrais mostrou que, em ambientes naturais, os maiores acúmulos de biomassa de *Batrachospermum puiggarianum* também ocorreram sob luz vermelha e azul (Tonetto *et al.*, 2012).

A preferência das algas vermelhas por estas condições de luz foram semelhantes ao encontrado para as cianobactérias tanto no presente estudo quanto por Tonetto *et al.* (2012). Efeitos similares da qualidade espectral sobre as taxas fotossintéticas em cianobactérias e algas vermelhas são absolutamente pertinentes, uma vez que ambas apresentam composição pigmentar semelhante, porém, nas rodófitas os pigmentos são encontrados dentro de cloroplastos (Lee, 2008).

No experimento quantitativo, em regra, todas as espécies do Filo Rhodophyta mostraram preferência pelos tratamentos com menores irradiâncias (e.g., 60%, 75% e 87% de atenuação). Este padrão confirma os resultados encontrados nos trabalhos realizados por Zucchi & Necchi Júnior (2001), Necchi Júnior (2004, 2005) e Bautista & Necchi Júnior (2007), os quais classificaram as algas vermelhas como algas de sombra. Os parâmetros fotossintéticos que demonstram tal adaptação às atenuações luminosas foram os menores valores de P_{max} e do ponto de saturação e os maiores de eficiência fotossintética e rendimento quântico efetivo associados às menores irradiâncias (Ramus, 1981; Falkowski & LaRoche, 1991).

Segundo Branco & Necchi Júnior (1996b), o Filo Rhodophyta foi o melhor representado entre os grupos algais presentes na composição das comunidades de macroalgas de ambientes lóticos da região oriental de Mata Atlântica do estado de São Paulo, onde há grande presença de vegetação ripária natural. Os autores sugeriram que esta dominância de algas vermelhas na região ocorreu por conta da adaptação destas algas a ambientes sombreados. Em adição, uma comparação da ocorrência das algas vermelhas em biomas florestados (Mata Atlântica) e não florestados (Cerrado) mostrou que há evidente predomínio destas algas, em termos de número de espécies, abundância e frequência de ocorrência (dados retirados de Necchi *et al.* 1999), nos ambientes lóticos com maior sombreamento. Os resultados do presente estudo confirmam que, com base nos parâmetros fotossintéticos, as algas vermelhas são, de fato, tipicamente plantas de sombra, o que ajuda a explicar sua distribuição ambiental.

No experimento qualitativo, a resposta fotossintética de *Vaucheria* sp., a única representante do Filo Xanthophyta testada no presente estudo, sugere que este táxon é

indiferente em relação aos tipos de luz testados. De fato, os valores observados para avaliar o desempenho fotossintético deste táxon variaram mais amplamente dentro dos tratamentos do que entre diferentes tratamentos (p.ex., no tratamento com luz verde, o valor médio de α -ETR foi de 0,479, enquanto o desvio-padrão foi de 0,612). Este fato indica que a fotossíntese de *Vaucheria* sp. ocorre de forma mais ou menos semelhante tanto sob comprimentos de onda mais energéticos como nos menos energéticos. O bom rendimento quântico efetivo e razoável eficiência fotossintética no tratamento AZ, onde a luz apresenta maior energia, pode estar relacionado com a existência do ciclo fotoprotetor diatoxantina/diadinoxantina nas xantófitas. Este mecanismo opera de modo semelhante ao das xantofilas para as algas verdes (Demmig-Adams & Adams, 1992; Horton *et al.*, 1994; Olaizola & Yamamoto, 1994; Esminger *et al.*, 2005), porém, a reação é mais veloz, conferindo assim rápida estabilidade sob condições de luz mais energéticas (no caso do presente estudo, o tratamento AZ) (Olaizola & Yamamoto, 1994; Lhor & Wilhelm, 1999; Esminger *et al.*, 2005).

No experimento quantitativo *Vaucheria* sp. apresentou valores significativamente menores de Pmax, rendimento quântico efetivo e eficiência fotossintética apenas no tratamento com 87% de atenuação da irradiância, sugerindo que esta macroalga é indiferente às condições de disponibilidade de luz, exceto quando há uma redução extrema deste recurso. Este resultado concorda com os dados apresentados por Necchi Júnior (2004), que registraram esta espécie como sendo intermediária em termos de requerimento de luz.

A distribuição ecológica do gênero *Vaucheria* apresenta ocorrência em diversos trabalhos descritivos sobre a comunidade de macroalgas lólicas em diferentes regiões geográficas (Necchi Junior & Pascoaloto, 1993; Branco & Necchi Júnior, 1996a, 1996 b, Necchi Júnior *et al.*, 1995, 1997, 2000; Krupel *et al.*, 2008; Peres *et al.*, 2008). Mais especificamente, Tonetto *et al.* (2012) em um trabalho envolvendo o gênero *Vaucheria* no sul do Brasil, relacionaram a distribuição do grupo com aspectos ecológicos para riachos do Sul do Brasil e encontraram uma maior ocorrência deste táxon em ambientes parcialmente sombreados e ausência em ambientes fortemente sombreados, padrão que pode ser observado pelos dados do presente estudo, podendo, em parte, explicar a distribuição espacial deste gênero nos riachos.

Referências Bibliográficas

- Allan, J.D. & Castillo, M. M. 2007. Stream Ecology: structure and functions of running waters. Dordrecht: Springer, 436 pp.
- Almeida, F.V.R., Necchi Júnior & Branco, L.H.Z. 2011. Flora de comunidades de macroalgas lólicas de fragmentos florestais remanescentes da região noroeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Hoehnea*. 38(4): 553-568.
- Antoine, S.E & Benson-Evans, K. 1983a. The effect of light intensity and quality on the growth of benthic algae. I. Phytopigment variations. *Archiv für hydrobiologie*. 98: 299-306.
- Antoine, S.E. & Benson-Evans, K. 1983b. The effects of light intensity and quality on the growth of benthic algae. II. Population dynamics. *Archiv für hydrobiologie*. 98: 299-306.
- Araújo, A. de, Bueno, N.C., Meurer, T., Bicudo, C.E.M., Moura, C.W.N., Branco, C.Z., Peres, C.K., Fajar, A., Oliveira, I.B. 2012. Charophyceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro.
(<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB1007590>).
- Batschauer, A. 1998. Photoreceptor of higher plants. *Planta*. 206: 479-492.
- Bautista, A.I.N. & Necchi Júnior, O. 2007. Photoacclimation in three species of freshwater red algae. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 19: 1-11.
- Beer, S. & Eshel, A. 1985. Determining phycoerythrin and phycocyanin in aqueous crude extracts of red algae. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. 36: 785-792.
- Bicudo, D.C. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifíton. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 3: 459-475.
- Biggs, B.J.F. 1990. Periphyton communities and their environments in New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 24: 367-386.

- Bott, T.L., Brock, J.T., Dunn, C.S., Naiman, R.J., Ovink, R.W. & Peterson, R.C. 1985. Benthic community metabolism in four temperate stream system: an inter-biome comparison and evaluation of the river continuum concept. *Hydrobiologia*. 123: 3-45.
- Branco, C.C.Z. & Necchi Júnior, O. 1996a. Survey of stream macroalgae of eastern Atlantic Rainforest of São Paulo State, southeastern Brazil. *Algological Studies*. 80: 35-57.
- Branco, C.C.Z. & Necchi Júnior, O. 1996b. Distribution of stream macroalgae in eastern Atlantic rainforest of São Paulo State, southeastern Brazil. *Hydrobiologia*. 333: 139-150.
- Branco, C.C.Z., Branco, L.H.Z., Moura, M. O. & Bertusso, F. R. 2005. The sucession dynamics of a macroalgal community after a flood disturbance in a tropical stream from São Paulo State, southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*. 28: 267-275.
- Branco, C.C.Z., Emed, R.G., Branco, L.H.Z. & Necchi Júnior, O. 2008b. Macroalgas de riachos da Floresta Nacional de Irati, região centro-sul do estado do Paraná, sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 22: 437-451.
- Branco, C.C.Z., Krupek, R.A. & Peres, C.K. 2008a. Seasonality of macroalgal communities in a subtropical drainage basin in Paraná State, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 68: 631-637.
- Branco, C.C.Z., Krupek, R.A. & Peres, C.K. 2009. Distribution of stream macroalgal communities from mid-western region of Paraná State, Southern Brazil: evidence of the importance of local scale variation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 52: 379-386.
- Carnicas, E., Jiménez, C. & Niell, F.X. 1999. Effects of changes of irradiance on the pigment composition of *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* Zhang et. Xia. *Photochemistry and Photobiology*. 50: 149-158.
- Cole, K.M. & Sheath, R.G. 1990. *Biology of the red algae*. Cambridge University Press. New York.

- Davison, I.R. 1991. Environmental effects on algal photosynthesis: temperature. *Journal of Phycology*. 27: 2-8.
- Dudley, T. L. & D'Antonio, C. M. 1991. The effects on substrate texture, grazing, and disturbance on macroalgal establishment in streams, *Ecology* 72(1):297-309.
- Downes, B. J., Lake, P. S., Schreiber, E. S. G. & Galister, A. 1998. Habitat structure and regulation of local species diversity in a stony, upland stream. *Ecological Monographs*, 68(2):237-257.
- Downes, B.J., Lake, P.S., E.S.G., Schreiber & Glaister, A. 2000. Habitat structure, key resources and diversity: the separate effects of surface roughness and macroalgae on stream invertebrates. *Oecologia (Berlin)* 123: 569-587.
- Demmig-Adams, B., Adams, W.W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 43: 599-626.
- Denicola, D.M. & Hoagland, K.D. 1996. Effects of solar spectral irradiance (visible to UV) on a prairie stream epilithic community. *Journal of the North American Benthological Society*. 15: 155-169.
- Ensminger, I., Hagen, C. & Braune, W. 2000. Strategies providing success in a variable habitat. II. Ecophysiology of photosynthesis of *Cladophora glomerata*. *Plant, Cell and Environment*. 23: 1129-1136.
- Ensminger, I., Julia, F., Hagen, C. & Braune, W. 2005. Plasticity and acclimation to light reflected in temporal and spatial changes of small-scale macroalgal distribution in a stream. *Journal of Experimental Botany*. 56(418): 2047-2058.
- Ensminger, I., Xyländer, M., Hagen, C. & Braune, W. 2001. Strategies providing success in a variable habitat. III. Dynamic control of photosynthesis in *Cladophora glomerata*. *Plant, Cell and Environment*. 24: 769-779.
- Entwistle, T.J. 1989. Macroalgae in Yarra river basin: flora and distribution. *The Proceeding of the Royal Society of Victoria*. 101: 1-76.
- Falkowski, P.G. 1984. Physiological responses of phytoplankton to natural light regimes. *Journal of Plankton Research*. 6: 295-307.

- Falkowski, P.H. & LaRoche, J. 1991. Acclimation to spectral irradiance in algae. *Journal of Phycology*. 27: 8-14.
- Giller, P.S. & Malmqvist, B. 1998. *The Biology of stream and rivers: biology of habitat*. Oxford: Oxford University Press, 296 pp.
- Graham, J.M., Arancibia-Avila, P. & Graham, L.E. 1996. Physiological ecology of a species of the filamentous green alga *Mougeotia* under acidic conditions: light and temperature effects on photosynthesis and respiration. *Limnology and Oceanography*. 41: 253-262.
- Graham, J.M., Auer, M. T., Canale, R.P. & Hoffman, J.P. 1982. Ecological studies and mathematical modelling of *Cladophora* in Lake Huron. 4. Photosynthesis and respiration as function of light and temperature. *Journal of Great Lakes Research*. 8: 100-111.
- Graham, J.M., Kranzfelder, J.A. & Auer, M.T. 1985. Light and temperature as factors regulating seasonal growth and distribution of *Ulothrix zonata* (Ulvophyceae). *Journal of Phycology*. 21: 228-234.
- Graham, J.M., Lembi, C.A., Adrian, H.L. & Spencer, D.F. 1995. Physiological responses to temperature and irradiance in *Spirogyra* (Zignematales, Charophyceae). *Journal of Phycology*. 31: 531-540.
- Grossman, A.R., Schaefer, M.R., Chiang, G.G. & Collier, J.R. 1993. Environmental effects of light-harvesting complex of Cyanobacteria. *Journal of Bacteriology*. 175(3): 575-582.
- Hill, W.R., Ryon, M.G. & Schilling, E.M. 1995. Light limitation in a stream ecosystem: responses by primary producer and consumers. *Ecology*. 76(4): 1297-1309.
- Horton, P., Ruban, A.V. & Walters, R.G. 1994. Regulation of light harvesting in green plants. *Plant Physiology*. 106: 415-420.

- Hu, B.F. & Xie, S.L. 2006. Effect of seasonality on distribution of macroalgae in a stream system (Xin'an Spring) in Shanxi Province, North China. *Journal of Integrative Plant Biology*. 48: 889-896.
- King, D.K & Cumming, K.W. 1989. Autotrophic-heterotrophic community metabolism relationship of the woodland stream. *Journal of Freshwater Ecology*. 5: 205-218.
- Kirk, J.T.O. 1983. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge University Press, New York. 400pp.
- Kromkamp, J. Barranguet, C. & Peene, J. 1998. Determination of microphytobenthos PSII quantum efficiency and photosynthetic activity by means of variable chlorophyll fluorescence. *Marine Ecology Progress Series*. 162: 45-55.
- Krupek, R.A., Branco, C.C.Z. & Peres, C.K. 2007. Distribuição ecológica das comunidades de macroalgas da bacia de drenagem do Rio das Pedras, região Centro-Sul do estado do Paraná, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*. 30: 173-182.
- Krupek, R.A., Branco, C.C.Z. & Peres, C.K. 2008. Levantamento florístico das comunidades de macroalgas da bacia do rio das Pedras, região centro-sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil. *Hoehnea*. 35: 25-44.
- Lamberti, G.A. 1996. The role of periphyton in benthic food webs. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M. & Lowe, R.L. (Eds.) *Algal Ecology; freshwater benthic ecosystems*. San Diego: Academic Press, p. 533-564.
- Lampert, W., & Sommer, U. 2007. *Limnology: The ecology of lakes and streams*, 2nd ed. Oxford University Press.
- Lee, R.E. 2008. *Phycology*. 4ed. Cambridge University Press, New York.
- Leukart, P. & Hanelt, D. 1995. Light requirements for photosynthesis and growth in several macroalgae from a small soft-water stream in the Spessart Mountains, Germany. *Phycologia*. 34: 528-532.
- Lhor, M. & Wilhelm, C. 1999. Algae displaying the diadinoxanthin cycle also possess the violaxanthin cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 96: 8784-8789.

- Littler, M.M. & Arnold, K.E. 1985. Electrodes and chemicals. In: Littler, M.M & Littler, D.S. (Eds.) Handbook of phycological methods; Ecological field methods: Macroalgae. San Diego: Academic Press, p. 121-148.
- Lyford, J.H., Jr., & Gregory, S.V. 1975. The dynamics and structure of periphyton communities in three Cascade Mountain streams. Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie. 19: 1610-1616.
- Maitland, P.S. Biology of Freshwaters. Glasgow: Blackie, 1978. 244p.
- Maxwell, K. & Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51(345): 659-668.
- McClintic, A.S., Casamatta, D.A. & Vis, M.L. 2003. A survey of algae from montane cloud forest and alpine streams in Bolivia: macroalgae and associated microalgae. Nova Hedwigia 76:363-379.
- Menendez, M. & Sanchez, A. 1998. Seasonal variations in P-I response of *Chara hispida* L. and *Potamogeton pectinatus* L. from stream Mediterranean ponds. Aquatic Botany. 61: 1-15.
- Murdock, J.N. & Dodds, W.K. 2007. Linking benthic algal biomass to stream substratum topography. Journal of Phycology. 43: 449-460.
- Necchi Júnior, O. 2004. Photosynthetic responses to temperature in tropical lotic macroalgae. Phycological Research. 52: 140-148.
- Necchi Júnior, O. 2006. Short-term responses photosynthesis to temperature and irradiance in the freshwater red alga *Compsopogon coeruleus*. Algological Studies. 119: 125-138.
- Necchi Júnior, O., Branco, C.C.Z. & Branco, L.H.Z. 2000. Distribution of stream macroalgae in São Paulo State, southeastern Brazil. Algological Studies. 97: 43-57.
- Necchi Júnior, O., Branco, C.C.Z., Simões, R.C.G. & Branco, L.H.Z. 1995. Distribution of stream macroalgae in northwest region of São Paulo State, southeastern Brazil. Hydrobiologia. 299: 219-230.

- Necchi Júnior, O., Branco, L.H.Z. & Branco, C.C.Z. 2003. Ecological distribution of stream macroalgal communities from a drainage basin in the Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 63: 1-12.
- Necchi Júnior, O., Branco, L.H.Z. & Spezámiglio, D. 2008. Distribuição ecológica de comunidades de macroalgas de ambientes lóticos do Parque Nacional de Itatiaia (MG, RJ), Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*. 31: 135-145.
- Necchi Junior, O., Pascoaloto, D. J. & Branco, L. H. Z. 1994. Distribution of macroalgae in a tropical river basin from southeastern Brazil. *Archiv für Hydrobiologie*. 129: 459-471.
- Necchi Júnior, O. & Zucchi, M.R. 2001. Photosynthetic performance of freshwater Rhodophyta in response to temperature, irradiance, pH and diurnal rhythm. *Phycological Research*. 49: 305-318.
- Olaizola, M. & Yamamoto, H.Y. 1994. Short-term response of the diadinoxanthin cycle and fluorescence yield to high irradiance in *Chaetoceros muelleri* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*. 30: 606-612.
- Peres, C. K., Branco, C. C. Z. & Krupek, R. A. 2008. Macroalgas de riachos da Serra da Prata, leste do estado do Paraná, Sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 22: 333-344.
- Peres, C.K., Branco, C.C.Z., Krupek, R.A. 2009. Distribuição ambiental e temporal das comunidades de macroalgas de riachos da Serra da Prata, Estado do Paraná, Sul do Brasil.. *Revista Brasileira de Botânica*. 32: 625-633.
- Pfister, P. 1993. Seasonality of macroalgal distribution pattern within the reach of a gravel stream (Isar, Tyrol, Austria). *Archiv für Hydrobiologie*. 129: 89-107.
- Platt, T., Gallegos, C.L. & Harrison, W.G. 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *Journal of Marine Research*. 38: 687-701.
- Prezelin, B.B., Tilzer, M.M., Schofield, O. & Haese, C. 1991. The control of the production process of phytoplankton by the physical structure of the aquatic

- environment with special reference to its optical properties. *Aquatic Sciences*. 53: 136-186.
- Ramus, J. 1981. The capture and transduction of light energy. In Lobban, C.S. & Wynne, M.J. (eds), *The Biology of Seaweeds*. Blackwell Science, Oxford. Pp. 458-492.
- Raven, P.H., Evert, R.F. & Eichhorn, S.E. 2001. *Biologia vegetal*. 6. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Rier, S.T., Stevenson, J. & LaLiberte, G.D. 2006. Photo-acclimation response of benthic stream algae across experimentally manipulated light gradients: a comparison of growth rates and net primary production. *Journal of Phycology*. 42: 560-567.
- Roberts, S., Sabater, S. & Beardall, J. 2004. Benthic microalgal colonization in stream of differing riparian cover and light availability. *Journal of Phycology*. 40: 1004-1021.
- Sheath, R.G. & Burkholder, J. 1985. Characteristics of softwater stream in Rhode Island. II: Composition and seasonal dynamics of macroalgae communities. *Hydrobiologia*. 128: 109-118.
- Sheath, R.G. & Cole, K.M. 1992. Biogeography of stream macroalgae in North America. *Journal of Phycology*. 28: 448-460.
- Sheath, R.G. Morison, M.O. Korch, J.E. Kaczmarezyk, D., Cole, K.M. 1986. Distribution of stream macroalgae in south-central Alaska. *Hydrobiologia*. 135: 259-269.
- Sheath, R.G., Hamilton, P.B., Hambrook, J.A. & Cole, K.M. 1989. Stream macroalgae of eastern boreal forest region of North America. *Canadian Journal of Botany*. 67: 3553-3562.
- Sheath, R.G., Morison, M.O., Korch, J.E., Kaczmarezyk, D. & Cole, K.M. 1986. Distribution of stream macroalgae in south-central Alaska. *Hydrobiologia*. 135: 259-269.
- Shortreed, K.S. & Stockner, J.G. 1983. Periphyton biomass and species composition in a coastal rainforest stream in British Columbia: effects of environmental changes

- caused by logging. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 40: 1887-1895.
- Steinman, A.D. & McIntire, C.D., 1987, effect of irradiance on the community structure and biomass of algal assemblages in laboratory streams. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Ottawa. 44: 1640-1648.
- Steinman, A.D., Meeker, R.H. Rodusky, A.J., Davis, W.P. & Hwang, S.J. 1997. Ecological properties of charophytes in a large subtropical lake. Journal of the North American Benthological Society. 16: 781-793.
- Stevenson, R.J. 1996. An introduction to algal ecology in freshwater benthic habitat. In: Stevenson, R.J., Bothwell, M. & Lowe, R.L. (Eds.) Algal Ecology; freshwater benthic ecosystems. San Diego: Academic Press, p. 533-564
- Takaichi, S. 2011. Carotenoids in Algae: Distributions, Biosyntheses and Functions. Marine Drugs. 9: 1101-1118.
- Thomas, M.L.H. 1988. 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. (Eds.). Experimental Phycology: A laboratory manual. Cambridge: Cambridge University Press, p. 64-77.
- Tonetto, A.F., Branco, C.C.Z. & Peres, C.K. 2012. Effects of irradiance and spectral composition on the establishment of macroalgae in streams in southern Brazil. Annales de limnologie. 48: 363-370.
- Verb, R.G. & Vis, M.L. 2001. Macroalgal communities from a acid mine drainage impacted watershed. Aquatic Botany. 71: 93-107.
- Vieira, J. & Necchi Júnior, O. 2003. Photosynthetic characteristics of charophytes from tropical ecosystems. Phycological Research. 51: 51-60.
- Vieira, J. & Necchi Júnior, O. 2006. Photosynthetic characteristics of a tropical population of *Nitella cernua* (Characeae, Chlorophyta). Brazilian Journal of Plant Physiology. 18(3): 379-388.

- Vieira, J., Necchi Júnior, O & Branco, L.H.Z. 2003. Characeae (Chlorophyta) em ecossistemas lóticos do estado de São Paulo, Brasil: gênero *Chara* e distribuição ecológica. *Hoehnea*. 30: 53-70.
- Zucchi, M.R. & Necchi júnior, O. 2001. Effects of temperature, irradiance and photoperiod on growth and pigment content in some freshwater red algae in culture. *Phycological Research*. 49: 103-114.
- Wetzel, R.G. & Likens, G.E. 1991. Limnological analyses. New York: Springer-Verlag, 390 pp.
- White, A.J. & Critchley, C. 1999. Rapid light curves: a new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus. *Photosynthesis research*. 59: 63-72.

Apêndice

Tabelas

Tabela 1. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$, derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a alga verde *Microspora willeana* nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$8.16 \pm 0.64a$	0.642 ± 0.01	$0.094 \pm 0.00a$	-0.007 ± 0.00	86.95 ± 3.96
VD	$11.33 \pm 1.25bc$	0.707 ± 0.02	$0.135 \pm 0.01bc$	-0.005 ± 0.00	83.94 ± 6.7
VM	$10.767 \pm 0.8b$	0.729 ± 0.05	$0.132 \pm 0.01b$	-0.009 ± 0.00	81.49 ± 5.07
Grupo Controle	$13.2 \pm 0.8c$	$0.708 \pm 0.00x$	$0.15 \pm 0.00c$	-0.009 ± 0.00	87.59 ± 2.02
<i>Quantitativo</i>					
60%	12.53 ± 1.51	$0.718 \pm 0.05xy$	0.146 ± 0.01	-0.009 ± 0.00	85.82 ± 0.78
75%	11.2 ± 1.51	$0.741 \pm 0.00y$	0.134 ± 0.01	-0.006 ± 0.00	83.54 ± 0.78
87%	11.7 ± 1.8	$0.701 \pm 0.06xy$	0.12 ± 0.03	-0.01 ± 0.00	102.97 ± 32.54

Tabela 2. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$, derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a alga verde *Nitella furcata* subsp. *Mucronata* var. *mucronata* f. *wrightii* nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	10.26 $\pm$ 1.88b	0.71 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.07	-0.20 $\pm$ 0.16	217.26 $\pm$ 171.27
VD	10.94 $\pm$ 2.748 ab	0.73 $\pm$ 0.03	0.39 $\pm$ 0.67	-0.27 $\pm$ 0.2	171.63 $\pm$ 133.92
VM	12.35 $\pm$ 0.793 ab	0.68 $\pm$ 0.04	0.04 $\pm$ 0.00	-0.16 $\pm$ 0.05	321.33 $\pm$ 89.62
Grupo Controle	14.03 $\pm$ 0.398ax	0.677 $\pm$ 0.05	0.03 $\pm$ 0.00	-0.11 $\pm$ 0.02	428.76 $\pm$ 92.02x
<i>Quantitativo</i>					
60%	12.86 $\pm$ 1.648x	0.75 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.01	-0.19 $\pm$ 0.11	128.28 $\pm$ 17.48y
75%	12.03 $\pm$ 1.025x	0.77 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.01	-0.19 $\pm$ 0.07	194.11 $\pm$ 63.08y
87%	10.98 $\pm$ 1.11z	0.78 $\pm$ 0.00	0.40 $\pm$ 0.66	-0.20 $\pm$ 0.08	95.08 $\pm$ 84.44y

Tabela 3. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$), derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a alga verde *Oedogonium* sp. nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	6.7 ± 0.95	$0.646 \pm 0.34a$	0.09 ± 0.01	-0.00 ± 0.00	68.48 ± 1.65
VD	10.1 ± 1.93	$0.71 \pm 0.01b$	0.13 ± 0.01	-0.00 ± 0.00	74.92 ± 3.43
VM	10.767 ± 4.28	$0.7 \pm 0.02ab$	0.14 ± 0.03	-0.01 ± 0.00	74.13 ± 9.44
Grupo Controle	11.3 ± 2.51	$0.73 \pm 0.01ax$	0.14 ± 0.02	$-0.00 \pm 0.00x$	79.5 ± 5.71
<i>Quantitativo</i>					
60%	7.766 ± 1.29	$0.71 \pm 0.05xy$	0.11 ± 0.01	$-0.00 \pm 0.00x$	66.11 ± 4.05
75%	10.7 ± 1.8	$0.75 \pm 0.00xy$	0.14 ± 0.01	$0.00 \pm 0.000y$	74.55 ± 5.69
87%	8.433 ± 1.66	$0.77 \pm 0.00y$	0.12 ± 0.02	$-0.00 \pm 0.00x$	67.21 ± 3.17

Tabela 4. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$, derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a alga verde *Spirogyra* sp. nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$23.78 \pm 2.71b$	0.58 ± 0.01	0.01 ± 0.00	-0.09 ± 0.11	1795.75 ± 848.34
VD	$30.68 \pm 1.16a$	0.67 ± 0.02	0.01 ± 0.00	-0.12 ± 0.03	1877.66 ± 513.73
VM	$22.69 \pm 1.85b$	0.63 ± 0.02	0.01 ± 0.00	-0.05 ± 0.06	1730.3 ± 513.73
Grupo Controle	$24.68 \pm 2.44ax$	0.57 ± 0.03	0.01 ± 0.00	-0.05 ± 0.08	1747.41 ± 734.21
<i>Quantitativo</i>					
60%	$30.02 \pm 1.69z$	0.69 ± 0.05	0.01 ± 0.00	-0.11 ± 0.06	1590.57 ± 310.34
75%	$31.79 \pm 2.34z$	0.721 ± 0.021	0.015 ± 0.005	-0.06 ± 0.08	2286.92 ± 1033.3
87%	$29.61 \pm 2.42x$	0.687 ± 0.015	0.014 ± 0.002	-0.08 ± 0.12	2252.72 ± 558.97

Tabela 5. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, $P_{\max}$; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(\text{ETR})$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(\text{ETR})$), derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a cianobactéria *Lyngbya majuscula*. nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	$P_{\max}$	EQY	$\alpha(\text{ETR})$	$\beta(\text{ETR})$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$8.33 \pm 0.38b$	0.53 ± 0.02	0.02 ± 0.00	-0.06 ± 0.04	84.31 ± 6.76
VD	$8.68 \pm 0.54b$	0.52 ± 0.04	0.03 ± 0.00	-0.08 ± 0.06	81.05 ± 2.66
VM	$8.16 \pm 0.3b$	0.50 ± 0.06	0.02 ± 0.00	-0.08 ± 0.03	85.37 ± 3.79
Grupo Controle	$10.11 \pm 0.63ax$	0.57 ± 0.03	0.03 ± 0.00	$-0.08 \pm 0.06x$	$78.43 \pm 4.2xz$
<i>Quantitativo</i>					
60%	$7.84 \pm 1.52z$	0.50 ± 0.07	0.03 ± 0.00	$-0.18 \pm 0.18z$	$83.37 \pm 3.1zw$
75%	$9.44 \pm 1z$	0.49 ± 0.07	0.02 ± 0.00	$-0.10 \pm 0.11z$	$89.45 \pm 4.24yw$
87%	$10.01 \pm 0.48z$	0.53 ± 0.04	0.02 ± 0.00	$-0.04 \pm 0.04x$	$94.67 \pm 3.91y$

Tabela 6. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$, derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a cianobactéria *Phormidium retzii*. nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$3.87 \pm 1.02b$	0.26 ± 0.05	0.03 ± 0.01	-0.20 ± 0.25	138.14 ± 71.8
VD	$9.47 \pm 2a$	0.43 ± 0.06	0.01 ± 0.01	-0.16 ± 0.13	660.01 ± 485.72
VM	$7.70 \pm 0.82a$	0.45 ± 0.02	0.03 ± 0.00	-0.12 ± 0.06	255.39 ± 74.06
Grupo Controle	$9.55 \pm 2.89ax$	0.37 ± 0.05	0.01 ± 0.00	-0.27 ± 0.25	705.9 ± 568.12
<i>Quantitativo</i>					
60%	$6.11 \pm 0.97z$	0.41 ± 0.03	0.03 ± 0.01	-0.18 ± 0.14	200.23 ± 139.68
75%	$4.59 \pm 1.01z$	0.38 ± 0.03	0.04 ± 0.02	-0.30 ± 0.18	141.96 ± 106.06
87%	$7.57 \pm 2.15z$	0.40 ± 0.14	0.02 ± 0.00	-0.22 ± 0.27	358.05 ± 127.49

Tabela 7. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$, derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a cianobactéria *Scytonema arcangelii* nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$4.76 \pm 0.15a$	$0.24 \pm 0.007a$	$0.054 \pm 0.002a$	-0.003 ± 0.001	$88.91 \pm 2.15a$
VD	$11.27 \pm 0.6 b$	$0.406 \pm 0.009b$	$0.112 \pm 0.008b$	-0.004 ± 0.001	$100.79 \pm 2.57b$
VM	$12.46 \pm 0.3c$	$0.504 \pm 0.005c$	$0.126 \pm 0.002c$	-0.002 ± 0.005	$98.66 \pm 0.65b$
Grupo Controle	$10.8 \pm 0.3cx$	$0.463 \pm 0.01dx$	$0.078 \pm 0.004dx$	-0.003 ± 0.001	$137.15 \pm 3.58cx$
<i>Quantitativo</i>					
60%	$6.36 \pm 0.8yz$	$0.317 \pm 0.006y$	$0.062 \pm 0.004y$	-0.004 ± 0.001	$102.56 \pm 7.27y$
75%	$5.1 \pm 1.08y$	$0.31 \pm 0.004y$	$0.049 \pm 0.009y$	-0.002 ± 0.001	$104.5 \pm 7.01y$
87%	$8.13 \pm 0.25z$	$0.399 \pm 0.01z$	$0.081 \pm 0.005x$	-0.003 ± 0.001	$99.94 \pm 4.76y$

Tabela 8. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$, derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a alga vermelha *Batrachospermum helminthosum* nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	6.82 ± 1.36	$0.65 \pm 0.01ab$	0.09 ± 0.01	0.00 ± 0.00	71.39 ± 2.22
VD	5.67 ± 1.90	$0.65 \pm 0.02a$	0.08 ± 0.02	0.00 ± 0.00	70.12 ± 4.2
VM	3.75 ± 1.07	$0.62 \pm 0.01ab$	0.05 ± 0.01	0.00 ± 0.01	67.57 ± 5.26
Grupo Controle	5.87 ± 1.49	$0.61 \pm 0.02b$	0.08 ± 0.02	0.00 ± 0.00	67.57 ± 5.26
<i>Quantitativo</i>					
60%	7.1 ± 1.74	0.67 ± 0.01	0.09 ± 0.03	0.00 ± 0.00	75.21 ± 13.6
75%	6.25 ± 1.31	0.59 ± 0.12	0.09 ± 0.02	0.00 ± 0.00	67.85 ± 5.67
87%	7.6 ± 2.55	0.66 ± 0.00	0.09 ± 0.02	0.00 ± 0.00	75.56 ± 6.47

Tabela 9. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$), derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a alga vermelha *Chantransia pygmaea* nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão ($n=5$). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p<0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$4.76 \pm 0.15a$	0.61 ± 0.01	0.07 ± 0.00	0.00 ± 0.00	$66.45 \pm 8.83a$
VD	$11.26 \pm 0.6b$	0.6 ± 0.01	0.07 ± 0.00	0.00 ± 0.00	$157.95 \pm 15.48b$
VM	$12.46 \pm 0.3c$	0.56 ± 0.43	0.08 ± 0.00	0.00 ± 0.00	$146.79 \pm 15.31b$
Grupo Controle	$10.8 \pm 0.3 \text{ bx}$	0.6 ± 0.02	$0.07 \pm 0.00 \text{ xy}$	0.00 ± 0.00	$150.66 \pm 11.68bx$
<i>Quantitativo</i>					
60%	$6.36 \pm 0.8y$	0.61 ± 0.02	$0.08 \pm 0.00 \text{ xy}$	0.00 ± 0.00	$79.14 \pm 10.84y$
75%	$5.1 \pm 1.08y$	0.62 ± 0.04	$0.08 \pm 0.00 \text{ x}$	0.00 ± 0.00	$57.74 \pm 13.78y$
87%	$8.13 \pm 0.25z$	0.61 ± 0.02	$0.07 \pm 0.00y$	0.00 ± 0.00	$115.68 \pm 16.98x$

Tabela 10. Parâmetros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética α (ETR) e parâmetro de fotoinibição, β (ETR), derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a alga vermelha *Sirodotia delicatula* nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	α (ETR)	β (ETR)	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$2.57 \pm 0.67b$	0.5 ± 0.12	1.43 ± 0.08	-0.44 ± 0.23	$1.78 \pm 0.43a$
VD	$5.63 \pm 0.38c$	0.58 ± 0.06	0.42 ± 0.61	-0.23 ± 0.14	$38.66 \pm 25.32a$
VM	$3.04 \pm 0.09b$	0.55 ± 0.05	1.50 ± 0.17	-0.28 ± 0.02	$2.04 \pm 0.26a$
Grupo Controle	$8.54 \pm 0.49ax$	0.59 ± 0.02	0.06 ± 0.01	-0.19 ± 0.05	$150.67 \pm 4.14b$
<i>Quantitativo</i>					
60%	$9.85 \pm 2.23x$	0.63 ± 0.04	0.40 ± 0.70	-0.35 ± 0.23	181.25 ± 151.92
75%	$7.19 \pm 0.38z$	0.64 ± 0.03	0.10 ± 0.01	-0.15 ± 0.04	70.47 ± 13.8
87%	$7.45 \pm 1.05z$	0.67 ± 0.00	0.43 ± 0.69	-0.22 ± 0.12	70.21 ± 49.57

Tabela 11. Paramêtros (taxa fotossintética máxima, P_{max} ; rendimento quântico efetivo, EQY; eficiência fotossintética $\alpha(ETR)$ e parâmetro de fotoinibição, $\beta(ETR)$, derivados das curvas de fotossíntese-irradiância ou fotossíntese-composição espectral para a xantófita *Vaucheria* sp. nos experimentos de manipulação da irradiância e composição espectral da luz incidente. Os dados são expressos em média $\pm$ desvio padrão (n=5). AZ – tratamento com luz azul; VD- tratamento com luz verde; VM – tratamento com luz vermelha; 60% - tratamento com 60% de atenuação; 75% tratamento com 75% de atenuação e 87% - tratamento com 87% de atenuação. Letras distintas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$) no teste de Tukey.

Tratamentos	P_{max}	EQY	$\alpha(ETR)$	$\beta(ETR)$	Ik
<i>Qualitativo</i>					
AZ	$10.8 \pm 0.08a$	0.484 ± 0.345	0.1 ± 0.08	$-0.002 \pm 0.001a$	632.79 ± 968.75
VD	$8.5 \pm 1.53b$	0.724 ± 0.05	0.479 ± 0.612	$0.024 \pm 0.004b$	46.198 ± 33.53
VM	$10.73 \pm 0.75a$	0.692 ± 0.038	0.141 ± 0.003	$-0.005 \pm 0.001a$	74.6 ± 4.42
Grupo Controle	$9.56 \pm 0.28ax$	$0.721 \pm 0.024x$	$0.141 \pm 0.017x$	$-0.004 \pm 0.0007ax$	67.81 ± 0.8
<i>Quantitativo</i>					
60%	$8.23 \pm 1.19x$	$0.692 \pm 0.048x$	$0.127 \pm 0.017x$	$-0.188 \pm 0.001xz$	64.55 ± 1
75%	$8.23 \pm 0.51x$	$0.559 \pm 0.26xy$	$0.085 \pm 0.058x$	$0.0012 \pm 0.001y$	191.07 ± 210.27
87%	$6.16 \pm 0.73y$	$0.569 \pm 0.0321y$	$0.081 \pm 0.01y$	$-0.008 \pm 0.001z$	75.98 ± 10.93

Apêndice

Figuras

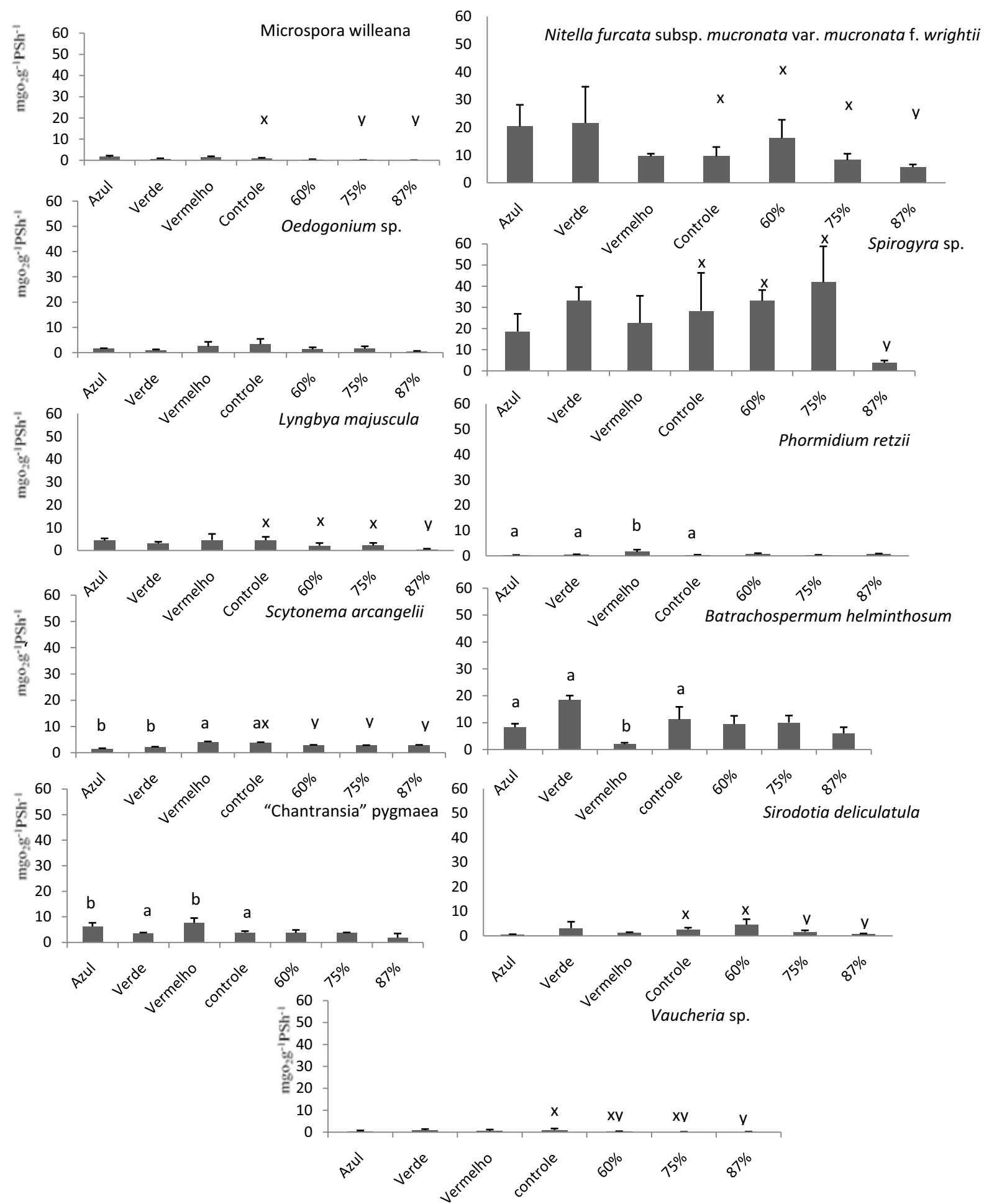


Figura 2. Taxa da fotossíntese líquida medida pela evolução do oxigênio nos tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral das espécies de macroalgas. Os dados são expressos como média $\pm$ desvio padrão (n=5).

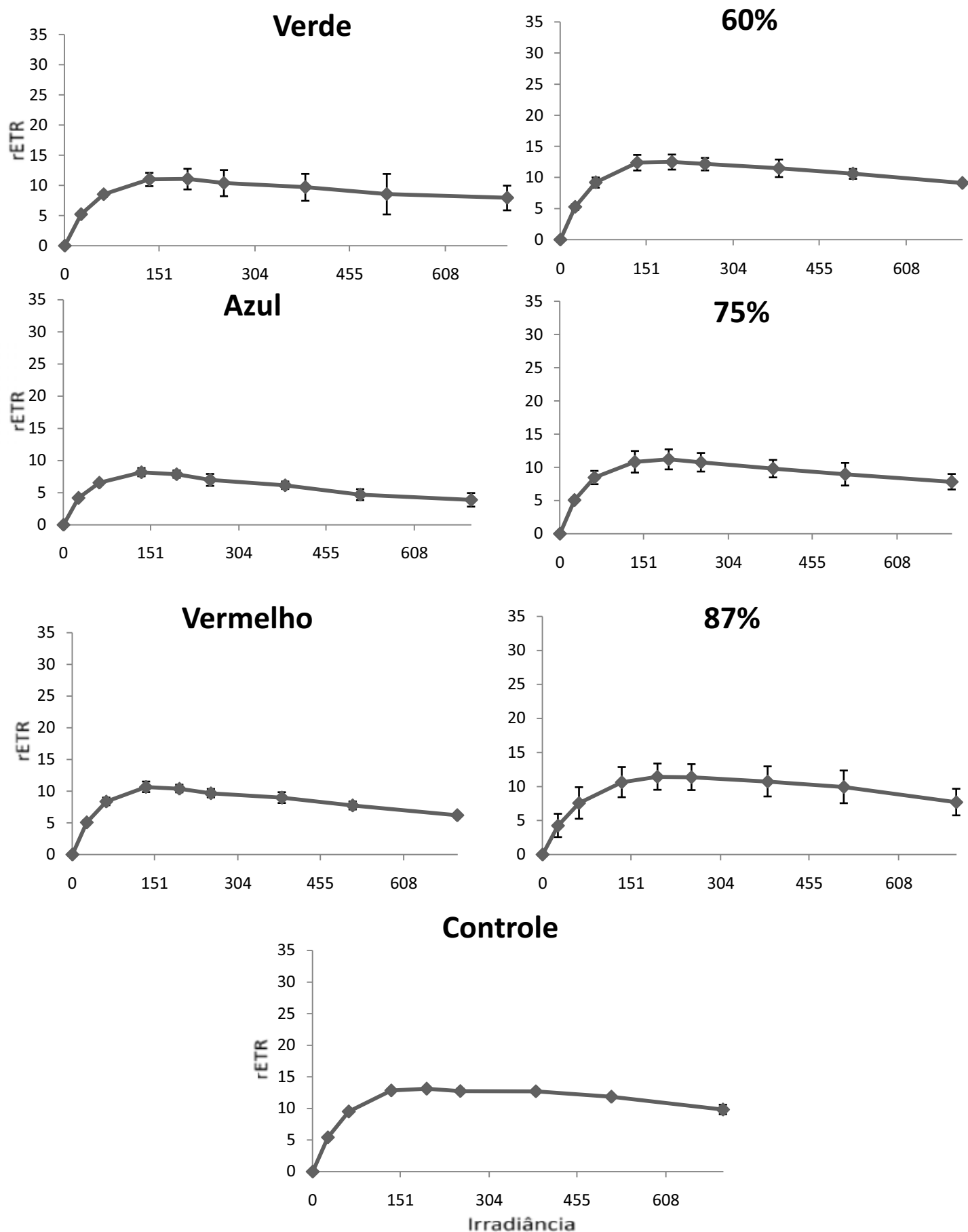


Figura 3. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga verde *Microspora willeana* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

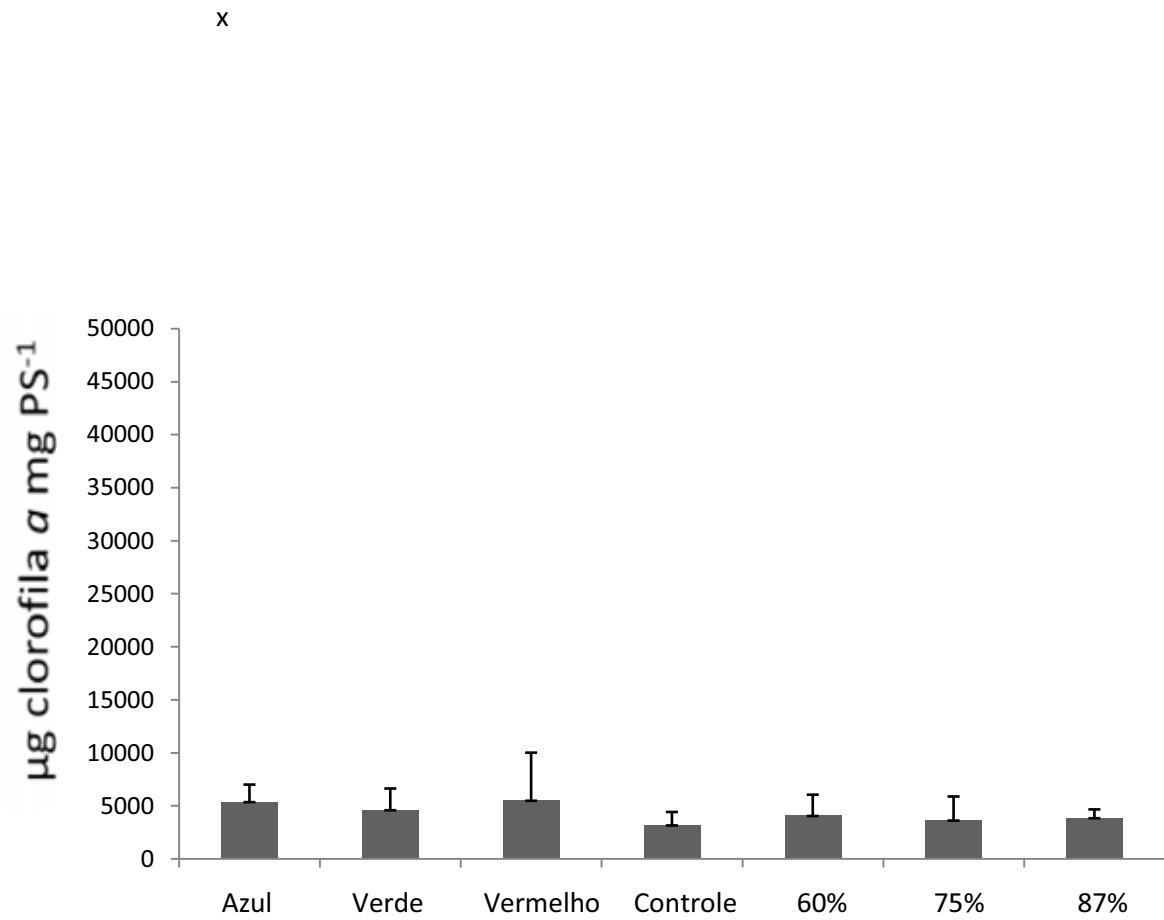


Figura 4. Concentração de clorofila *a* da alga verde *Microspora willeana* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

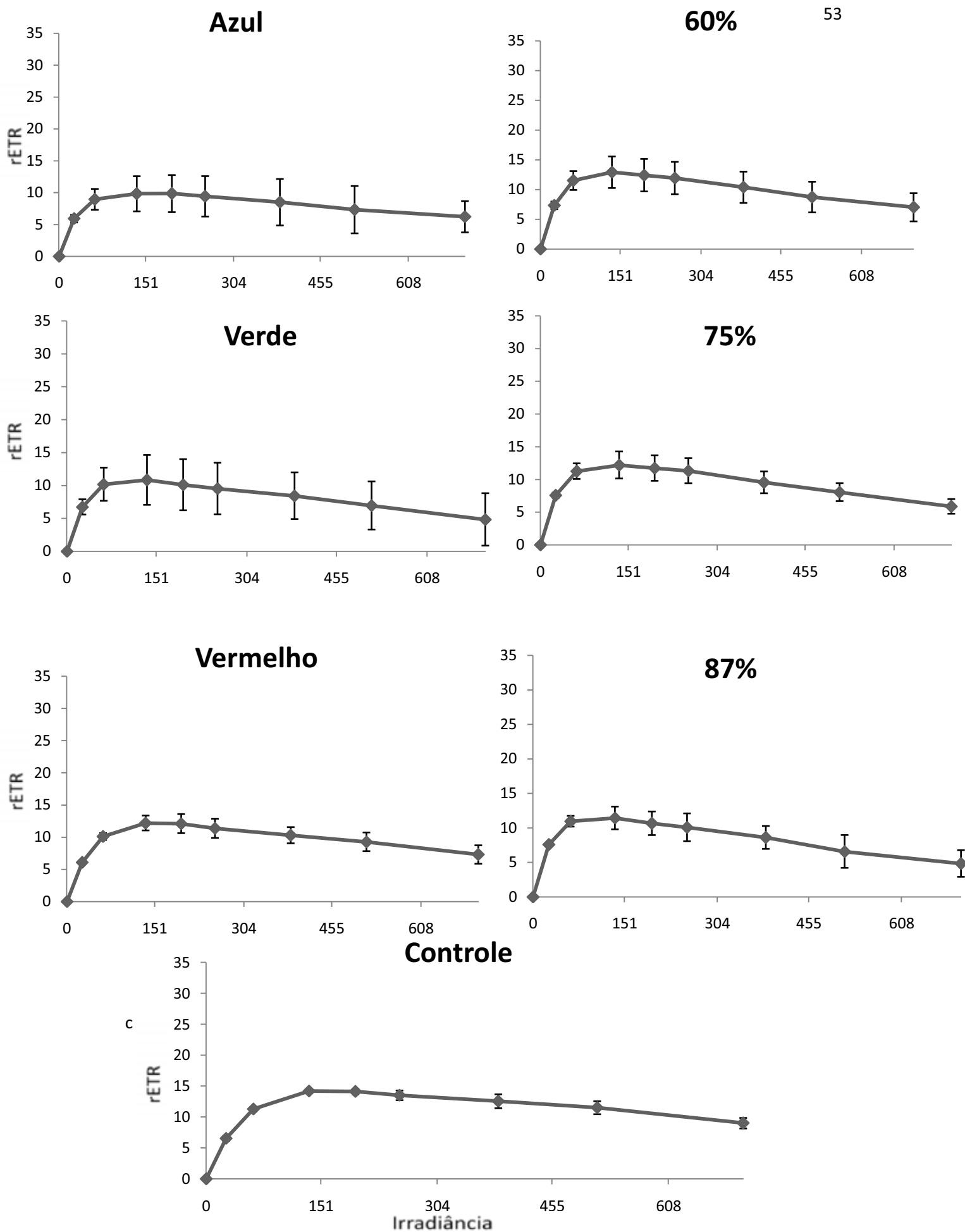


Figura 5. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga verde *Nitella furcata* subsp. *mucronata* var. *mucronata* f. *wright* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

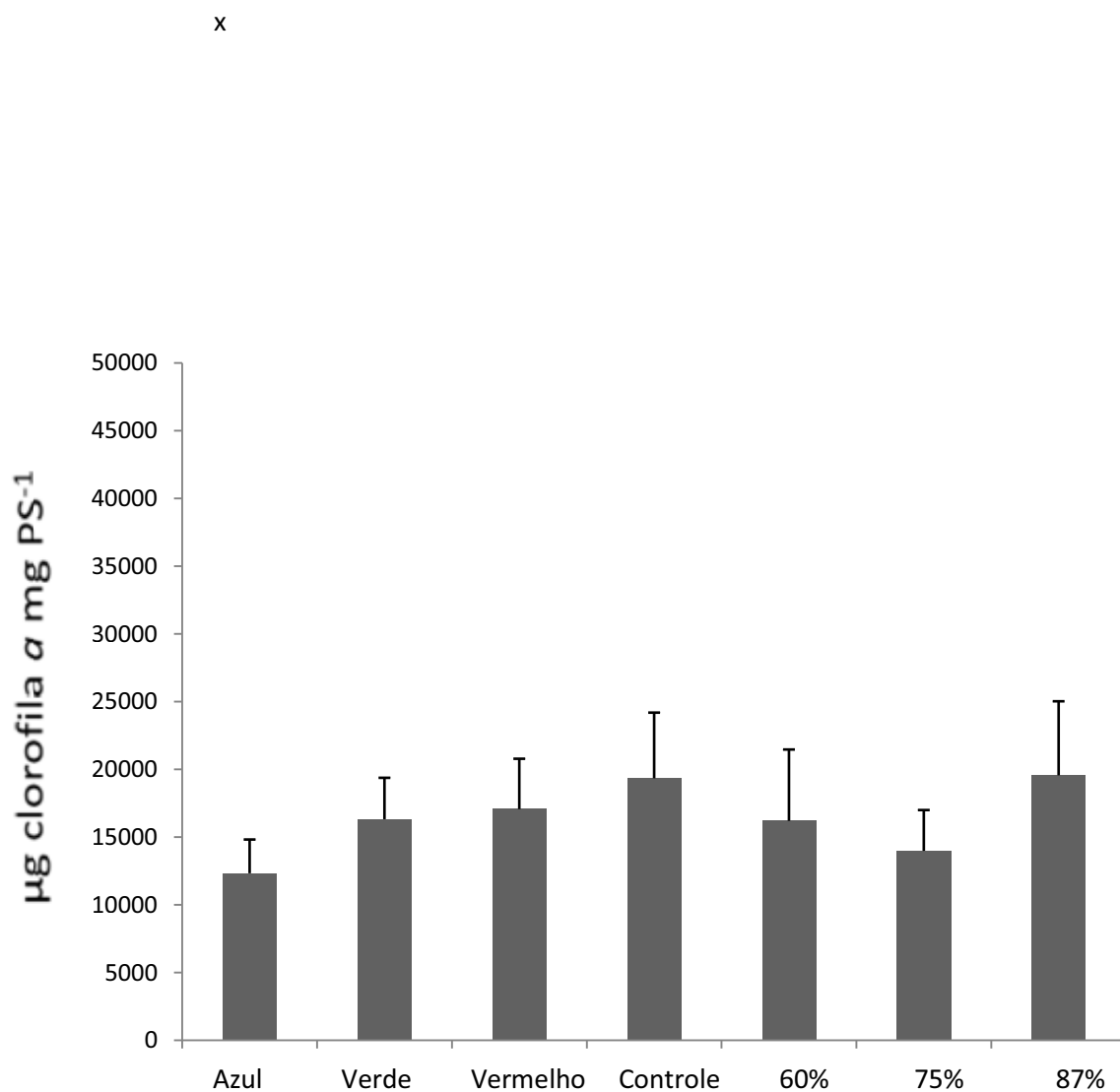


Figura 6. Concentração de clorofila *a* da alga verde *Nitella furcata* subsp. *mucronata* var. *mucronata* f. *wright* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

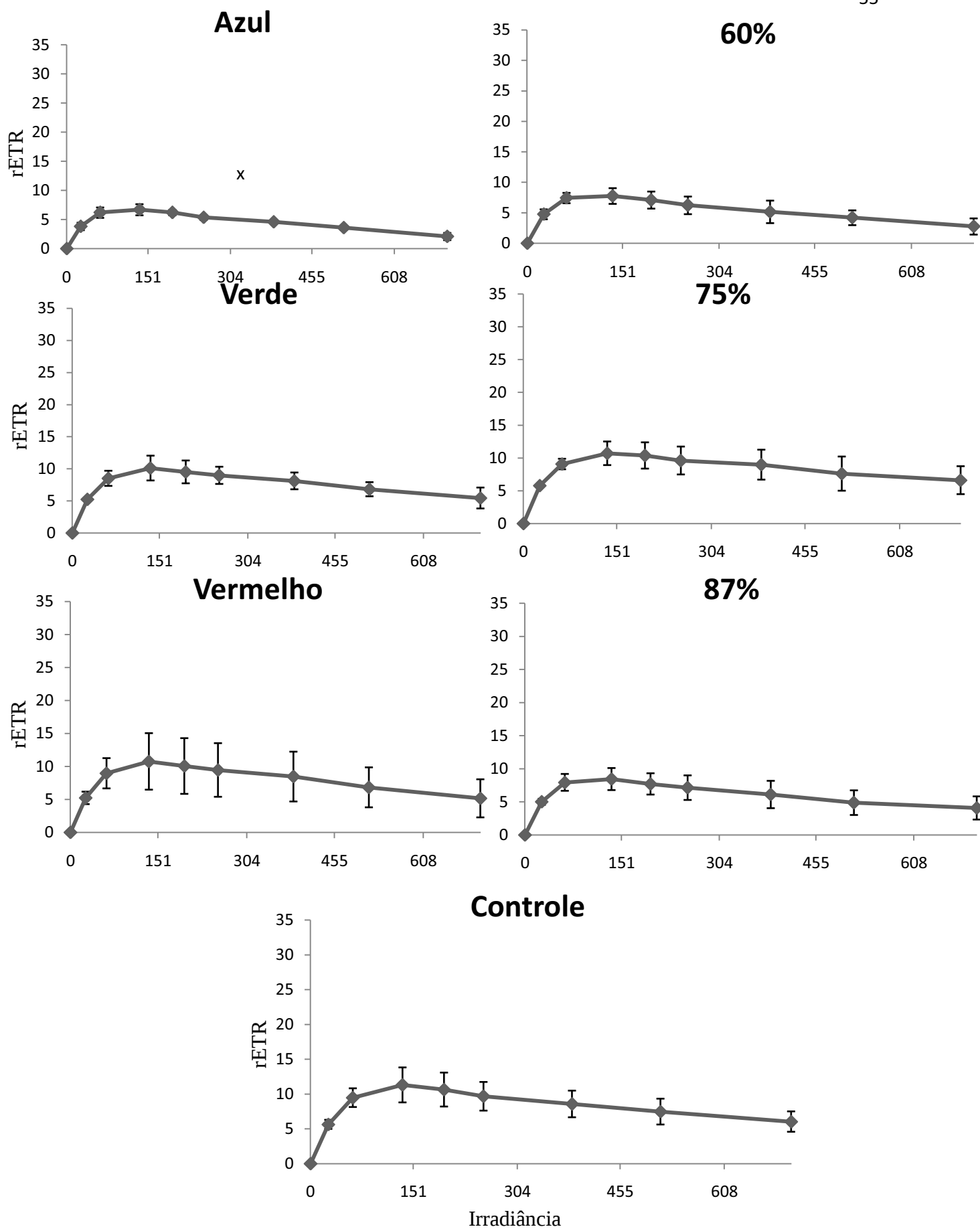


Figura 7. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga verde *Oedogonium* sp. baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

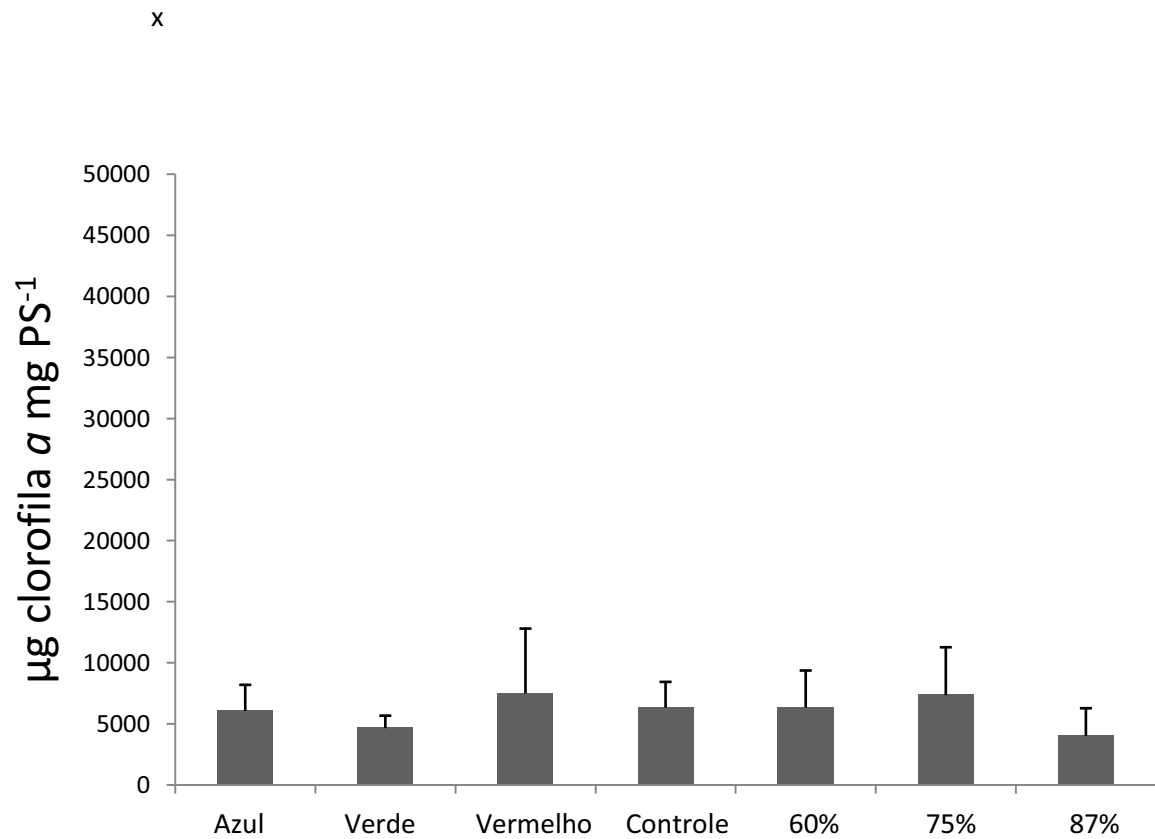


Figura 8. Concentração de clorofila *a* da alga verde *Oedogonium* sp. nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

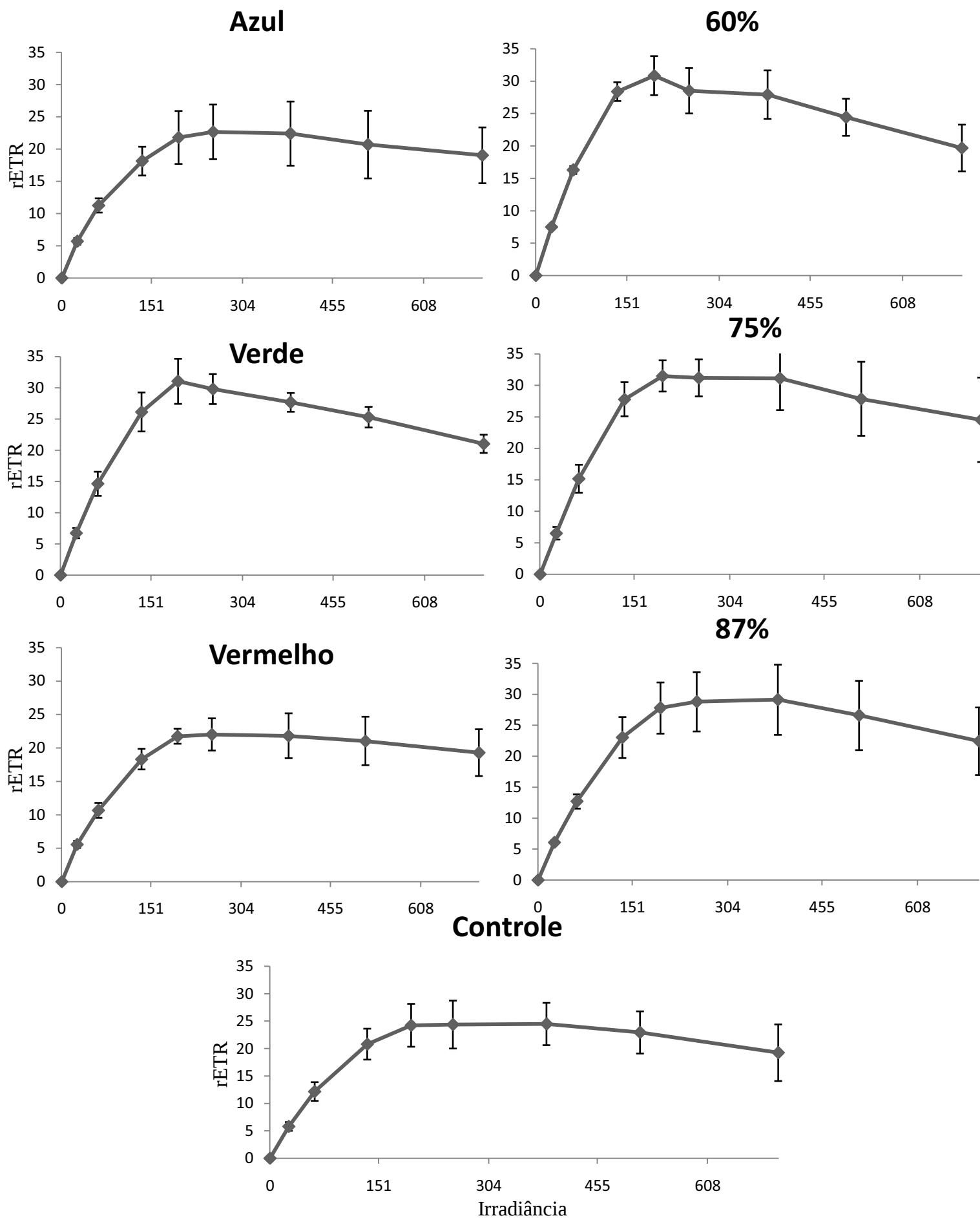


Figura 9. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga verde *Spirogyra* sp. baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

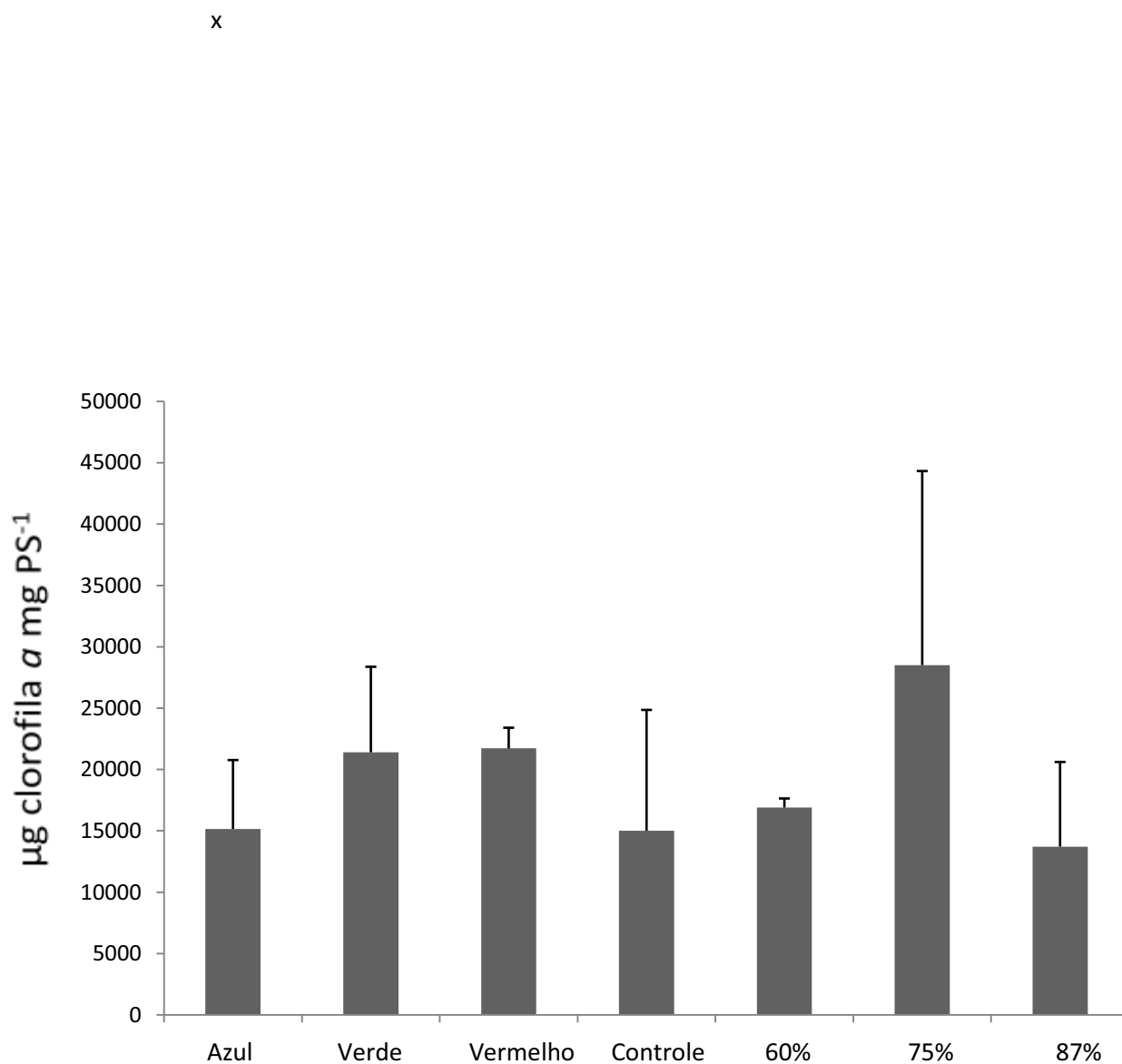


Figura 10. Concentração de clorofila *a* da alga verde *Spirogyra* sp. nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

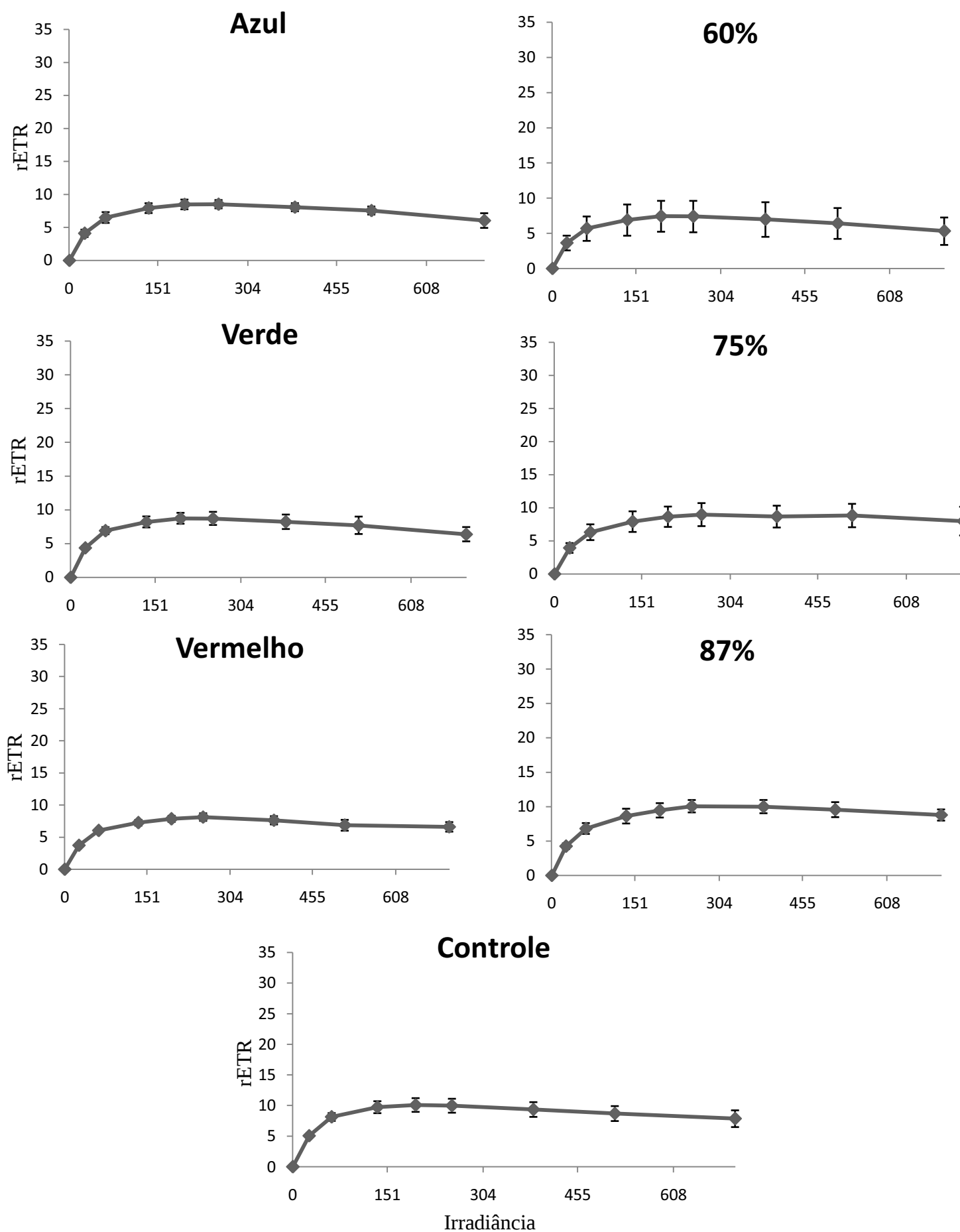
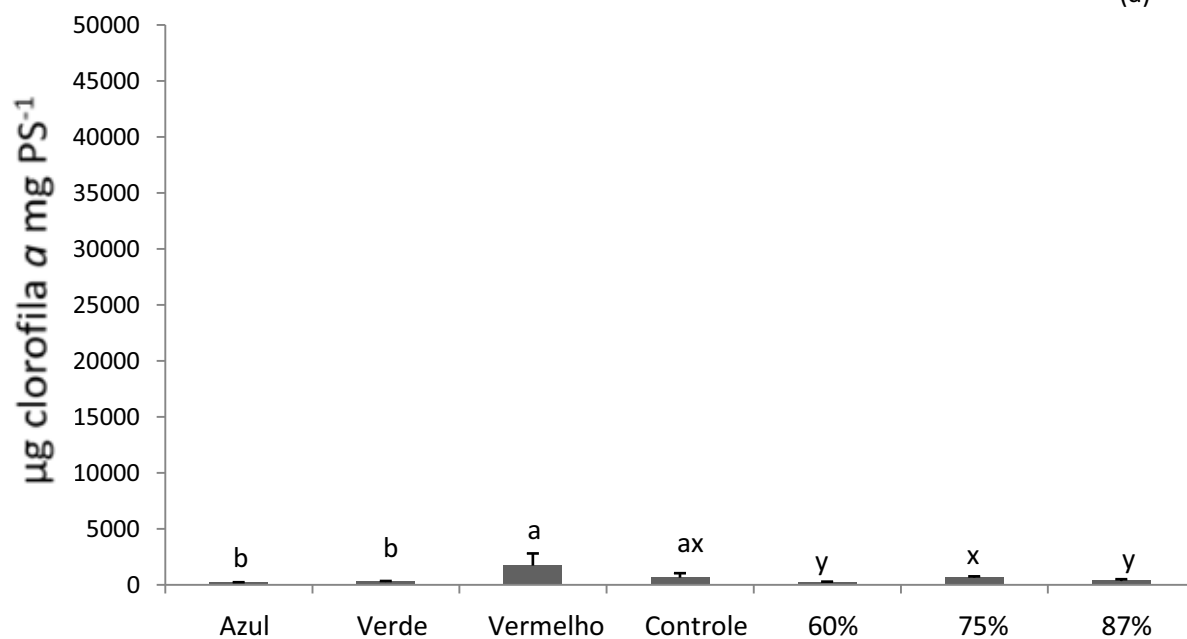


Figura 11. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a cianobactéria *Lyngbya majuscula* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

(a)



(b)

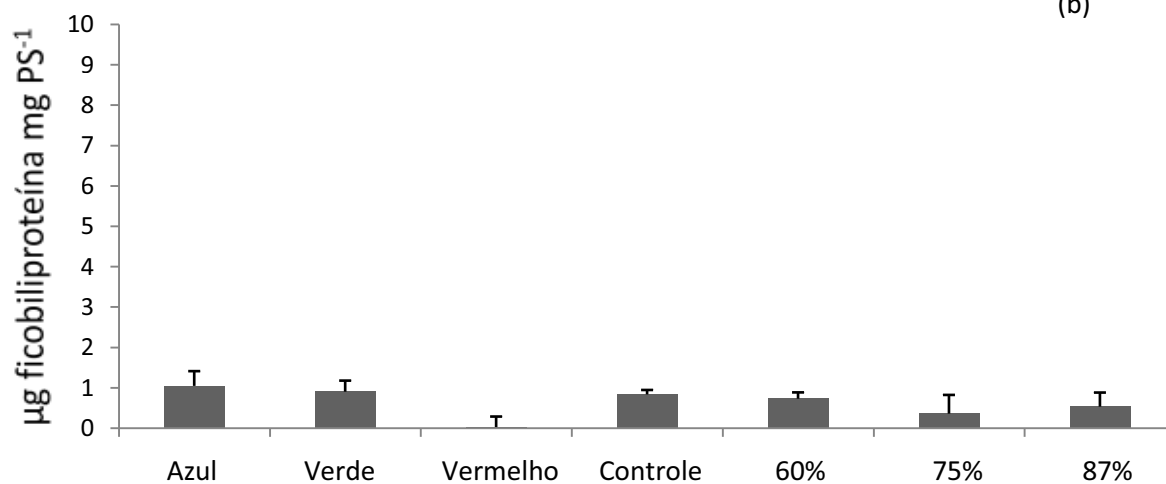


Figura 12. Concentração dos pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* (a) e ficobiliproteínas (b) da cianobactéria *Lyngbya majuscula* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral ($n = 5$).

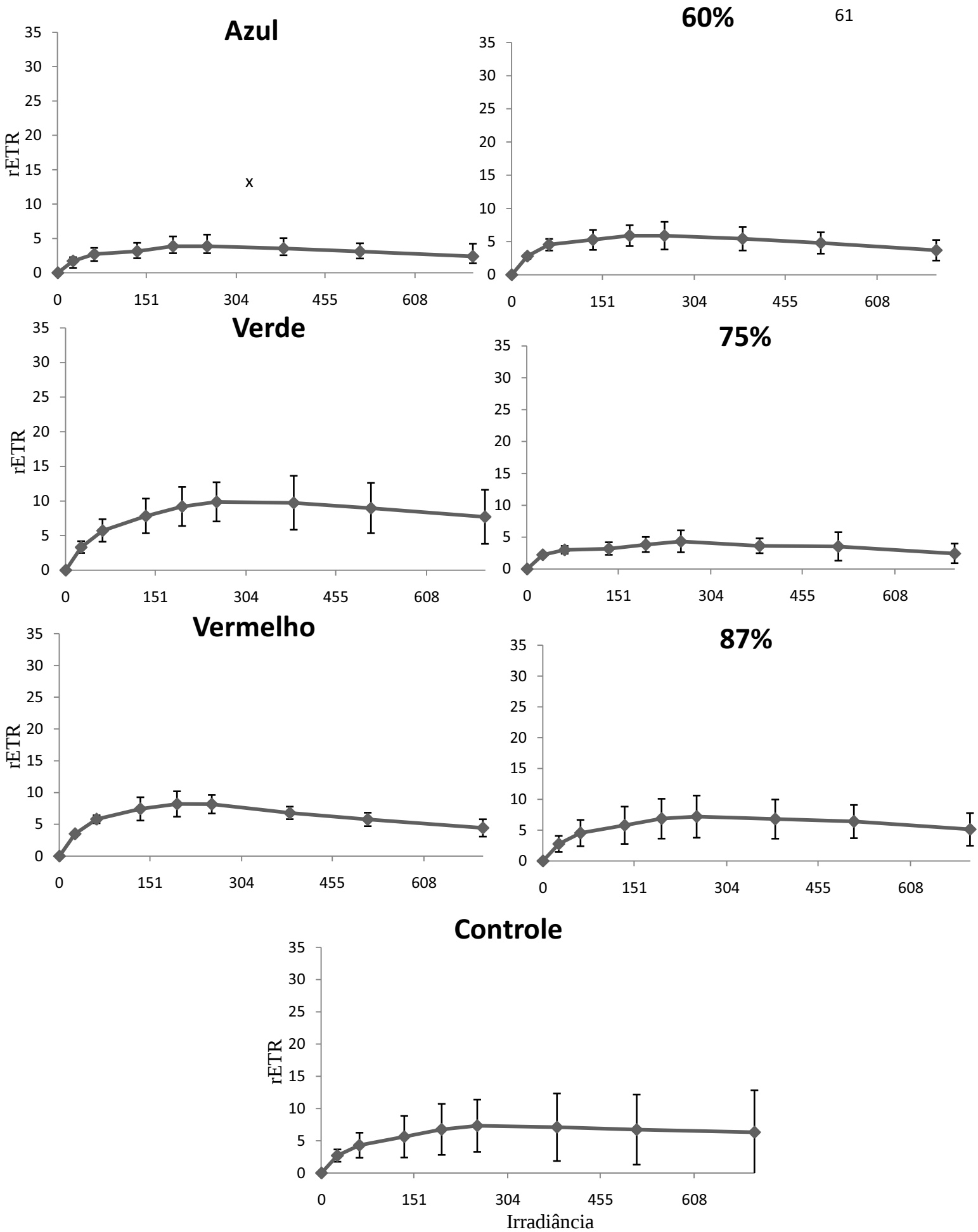


Figura 13. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a cianobactéria *Phormidium retzii* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

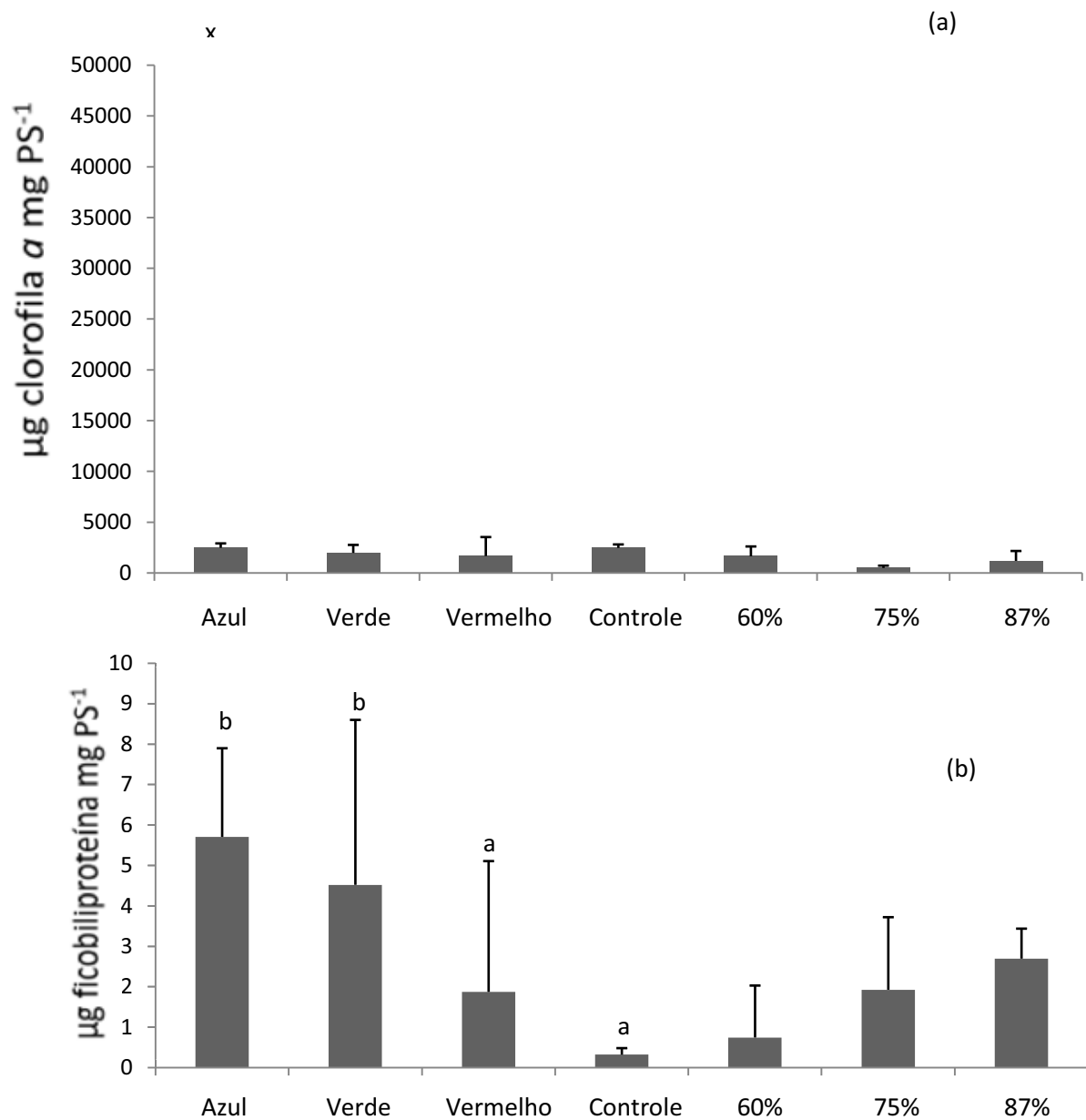


Figura 14. Concentração dos pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* (a) e ficobiliproteínas (b) da cianobactéria *Phormidium retzii* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

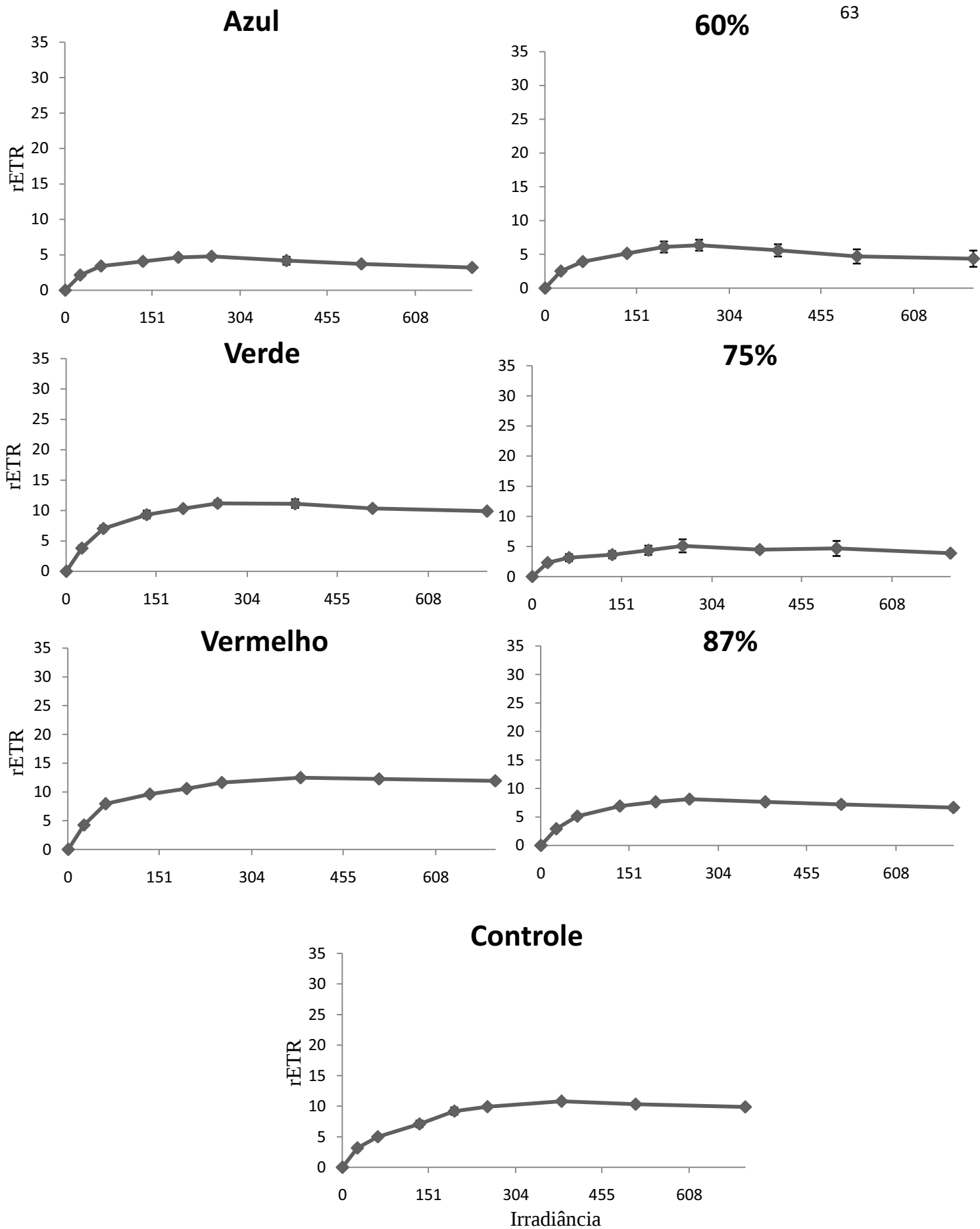


Figura 15. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a cianobactéria *Scytonema arcangelii* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

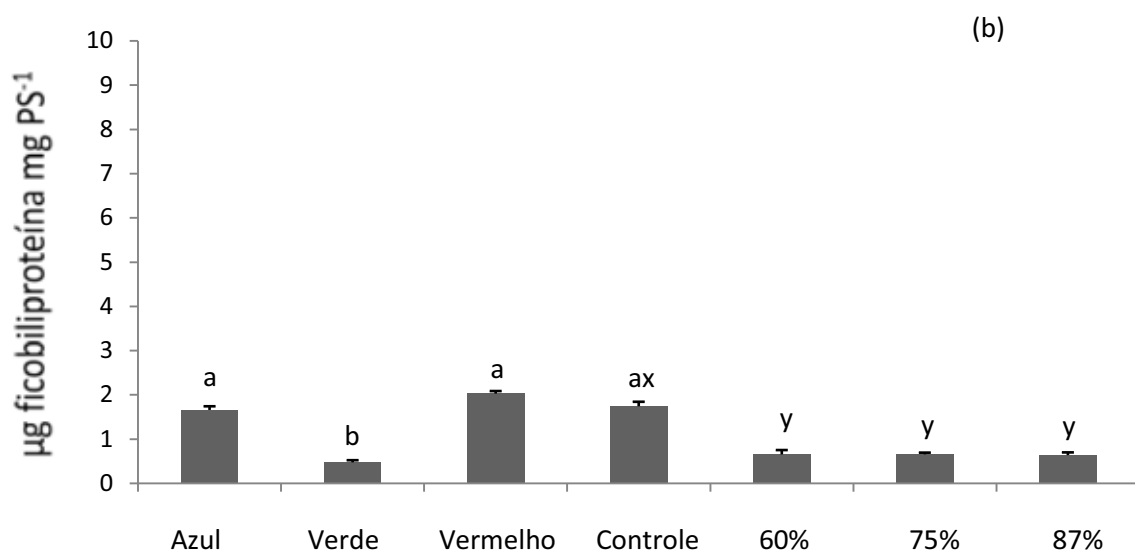
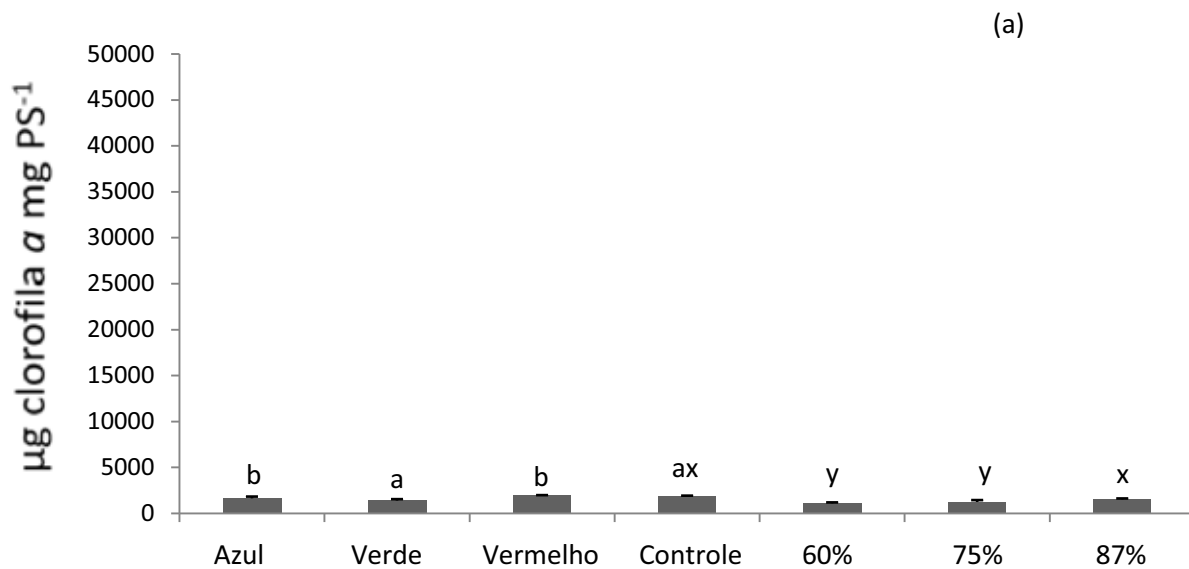


Figura 16. Concentração dos pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* (a) e ficobiliproteínas (b) da cianobactéria *Scytonema arcangelii* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

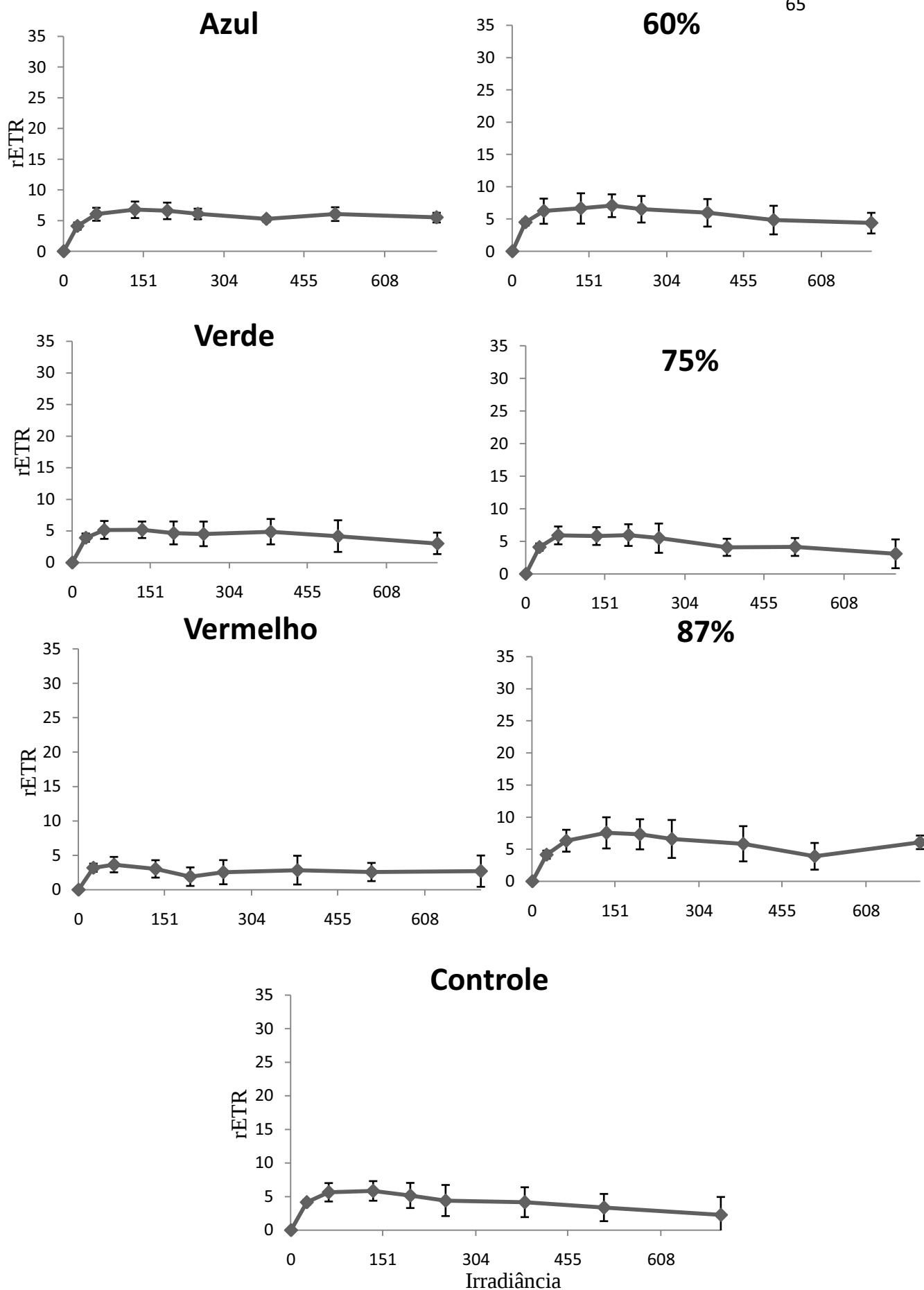


Figura 17. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga vermelha *Batrachospermum helminthosum* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

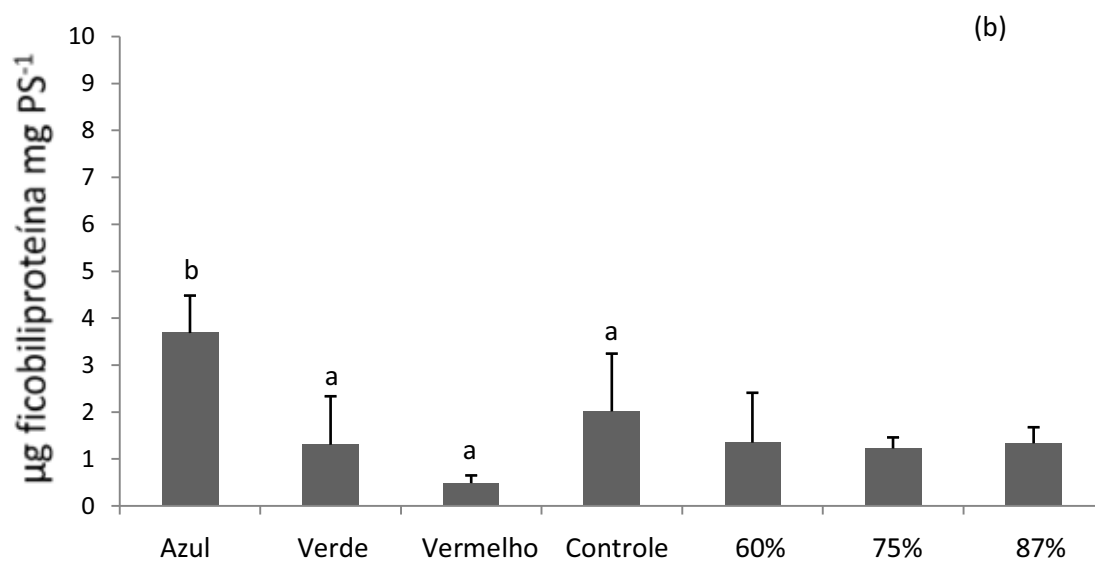
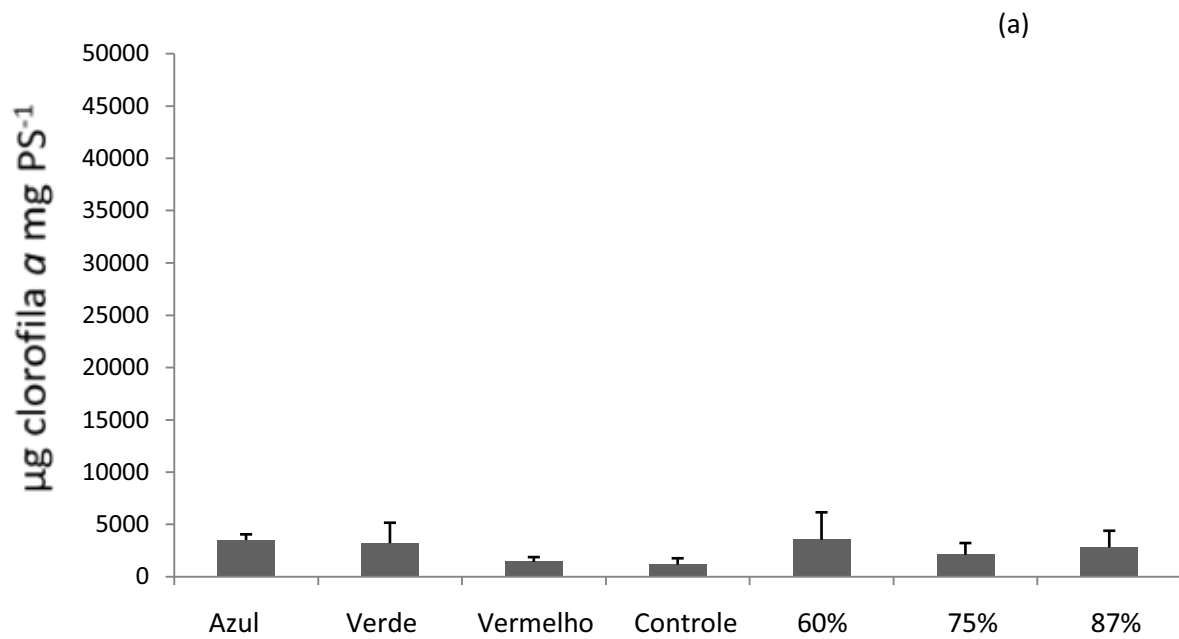


Figura 18. Concentração dos pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* (a) e ficobiliproteínas (b) da alga vermelha *Batrachospermum helminthosum* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

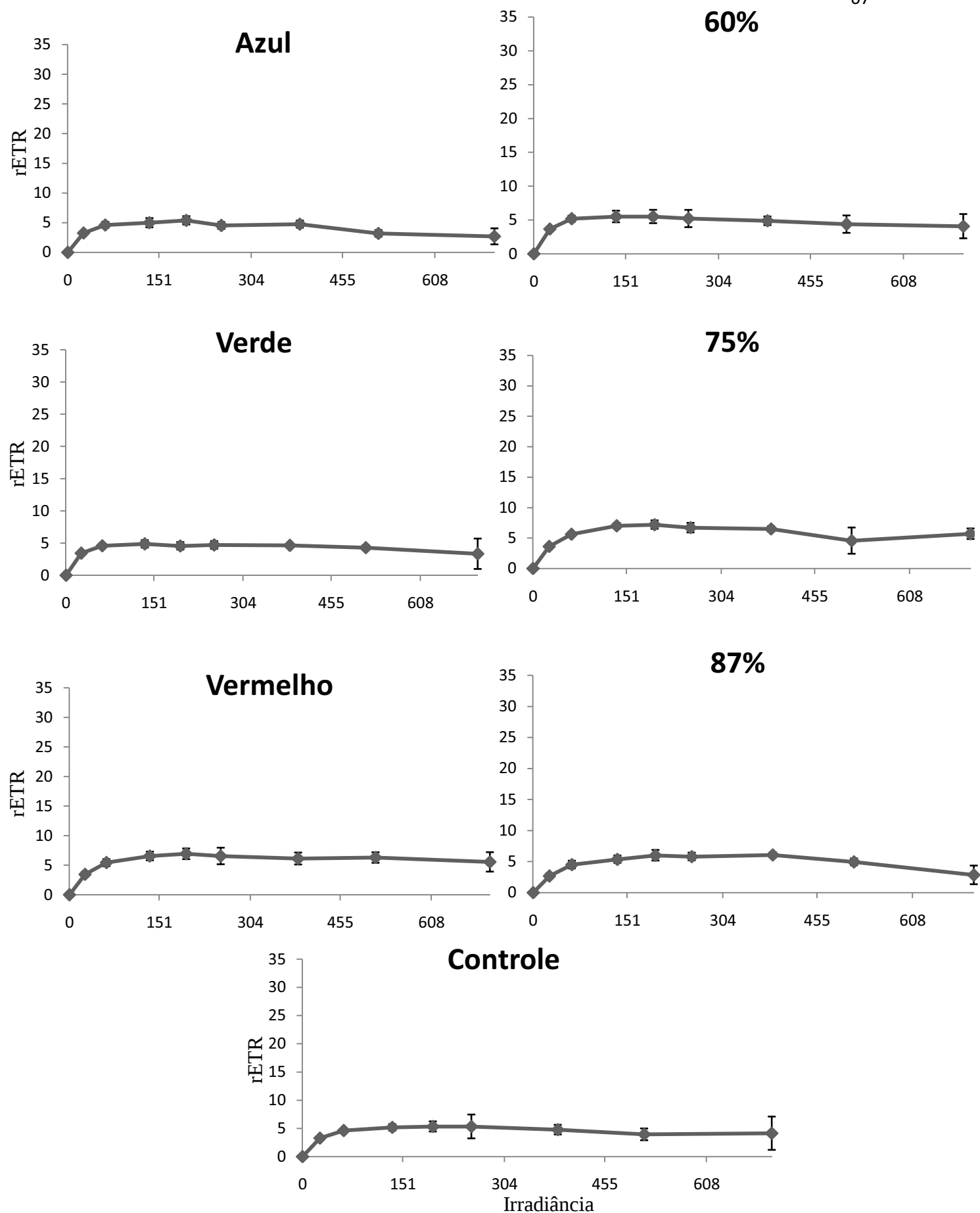


Figura 19. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga vermelha *Chantransia pygmaea* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

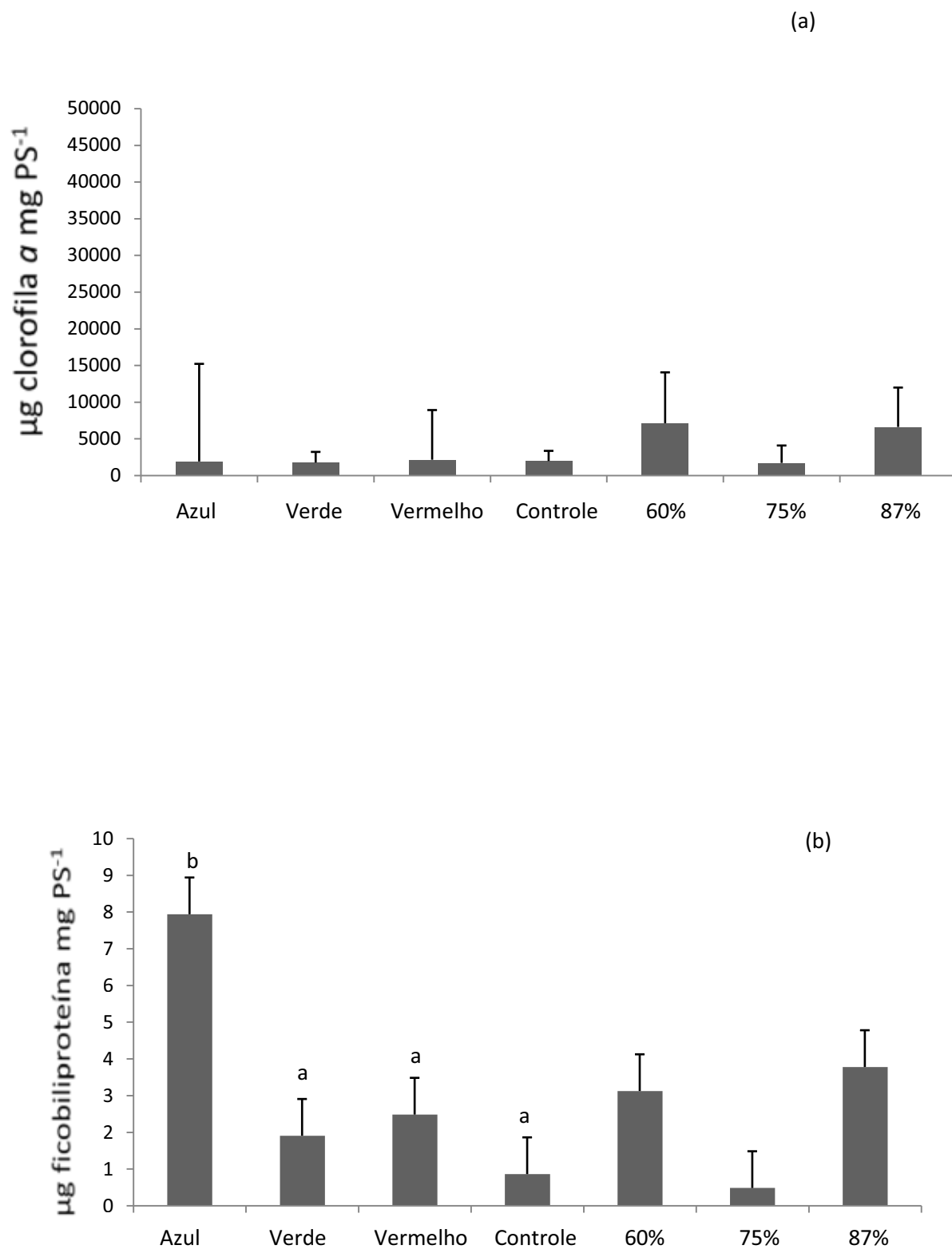


Figura 20. Concentração dos pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* (a) e ficobiliproteínas (b) da alga vermelha *Chantransia pygmaea* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

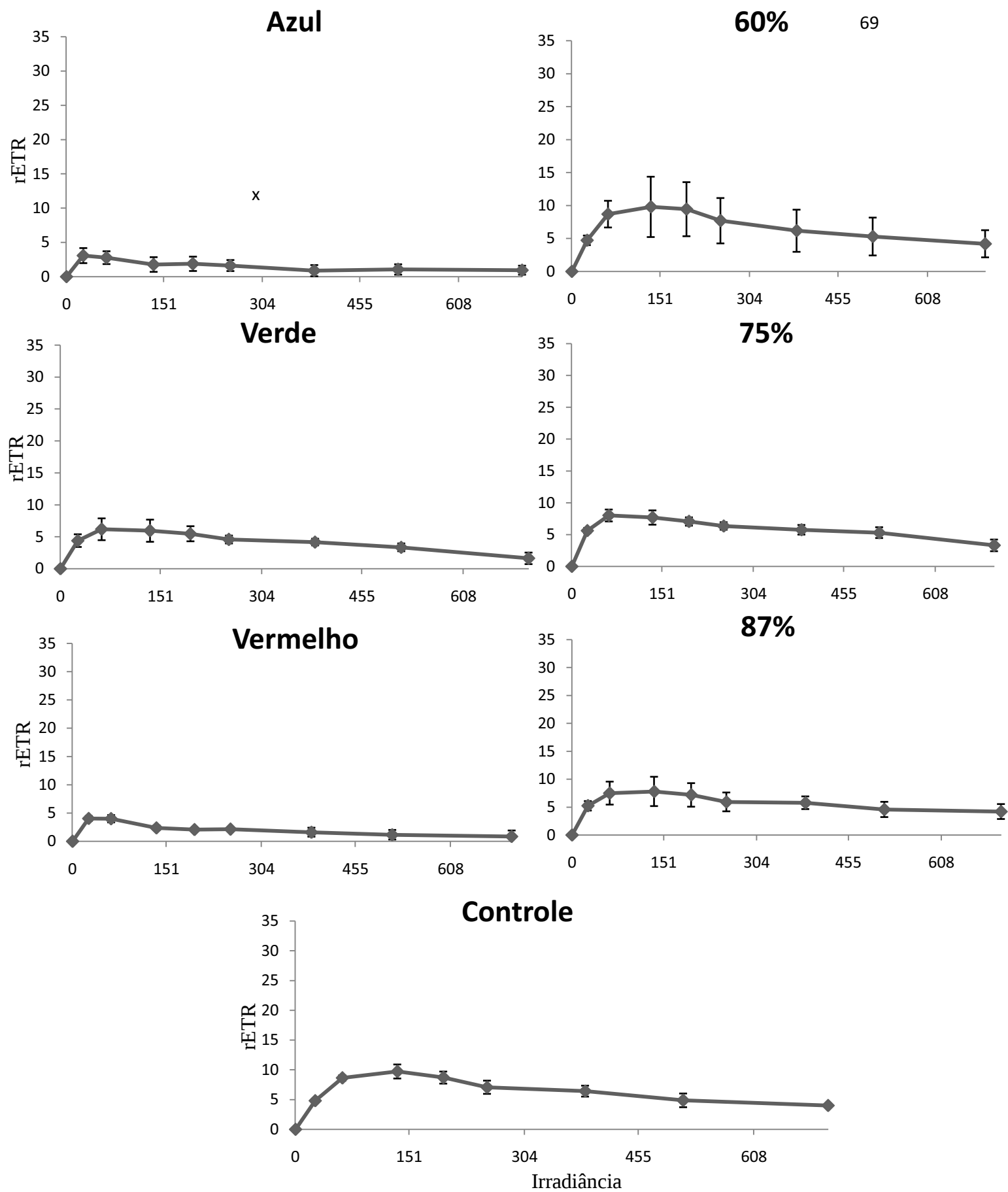


Figura 21. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga vermelha *Sirodotia delicatula* baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

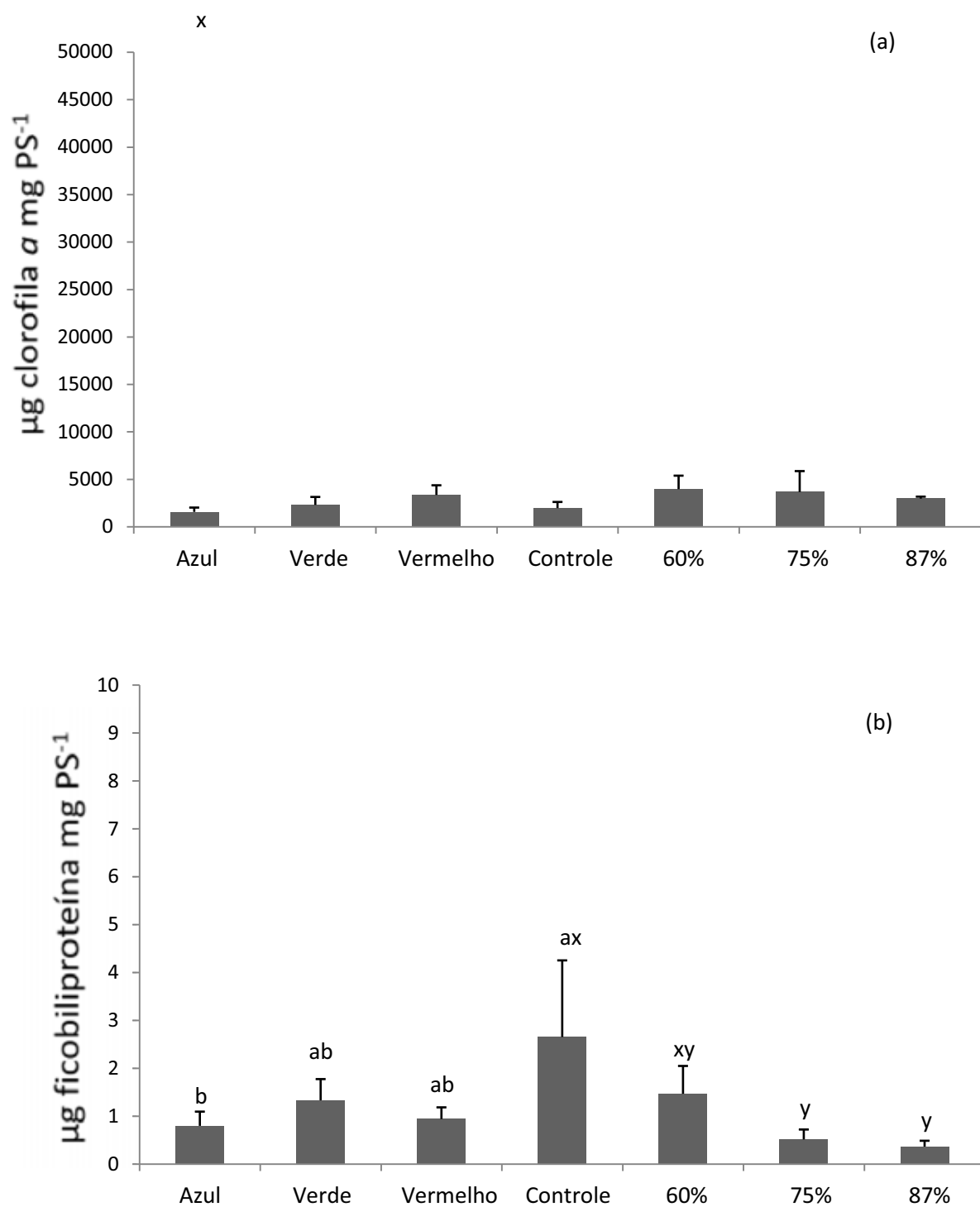


Figura 22. Concentração dos pigmentos fotossintéticos, clorofila *a* (a) e ficobiliproteínas (b) da alga vermelha *Sirodotia deliculatula* nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).

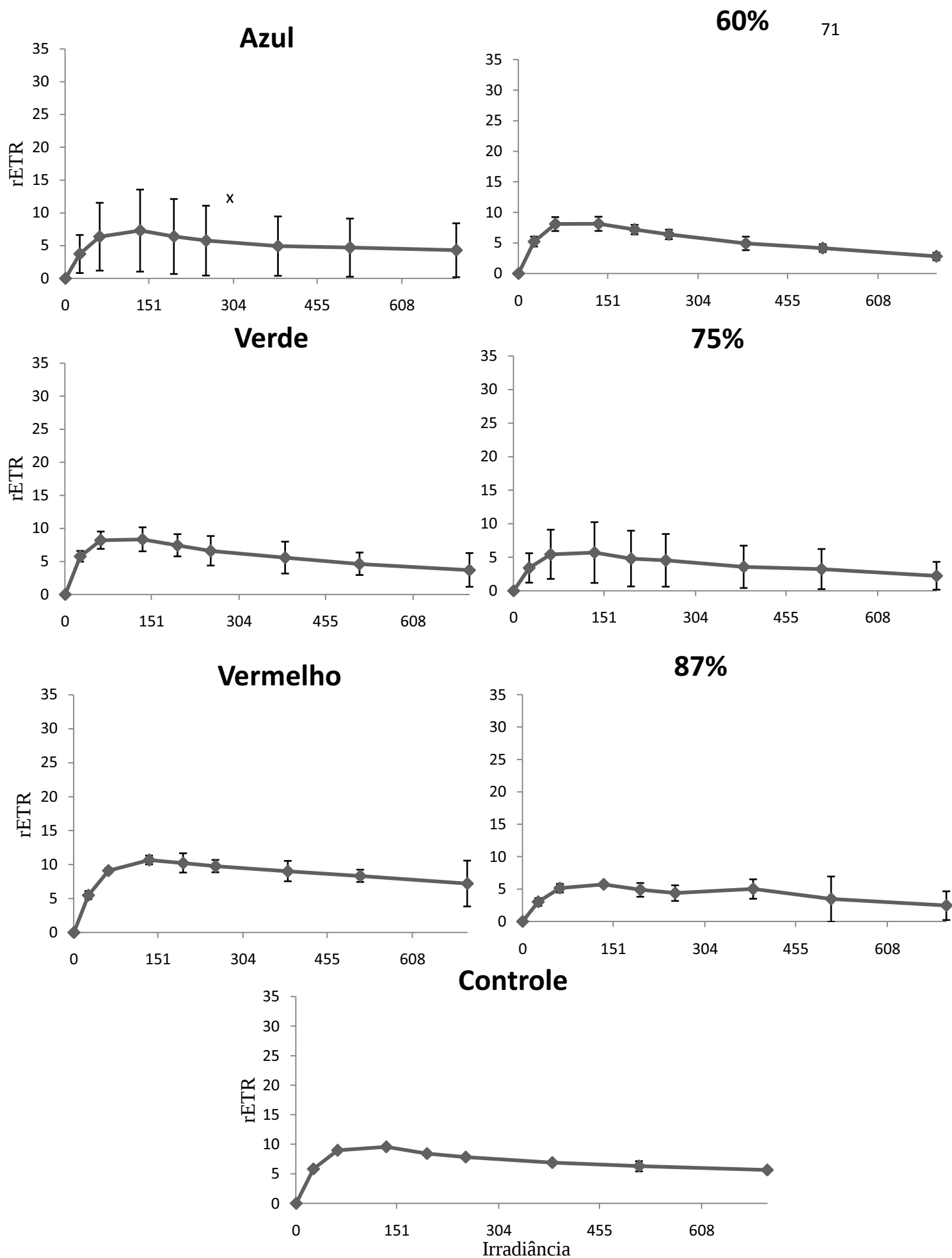


Figura 23. Curvas fotossíntese-composição espectral e fotossíntese-Irradiância para a alga heterocontófito *Vaucheria* sp. baseadas nos dados da fluorescência da clorofila, nos diferentes tratamentos de irradiância e composição espectral. rETR = taxa de transferência de elétrons

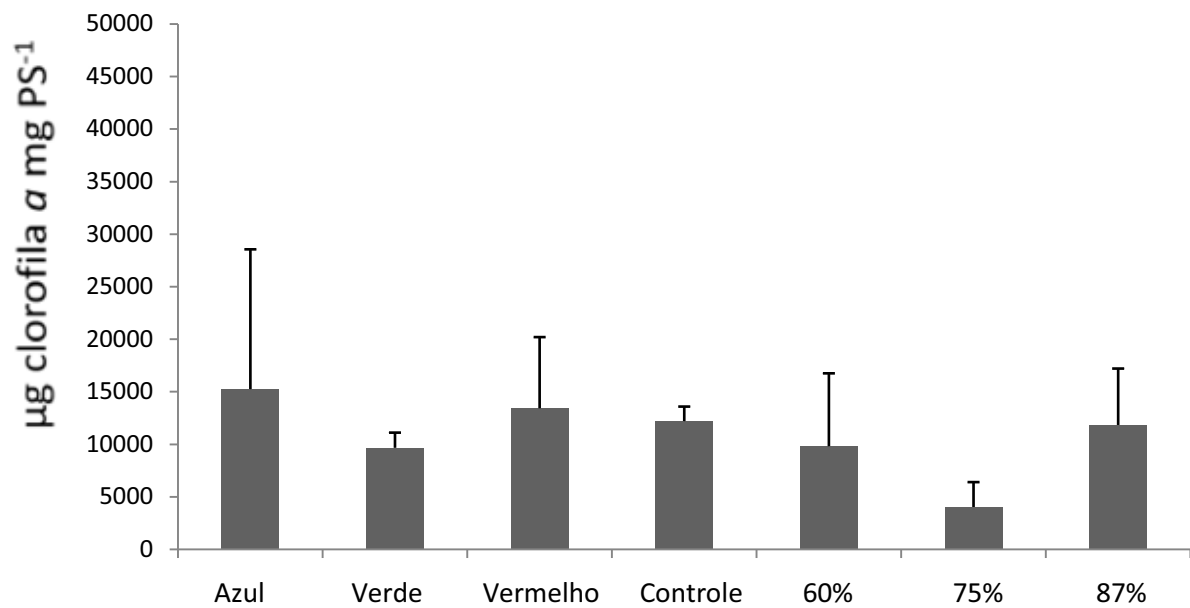


Figura 24. Concentração de clorofila *a* da alga xantófito *Vaucheria* sp. nos diferentes tratamentos de manipulação de irradiância e composição espectral (n = 5).