



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOBRE
A ECOFISIOLOGIA DE *Mesophyllum erubescens* (Hapalidiales, Rhodophyta)

Letícia Maria Costa Peres

Trabalho de Conclusão de Curso a ser
apresentado ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das exigências
para a obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antunes Horta Jr.
Co-orientadora: Marina Nasri Sissini

Florianópolis 2015.

Letícia Maria Costa Peres

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOBRE
A ECOFISIOLOGIA DE *Mesophyllum erubescens* (Hapalidiales, Rhodophyta)

Trabalho de Conclusão de Curso a ser
apresentado ao Curso de Ciências
Biológicas da Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das exigências
para a obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antunes Horta Jr.
Co-orientadora: Marina Nasri Sissini

Florianópolis 2015.

Agradecimentos

A toda a minha família, em especial à minha mãe Maria José por ser uma mulher maravilhosa e com muita garra, sempre servindo de inspiração e nos ensinando a fazer aquilo que amamos. Obrigada pelos ótimos argumentos desde o início quando perguntavam porque eu não faria Medicina em vez de Biologia. A minha vó Aldivina por todo amor incondicional, pelas aulas particulares e pelas comidas maravilhosas que tanto me deixam animada para voltar para Ourinhos. Ao meu irmão pentelho Leonardo, por fazer o papel de irmão mais novo muito bem, e ser um parceiro para tudo, agora até para as conversas sobre faculdade e meio ambiente.

Ao meu namorado João, por ter sido meu melhor amigo em todos esses anos de faculdade e por sempre tornar as coisas mais leves e engraçadas. Obrigada pelo companheirismo nas aulas, no laboratório, nos bares, video game e por suportar minha displicência em alguns momentos, amo você.

Ao meu orientador Paulo Horta por ter me dado ótimas oportunidades durante todos esses anos, por todo o conhecimento compartilhado e por ter tido paciência comigo nos meus primeiros mergulhos.

A Marina Sissini pela amizade desde o início, pela parceria em muitas ideias, pelas conversas e por ter topado participar do final da minha graduação me coorientando.

Obrigada às professoras Fernanda Ramlov, Zenilda Bouzon e ao professor José Barufi por terem aceitado fazer parte da minha banca.

A galera toda do LAFIC que fizeram do laboratório um ambiente muito prazeroso e divertido. Obrigada pessoal, pela amizade, por aguentar minhas graças, meus desabafos, meus pequenos errinhos haha, meus comentários, por me apoiarem muito nessa etapa final e por me chamarem de pirralha de maneira carinhosa que eu sei (até você Dudu): Allan, André, Bruna, Bruno, Carol, Cintia Martins, Cintia Lhullier, Débora, Dudu (valeu pelas idéias e ajuda no mesocosmo), Ellie, Gabi, Kely, Lidi (bolos), Manu, Thaís, Vanessa Freire, Vanessa Poletto e Vitório.

Por fim, a todos os amigos que eu fiz na faculdade, muitos se transformando em uma família pra mim: Alceu, Xuxa, Diego, Brunão, Carol, Gi, Bruninho, Jhonny, Flavinha, Thiago, Leozinho, Negão, Tino, Coala, Vi, Forró, Otávio, Pedrão, Thami, Laís, Flora, Bia, Jana, Cris, Nico, entre tantos outros. E aquelas que carrego comigo desde Ourinhos: Carol, Má Carrocini, Má Fonteque, Lia, Stela, Gáb, Dani, Nati e Bruna.

Resumo

O crescimento populacional e sua proximidade às áreas litorâneas tem causado um grande impacto à saúde dos mares de todo o mundo. A sobre-exploração de recursos naturais, a queima dos combustíveis fósseis, os resíduos despejados direto no mar, são alguns exemplos de como as ações antrópicas estão cada vez mais transformando e destruindo paisagens e habitats marinhos. Como forma de avaliar o impacto de alguns desses fatores, que estão maiores e mais frequentes, o presente trabalho teve como objetivo mostrar como variações na temperatura e irradiância atuam de forma sinérgica na fisiologia da alga calcária não articulada *Mesophyllum erubescens* (Foslie) Me. Lemoine. Para avaliar a resposta ecofisiológica quando expostas a estas variáveis, foi realizado um experimento em uma estrutura de mesocosmo, por 30 dias. Ao todo, foram 12 diferentes tratamentos, incluindo todas as combinações possíveis entre três diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 30°C), com 4 níveis de irradiância: 67,00; 13,97; 2,74; 0,25 $\mu\text{mol f\u00f3tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (100%, 21%, 4% e 0,5%, respectivamente). Utilizou-se a fluometria de pulso modulado (PAM) para analisar o rendimento qu\u00e2ntico m\u00e1ximo (Fv/Fm), a concentra\u00e7\u00e3o dos pigmentos: clorofila *a*, carotenoide e ficobiliprote\u00ednas (ficocianina e ficoeritrina) e a avalia\u00e7\u00e3o dos efeitos dos fatores interagindo sinérgicamente ou n\u00e3o sobre o desempenho fisiol\u00f3gico da planta. Com rela\u00e7\u00e3o ao rendimento qu\u00e2ntico m\u00e1ximo, observou-se uma rela\u00e7\u00e3o signific\u00e2ncia entre temperatura e irradi\u00e2ncia, ocorrendo um dano maior aos 30°C com a diminui\u00e7\u00e3o gradual da irradi\u00e2ncia dispon\u00edvel. Nos pigmentos, a clorofila *a* teve um aumento em sua concentra\u00e7\u00e3o somente aos 30°C com 100% de irradi\u00e2ncia, podendo ser devido ao aumento do metabolismo e da s\u00edntese de clorofila, ocorrendo, ent\u00e3o, uma acumula\u00e7\u00e3o do pigmento. Entre as ficobiliprote\u00ednas, observou-se influ\u00eancia sinérgica de dois fatores nas ficocianinas, onde suas menores concentra\u00e7\u00f5es foram na maior temperatura com menores irradi\u00e2ncias (4% e 0,5%), j\u00e1 na ficoeritrina cada fator teve seu efeito isoladamente, ocorrendo diminui\u00e7\u00e3o na concentra\u00e7\u00e3o aos 30°C e em rela\u00e7\u00e3o a irradi\u00e2ncia, em 0,25 $\mu\text{mol f\u00f3tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (0,5%). Em fim, conclui-se que, no geral, o sinérgismo entre altas temperatura e baixas irradi\u00e2ncia causam um efeito negativo na fisiologia da alga, e que o fato de ocorrer em menores latitudes, \u00e9 poss\u00edvel, pois a irradi\u00e2ncia dispon\u00edvel no fundo tende a ser maior.

Palavras chaves: *Mesophyllum erubescens*, aquecimento global, sinérgismo, desempenho fotossint\u00e9tica

Lista de figuras

- Figura 1.** Anomalias térmicas na região de Santa Catarina nos últimos 30 anos (Adaptado de NOAA)11
- Figura 2.** Distribuição de *M. erubescens* no litoral brasileiro. CE: Ceará; FN: Fernando de Noronha; BA: Bahia; ES: Espírito Santo; IT: Ilha da Trindade; SP: São Paulo; SC: Santa Catarina (Sissini et al, 2014).....13
- Figura 3.** Localização da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, em destaque o banco de rodolitos da Ilha do Arvoredo. Fonte: ICMBio (adaptado) 16
- Figura 4.** A-C: Aspecto geral do banco de rodolitos da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo. (A) Banco de algas calcárias da Ilha do Arvoredo. (B) *Mesophyllum erubescens* e uma parte da fauna e flora associada. (C) Coleta manual através de mergulho autônomo.18
- Figura 5.** Níveis de irradiância medidos em cada tanque (36 tanques) através de um quantômetro em determinados dias, junto com algumas amostragens fotossintéticas. Observou-se uma variação grande entre os dias devido a presença de dias de muito sol, como também dias nublados e chuvosos. 20
- Figura 6.** Esquema da disposição dos tanques e seus referidos tratamentos na casa de vegetação. Cada traçado preto representa uma unidade de sombrites e os algarismos romanos os corredores..... 20
- Figura 7.** A-E: Experimento em mesocosmo realizado com *M. erubescens* na casa de vegetação. (A) Disposição dos tanques nas bancadas em fase de aclimação. (B) Grupo de tanques de mesma temperatura com diferentes camadas de sombrites. (C-D) Disposição dos rodolitos no tanque de maneira padronizada para receberem a mesma dinâmica da água. (E) Aclimação das algas no escuro para as análises fotossintéticas..... 21
- Figura 8.** Concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -massa seca) nos tratamentos com 100%, 21%, 4% e 0,5% de irradiância em três diferentes temperaturas. As letras minúsculas representam a variação em cada temperatura com diferentes irradiâncias e os asteriscos a variação significativa entre as mesmas irradiâncias e diferentes temperaturas.Cada valor corresponde a média \pm desvio padrão. 25
- Figura 9:** A concentração de carotenoide ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -massa seca) não apresentou efeito significativo na combinação dos fatores (A), apontando variação somente para as diferentes temperaturas dos tratamentos, como pôde-se observar no gráfico (B). Cada valor corresponde a média \pm desvio padrão..... 25
- Figura 10.** Em relação à concentração de ficocianina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -massa seca), determinada por espectrofotometria, houve efeito significativo na combinação de diferentes temperaturas e

irradiâncias. Sendo que as letras minúsculas simbolizam a interação das algas em mesma temperatura e diferentes irradiâncias e o asterisco a diferença entre as algas mesma irradiância e temperaturas diferentes. Cada valor corresponde a média± desvio padrão.26

Figura 11. Concentração de ficoeritrina (FE) ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{-MS}$) apresentou efeito significativo somente nos fatores isolados (A), sendo que sua concentração em diferentes temperaturas foi significativamente menor aos 30°C (B) e em diferentes irradiâncias sua concentração foi menor na presença de 0,5% de irradiância ($\mu\text{mol f\acute{o}tons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (C). Cada valor corresponde a média± desvio padrão.26

Figura 12. (A-F): Imagens do último dia de experimento das algas ainda em seus tanques, com diferentes tratamentos. A. Algas do tratamento de 20°C e 100% de irradiância. B. Algas do tratamento de 20°C e 21% de irradiância. C. Tratamento aos 25°C e 100% de irradiância. D. Tratamento aos 25°C e 0,5% de irradiância. E. Algas aos 30°C com 100% de irradiância. F. Algas aos 30°C com 0,5% de irradiância.....26

Figura 13. Valores do Rendimento Quântico Máximo (Fv/Fm) de *M. erubescens* com amostras finais do experimento (T30) nos 12 diferentes tratamentos (n=3). As letras minúsculas representam a variação em cada temperatura com diferentes radiâncias e os asteriscos a variação significativa entre as mesmas irradiâncias e diferentes temperaturas. Todos os valores acompanhados com o desvio padrão.....28

Lista de tabelas

Tabela 1. Resultados das análises de ANOVA fatorial para cada variável dependente, com efeitos isolados e combinados das variáveis independentes Temperatura e Irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento com *M. erubescens* em cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito e o grau de liberdade foi 2.24

Tabela 2. Resultado da análise ANOVA para cada variável dependente, com efeitos isolados e combinados das variáveis independentes temperatura e irradiância. Estes dados foram obtidos durante o experimento realizado com *M. erubescens*. Os efeitos significativos estão apresentados com os dados de F e p, em negrito e o grau de liberdade foi igual a 2.28

Sumário

1. Introdução	10
2. Objetivos.....	14
2.1. Objetivos Gerais	14
2.2. Objetivos Específicos	14
3. Materiais e métodos	15
3.1. Área de estudo	15
3.2. Objeto de Estudo e caracterização da oceanografia das áreas de ocorrência.....	16
3.3. Coleta do Material	18
3.4. Experimento	19
3.5. Métodos Analíticos.....	21
3.5.1. Extração de Ficobiliproteínas	21
3.5.2. Extração de Clorofila <i>a</i> e Carotenóides	22
3.5.3. Análise da fluorescência da clorofila <i>a</i>	23
3.5.4. Análises estatísticas	23
4. Resultados.....	24
4.1. Pigmentos Fotossintetizantes	24
4.2. Análise dos Parâmetros da Fluorescência	28
5. Discussão	29
6. Conclusão	31

1. Introdução

O crescimento da população e o modelo de desenvolvimento adotado pela humanidade, principalmente após a revolução industrial, demandaram sobre-exploração dos recursos naturais e a queima de combustíveis fósseis, tanto na agricultura, na indústria, entre outras formas de ocupação dos ambientes continentais, quanto na utilização dos ambientes marinhos (Vitousek, 1997).

Atualmente, mais de 3 bilhões de pessoas vivem nas proximidades das regiões litorâneas (Moore et al., 2004), significando que aproximadamente 60% da população mundial está vivendo a, no máximo, 100 km de distância das margens costeiras (Vitousek, 1997). Isso implicou em uma grande quantidade de resíduos provenientes de fontes industriais e domésticas acumulados em diferentes ambientes, bem como uma grande transformação das paisagens e em alguns casos, na destruição dos habitats costeiros de maneira significativa (Moore et al., 2004).

Todos esses resíduos despejados direto no mar e em corpos d'água causam um incremento de nutrientes especialmente nas águas costeiras, que podem causar efeitos diretos e indiretos sobre a biodiversidade. Este aumento de poluentes pode levar, por exemplo, a um processo que chamamos de eutrofização e suas consequências no ambiente marinho são diversas, como, por exemplo, o aumento da turbidez da água, levando a uma diminuição na penetração da luz (Bjork et al., 1995). Esse aporte de sedimentos e nutrientes pode ser considerado um dos fatores limitantes no crescimento das comunidades bentônicas uma vez que estes limitam a quantidade de luz e alteram a qualidade da radiação que chegam sobre o fundo dos oceanos, ambientes colonizados nas áreas da plataforma interna por produtores primários (Canals & Ballesteros, 1996).

O mesmo processo que leva às transformações descritas acima, levou ao acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera, que hoje se sabe ser responsável pelas mudanças climáticas (Gatuso et al. 2015). No Oceano Atlântico, o aumento da temperatura ocorre há algumas décadas, sendo este mais acentuado em sua porção sul pelo aumento da radiação ultravioleta sobre o Polo Sul e do efeito estufa que se ampliou a partir da segunda metade do século XX (Grimm & Sampaio, 2012). Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), o oceano tem absorvido mais de 80% do calor que foi

acrescido nos últimos tempos, e a previsão é de que a água superficial dos oceanos aumente, no mínimo, 4°C nas próximas décadas (IPCC, 2014).

Relacionado ao aquecimento do planeta, um evento climático que tem ocorrido cada vez com mais frequência e intensidade, são as ondas de calor (*heat waves*), porém suas consequências nos ecossistemas ainda são mal compreendidas (Wernberg et al., 2012). Em 2011, a costa oeste da Austrália teve a experiência com ondas de calor, em seus ecossistemas marinhos. Foram mais de 10 semanas com um aumento anormal de 2 a 4°C ao longo de mais de 2000 km de extensão da costa litorânea. Este evento resultou numa diminuição da abundância de algas formadoras de habitats, empobrecimento estrutural e tropicalização de algumas espécies de peixes (Wernberg et al., 2012). Na Europa fatos semelhantes também já foram registrados, como os relatados por Sparmocchia et al. (2006), na França e por Olita et al. (2007) no mar Tirreno.

No Brasil, essas ondas de calor tem sido observadas com mais frequência nos últimos verões, como os de 2010 e 2014 em que a temperatura do mar teve um aumento significativo na região Sul do país (Figura 1). Ferreira et al., (2013) destacam também a ocorrência dessa anomalia nas ilhas oceânicas de Fernando de Noronha e Atol das Rocas, em 2009-2010, causando o branqueamento e morte dos corais.

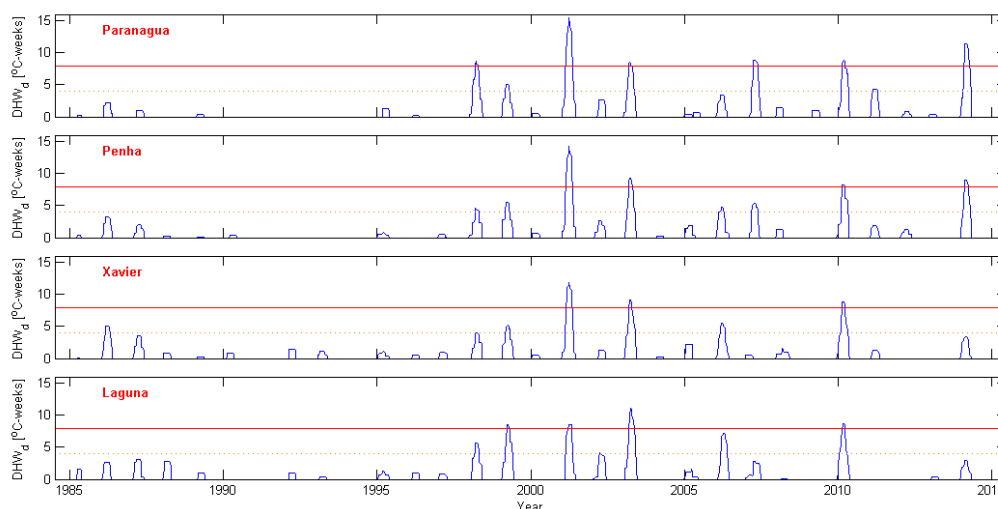


Figura 2. Anomalias térmicas na região de Santa Catarina nos últimos 30 anos (Adaptado de NOAA).

Consideradas como alguns dos principais componentes das comunidades do entremarés e infralitoral, as macroalgas contribuem consideravelmente para a produção primária da costa litorânea, como também na formação estrutural de muitos habitats

bentônicos, se tornando abrigos e berçários para inúmeros vertebrados e invertebrados marinhos (Santelices et al., 2009).

As macroalgas podem ser divididas em verdes (Chlorophyta), pardas (Phaeophyceae) e vermelhas (Rhodophyta). Em relação a essas últimas, existem cerca de 6000 espécies conhecidas atualmente, sendo a maior parte de ambiente marinho e podendo ocupar desde regiões entremarés até grandes profundidades, além de serem encontradas tanto em zonas tropicais como de águas frias. Seus principais pigmentos fotossintetizantes são a clorofila *a* e os pigmentos acessórios, como os compostos de carotenos e as ficobiliproteínas que são as responsáveis pela cor avermelhada das rodófitas.

Dentre as algas vermelhas, há determinados grupos que apresentam na parede celular, depósitos de carbonato de cálcio e devido a essa característica são conhecidas como algas calcárias. Podendo ser ainda classificadas em: algas calcárias articuladas e não articuladas.

Entre as calcárias não articuladas podem ser encontradas formas incrustadas ao substrato, como também livres, conhecidas como rodólitos, nódulos ou maërl (Woelkerling, 1988). Os rodólitos podem formar áreas extensas conhecidas como bancos de rodólitos.

Estas algas são capazes de transformar fundos homogêneos de sedimento inconsolidado em substratos consolidado heterogêneos, servindo de habitats para diversos organismos (Steller et al., 2003). São também de grande importância na construção dos recifes de corais em zonas tropicais, protegendo estes sistemas contra as ações erosivas das ondas (Foster, 2001). Além disso, outro papel de grande relevância está na participação dos processos de alterações climáticas e balanço global de CO₂ (Oliveira, 1996). Isso ocorre devido ao fato das algas calcárias fixarem o carbono dissolvido na água, ajudando a neutralizar a acidificação dos oceanos, uma vez que o CaCO₃ é o principal composto para regular a alcalinidade no mar (Digby, 1977).

Em virtude de sua importância econômica, sendo utilizados na agricultura, indústria alimentícia e farmacêutica, os bancos de rodólitos são fortemente ameaçados pelo processo de exploração. Estas atividades demandam grandes quantidades que não podem ser repostas pelo crescimento natural destes organismos, pois sua taxa de crescimento é relativamente baixa, da ordem de 1 mm/ano (Blake & Maggs, 2003). Este processo, que além de extrair toneladas de um recurso não renovável anualmente, forma uma pluma de sedimentos que

prejudica sua produção primária e que limita ainda mais seu crescimento ou mesmo sobrevivência (Riul et al., 2008).

No Brasil, a diversidade de algas calcárias não articuladas é de 50 espécies (Horta et al., in press). Até o início do século XXI pouco se sabia sobre a taxonomia destes organismos no litoral brasileiro, devido à dificuldade imposta pela grande variabilidade fenotípica, ausência de estruturas reprodutivas e das técnicas necessárias para sua identificação. Entretanto, o maior acesso às técnicas de microscopia, inclusive eletrônica, assim como à caracterização molecular promoveu grandes avanços no conhecimento da diversidade do grupo (Sissini et al., 2014; Vieira-Pinto et al., 2014). Dentre as espécies com ampla distribuição em nosso litoral, uma das mais estudadas é a *Mesophyllum erubescens* (Horta, 2000; Horta et al., 2011; Pascelli et al., 2013; Sissini et al., 2014).

M. erubescens foi descrita originalmente para o Arquipélago de Fernando de Noronha (Foslie, 1900), que está localizado a 600 km da costa nordeste do Brasil, sendo encontrada também em áreas subtropicais e tropicais do litoral brasileiro e caribenho, em latitudes que variam de 19°N a 27°S (Horta et al., 2001, 2011), representando condições máximas e mínimas de temperatura bem distintas (Figura 2).



Figura 3. Distribuição de *M. erubescens* no litoral brasileiro. CE: Ceará; FN: Fernando de Noronha; BA: Bahia; ES: Espírito Santo; IT: Ilha da Trindade; SP: São Paulo; SC: Santa Catarina (Sissini et al., 2014).

Mesmo sendo encontrados atualmente grandes trabalhos sobre os bancos de algas calcárias no Brasil, o enfoque ecológico e taxonômico ainda é dominante, sendo escasso seus estudos ecofisiológicos, tornando este um dos principais motivos para a realização deste trabalho.

O entendimento das possíveis respostas de *M.erubescens* diante às alterações do ambiente proveniente das consequências do efeito estufa, poluição costeira, e exploração, pode subsidiar iniciativas de conservação e manejo dos ecossistemas marinhos.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo contribuir para o conhecimento da biologia de *M. erubescens*, complementando aqueles já existentes e, direcionando trabalhos futuros relacionados à ecofisiologia dos bancos de algas calcárias.

2. Objetivos

2.1. Objetivos Gerais

Avaliar os impactos causados pela variação de fatores associados ao aquecimento global e atividades antrópicas, como o aumento da temperatura e diminuição da irradiação, sobre aspectos ecofisiológicos da alga calcária *Mesophyllum erubescens* (Foslie) Me. Lemoine.

2.2. Objetivos Específicos

1. Avaliar experimentalmente a resposta ecofisiológica da alga em estudo quando exposta ao aumento de temperatura e diminuição de radiação disponível.
2. Avaliar a interação entre os dois fatores ambientais através da análise de pigmentos e fluorescência da alga.
3. Contribuir para o conhecimento da biologia da alga *M. erubescens* em seu limite sul de distribuição, até então estudada sob a perspectiva taxonômica e ecológica.

3. Materiais e métodos

3.1. Área de estudo

A Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (Rebio), localizada a 11 quilômetros da costa do litoral de Santa Catarina (ICMBio), é uma das duas únicas Reservas Biológicas Marinhas brasileiras, junto com Atol das Rocas (RN). Apresenta uma extensa área de 17.800 ha, onde 98% pertencem ao ambiente marinho e somente 2% ao terrestre (ICMBio). Incluídas na parte terrestre encontram-se quatro ilhas: Calhau de São Pedro, Ilha da Galé, Deserta e Arvoredo.

A área encontra-se em uma zona de transição entre os climas tropical e subtropical, além de ser influenciada por duas importantes correntes oceânicas: a corrente do Brasil e a das Malvinas (Metri, 2006). Durante o verão os ventos nordeste e norte prevalecem, enquanto no inverno os do quadrantes sudoeste e oeste são os dominantes (Wainer et al., 2006).

No verão as massas de água apresentam uma maior termoclina, resultado da combinação do aquecimento sazonal e do deslocamento das massas de água de origem tropical e subtropical com temperaturas superficiais médias de 25 à 27°C, enquanto em profundidades inferiores à 15 metros pode chegar abaixo dos 18°C. Já durante o inverno, ocorre um deslocamento da convergência subtropical das correntes em direção ao norte, fazendo com que as massas de água fiquem mais homogêneas e com características próximas a águas temperadas (Amaral & Jablonski, 2005), apresentando temperaturas entre 20 e 23°C tanto no fundo como na superfície.

Uma outra característica que ocorre na região são as fortes chuvas e intensas frentes frias que ocorrem durante o ano, podendo ter associação com ciclones que se intensificam no inverno em latitudes próximas à costa sul do Brasil (Gan & Rao, 1991). Com isso a dinâmica da água próxima aos costões aumenta a ponto de formar uma pluma de sedimentos e organismos que afetam a entrada de luz, diminuindo a intensidade da irradiação no fundo.

Os espécimes utilizados no experimento do presente estudo foram coletados no banco de rodolitos da Ilha do Arvoredo, no Rancho Norte ($48^{\circ} 22,00' W$, $27^{\circ} 17,5' S$) (Figura 3). Este ponto apresenta um costão rochoso acompanhado logo em seu limite, ao fundo, por um extenso banco de algas calcárias. Este banco, que tem como característica sedimentos e nódulos calcários em um fundo arenoso cobrindo aproximadamente $1000m^2$ (Gherardi, 2004) até aproximadamente os 20 metros, e o banco de algas calcárias presente na Ilha Deserta são de grande relevância ecológica e econômica para o país, além de estarem localizados no limite sul da distribuição dos bancos no Atlântico Sul Ocidental.

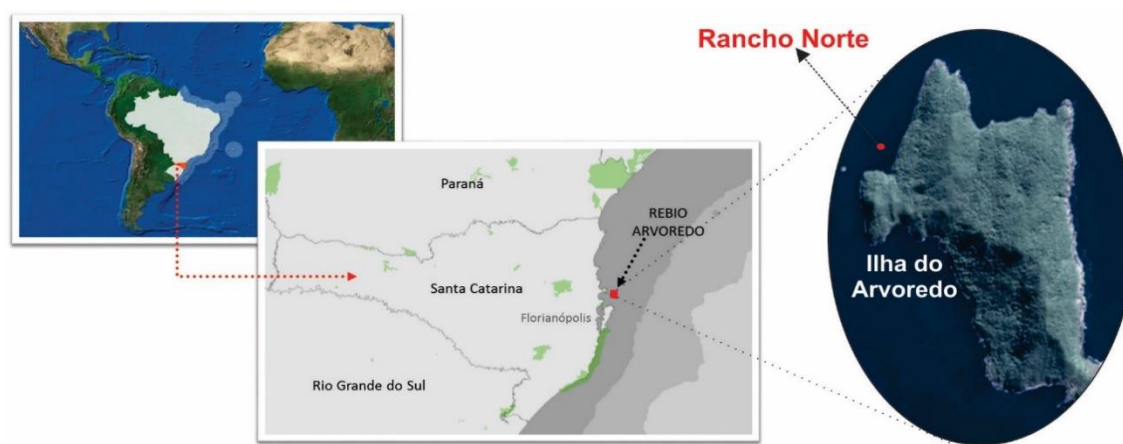


Figura 4. Localização da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, em destaque o banco de rodolitos da Ilha do Arvoredo. Fonte: ICMBio (adaptado).

3.2. Objeto de Estudo e caracterização da oceanografia das áreas de ocorrência

Entre as algas vermelhas, alguns grupos depositam carbonato de cálcio em suas paredes, podendo ser classificadas como calcárias articuladas (quando há regiões não calcificadas no talo) ou não-articuladas (totalmente calcificadas) (Joly, 1967). Dentro dessas últimas, as algas podem ainda ser subdivididas quanto ao seu hábito de vida, incrustantes ou livres (Woelkerling, 1988). As formas livres são conhecidas como rodolitos, nódulos, maërl, sempre associada à uma elevada biodiversidade e capacidade de ocupar grandes áreas conhecidas como bancos de algas calcárias (Steller et al., 2003; Riul et al., 2009).

Junto de cerca de 600 outras espécies (Horta, 2002) de algas calcárias encontradas em todos os oceanos e variadas latitudes (Foster, 2001), pertencendo ao terceiro grupo mais diverso entre as algas vermelhas atualmente (Brodie & Zuccarello, 2007).

Mesophyllum erubescens foi a alga escolhida para o presente trabalho de forma a complementar os estudos sobre a biologia desta espécie uma vez que sua taxonomia está relativamente bem resolvida no litoral brasileiro (Nunes et al., 2008; Bahia et al., 2010; Horta et al., 2011, Sissini et al., 2014) e estudos pretéritos sobre sua ecologia indicavam algumas lacunas no conhecimento (Horta et al., 2008; Scherner et al., 2010, Pascelli et al., 2013).

Além disso, a ampla distribuição desta espécie (Sissini et al., 2014), sugere que *M. erubescens* teve que se adaptar ecofisiologicamente a diferentes condições ambientais. Desde áreas de águas mais claras e quentes próximas da linha do equador, como por exemplo Fernando de Noronha (sua localidade tipo), até áreas de transparência reduzida e águas frias, como em seu limite sul de distribuição (área estudada nesse trabalho).

3.3. Coleta do Material

Os indivíduos utilizados na realização do experimento foram coletados no banco de rodolitos da Ilha do Arvoredo através do mergulho autônomo (Figura 4) em maio de 2014.

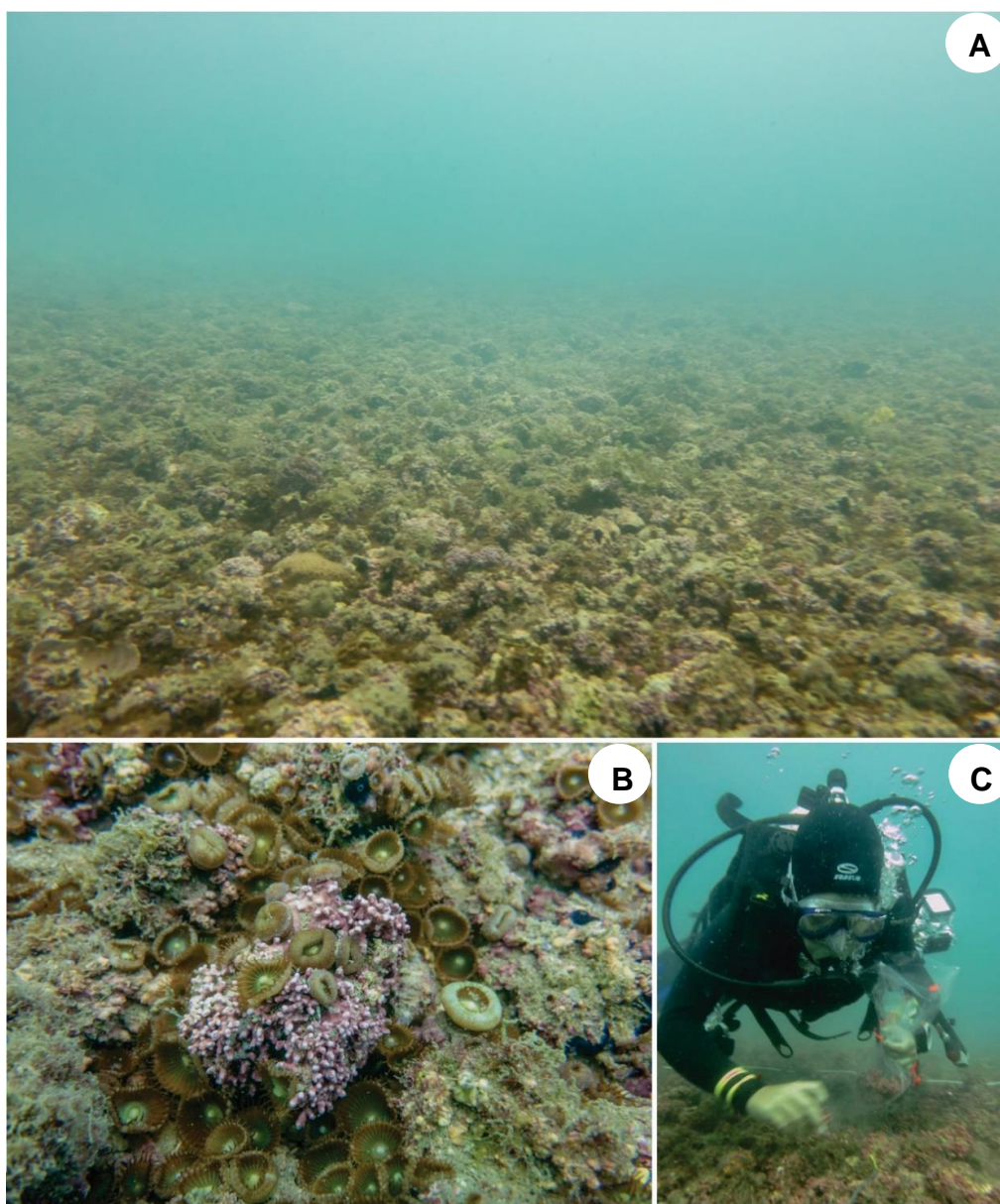


Figura 5. A-C: Aspecto geral do banco de rodolitos da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo. (A) Banco de algas calcárias da Ilha do Arvoredo. (B) *Mesophyllum erubescens* e uma parte da fauna e flora associada. (C) Coleta manual através de mergulho autônomo.

Aproximadamente, duzentos rodolitos foram coletados manualmente aos dez metros de profundidade selecionando visualmente o morfotipo da alga escolhida para o estudo. Ainda, procurou-se indivíduos de tamanho semelhante (diâmetro de três a seis centímetros) e pouco epifitados. Após a coleta, foram transportados em água salgada até a casa de

vegetação do Departamento de Botânica da UFSC, onde foram triados, selecionados e separados aleatoriamente em tanques.

As algas excedentes às necessidades do experimento foram mantidas em tanques e então devolvidas ao mesmo ponto.

3.4. Experimento

Chegando à casa de vegetação, todas as algas foram colocadas em tanques para triagem e remoção de epífitas e fauna associada, evitando danificar ou quebrar a alga. Ao término da triagem, todas foram separadas em grupos de cinco e alocadas em 36 tanques, onde foram aclimatadas por dois meses às condições abióticas semelhantes ao ambiente natural (temperatura de 20°C e salinidade de 34 ppm).

O experimento foi realizado por um tempo total de 30 dias. Para o estudo, foram utilizados 12 tratamentos diferentes, onde três temperaturas (20°C, 25°C e 30°C) e quatro diferentes níveis de PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa) foram combinadas de todas as maneiras possíveis. As diferentes temperaturas foram estabelecidas por *chillers* (GELAQUA) e aquecedores (Roxin, 500W) e a radiação disponível utilizada foi uma fonte natural que para diminuir a PAR utilizaram-se camadas de sombrites (0, 1, 2, 4 sombrites) em cada tanque, significando aproximadamente 67,00; 13,97; 2,74; 0,25 $\mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^{-2}.s^{-1}$ (100%, 21%, 4% e 0,5%, respectivamente), de PAR disponível para cada ambiente. Esta informação provem da média obtida de medições com o quantômetro (Licor 2500) (fora do tanque) durante o experimento, no período da manhã em cada tanque. A PAR variou entre 50 e 800 $\mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^{-2}.s^{-1}$ (Figura 5).

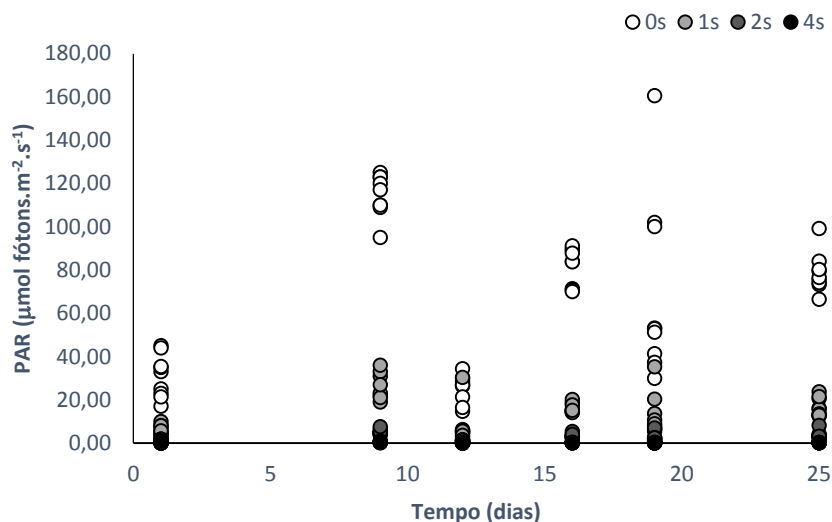


Figura 6. Níveis de irradiância medidos em cada tanque (36 tanques) através de um quantômetro em determinados dias, junto com algumas amostragens fotossintéticas. Observou-se uma variação grande entre os dias devido a presença de dias de muito sol, como também dias nublados e chuvosos.

Por ser um sistema de fluxo fechado, a cada quatro tanques de 30 litros de mesma temperatura (mas não de mesma irradiância) uma caixa d'água com 300 litros fornecia água do mar, tendo esta sua temperatura e salinidade controladas diariamente (Figura 6).

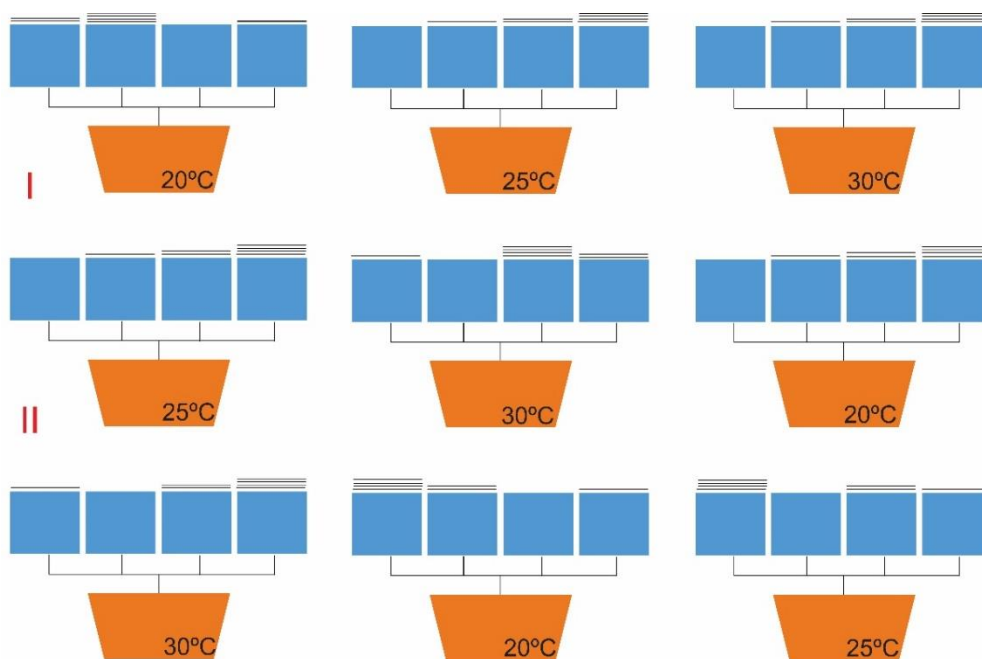


Figura 7. Esquema da disposição dos tanques e seus referidos tratamentos na casa de vegetação. Cada traçado preto representa uma unidade de sombrites e os algarismos romanos os corredores.

As algas separadas aleatoriamente foram dispostas da mesma maneira em todos os tanques (n=5) com o objetivo de que todas estivessem suscetíveis a mesma cinética do processo de enchimento do tanque através das torneiras (Figura 7).

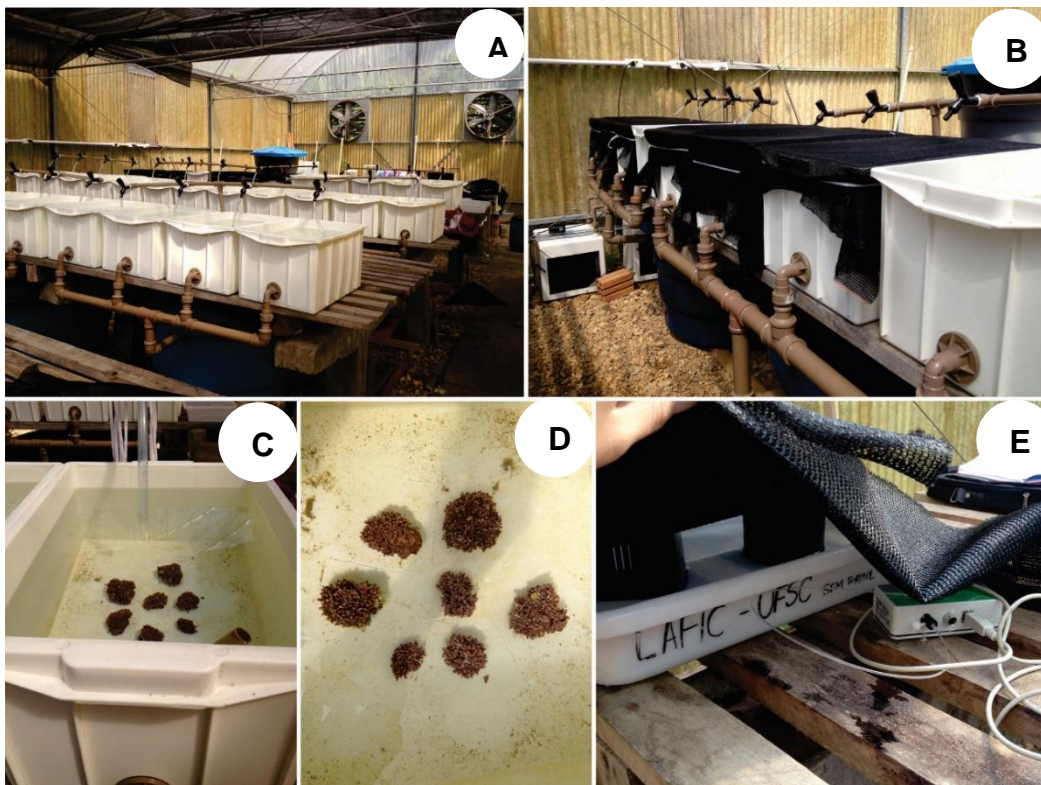


Figura 8. A-E: Experimento em mesocosmo realizado com *M. erubescens* na casa de vegetação. (A) Disposição dos tanques nas bancadas em fase de aclimação. (B) Grupo de tanques de mesma temperatura com diferentes camadas de sombrites. (C-D) Disposição dos rodolitos no tanque de maneira padronizada para receberem a mesma dinâmica da água. (E) Aclimação das algas no escuro para as análises fotossintéticas.

3.5. Métodos Analíticos

Para avaliar a resposta fisiológica de *M. erubescens* aos diferentes tratamentos, foram utilizados parâmetros a partir da fluorescência da clorofila *a* e da concentração da clorofila *a* e pigmentos acessórios.

3.5.1. Extração de Ficobiliproteínas

As ficobiliproteínas foram extraídas a partir de triplicatas de 500g cada por massa fresca de algas congeladas (-80°C) no início e imediatamente após o término do experimento. O processo iniciou-se com a maceração dessas algas em nitrogênio líquido, com auxílio de almofarizes e pistilos. Após triturar cada amostra, estas foram pesadas e

armazenadas em tubos de ensaio plásticos de 12 ml e, por fim, adicionado 10 ml de tampão fosfato (pH 6,5) em cada um deles.

As soluções foram centrifugadas a 4500 rpm por 15 minutos à temperatura ambiente e então acondicionadas em gelo, no escuro, para suas futuras leituras. Por fim, as amostras foram lidas no espectrofotômetro (Biospectro SP 220) nos comprimentos de onda 455, 564, 592, 618, 645, 750 nm, segundo *Beer & Eshel (1985)*.

Quando seus valores de absorvância resultavam em números maiores do que um, estas eram diluídas no mesmo tampão usado na extração.

Todos os dados foram aplicados nas fórmulas descritas por *Sampath & Neefus (2007)*, sendo adaptado o comprimento de onda de 730 nm para 750 nm, para a quantificação de ficocianinas (PC) e ficoeritrinas (PE), respectivamente:

$$\mathbf{R-PC= 0.154 (A_{618}-A_{730})}$$

$$\mathbf{R-PE= 0,1247((A_{564}-A_{730})-0.4583(A_{618}-A_{730}))}$$

3.5.2. Extração de Clorofila *a* e Carotenóides

Para a extração de clorofila *a* e carotenoides, as amostras foram preparadas segundo Torres (2014), adaptado, sendo realizadas algumas modificações.

Semelhante e simultaneamente ao processo de extração das ficobiliproteínas, as protuberâncias das algas foram maceradas e então pesadas 200 mg (massa fresca congelada) de cada amostra em nitrogênio líquido. Todas elas foram armazenadas em tubos de ensaio de vidro (12 ml), adicionando a cada tubo 10 ml de metanol, seguidamente agitando-os e mantendo-os em repouso, no escuro, em 24 horas na geladeira. Após o repouso, os tubos foram agitados novamente e centrifugados por 15 minutos a 4500rpm (SIGMA 6-15) em temperatura ambiente. Por fim o sobrenadante foi colocado em cubetas e submetidos à espectrofotometria UV-Vis (Biospectro SP 220) para a determinação do teor de clorofila ($\lambda = 665$ e 750 nm) e carotenoides totais ($\lambda = 470, 665, 750$ nm).

Em todas as extrações as análises foram realizadas em triplicata e os resultados dos carotenoides foram expressos em $\mu\text{g } \beta$ - caroteno por grama de massa seca e da clorofila em μg clorofila- *a* por grama de massa seca.

3.5.3. Análise da fluorescência da clorofila *a*

Com o objetivo de analisar o desempenho fotossintético da alga *in vivo*, foi utilizado um fluorômetro portátil (Junior PAM, Walz, Alemanha) com fibra ótica de 3 mm para estimar a fluorescência da clorofila *a* do PSII (Fotossistema II).

Antes de iniciar o processo, foram avaliadas as condições ideais para a espécie estudada e então mantidas constantes até o fim do experimento (ganho = 1 e intensidade da medida =8). Durante os trinta dias foram realizadas análises duas vezes por semana.

Para a realização do rendimento quântico máximo (F_v/F_m), escolhia-se aleatoriamente uma alga de cada tanque ($n=3/\text{tratamento}$) que ficava aclimatando no escuro por cinco minutos e então dava-se início as medidas, sendo nove pulsos de diferentes PAR (0 a $820 \mu\text{mol f\u00f3tons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), com intervalos de 10 segundos a cada pulso.

3.5.4. Análises estatísticas

Para todas as análises, primeiramente os dados foram sujeitos ao teste de normalidade e homogeneidade de variância (Teste de Cochran).

A variação de clorofila *a*, carotenoides, ficocianina, ficoeritrinas e variações fotossintéticas tiveram seus dados submetidos em uma análise de variância (ANOVA) multifatorial (temperatura e irradiância), sendo realizado, em seguida, um teste de comparação múltipla de Student- Newman-Keuls. O intervalo de confiança e o nível de significância considerado foram de 95% e 5% ($p<0,05$), respectivamente. As análises de variância foram realizadas no programa STATISTICA 10.0 (StatSoft, Inc.).

4. Resultados

4.1. Pigmentos Fotossintetizantes

Em relação aos pigmentos fotossintetizantes, pôde-se observar que a interação entre temperatura e irradiância produziu variância significativa (Tabela 1) em clorofila *a* (Figura 8) e ficocianina (Figura 10). Na primeira, observou-se um aumento significativo na concentração de clorofila *a* aos 30°C com 100% de irradiância disponível (sem sombrite). Ao passo que constatou-se uma diminuição significativa de ficocianina com o aumento da temperatura (25 e 30°) nos ambientes mais escuros (0,5% de PAR aos 25°C; 4% e 0,5% de PAR aos 30°C).

As concentrações de carotenoides (Figura 9) e de ficoeritrina (Figura 11) apresentaram influência somente com os fatores isolados, sendo que os carotenoides responderam somente ao fator temperatura e a ficoeritrina a ambos fatores (temperatura e irradiância). Nesta última, pôde-se observar uma diminuição significativa de sua concentração aos 30°C e também com menor irradiância (0,5%).

Tabela 1. Resultados das análises de ANOVA fatorial para cada variável dependente, com efeitos isolados e combinados das variáveis independentes Temperatura e Irradiância. Estes resultados foram obtidos após o término do experimento com *M. erubescens* em cada tratamento. Os efeitos significativos estão com os dados em negrito e o grau de liberdade foi 2.

Variável		Fonte de Variação		
		Temperatura	Irradiância	Temperatura*Irradiância
Ficocianina	MS	0,004109	0,003158	0,000828
	F	16,446	12,640	3,316
	p	0,000032	0,000037	0,016035
Ficoeritrina	MS	0,079733	0,057632	0,010194
	F	7,9649	5,7571	1,0183
	p	0,002223	0,004097	0,437141
Clorofila	MS	521,8	3007,3	5526,1
	F	1,2279	7,0775	13,0052
	p	0,310648	0,001432	0,000002
Carotenoide	MS	197,39	51,53	41,22
	F	3,8333	1,0006	0,8006
	p	0,035919	0,409568	0,579084

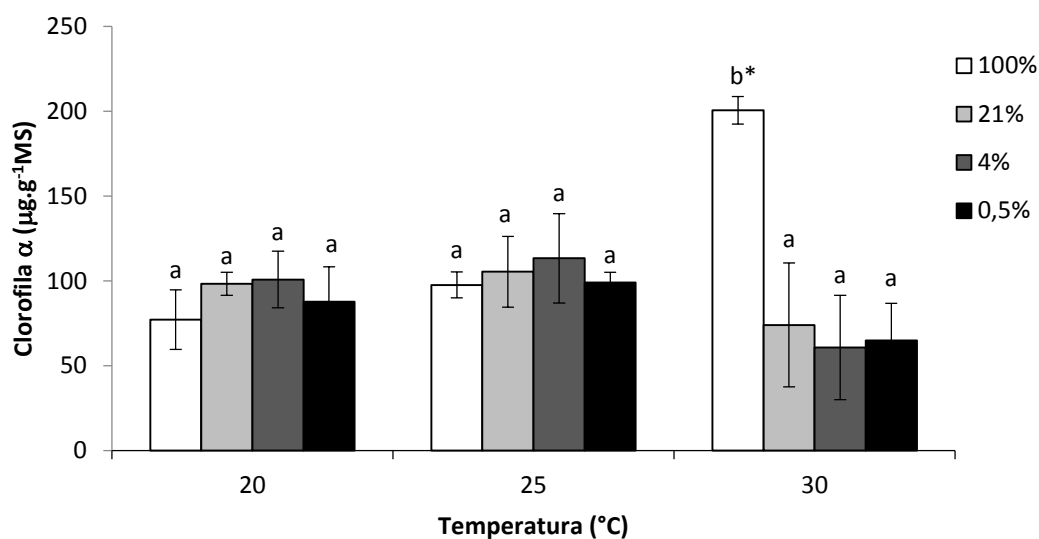


Figura 9. Concentração de clorofila *a* ($\mu\text{g.g}^{-1}$ -massa seca) nos tratamentos com 100%, 21%, 4% e 0,5% de irradiância em três diferentes temperaturas. As letras minúsculas representam a variação em cada temperatura com diferentes irradiâncias e os asteriscos a variação significativa entre as mesmas irradiâncias e diferentes temperaturas. Cada valor corresponde a média \pm desvio padrão.

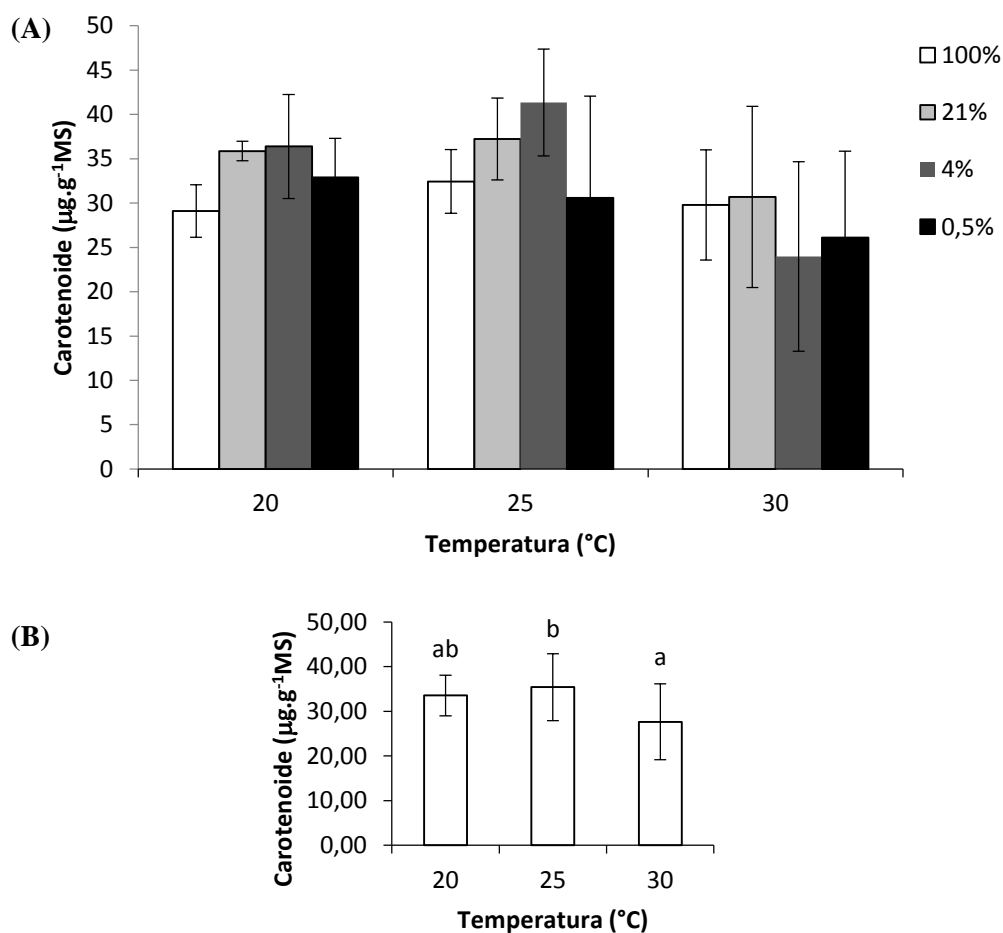


Figura 10: A concentração de carotenoide ($\mu\text{g.g}^{-1}$ -massa seca) não apresentou efeito significativo na combinação dos fatores (A), apontando variação somente para as diferentes temperaturas dos tratamentos, como se pode observar no gráfico (B). Cada valor corresponde a média \pm desvio padrão.

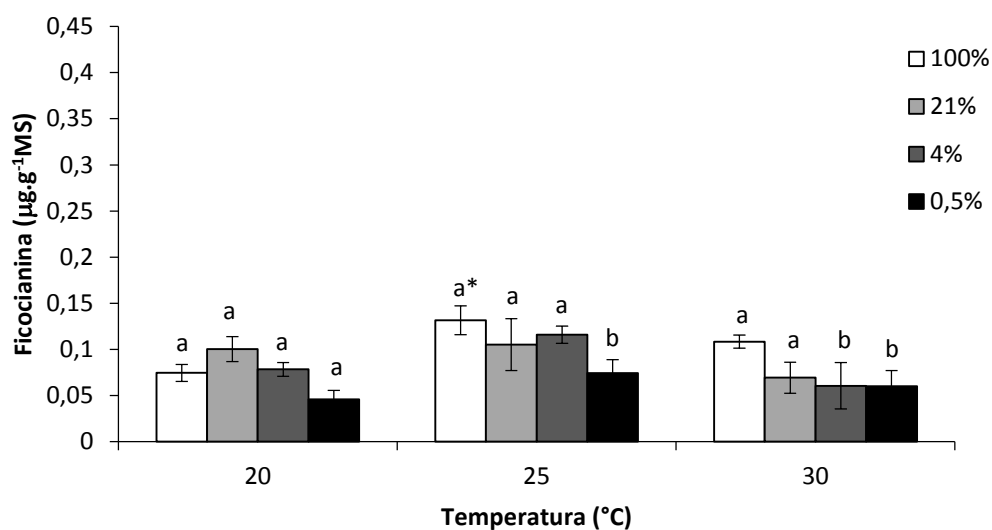


Figura 12. Em relação à concentração de ficocianina ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -massa seca), determinada por espectrofotometria, houve efeito significativo na combinação de diferentes temperaturas e irradiâncias. Sendo que as letras minúsculas simbolizam a interação das algas em mesma temperatura e diferentes irradiâncias e o asterisco a diferença entre as algas de mesma irradiação e temperaturas diferentes. Cada valor corresponde a média \pm desvio padrão.

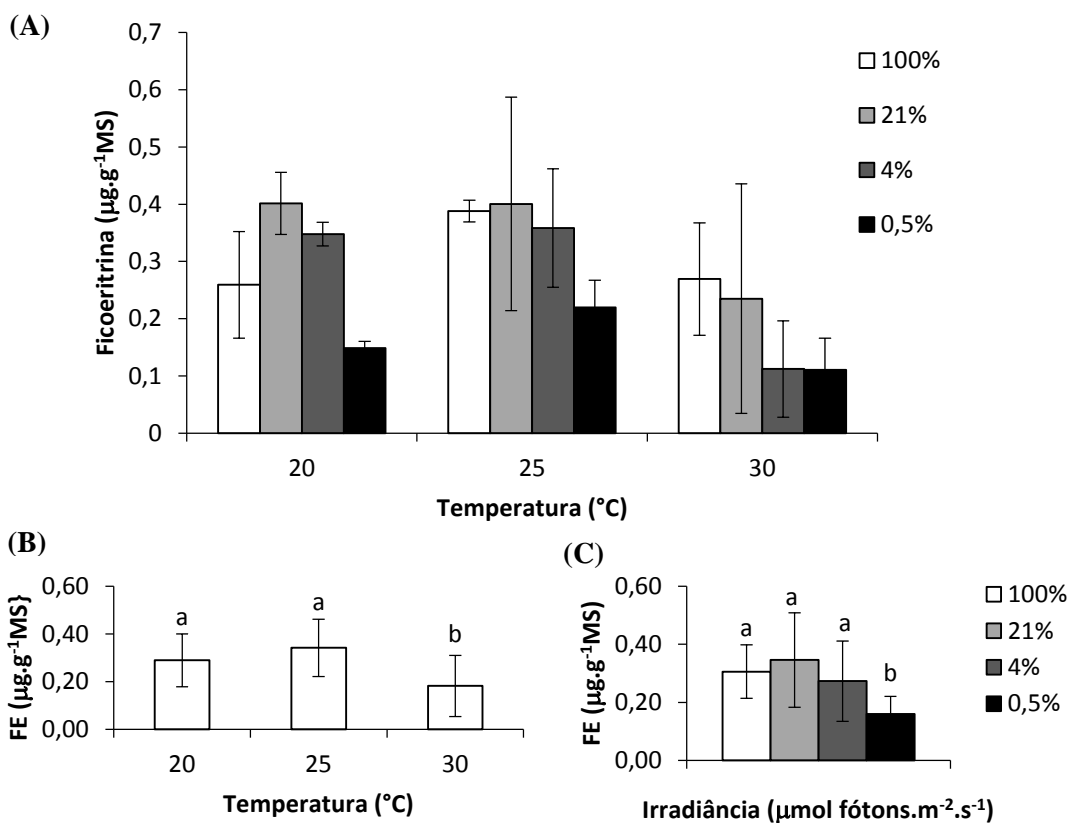


Figura 11. Concentração de ficoeritrina (FE) ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ -MS) apresentou efeito significativo somente nos fatores isolados (A), sendo que sua concentração em diferentes temperaturas foi significativamente menor aos 30 $^{\circ}\text{C}$ (B) e em diferentes irradiâncias sua concentração foi menor na presença de 0,5% de irradiância ($\mu\text{mol}\text{ fótons}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (C). Cada valor corresponde a média \pm desvio padrão.

Além de todas as informações obtidas através da espectrofotometria, a intensidade dos pigmentos, ou a falta dela nas algas, puderam ser observadas logo após o término do experimento, ainda nos tanques. A diferença mais notável foi o branqueamento parcial e quase total que ocorreu nas algas dos tratamentos aos 30°C nas diferentes irradiâncias, sendo a mais drástica no tratamento com mais sombrites e, conseqüentemente, menos irradiância (0,5%) (Figura 12).

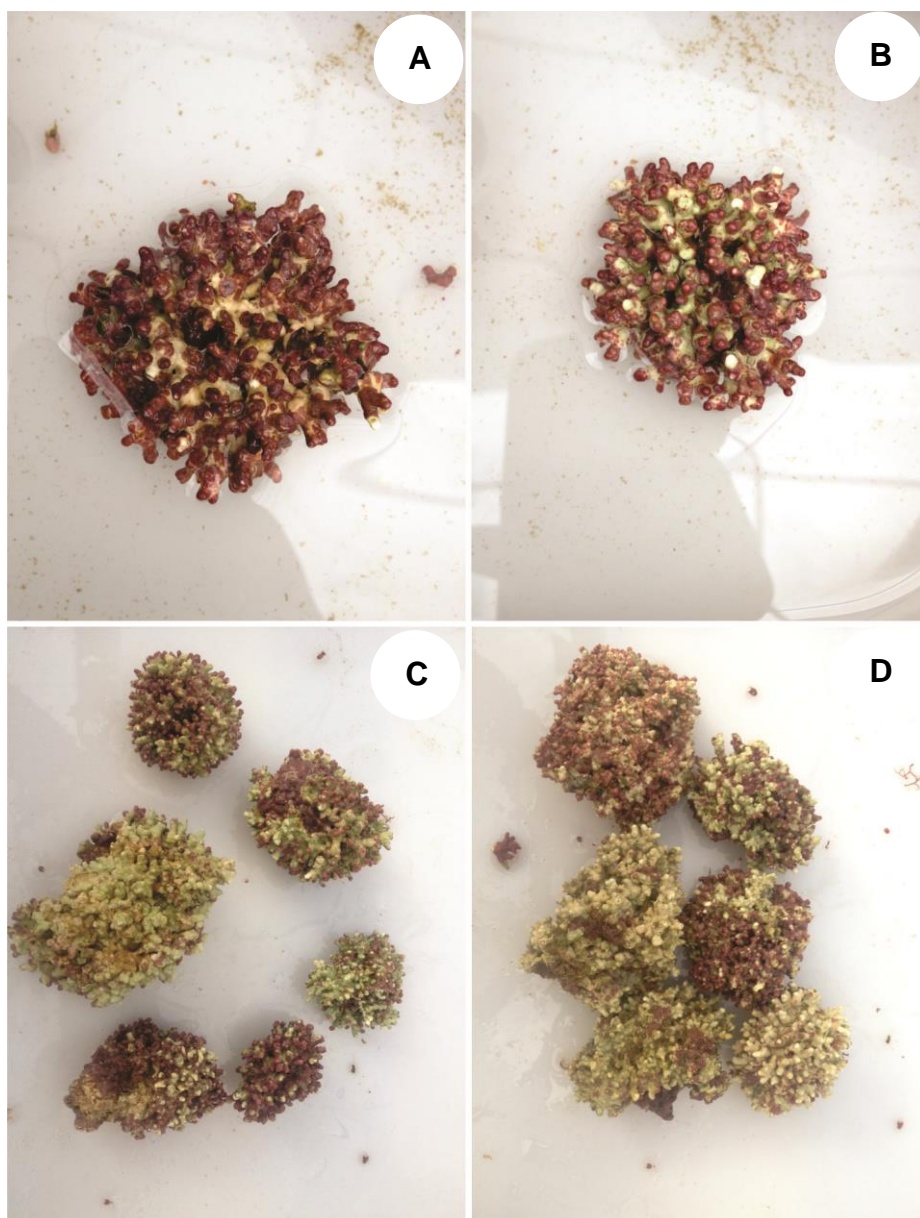


Figura 13. (A-D): Resultado após os 30 dias de experimento das algas aos 30°C, com diferentes irradiâncias disponíveis. A. 100% de irradiância disponível. B. 21% de irradiância. C. 4% de irradiância. D. 0,5% de irradiância.

4.2. Análise dos Parâmetros da Fluorescência

A interação entre temperatura e irradiância produziu diferença significativa no parâmetro obtido pela curva de luz ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

Quando analisado o rendimento quântico máximo (RQM - F_v/F_m) no último dia de análise (T30), verificou-se uma diminuição no tratamento de maior temperatura e menor irradiância. Notou-se, principalmente aos 30°C, que o RQM diminuiu conforme a irradiância disponível também diminuía (Figura 13).

Tabela 2. Resultado da análise ANOVA para cada variável dependente, com efeitos isolados e combinados das variáveis independentes: temperatura e irradiância. Estes dados foram obtidos durante o experimento realizado com *M. erubescens*. Os efeitos significativos estão apresentados com os dados de F e p, em negrito e o grau de liberdade foi igual a 2.

Variável		Fonte de Variação		
		Sombrite	Temperatura	Sombrite*Temperatura
Fv/Fm	MS	0,01515	0,02128	0,00604
	F	16,99	23,86	6,77
	p	0,000004	0,000002	0,000271

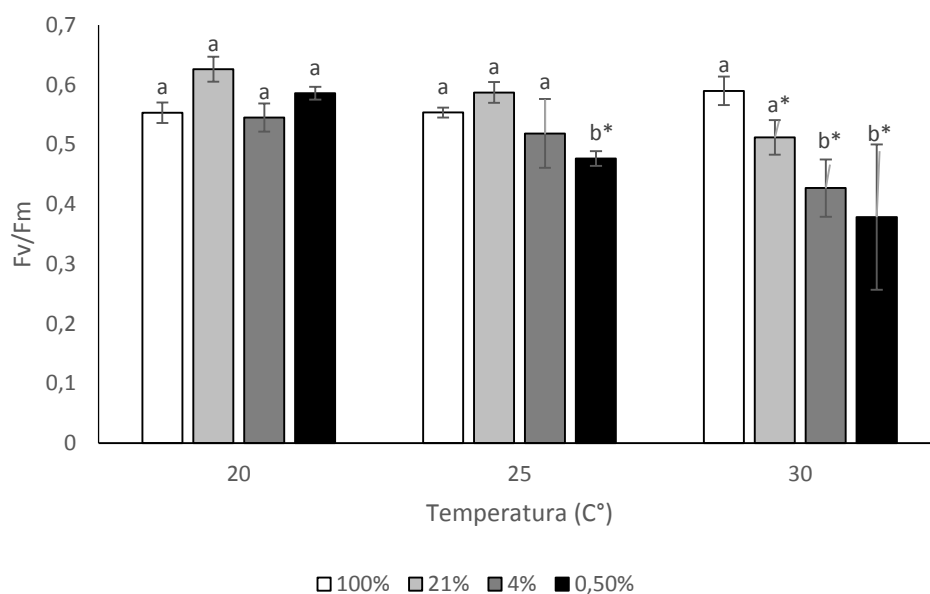


Figura 14. Valores do Rendimento Quântico Máximo (F_v/F_m) de *M. erubescens* com amostras finais do experimento (T30) nos 12 diferentes tratamentos ($n=3$). As letras minúsculas representam a variação em cada temperatura com diferentes radiâncias e os asteriscos a variação significativa entre as mesmas irradiâncias e diferentes temperaturas. Todos os valores acompanhados com o desvio padrão.

5. Discussão

Pigmentos fotossintéticos estão diretamente relacionados à eficiência na fotossíntese, pois a partir deles ocorre a captura de luz e ativação do fotossistema II (FSII). Fatores como variações de luz, temperatura e nutrientes, no ambiente, requerem às algas uma adaptação em seu aparato fotossintético, alterando tanto suas concentrações, como suas proporções (Rosemberg & Ramus, 1982).

A clorofila *a* está presente em todos os organismos fotossintéticos, e pode ser considerada um pigmento essencial para uma resposta na fotossíntese, pois é a única capaz de transferir energia solar diretamente para a via fotossintética (Ji et al., 2009), além de se adaptar a uma ampla faixa de variação ambiental (Koch & Lawrence, 1987).

No presente experimento, ao analisar a concentração de clorofila *a* nos diferentes tratamentos, notou-se um aumento significativo do pigmento aos 30°C com 100% de irradiância disponível. Isso pode ter ocorrido pelo aumento do metabolismo diante de uma maior temperatura e conseqüentemente da síntese de clorofila, bem como de sua acumulação, uma vez que não foi detectada fotoinibição.

Entre os pigmentos considerados auxiliares, os carotenoides têm como algumas de suas funções a ampliação do comprimento de onda de luz captado para a fotossíntese, dissipação de energia excessiva e fotoproteção do aparato fotossintético (Frank & Cogdell, 1996).

Segundo Demmig-Adams & Adams (1996), quando estresses ambientais, como estresse hídrico, de nutrientes, temperatura e excessiva absorvância de luz, passam a reduzir a taxa fotossintética da planta, os níveis das xantofilas (grupo dos carotenoides) aumentam, como forma de dissipar a energia excessiva e fotoproteção.

No presente estudo, a temperatura foi o único fator que alterou significativamente a concentração de carotenoides, indicando que a diferença de irradiância entre os tratamentos talvez não tenha sido expressiva, uma vez que o tratamento com 100% de irradiância ($67,00 \mu\text{mol f\acute{o}tons.m}^{-2}.s^{-1}$) representa um valor baixo. Já em relação à temperatura, o aumento da concentração de carotenoide aos 25°C e sua diminuição aos 30°C, não ocorrendo um processo gradual aos 20°C, não teve uma explicação justificável, podendo ter ocorrido algum erro durante alguma das etapas ou a necessidade de um maior aprofundamento em tal situação.

Por fim, acompanhado da clorofila *a* e do carotenoide, as algas vermelhas possuem a presença de um dos principais componentes do aparato fotossintético, as ficobiliproteínas (Glazer, 1981). As ficobiliproteínas, junto com os carotenoides, fazem parte dos pigmentos considerados auxiliares, encontrando-se ao lado do estroma da membrana do tilacóide, tendo como uma das funções básicas o transporte de energia para o centro de reação do fotossistema II. O processo de transferência é feito via ficocianina, ficoeritrina e aloficocianina.

Segundo, Kuebler (1991), a ficoeritina pode suportar até o dobro dos valores iniciais das temperaturas iniciais, no caso 20°C, porém no experimento, ao chegar aos 30°C a concentração de ficoeritrina caiu significativamente, assim como em Kin et al. (2007) que avaliou a interação entre temperatura e nutriente em diferentes espécies de *Porphyra*, analisando que em concentrações iguais de nutriente a ficoeritrina diminuiu na temperatura mais alta (20°C). No presente experimento, ao relacionar as concentrações de ficobiliproteínas, que dão a cor avermelhada para a alga) e as fotos das algas no final do tratamentos, observa-se uma relação, pois aos 30°C passou a ocorrer um branqueamento das algas conforme a irradiação diminuiu, o que aconteceu também nas ficocianinas, porém como não houve uma análise de % de branqueamento das algas essa informação não pode ser afirmada com convicção.

Em relação ao parâmetro fotossintético analisado, o RQM indica a eficiência máxima do fotossistema II (PSII) e é observado após a adaptação da alga ao escuro, em que os centros de reações estão abertos e a dissipação por calor é mínima. No presente trabalho observou-se uma resposta sinérgica entre temperatura e PAR disponível

Pôde-se observar que, conforme a temperatura foi aumentada, o RQM se tornou mais sensível à radiação disponível. Como aos 30°C em que houve uma diminuição significativa nos tratamentos com 21%, 4% e 0,5% de PAR. Segundo Maxwell e Johnson (2000) a queda nos valores do RQM pode ser um desequilíbrio induzido pela fotoinibição entre a absorção e utilização da energia. No caso, os 30°C pode ter sido uma temperatura limite no início de um estresse ambiental que com 100% da irradiação disponível ainda conseguiu manter seu rendimento entre 0,5-0,6, o esperado para algas vermelhas (Dring et al., 1996). Porém, a partir do momento em que ocorreu um segundo estresse, como a diminuição na disponibilidade de luz a mesma temperatura, a produção de pigmentos como a clorofila diminuiu e com isso a absorção de energia também decresceu, influenciando o RQM.

6. Conclusão

A temperatura se apresentou como um fator de grande relevância na eficiência fotossintética da alga *Mesophyllum erubescens*, tendo influência, principalmente aos 30°C tanto nas concentrações dos pigmentos, como no RQM.

Já o sinergismo entre temperatura e irradiância ocorreu somente quando avaliada a concentração de clorofila, ficocianina e, de maneira mais pronunciada no RQM onde notou-se que a influência da combinação dos dois estressores foi causando uma diminuição gradual do rendimento aos 30°C conforme a irradiância disponível ia ficando cada vez mais limitada.

Visualmente, notou-se também o branqueamento gradual das algas diferentes nos tratamentos aos 30°C, exibindo a perda, especialmente, das ficobiliproteínas. Contudo, não se pode afirmar com certeza essa situação, pois não foi mensurada a porcentagem de branqueamento das algas.

Por fim, concluí-se que a distribuição cosmopolita de *M. erubescens* pode estar relacionada a sua plasticidade ecofisiológica em tolerar condições ambientais distintas como por exemplo, temperaturas mais elevadas e maior PAR disponível como ocorre em baixas latitudes. No entanto, se as ondas de calor tornarem-se mais expressivas e frequentes, a habilidade desta alga tolerar e sobreviver é incerta.

Referências

- AMARAL, A. C. Z.; JABLONSKI, S. Conservação da biodiversidade marinha e costeira no Brasil. 2005.
- BAHIA, R. G. et al. Rhodolith bed structure along a depth gradient on the northern coast of Bahia State, Brazil. **Brazilian journal of oceanography**, v. 58, n. 4, p. 323-337, 2010.
- BEER, S.; ESHEL, A. Determining phycoerythrin and phycocyanin concentrations in aqueous crude extracts of red algae. **Marine and Freshwater Research**, v. 36, n. 6, p. 785-792, 1985.
- BJORK, M. et al. Coralline algae, important coral-reef builders threatened by pollution. **Oceanographic Literature Review**, v. 7, n. 43, p. 734, 1996.
- BLAKE, C.; MAGGS, C. A. Comparative growth rates and internal banding periodicity of maerl species (Corallinales, Rhodophyta) from northern Europe. **Phycologia**, v. 42, n. 6, p. 606-612, 2003.
- BRODIE, J. et al. Systematics of the species-rich algae: red algal classification, phylogeny and speciation. 2007.
- CANALS, M. & BALLESTEROS, E. Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. **Deep-Sea Research**, v. 44, p. 611-629, 1997.
- DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W. W. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. **Trends in Plant science**, v. 1, n. 1, p. 21-26, 1996.
- DIAS, G. T. M. Granulados bioclásticos – algas calcárias. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, p. 307-318, 2001.
- DIGBY, P. S. B. Growth and calcification in the coralline algae *Clathromorphum circumscriptum* and *Corallina officinalis* and the significance of pH in relation to precipitation. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom** v. 57, p. 1095–1110, 1977.
- DRING, M. J. et al. Sensitivity of intertidal and subtidal red algae to UVA and UVB radiation, as monitored by chlorophyll fluorescence measurements: influence of collection depth and season, and length of irradiation. **European Journal of Phycology**, v. 31, n. 4, p. 293-302, 1996.
- FERREIRA, B. P. et al. The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the southwestern tropical Atlantic. **Coral reefs**, v. 32, n. 2, p. 441-454, 2013.
- FOSLIE, M. K. Calcareous algae from Funafuti. **Det Kongelige Norske Videnskabers Selskabs Skrifter**, 1900.
- FOSTER, M. S. Rhodoliths: between rocks and soft places. **Journal of phycology**, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2001.

- FRANK, H. A.; COGDELL, R. J. Carotenoids in photosynthesis. **Photochemistry and photobiology**, v. 63, n. 3, p. 257-264, 1996.
- GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 5, p. 1293-1302, 1991.
- GATTUSO, J. P. et al. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. **Science**, v. 349, n. 6243, p. aac4722, 2015.
- GHERARDI, D. F. M. Community structure and carbonate production of a temperate rhodolith bank from Arvoredo Island, Southern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 52, p. 207–224, 2004.
- GRIMM, A. M.; SAMPAIO, G. Observações ambientais atmosféricas e de propriedades da superfície. **PBMC–Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Base Científica das Mudanças Climáticas: primeiro relatório de avaliação nacional. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil**, v. 391, 2012.
- HORTA, P. A. Macroalgas do infralitoral do Sul e Sudeste do Brasil: Taxonomia e Biogeografia. **Tese de Doutorado**, Universidade de São Paulo, 301, 2000.
- HORTA, P. A.; AMANCIO, E.; COIMBRA, S.C.; OLIVEIRA, E.C. Considerações Sobre a Distribuição e Origem da Flora de Macroalgas Marinhas Brasileiras. **Hoehnea**. n. 28, p. 243-265, 2001.
- HORTA, P. A. Bases para a identificação das coralináceas não articuladas do litoral brasileiro – uma síntese do conhecimento. **Biotemas**, v. 15: 7-44, 2002.
- HORTA, P. A. et al. Composição e estrutura do fitobentos do infralitoral da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, Santa Catarina, Brasil-implicações para a conservação. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 2, p. 6, 2008.
- HORTA, P. A. et al. Morphology and reproduction of *Mesophyllum erubescens* (Foslie) Me. Lemoine (Corallinales, Rhodophyta) from Southern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 1, p. 125-134, 2011.
- ICMBio. Reserva Biológica Marinha do Arvoredo. Disponível em: <www.icmbio.gov.br/rebioarvoredo> Acesso em Junho de 2015.
- IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132, 2014.
- JI, N. K. et al. An evaluation of the pigment composition of eighteen marine macroalgae collected from Okha coast, Gulf of Kutch, India. **Our Nature**, v. 7, n. 1, p. 48-55, 2009.
- JOLY, A. B.. Gêneros de algas marinhas da Costa Atlântica Latino-Americana. **São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo**, 1967.

- KIM, Jang K. et al. Effects of temperature and ammonium on growth, pigment production and nitrogen uptake by four species of Porphyra (Bangiales, Rhodophyta) native to the New England coast. **Journal of Applied Phycology**, v. 19, n. 5, p. 431-440, 2007.
- KOCH, E. W.; LAWRENCE, J. Photosynthetic and respiratory responses to salinity changes in the red alga *Gracilaria verrucosa*. **Botanica marina**, v. 30, n. 4, p. 327-330, 1987.
- KUEBLER, J. E.; DAVISON, I. R.; Y. C. Photosynthetic adaptation to temperature in the red algae *Lomentaria baileyana* and *Lomentaria orcadensis*. **British Phycological Journal**, v. 26, n. 1, p. 9-19, 1991.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- METRI, R. Ecologia de um Banco de Algas Calcárias da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, SC. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal do Paraná, 2006.
- MOORE, M. N.; DEPLEDGE, M.H.; READMEN, J.W.; LEONARD, D.R.P. An integrated biomarker-based strategy for ecotoxicological evaluation of risk in environmental management. **Mutat**, v. 552, p. 247–268, 2004.
- NUNES, J. M. C.; GUIMARÃES, S.M.P.B.; DONANGELO, A.; FARIAS, J. & HORTA, P.A. Aspectos taxonômicos de três espécies de coralináceas não geniculadas do litoral do estado da Bahia, Brasil. **Rodriguésia**, v. 59, p. 75-86, 2008.
- OLITA, A.; SORGENTE, R.; NATALE, S.; RIBOTTI, A.; BONANNO, A.; PATTI, B. Effects of the 2003 European heatwave on the Central Mediterranean Sea: surface fluxes and the dynamical response. **Ocean Science**, v. 3(2), p. 273-289, 2007.
- OLIVEIRA, E. C. Is there a relation among the global warming in the missing carbon and calcareous algae? **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, p. 17-21, 1996.
- PASCELLI, C. et al. Seasonal and depth-driven changes in rhodolith bed structure and associated macroalgae off Arvoredo island (southeastern Brazil). **Aquatic Botany**, v. 111, p. 62-65, 2013.
- RIUL, P. et al. Decrease in *Lithothamnion* sp. (Rhodophyta) primary production due to the deposition of a thin sediment layer. **Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 88, p. 17-19, 2008.
- RIUL, Pablo et al. Rhodolith beds at the easternmost extreme of South America: Community structure of an endangered environment. **Aquatic Botany**, v. 90, n. 4, p. 315-320, 2009.
- ROSENBERG, C.; RAMUS, J. Ecological growth strategies in the seaweeds *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae) and *Ulva* sp. (Chlorophyceae): soluble nitrogen and reserve carbohydrates. **Marine Biology**, v. 66, n. 3, p. 251-259, 1982.
- SAMPATH-WILEY, P.; NEEFUS, C. D. An improved method for estimating R-phycoerythrin and R-phycoerythrin contents from crude aqueous extracts of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta). **Journal of applied phycology**, v. 19, n. 2, p. 123-129, 2007.

SANTELICES, B.; BOLTON, J. J.; MENESES, I. Chapter Six Marine Algal Communities. **Marine macroecology**, p. 153, 2009.

SCHERNER, F. et al. Herbivory in a rhodolith bed: a Structuring Factor. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 3, p. 358-366, 2010.

SISSINI, M. N. et al. *Mesophyllum erubescens* (Corallinales, Rhodophyta)—so many species in one epithet. **Phytotaxa**, v. 190, n. 1, p. 299-319, 2014.

SPARNOCCHIA, S. et al. The anomalous warming of summer 2003 in the surface layer of the Central Ligurian Sea (Western Mediterranean). **Annales Geophysicae**, p. 443-452, 2006

STELLER, D. L.; RIOSMENA-RODRIGUEZ, R.; FOSTER, M. S. & ROBERTS, C. A. Rhodolith bed diversity in the Gulf of California: the importance of rhodolith structure and consequences of disturbance. **Aquatic Conservation**, v. 13, p. 5–20, 2003.

TORRES, P. B. et al. Standardization of a protocol to extract and analyze chlorophyll a and carotenoids in *Gracilaria tenuistipitata* Var. *Liui*. Zhang and Xia (Rhodophyta). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 1, p. 57-63, 2014.

VIEIRA-PINTO, T. et al. Lithophyllum species from Brazilian coast: range extension of *Lithophyllum margaritae* and description of *Lithophyllum atlanticum* sp. nov. (Corallinales, Corallinophycidae, Rhodophyta). **Phytotaxa**, v. 190, n. 1, p. 355-369, 2014.

VITOUSEK, P. M. et al. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

WAINER, I. & TASCHETTO, A. S. Climatologia entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS), diagnósticos para os períodos relativos aos levantamentos pesqueiros do programa REVIZEE. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil, 472pp, 2006.

WERNBERG, T.; SMALE, D. A.; & THOMSEN, M. S. A decade of climate change experiments on marine organisms: procedures, patterns and problems. **Global Change Biology**, v. 18(5), p. 1491-1498, 2012.

WOELKERLING, W. J. The Coralline red algae: an analysis of the genera and subfamilies of nongeniculate Corallinaceae. **Oxford University Press** 268 pp, 1988.