



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ

ANANDA MARSON SILVA

**CALCIFICAÇÃO E METABOLISMO LÍQUIDO EM *SIDERASTREA
STELLATA* (VERRIL, 1868), CNIDÁRIA, SCLERACTINIA NO RECIFE
DE COROA VERMELHA, BAHIA**

**Ilhéus – BAHIA
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ANANDA MARSON SILVA

**CALCIFICAÇÃO E METABOLISMO LÍQUIDO EM *SIDERASTREA*
STELLATA (VERRIL, 1868), CNIDARIA, SCLERACTINIA NO RECIFE
DE COROA VERMELHA, BAHIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em Ecologia, no Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais da Universidade Estadual de Santa Cruz.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Friederichs Landim de Souza

Área de concentração: Ecologia

**ILHÉUS – BAHIA
2009**

ANANDA MARSON SILVA

**Calcificação e Metabolismo Líquido em *Siderastrea stellata* (Verril, 1868),
Cnidaria, Scleractinia no recife de Coroa Vermelha, Bahia**

Ilhéus-Ba, 04/2009

Prof. Dr. Marcelo Friederichs Landim de Souza
UESC
(Orientador)

Prof^a. Dra. Fernanda Duarte Amaral
UFRPB

Prof^a. Dra. Daniela Mariano Lopes da Silva
UESC

Prof^a. Dra. Cristiane Francisca da Costa
UFCEG

DEDICATÓRIA

“ A oração purifica nossa vida material e abre caminho para que as energias do Ser Interno a conduzam ”

Trigueirinho

Dedicado à minha amada família, pela confiança, compreensão, incentivo e paciência, durante 26 anos da minha existência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço com muito amor, aos meus irmãos João Carlos e Alan por proporcionarem as minhas melhores lembranças do fundo do mar.

Ao meu querido irmão Giuliano, pelo companheirismo e incentivo.

A Rígel Sá por compreender as minhas constantes viagens, pelo companheirismo, pela força (literalmente e espiritualmente) e as tantas madrugadas de sono perdidas.

Agradeço ao meu Orientador, Marcelo Landim, por dedicar parte do seu disputadíssimo tempo, sábados, domingos e feriados na orientação deste trabalho e pela amizade, agradeço.

A Universidade Estadual de Santa Cruz, pelo apoio técnico de transporte e laboratório.

À FAPESB por conceder bolsa de auxílio técnico, permitindo a inicialização do presente trabalho.

Ao projeto Coral Vivo por possibilitar a realização dos primeiros experimentos em laboratório.

Aos colegas de laboratório, Cida, Gil, Cybelle, pelo auxílio durante as coletas de campo e laboratório e a todos que contribuíram de alguma forma, para realização deste trabalho.

Calcificação e Metabolismo Líquido em *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868), Cnidaria, Scleractinia no recife de Coroa Vermelha, Bahia

RESUMO

No recife costeiro de Coroa Vermelha durante as marés baixas formam-se poças de maré e uma porção do recife que permanece submersa, o infralitoral. Estes locais estão sujeitos às mudanças nas variáveis físicas e químicas que podem interferir no processo de calcificação e no metabolismo líquido dos corais. Entre os anos de 2006-2008 foram realizadas quatro coletas, duas em dias de chuva e duas em dias de sol. Mediram-se as variáveis físicas e químicas, e a concentração de nutrientes nas poças de maré recifais e no infralitoral. Diferenças significativas ($p < 0,05$) foram encontradas entre infralitoral e poças para as variáveis, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, CID, $p\text{CO}_2^{\text{água}}$ e Ω_{arag} . Os valores de temperatura, pH, $\text{O}_{2\text{diss}}$ e Ω_{arag} foram maiores nas poças. Inversamente, a concentração de CID e a $p\text{CO}_2^{\text{água}}$ foram significativamente menores nas poças. Exceto pela última campanha (dia de chuva), os valores da $p\text{CO}_2^{\text{água}}$ nas poças não ultrapassou 240 μatm , sugerindo o fluxo do CO_2 da atmosfera para a água das poças, visto que atualmente a $p\text{CO}_2^{\text{atm}}$ está em torno de 360 μatm . Os valores de temperatura, salinidade, CID, $p\text{CO}_2^{\text{água}}$ na água das poças variaram significativamente ($p < 0,05$) entre os dias de chuva e sol. Nos dias de sol as temperaturas foram significativamente maiores que nos dias de chuva. Já as concentrações de CID e a $p\text{CO}_2^{\text{água}}$ foram significativamente maiores nos dias de chuva. Os valores $p\text{CO}_2^{\text{água}}$ e Ω_{arag} nas poças foram mais constantes ($p > 0,05$), exceto pela coleta de jan/2008 (chuva). A água retida nas poças apresenta características físicas e químicas diferentes que a do infralitoral. Os valores dos nutrientes medidos nas poças e no infralitoral estiveram numa mesma faixa de concentração. A atividade autotrófica pode estar contribuindo para esta condição reduzindo a $p\text{CO}_2^{\text{água}}$, e aumentando o estado de saturação da aragonita. Nas poças foram registrados os maiores valores Ω_{arag} e as temperaturas mais elevadas. As poças de maré em dias de sol podem ser mais favoráveis à calcificação. Doze colônias de *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868), das quais seis foram coletadas no infralitoral e seis nas poças foram incubadas com água dos seus respectivos locais de origem para medir e comparar as taxas de calcificação e o metabolismo líquido em três experimentos realizados em campo e três em laboratório. Nos experimentos de campo, as taxas de calcificação variaram significativamente entre as colônias do infralitoral e poças exceto no EXP 3. O metabolismo líquido foi significativamente diferente entre as colônias do infralitoral e poças nos três experimentos. Quando as colônias do infralitoral e poças foram condicionadas em um mesmo ambiente (experimentos em laboratório) nenhuma diferença significativa foi encontrada no metabolismo líquido e taxas de calcificação. Uma correlação significativa foi observada entre as taxas de calcificação e o metabolismo líquido das colônias de *S. stellata*. Um ótimo de calcificação foi observado em temperaturas entre 28-30°C. A temperatura parece ser o principal fator norteador da calcificação em *S. stellata*. O Ω_{arag} tem um papel secundário na calcificação atuando quando a temperatura é mais baixa.

Palavras chaves: recifes costeiros; variáveis físicas e químicas; calcificação; metabolismo líquido; coral, temperatura; ômega aragonita.

Calcification and net metabolism in *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868), Cnidaria, Scleractinia of the reef flat at Coroa Vermelha, Bahia

ABSTRACT

Tidal pools and submerge areas appears during low tides in the Coroa Vermelha reef flat. Changes in temperature, pH, dissolved oxygen ($O_{2\text{diss}}$), dissolved inorganic carbon (DIC), partial pressure of CO_2 of seawater ($pCO_{2\text{água}}$) and the $CaCO_3$ saturation state (Ω_{arag}), were observed between the tidal pools and the infralittoral during the low tides. These changes potentially affect the net metabolism and calcification rate of the reefs. The calcification decrease the total alkalinity and act in concert with net metabolism changing the carbonate system in the seawater. The temperature, pH, dissolved oxygen ($O_{2\text{diss}}$), $pCO_{2\text{water}}$ and Ω_{arag} obtained in tidal pools were significantly higher than in infralittoral. Conversely, the concentration of DIC and the $pCO_{2\text{water}}$ were significantly higher in submerged zones. Indeed autotrophic activity is higher in the pools. Except in the last sampling, the $pCO_{2\text{water}}$ does not exceed $240 \mu\text{atm}$ in the pools. These results suggest that the atmospheric fluxes of CO_2 may occur from the atmosphere to seawater retained in the pools. The values of temperature, salinity, DIC, $pCO_{2\text{water}}$ in the pools were significantly different between the sunny and rainy days ($p < 0,05$). In the pools the values of temperature were significantly higher in sunny days while DIC concentration, were significantly higher in the rainy days. The values of the $pCO_{2\text{water}}$ and Ω_{arag} in the pools were not significantly different between the collected days ($p > 0,05$), except by last survey in January 2008 (rainy day). The concentration of dissolved nutrients in the pools presented great variation along the surveys while at the infralittoral was more stable. The activity of autotrophic organisms can be contributing to this condition, decreasing the $pCO_{2\text{água}}$, and increasing the aragonite saturation state. The higher values of temperature and Ω_{arag} were recorded in the tidal pools. Tidal pools can be more favorable to calcification, especially during sunny days. Twelve colonies of *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868) were collected in the Coroa Vermelha reef, six in the near crest infralittoral and six in tidal pools. These colonies were incubated with seawater from the original sites (tidal pools and infralittoral) and placed in flasks, The net calcification and net metabolic rates were calculated by the changes of total alkalinity and dissolved inorganic carbon in the flasks. A total of three field and laboratory experiments were conducted. The laboratory experiments were carried with the same kind of nearshore seawater, after acclimation. During the field experiments, the net calcification rates were significantly different between colonies from pools and infralittoral ($p < 0,05$), except during third experiment. Net metabolic rates in the field experiments were significantly different in colonies from pools and infralittoral ($p < 0,05$). In laboratory, when the colonies were acclimated and incubated with the same seawater, no significant difference was observed. It was not observed a significant correlation between $pCO_{2\text{água}}$ and net calcification. One significant correlation was observed between net calcification and net metabolism. The temperature seems to be the principal factor influencing net calcification in this study. The calcification rates were optimal from $28\text{--}30^\circ\text{C}$. Ω_{arag} had a secondary role in the calcification, prevailing at lower temperatures (about 26°C).

Keywords: nearshore reefs; physico-chemical variables; nutrients; calcification; net metabolism; coral temperature; saturation state of $CaCO_3$.

SUMÁRIO

RESUMO.....	V
ABSTRACT.....	VI
1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivos.....	10
2. CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE CALCIFICAÇÃO DO RECIFE DE COROA VERMELHA.	11
Resumo.....	11
Abstract.....	12
2.1 INTRODUÇÃO.....	13
2.1.1 Objetivos.....	17
2.1.2 Objetivo geral.....	17
2.1.3 Objetivos específicos.....	17
2.2 MATERIAIS E MÉTODO	18
2.2.1 Área de estudo.....	18
2.2.3 Campo	19
2.2.4 Laboratório.....	21
2.2.5 Análise estatística	22
2.3 RESULTADOS.....	23
2.3.1 Variáveis físicas e químicas	23
2.3.2 Nutrientes inorgânicos.....	26
2.4 DISCUSSÃO	28
2.5 CONCLUSÃO	32
3 CALCIFICAÇÃO E METABOLISMO LÍQUIDO EM COLÔNIAS SIDERASTREA STELLATA.....	33
Resumo.....	33
Abstract.....	34
3.1 INTRODUÇÃO	35
3.1.1 Objetivo	37
3.1.1.1 Objetivo geral.....	37
3.1.1.2 Objetivos específicos.....	37
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.3.1 Área de estudo.....	38
3.3.2 Incubação das colônias no recife “in situ”	39
3.3.3 Incubações das colônias “ex situ”.....	41
3.3.4 Cálculo das variáveis AT, CID, $p\text{CO}_2\text{água}$ e Ω arg.....	43
3.3.5 Cálculo do metabolismo líquido e taxa de calcificação	43
3.3.6 Análise estatística	44
3.4 RESULTADOS.....	45
3.4.1 Incubação “in situ”	45
3.4.2 Incubações “ex situ”	51
3.5 DISCUSSÃO	55
3.6 CONCLUSÃO	59
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

1. INTRODUÇÃO

Os recifes de corais têm um importante papel no ciclo biogeoquímico do carbono e são os mais notáveis ecossistemas bentônicos que integram os processos fotossintéticos e de calcificação (Gattuso et al., 1998a; Gattuso et al., 1999; Furla et al., 2000).

Caracterizados pela aparência rochosa, os recifes de corais são formados principalmente por carbonato de cálcio depositado nos esqueletos e estruturas dos organismos marinhos calcificadores (Bates, 2002). Esses recifes podem crescer sobre estruturas rochosas de origem vulcânica, sedimentar, como os bancos de arenito adjacentes às praias, e até mesmo em blocos de cimento (recifes artificiais). Geralmente encontram-se distribuídos entre os trópicos e nas isotermas de 20°C nos hemisférios norte e sul (Kaplan, 1982), podendo estender-se até altitudes mais elevadas ($32,5 \pm$ Norte; $31,5 \pm$ Sul) (Kleypas, 1997).

A região nordeste do Brasil detém a maior biodiversidade coralínea do Atlântico Sul ao longo de 3000 km de costa (Hetzl & Castro, 1994). A Bahia é o estado com o maior litoral, abrangendo os recifes mais extensos e diversos, caracterizados pelo alto grau de endemismo das espécies de corais (Leão, 1986).

Os bancos recifais adjacentes à praia são estruturas isoladas, descontínuas, de forma variada. Podem ter desde poucos metros até alguns quilômetros de extensão. Localizam-se em áreas muito rasas, geralmente a não mais de dez metros de profundidade (Hetzl & Castro, 1994). Leão et al. (1985) definiram a regressão do nível do mar como um fator importante para essas áreas, já que os recifes crescem acompanhando a subida do nível do mar. Além disso, o nível do mar diminuiu deixando emerso os topos de muitos recifes sujeitos à erosão. No platô recifal, pequenos corais crescem dentro das poças e dos canais onde há sempre uma lâmina d'água. A partir daí, em um recife raso, regiões distintas são formadas: as poças de maré recifais e a porção do recife permanentemente submerso (infralitoral).

Os recifes de corais situados nas zonas costeiras são caracterizados pela abundância e diversidade de organismos calcificadores e pela alta produtividade primária (Gattuso et al., 1999; Kaplan, 1982). O metabolismo dos recifes é dominado pelos processos bênticos (Gattuso, 1998a) e as comunidades coralíneas e de algas calcárias são os principais construtoras desses ambientes recifais (Leão, 1994; Kleypas et al., 1999), destacando-se os

corais escleractínios zooxantelados (Classe Anthozoa, Subclasse Hexacorallia, Ordem Scleractinia) conhecidos como corais-verdadeiros. Esses cnidários segregam carbonato de cálcio pela epiderme de sua base formando um esqueleto rígido calcificado, processo conhecido como calcificação ou precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3) (Goreau et al., 1979).

Grande parte da precipitação do CaCO_3 ocorre nas zonas costeiras e principalmente em águas oceânicas tropicais onde estão edificadas a maioria dos recifes de corais (Gattuso et al., 1998b). O processo de calcificação nos oceanos tem um importante papel no ciclo global do carbono. O CO_2 antropogênico liberado na atmosfera pode ser absorvido pelos oceanos e neutralizado na reação com o CaCO_3 que dependerá do estado de saturação da aragonita (Ω_{arag}) (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001). O Ω_{arag} é definido em razão do produto da atividade iônica pelo produto da solubilidade do metal envolvido (Ca^+) (Houghton et al., 1996; Gattuso et al., 1998b; Kleypas et al., 1999). Para cada mol de CaCO_3 precipitado na água do mar um mol de carbono (CO_2^{-3}) e um mol da dupla carga positiva do íon Ca^+ são consumidos diminuindo o total de carbono inorgânico dissolvido (CID) e a alcalinidade total (AT) (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001).

Além dos processos de calcificação, os corais escleractíneos zooxantelados mantêm uma relação de simbiose com dinoflagelados (zooxantelas) contribuindo para a mobilização do CID e também elevando a concentração de oxigênio dissolvido na água do mar através da fotossíntese (Goreau et al., 1979; Rivera, 1994; Leclercq et al., 2000).

Os corais zooxantelados, geralmente, estão edificadas em águas rasas onde a penetração da luz é maior, com crescimento mais rápido do que os escleractínios situados onde a luz não penetra (Hetzl & Castro, 1994)

Siderastrea stellata (Verrill, 1868) é uma espécie de coral escleractínio zooxantelado endêmica das águas brasileiras que tem um papel importante na colonização dos locais mais expostos as radiações solares e sujeitas à dessecação. Segundo Santos et al. (2004), as colônias de *S. stellata* apresentam variações morfométricas em condições ambientais heterogêneas, indicando que os caracteres morfológicos apontam para uma capacidade adaptativa de Scleractinia. As colônias também variam em profundidades distintas, seus corallitos geralmente têm diâmetros menores em águas rasas (Labrel, 1969; Leão, 1986). Essas variações nos caracteres morfológicos geram muitas incertezas taxonômicas. Além do caráter taxonômico, a análise da taxa fotossintética e de calcificação são fatores importantes para a avaliação das respostas adaptativas em condições ambientais distintas.

1.1. Objetivos

- Verificar qual a região do recife de Coroa Vermelha, Bahia (poças no platô recifal ou região do infralitoral), detém as melhores condições de calcificação utilizando como ferramenta de análise as variáveis físicas e químicas da água;
- Realizar experimentos em campo e laboratório comparando o metabolismo líquido e as taxas de calcificação entre as colônias de *S. stellata* que habitam o infralitoral e as poças de maré recifais para a avaliação das respostas adaptativas em condições ambientais distintas.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS FÍSICAS E QUÍMICAS PARA AVALIAR AS CONDIÇÕES DE CALCIFICAÇÃO DO RECIFE DE COROA VERMELHA.

Resumo

No recife de Coroa Vermelha, durante a maré baixa ocorre a formação de poças de maré no platô recifal e uma porção do recife que permanece submersa, o infralitoral. Estes locais estão sujeitos às variações de intensidade de luz, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, CID (carbono inorgânico dissolvido), $p\text{CO}_{2\text{água}}$ (pressão parcial do CO_2 na água, Ω_{arag} (ômega aragonita) que podem interferir no processo de calcificação. Entre os anos de 2006-2008 foram realizadas quatro coletas sendo duas em dias de chuva e duas em dias de sol. Mediram-se as variáveis físicas e químicas, e a concentração de nutrientes nas poças de maré recifais e na região do infralitoral. Diferenças significativas ($p < 0,05$) foram encontradas entre infralitoral e poças para as variáveis, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, CID, $p\text{CO}_{2\text{água}}$ e Ω_{arag} . Os valores de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e Ω_{arag} foram maiores nas poças onde provavelmente a atividade autotrófica foi mais intensa. Inversamente, a concentração de CID e a $p\text{CO}_{2\text{água}}$ foram significativamente menores nas poças. Exceto pela última campanha (dia de chuva), os valores da $p\text{CO}_{2\text{água}}$ nas poças não ultrapassou 240 μatm , sugerindo o fluxo do CO_2 da atmosfera para a água das poças, visto que atualmente a $p\text{CO}_{2\text{atm}}$ está em torno de 360 μatm . Os valores de temperatura, salinidade, CID, $p\text{CO}_{2\text{água}}$ medidos na água das poças variaram significativamente ($p < 0,05$) entre os dias de chuva e sol. Nos dias de sol as temperaturas foram significativamente maiores que nos dias de chuva. Já as concentrações de CID e a $p\text{CO}_{2\text{água}}$ foram significativamente maiores nos dias de chuva. Os valores $p\text{CO}_{2\text{água}}$ e Ω_{arag} nas poças foram mais constantes ($p > 0,05$), exceto pela coleta de jan/2008 (chuva). A concentração de nutrientes nas poças variou ao longo das campanhas. A água retida nas poças apresenta características físicas e químicas diferentes que a do infralitoral. A atividade autotrófica também pode estar contribuindo para esta condição quando reduz a $p\text{CO}_{2\text{água}}$, e em consequência disso aumenta estado de saturação da aragonita. Nas poças foram registrados os maiores valores Ω_{arag} e as temperaturas mais elevadas, variáveis relacionadas com a calcificação. As poças de maré em dias de sol podem ser mais favoráveis à calcificação.

Palavras-chave: recifes costeiros; variáveis físicas e químicas; nutrientes; CO_2 ; calcificação; ômega aragonita.

Abstract

Tidal pools and submerge areas appears during low tides in the Coroa Vermelha reef flat. Samples of seawater were collected in tidal pools at the reef flat and at the infralittoral near reef crest for analysis of the physico-chemical variables and nutrients concentrations in the sunny days (July 11, 2006; August 28, 2007) and rainy days (June 14, 2007; January 22, 2008). Changes in temperature, pH, dissolved oxygen (O_{2diss}), dissolved inorganic carbon (DIC), partial pressure of CO_2 of seawater ($pCO_{2\acute{a}gua}$) and the $CaCO_3$ saturation state (Ω_{arag}), were observed between the tidal pools and the infralittoral during the low tides. These changes potentially affect the calcification rate of the reefs. The temperature, pH, dissolved oxygen (O_{2diss}), pCO_{2water} and Ω_{arag} obtained in tidal pools were significantly higher than in infralittoral. Conversely, the concentration of CID and the pCO_{2water} were significantly higher in submerged zones. Indeed autotrophic activity is higher in the pools. Except in the last sampling, the pCO_{2water} does not exceed 240 μatm in the pools. These results suggest that the atmospheric fluxes of CO_2 may occur from the atmosphere to seawater retained in the pools. The values of temperature, salinity, CID, pCO_{2water} in the pools were significantly different between the sunny and rainy days ($p < 0,05$). In the pools the values of temperature were significantly higher in sunny days while CID concentration, were significantly higher in the rainy days. The values of the pCO_{2water} and Ω_{arag} in the pools were not significantly different between the collected days ($p > 0,05$), except by last survey in January 2008 (rainy day). The concentration of dissolved nutrients in the pools presented great variation along the surveys while at the infralittoral was more stable. The activity of autotrophic organisms can be contributing to this condition, decreasing the $pCO_{2\acute{a}gua}$, and increasing the aragonite saturation state. The higher values of temperature and Ω_{arag} were recorded in the tidal pools. Tidal pools can be more favorable to calcification, especially during sunny days.

Keywords: nearshore reefs; physico-chemical variables; nutrients; CO_2 ; calcification, saturation state of aragonite.

2.1 INTRODUÇÃO

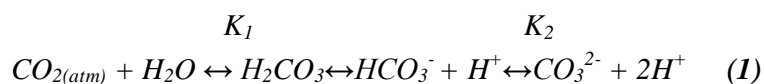
Nos recifes rasos, durante a maré baixa poças de maré recifais são encontradas no platô recifal exposto. A água que fica estagnada nas poças sofre modificações nas principais variáveis físicas e químicas e está sujeita às variações de intensidade de luz, temperatura e salinidade (Reid, 1967). Geralmente a taxa de evaporação é mais alta nas poças tornando a salinidade mais elevada, ou em períodos chuvosos diminuindo a concentração salina (Reid, 1967). Devido ao volume reduzido, a água nas poças de maré pode alcançar temperaturas bem mais elevadas quando comparadas às águas litorâneas durante os períodos mais quentes do ano.

A porção do recife permanentemente submerso é definida como infralitoral. Os processos de mistura e o grande volume de água permitem ao infralitoral uma maior estabilidade das suas variáveis (Knoppers & Moreira, 1988). As poças de maré recifais e a região do infralitoral apresentam diferenças nos principais parâmetros físicos e químicos: temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e CID (carbono inorgânico dissolvido) (Huggett & Griffiths, 1968; Nybakken, 1993), e podem responder diferentemente quando comparados às taxas metabólicas líquidas e de calcificação.

Em diversos estudos têm-se reportado o evento do aquecimento das águas oceânicas superficiais e os possíveis efeitos nas comunidades coralíneas recifais. De'ath et al. (2009) reportaram o declínio na calcificação das colônias de *Porites* coletadas na Grande Barreira de Corais da Austrália. Os mesmos autores apresentaram uma relação linear da temperatura com a calcificação, entretanto eles sugeriram, apesar de ainda incerto, que o decréscimo na calcificação poderia ser em resposta à diminuição no estado de saturação da aragonita e ao aumento anômalo da temperatura. Muitas espécies de corais são tolerantes a temperaturas mais elevadas e atingem o máximo de calcificação acima de 25°C (Abramovitch-Gottlib et al., 2002; Howe & Marshall, 2002). As poças de maré recifais devido a sua extensão e volume reduzidos, durante os períodos mais quentes, registram temperaturas mais elevadas o que seria favorável á calcificação, entretanto, não está claro como a rápida elevação da temperatura pode afetar os corais.

Organismos calcificadores, mobilizam o cálcio (Ca^+) e o carbono inorgânico dissolvido (CID) presentes na água do mar para formação dos seus esqueletos e estruturas calcária. A concentração desses elementos na água do mar é um fator crucial para o metabolismo e calcificação nos recifes. Além dos organismos calcificadores, existe uma diversidade de organismos autotróficos (microfitobentos, macroalgas) que utilizam CID em suas atividades metabólicas.

O CID é o somatório de todas as formas carbonatadas (equação (1)): o CO_2 aquoso ou dissolvido, bicarbonatos (HCO_3^-) e carbonatos (CO_3^{2-}) (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001). Em águas marinhas predominam (Fig. 1) os íons bicarbonatos (86,5%) e carbonatos (13%) e em bem menor quantidade o CO_2 aquoso (0,05%) (Gattuso et al., 1999; Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001).



Os estuários são os principais exportadores de CID para as regiões costeiras e assim tornam-se as principais fontes de carbono inorgânico dissolvido para os recifes rasos e costeiros. Outros processos como as trocas gasosas de CO_2 entre a superfície dos oceanos e a atmosfera, a reação de degradação da matéria orgânica, processos de fermentação, calcificação, descalcificação alteram o CID no sistema recifal marinho.

Grande parte do CO_2 que entra em contato com a superfície dos oceanos, seja ele por meio da difusão atmosférica ou gerado ao final de alguma reação, rapidamente reage com a água formando o ácido carbônico (H_2CO_3). Considerado um ácido fraco, o ácido carbônico se dissocia liberando H^+ e bicarbonato (HCO_3^- , ver equação 1). O H^+ liberado contribui para a diminuição do pH da água, entretanto parte do H^+ produzido é neutralizado principalmente pelas formas carbonatadas presentes (Carmouze, 1994). Essa capacidade de capturar prótons proporciona à água do mar um eficiente sistema de tamponamento. Segundo Sillén (1961) apud Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001, somente após a adição de 3 mmols de H^+ por kg na água do mar será visível à diminuição dos valores de pH. O aumento excessivo na concentração de CO_2 dissolvido na água do mar torna o pH mais ácido com redistribuição das espécies carbonatadas. A especiação química dos carbonatos é extremamente dependente do pH.

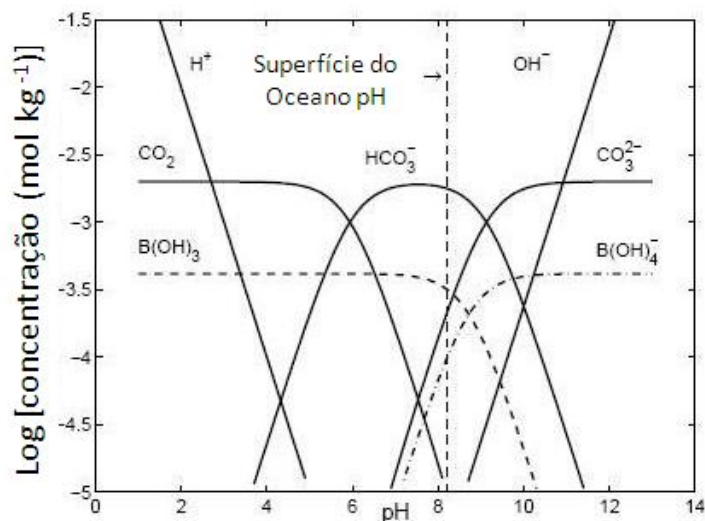


Figura 1. Diagrama de Bjerrum para a concentração das formas carbonatadas e CO₂ dissolvido na água do mar. Fonte: Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001 modificado.

O pH da superfície dos oceanos está em torno de 8,2 predominando o bicarbonato em 86,5% do CID.

O fluxo de CO₂ através da interface atmosfera - água do mar é controlado pela diferença entre a pressão parcial do CO₂ atmosférico (pCO_{2atm}) e a pressão parcial do CO₂ na água do mar (pCO_{2água}) (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001). A concentração do CO₂ é dada pela lei de Henry, onde K₀ é o coeficiente de solubilidade do CO₂ na água que varia com a temperatura, salinidade e pressão da água. Do mesmo modo, as constantes de equilíbrio do ácido carbônico (K₁ e K₂) dependem da temperatura, salinidade, e pressão (Gattuso et al., 1999). A diminuição dessas variáveis têm como resultado o aumento das constantes de dissociação do ácido carbônico (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001).

A pCO_{2atm} está em equilíbrio com a superfície dos oceanos, porém a atividade biológica modifica esta condição (Adey & Small, 2000) e num curto espaço de tempo, tal camada de água encontra-se sub ou super saturada de CO₂ (Gattuso et al., 1999). Ainda segundo Gattuso e colaboradores (1999), a superfície dos oceanos é super saturada em relação à aragonita. O estado de saturação da aragonita (Ω) (equação (2)) é definido em razão do produto da atividade iônica pelo produto da solubilidade (Kps) (Houghton et al., 1996; Kleypas et al., 1999; Gattuso et al., 1998-b).

$$\Omega = \frac{[Ca^{+2}] \times [CO_3^{2-}]}{Kps (arg)} \quad (2)$$

Quando o $\Omega < 1$, a solução está sub-saturada favorecendo a dissolução, e quando $\Omega > 1$, a solução está supersaturada com a formação do mineral favorecida (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001).

O balanço de carga qualifica a água do mar como um sistema de tamponamento que pode ser medido através da alcalinidade total (AT) (Carmouze, 1994). A alcalinidade de uma amostra d' água é definida como a capacidade da mesma em neutralizar prótons (H^+). Nos oceanos, além das formas carbonatadas, estão presentes os boratos na forma de bases $B(OH)_4$, que representam 3% da alcalinidade total (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001). Os íons menores contribuem com uma pequena porcentagem nas águas marinhas, portanto a alcalinidade total (TA) é aproximadamente igual à alcalinidade dos carbonatos (Carmouze, 1994). Leclercq et al. (2000) demonstraram haver uma relação inversa entre a pressão parcial de CO_2 e o estado de saturação da aragonita (Ω_{arag}).

Mudanças globais como o aumento da temperatura e da pCO_{2atm} , além da diminuição do pH e estado de saturação da aragonita podem prover significativos efeitos no ciclo do carbono e carbonatos nos recifes de corais (Gattuso et al., 1999; Houghton, et al., 1996).

O crescente aumento de queimadas e principalmente a queima de combustível fóssil têm aumentado a pCO_{2atm} e a temperatura na superfície dos oceanos (Gattuso et al., 1998b). O aumento da concentração de CO_2 dissolvido diminui o pH e a concentração de carbonatos $[CO_3^{2-}]$ por restrições termodinâmicas, conseqüentemente provocando uma diminuição no estado de saturação da aragonita (Gattuso et al., 1999). Além disso, de acordo com o protocolo de Kyoto, estima - se que se não houver redução de queimas, em 2060 a pCO_{2atm} alcançará o dobro dos níveis pré-industrial aumentando a acidificação na camada superficial dos oceanos, podendo causar um declínio nas taxas de calcificação dos corais (Pittock, 1999).

Nutrientes, matéria orgânica e CID são lançados ao litoral pelas desembocaduras de rios (Itekkot et al., 2000; Atkinson et al., 2004) e alcançam os recifes próximos à linha de costa. A entrada alóctone fornece nutrientes aos organismos autotróficos e matéria orgânica aos heterotróficos e decompositores (Begon et al., 2007). Entretanto altos valores de nutrientes podem sinalizar um estado avançado de eutrofização (Costa Jr et al., 2000; Itekkot et al, 2000; Costa Jr et al., 2006). A avaliação do estado eutrofizado requer, além da análise de nutrientes, informações acerca dos processos exercidos pela biota e a análise de outras formas dos elementos biogênicos (Carmouze, 1994).

Em recifes de corais, a concentração de oxigênio dissolvido na água é grandemente modificada pelas comunidades biológicas durante o período de 24 horas (Kraines et al., 1997).

O método do teor de O_2 é importante para definir os fluxos que controlam a oxigenação do meio (Carmouze, 1994).

As comunidades biológica e principalmente as comunidades calcificadoras alteram o ciclo biogeoquímico do carbono, as concentrações de nutrientes e de oxigênio dissolvido na água do mar. As condições fisiológicas dos organismos também são afetadas pelas variações ambientais. A caracterização dos ambientes recifais engloba uma complexidade de fatores composta do produto da atividade biológica e dos processos físicos e químicos.

2.1.1 Objetivos

2.1.2 Objetivo geral

Caracterização hidroquímica da água e concentração de nutrientes nas poças de maré recifais e região do infralitoral para avaliar as condições de calcificação no recife costeiro de Coroa Vermelha.

2.1.3 Objetivos específicos

- Medir as variáveis pH, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido nas poças de maré recifais e região do infralitoral em dias de chuva e sol;
- Calcular o total de carbono inorgânico dissolvido (CID), alcalinidade total (AT), e ômega aragonita (Ω) em cada poça de maré recifal selecionada e nas amostras do infralitoral nos dias de chuva e sol;
- Obter a concentração dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito, nitrato, amônia, fosfato, e silicato) nas poças de maré recifais e infralitoral durante os dias de chuva e sol.

2.2 MATERIAIS E MÉTODO

2.2.1 Área de estudo

O litoral sul da Bahia é o local de maior diversidade e abundância de corais do Atlântico Sul (Castro & Pires, 2001). Apesar da baixa diversidade de espécies de corais em relação aos recifes caribenhos e do pacífico, o litoral sul da Bahia detém a maior concentração de corais endêmicos do Brasil. Do ponto de vista geomorfológico, o município de Santa Cruz de Cabrália e suas formações recifais estão incluídos no setor V da linha de costa do estado da Bahia que se estende da cidade de Ilhéus até o município de Caravelas (Bittencourt et al., 2000). Esta zona costeira é caracterizada não só pela formação Barreira, mas também pela presença de planícies quarternárias (recifes de corais, arenito de praia, depósitos praias e lagunares) (Bittencourt et al., 2000; Dominguez et al., 2002).

A cidade de Santa Cruz de Cabrália localiza-se no extremo sul da Bahia a 22 km da cidade de Porto Seguro. Banhada pela bacia do rio Buranhém e São João de Tiba, essa região é caracterizada pelo alto índice pluviométrico superior a 1.400 mm sendo então considerado como grau úmido (Lopes & Bonfim, 2000). A variabilidade das chuvas retrata o ritmo climático da região alternando em períodos de chuva e seca, apesar de não haver um só mês com índice pluviométrico médio inferior a 60 mm (Lopes & Bonfim, 2000).

O tipo de clima desta região é considerado tropical quente e úmido e o regime pluviométrico confere o caráter tropical (Aouad, 1998). A temperatura média anual é de 24,40°C variando entre mínimo de 21,3°C e máximo de 28,0°C (Lopes & Bonfim, 2000).

O sistema recifal de Coroa Vermelha (16°39'54"S e 39°00'00"W) está situado na cidade de Santa Cruz de Cabrália é formado por estruturas descontínuas paralelas à costa, unida ao litoral por um tómbolo de areia. Nas laterais deste, há o desenvolvimento de pradarias sob substrato lodoso. Nas proximidades do recife encontram-se terras úmidas, banhados, brejos manguezais e pequenos rios (Fig. 2). O recife de Coroa Vermelha cresce sobre um cordão de arenito de praia submerso, localizado a dez metros de profundidade (Leão, 1994). Durante a preamar o platô recifal de Coroa Vermelha torna-se exposto

permitindo a formação de poças de marés recifais. Tais poças variam em extensão e volume, entretanto encontram-se poças de tamanhos similares. Estas poças são habitadas por uma diversidade de organismos autotróficos, heterotróficos, calcificadores, e decompositores. A borda do recife de Coroa Vermelha atinge aproximadamente 10 metros de profundidade e a porção permanentemente submersa é definida aqui como porção do infralitoral. Nesta porção do recife colônias de corais distribuem-se por toda lateral do recife até bem próximo ao fundo arenoso.

A proximidade do recife de Coroa Vermelha à área de urbanização pode tornar-lo mais susceptível ao impacto por eutrofização mediante a saída de efluentes domésticos não tratados (Costa Jr. et al., 2006).

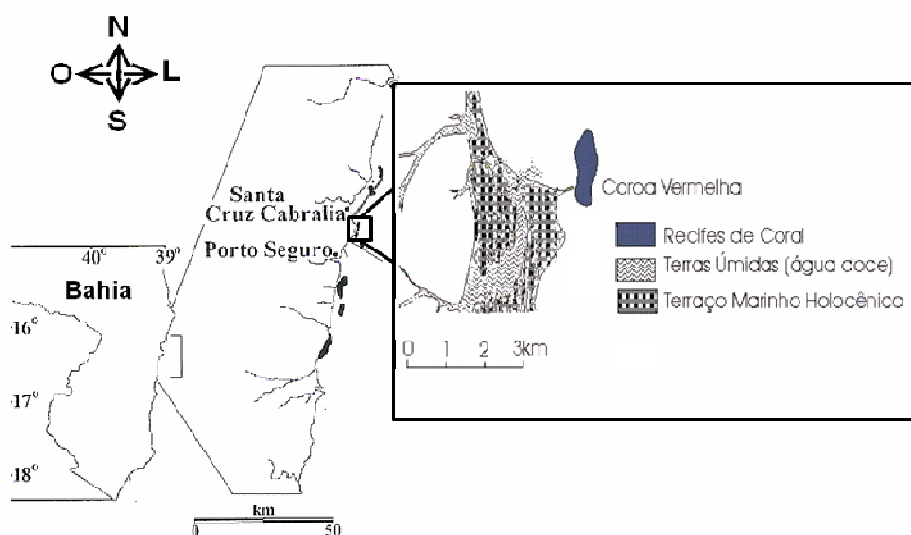


Figura 2. Localização do recife de coral Coroa Vermelha situado na cidade de Santa Cruz de Cabrália, Bahia, Brasil. Porção em destaque: recife de coral, terras úmidas e terraço marinho Holocênico. Fonte: Costa Jr. (2006) e Dominguez et al. (2002), modificado.

2.2.3 Campo

As coletas foram realizadas entre os anos de 2006–2008 nos dias 11 de julho de 2006 (dia de sol), 14 de junho de 2007 (dia de chuva), 28 de agosto de 2007 (dia de sol), e 22 de janeiro de 2008 (dia de chuva) no recife de Coroa Vermelha. As amostras foram coletadas ao

final do período de emersão do recife. Na primeira coleta o tempo de isolamento das poças no recife foi de 3: 25 horas, na segunda coleta, 2: 45 horas, para a terceira coleta 3: 30 horas. Na última coleta no dia 22 de janeiro de 2008, foi registrado o menor tempo de exposição do recife, 1: 50 horas e algumas poças permaneceram conectadas às águas adjacentes do recife não havendo o total isolamento das mesmas.

Para a escolha das poças a serem amostradas, um transecto foi plotado em linha reta no sentido tómbolo (porção de areia que liga a praia ao recife) borda externa do recife. Em todas as campanhas foram selecionadas de seis a oito poças marcadas a cada dez metros ao longo do transecto (Fig. 3). Conforme a Fig. 3, a seta “A” indica um pequeno estuário, e a seta “B” entrada de efluentes domésticos. Os pontos situados acima da letra “P” representam as poças selecionadas ao longo do transecto.

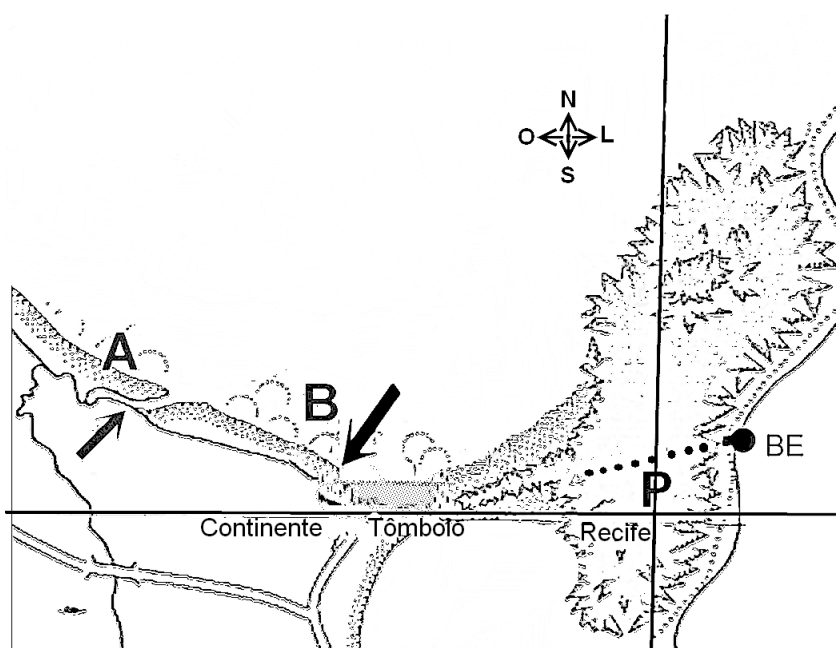


Figura 3. Croqui do Recife de Coroa Vermelha. Setas indicam foz de estuário (A) e saída de efluentes domésticos (B). Os pontos acima da letra P indicam as poças de maré recifais amostradas, e o círculo preto, o local de amostragem para a caracterização do infralitoral na borda externa do recife (BE).

Com o intuito de representar o infralitoral foram escolhidos de um a três pontos de coleta na porção do recife que se mantinha permanentemente submerso. Tais pontos foram amostrados a aproximadamente um metro e meio de distância da borda externa (BE) do recife emerso e a um metro e meio de profundidade (Fig. 3). Nas poças e pontos do infralitoral selecionados foram determinadas em campo as variáveis físico-químicas: temperatura, salinidade, pH, e oxigênio dissolvido. Além disso, amostras de água para a análise da

alcalinidade total foram coletadas utilizando seringas de 20 ml envenenadas com solução saturada de cloreto de mercúrio (Carmouze, 1994) para posterior análise laboratorial.

As amostras de nutrientes foram obtidas para cada uma das poças e pontos do infralitoral selecionados. Frascos de polietileno previamente lavados com HCl e NaOH foram utilizados na armazenagem das amostras de água para nutrientes. As referidas amostras foram filtradas ainda em campo com o auxílio de um kit de filtração rápido dotado de seringa de plástico (20 ml) acoplado a um suporte contendo filtro de fibra de vidro Whatmann GF-C. Após a filtração e armazenagem as amostras foram resfriadas.

Valores de pH (escala NBS), salinidade e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) da água foram obtidos utilizando um medidor digital portátil WTW Multiline P4. Dados de oxigênio dissolvido (mg/L) foram obtidos através do oxímetros Hanna HI9143 e YSI.

2.2.4 Laboratório

As amostras foram processadas no laboratório de Oceanografia Química situado na Universidade Estadual de Santa Cruz.

A alcalinidade das amostras foi obtida pela titulação com HCl 0,0100N seguindo o método proposto por Gran. A alcalinidade total das amostras foi calculada a partir do programa ALCACARB. BAS (Carmouze, 1994).

A alcalinidade dos carbonatos (CID) assim como os valores da pressão parcial do CO_2 na água do mar ($\text{pCO}_{2\text{água}}$) e ômega aragonita (Ω_{arg}) foram calculadas por um modelo de associações iônicas, CO2SYS.EXE, baseado nos dados de alcalinidade total, pH, salinidade, temperatura (Carmouze, 1994). Foram utilizadas neste programa as opções de K1 e K2 (constantes de solubilidade) de Merzbach, replotadas por Dickson & Millero (1987).

Os procedimentos para a determinação das concentrações dos nutrientes, nitrito, nitrato, amônia, fosfato e silicato presentes nas poças e pontos do infralitoral estão descritos em Grasshoff et al. (1983), e seguem o método espectrofotométrico.

2.2.5 Análise estatística

A estatística não paramétrica, teste de Mann-Whitney (U), foi utilizada para comparar as variáveis físico-químicas coletadas nas poças de maré recifais e no infralitoral levando em conta apenas a variação espacial ao nível de 95% de significância.

O teste Kruskal Wallis, foi utilizado apenas nas poças de maré recifais para avaliar as mudanças ocorridas nas variáveis temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido, CID, Ω_{arag} , AT e $\text{pCO}_{2\text{água}}$ durante os dias de chuva e sol. Tal análise não foi feita para a região do infralitoral visto que, em algumas campanhas o “N” amostral foi insuficiente.

Foi feita a estatística descritiva (valores de máximo, mínimo, média e desvio padrão) das variáveis físicas e químicas coletadas no infralitoral para avaliar as diferenças sazonais quando pertinentes.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Variáveis físicas e químicas

A Tab. 1 exibe o valor médio total, desvio padrão e os valores, máximo e mínimo em resposta ao somatório das quatro coletas para cada variável mensurada no infralitoral e poças de maré recifais. O agrupamento das coletas fez-se necessário para testar as prováveis diferenças hidroquímicas entre a região infralitoral e as poças. O volume de água reduzido nas poças e o isolamento das mesmas caracterizam um novo ambiente durante a preamar havendo mudança na estrutura do ecossistema que independe dos dias de chuva e sol.

Os valores médios de temperatura da água, pH, $\Omega_{\text{aragonita}}$ e a concentração de oxigênio dissolvido ($O_{2\text{diss}}$ mg/l) foram mais elevados nas poças (Tab. 1). Inversamente os valores médios de $pCO_{2\text{água}}$, e CID coletados nas poças foram menores que no infralitoral. Foi observado que no infralitoral as medidas das variáveis físicas e químicas foram mais constantes, ou seja, sofreram menores oscilações em torno da média quando comparada às poças, exceto pela variável $pCO_{2\text{água}}$. O valor máximo de temperatura registrado no infralitoral foi apenas $0,5^{\circ}\text{C}$ mais elevado que o valor mínimo de temperatura registrado na água das poças. O valor mínimo de pH registrado nas poças foi igual ao valor máximo de pH amostrado no infralitoral. Nas poças de marés a concentração média de $O_{2\text{diss}}$ foi duas vezes maior que no infralitoral. O valor médio da $pCO_{2\text{água}}$ no infralitoral foi o dobro do registrado nas poças de maré recifais.

Tabela 1 - Valores máximo (máx.), mínimo (mín.), média (méd.) e desvio padrão (dp) das variáveis físico-químicas, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade, pH (NBS), total de oxigênio dissolvido ($\text{O}_{2\text{diss}}$ mg/L), carbono inorgânico dissolvido (CID $\mu\text{mol/L}$), e $\Omega_{\text{aragonita}}$ encontrados na água de poças de maré recifais e infralitoral agrupando todas as campanhas. Recife de Coroa Vermelha.

Variáveis	POÇA						INFRA					
	n	máx	mín	méd	\pm	dp	n	máx	mín	méd	\pm	dp
<i>T^o</i>	28	32	25,8	28,3	\pm	2,16	9	26,3	2,8	25,3	\pm	1,03
<i>SAL</i>	28	37	32,3	35	\pm	1,5	9	36	35	35,6	\pm	0,67
<i>PH</i>	28	8,8	8,1	8,43	\pm	0,13	9	8,1	7,1	8,0	\pm	0,3
<i>O_{2diss}mg/L</i>	13	14	9	12,0	\pm	1,10	5	7,8	6,2	6,3	\pm	0,69
<i>PCO₂água</i>	27	336	69	176,64	\pm	89,2	4	545,95	292,22	39,84	\pm	90,52
<i>CID$\mu\text{mol/l}$</i>	28	1928,15	1133,5	1542,5	\pm	215,18	8	2084,7	155,8	1887,5	\pm	196,76
<i>$\Omega_{\text{aragonita}}$</i>	28	6,0	2,7	4,78	\pm	1,04	8	4,58	0,51	2,25	\pm	1,14

Com exceção dos valores de salinidade, as demais variáveis físicas e químicas amostradas diferiram significativamente entre as regiões de poças de maré recifais e infralitoral (variação espacial) no recife de Coroa Vermelha em 95% de significância. A temperatura da água, o valor de pH, Ω_{arag} e a concentração de $\text{O}_{2\text{diss}}$ foram significativamente mais elevados nas poças. Inversamente os valores de $\text{pCO}_{2\text{água}}$ e CID amostrados nas poças foram significativamente menores que no infralitoral.

Entre dias de chuva e sol foram observadas nas poças de maré, mudanças significativas ($p < 0,05$) em algumas variáveis físicas e químicas em 95% de significância. (Fig. 4). Nos dias de sol, o pequeno volume de água residente nas poças sofreu um rápido aquecimento. A temperatura mais elevada foi registrada na campanha de agosto/2007 enquanto a salinidade expressou valores semelhantes à água de mistura. Os menores valores de temperatura foram medidos no dia de chuva em janeiro/2008 e significativamente diferente comparado aos outros dias de coleta. As variações significativas também foram observadas para o CID e $\text{pCO}_{2\text{água}}$. Já os valores de pH e $\text{O}_{2\text{diss}}$ foram mais constantes nas três primeiras coletas assim como o Ω_{arg} e não diferiram significativamente, exceto na última coleta. Os valores de pH sinalizam para uma possível relação com o aumento do O_2 dissolvido (Fig. 4).

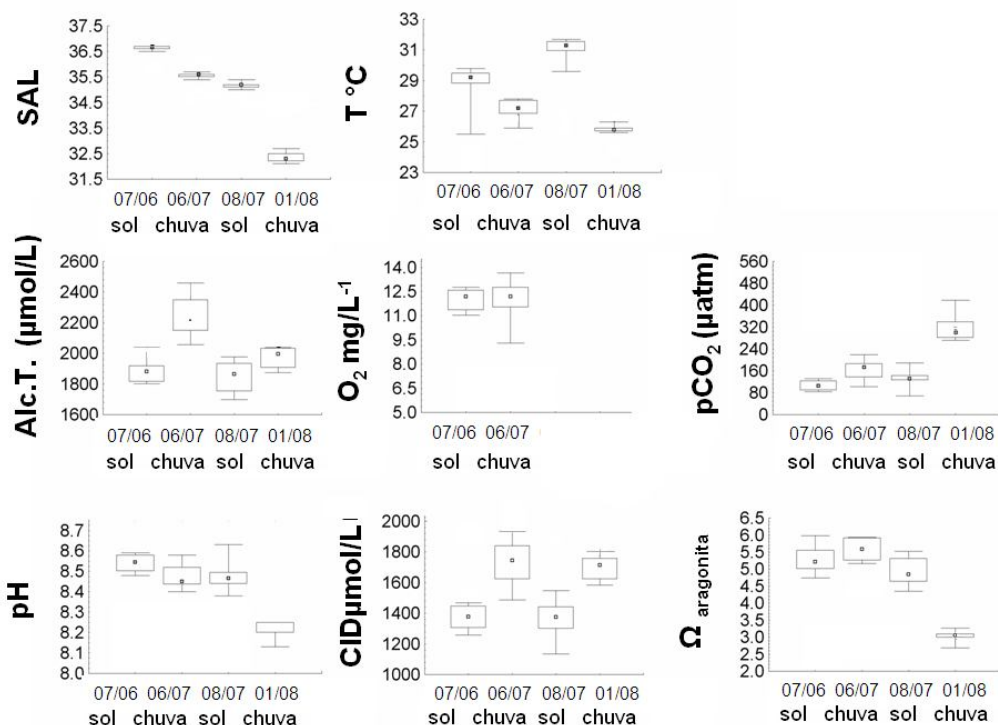


Figura 4. Mediana, máximo e mínimo das variáveis físicas e químicas salinidade (SAL), temperatura (T°), pH (pH), oxigênio dissolvido (O_2 mg/L), pressão parcial do CO_2 na água (pCO_2 água), ômega aragonita ($\Omega_{aragonita}$) e total de carbono inorgânico dissolvido (CID) em poças de maré recifais. Número de poças amostradas por campanha (n): em julho/2006 n = 6 (dia de sol), junho/2007 n = 8 (dia de chuva), agosto/2007 n = 8 (dia de sol), janeiro/2008 n = 6 (dia de chuva).

Exceto pela última coleta, nos demais períodos amostrados o valor máximo da pCO_2 água calculada para poças esteve abaixo de $240\mu atm$. Além disso, observou-se uma relação inversa entre pCO_2 água e Ω_{arg} calculados para ambos os ambientes.

A concentração do CID menor nas poças reflete a remoção do mesmo. Nos dias de chuva (junho/2007 e janeiro/2008) a concentração de CID foi superior às concentrações nos dias de sol (Fig. 4).

2.3.2 Nutrientes inorgânicos

As concentrações em $\mu\text{mol/L}^{-1}$ dos nutrientes inorgânicos (fosfato, silicato, nitrito, nitrato e amônia) coletados nas poças de maré e infralitoral durante as quatro campanhas realizadas estão dispostas na Fig. 5.

Pode-se observar ao longo de todas as campanhas que o fosfato foi o nutriente em menor concentração variando entre 0,02 a 0,8 $\mu\text{mol/L}^{-1}$ e o silicato o de maior concentração com valores entre 3,2 e 14,2 $\mu\text{mol/L}^{-1}$ na água das poças. Nos pontos do infralitoral as concentrações mantiveram-se dentro dessas faixas.

A concentração de amônia variou entre 20 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a valores não detectáveis e os valores de nitrato também variaram entre 4,32 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a valores não detectáveis na água das poças. Nos pontos do infralitoral as concentrações de amônia e nitrato mantiveram-se dentro ou bem próximos dessas faixas.

A concentração de nitrito variou entre 0,2 a 2,8 $\mu\text{mol L}^{-1}$ nas poças e no infralitoral as concentrações de nitrito também se manteve dentro ou bem próximos dessa faixa.

As concentrações de silicato foram mais constantes nas poças e não diferiram significativamente entre os diferentes dias de coleta ($p > 0,05$). Já as concentrações de fosfato, nitrito, nitrato e amônia diferiram significativamente ao longo das campanhas na água das poças ($p < 0,05$). As concentrações mais baixas de amônia ocorreram em ago/2007 (dia de sol) e jan/2008 (dia de chuva). Inversamente, nos meses citados acima foram observadas as maiores concentrações de nitrito. As concentrações mais altas de nitrato foram observadas em jul/2006 (dia de sol) e em jan/2008 (dia de chuva).

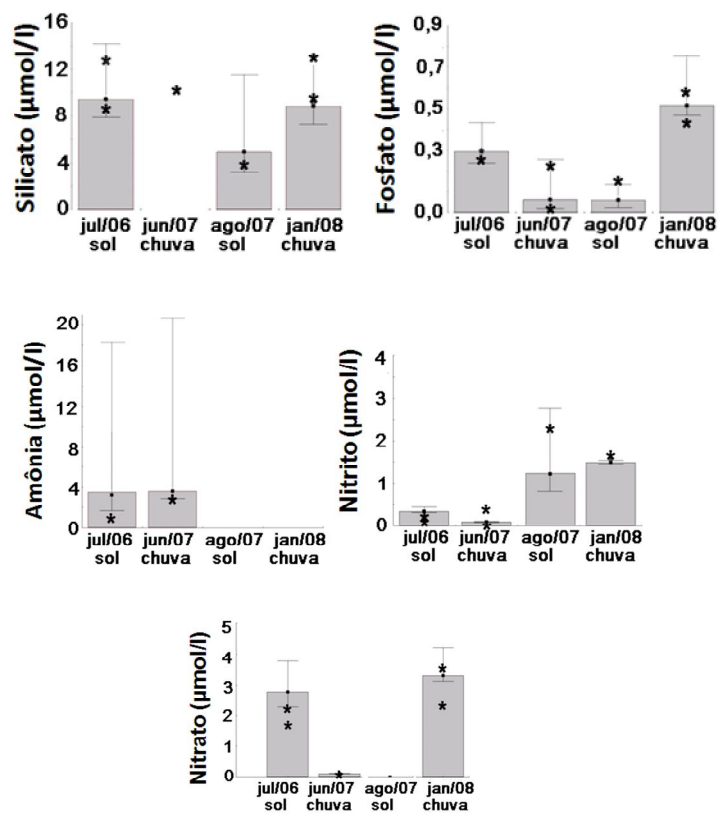


Figura 5. Concentração de nutrientes nas poças de maré recifais (valores máximos, mínimos e medianas) e em cada ponto amostrado na região do infralitoral (*) durante as coletas em dias de chuva e sol no recife de Coroa Vermelha. As amostras de silicato coletadas nas poças em jun/2007 (dia de chuva) foram perdidas.

2.4 DISCUSSÃO

2.4.1 Variáveis físicas e químicas

Os valores de salinidade registrados nas poças e infralitoral nos dias amostrados refletiram a influência da água doce devido à proximidade de pequenos rios e estuários ao recife de Coroa Vermelha. Além da influência da água doce (rios, estuários) Costa Jr. et al. (2006), sugeriram ser provável que águas subterrâneas aflorem do lenço freático diminuindo a salinidade nas poças de maré no recife de Coroa Vermelha. Somando-se a todos esses fatores os valores de salinidade nas poças e infralitoral foram similares até mesmo nos dias de sol quando provavelmente a evaporação é mais intensa nas poças, mas aqui insuficiente para modificar a concentração salina em relação ao infralitoral. Já Kraines (1995) *apud* Kraines 1997, atribuiu diferenças na salinidade entre a porção rasa do sistema recifal da baía de Bora (com salinidade mais elevada) e a região oceânica adjacente durante as marés de sizígia, à maior evaporação ocorrendo nas águas mais rasas e elevando significativamente a salinidade.

As diferenças encontradas entre a temperatura da água nas poças de maré e na região do infralitoral observadas nos diferentes períodos de coleta são resultado do isolamento das poças e seu volume de água reduzido. O volume de água nas poças é bem menor do encontrado no infralitoral e em consequência disso às mudanças são mais perceptíveis durante o período de exposição do recife. Mesmo nos dias de chuva a temperatura da água aumentou consideravelmente e foi mais elevada em praticamente todas as poças em relação ao infralitoral, exceto na última coleta (jan/2008, Fig. 5) quando houve uma menor amplitude de maré e algumas poças permaneceram conectadas com a região do infralitoral.

Na última coleta, o tempo de exposição do recife em resposta a diminuição na amplitude de maré, pode ter sido insuficiente para que os processos físicos e biológicos alterassem a condição de poça em relação ao infralitoral. Além disso, a condição de conectividade das poças com o infralitoral também favoreceu as discrepâncias das variáveis, salinidade, temperatura, pH, Ω_{arag} e da pCO_2 em relação aos outros dias de coleta.

A temperatura é um importante fator que influencia a calcificação nos corais. A temperatura máxima registrada na água das poças ao longo de todas as campanhas alcançou 32°C e o mínimo registrado foi de 25,8°C. As taxas de calcificação nos recifes geralmente

aumentam com a elevação da temperatura (Howe & Marshall, 2002). Alguns autores reportaram o máximo de crescimento em corais ocorrendo na faixa de temperatura entre 25–28°C (Clausen & Roth, 1975; Kajiwara et al., 1995) e acima de do intervalo de 29–31°C podem causar um declínio na calcificação de algumas espécies (Abramovitch-Gottlib et al., 2002). Já Marshall & Clode, (2004) em estudos feitos em laboratório registraram o máximo de calcificação ocorrendo em temperatura de 25°C para a espécie *Galaxea fasciculares* (Linnaeus, 1767). A temperatura da água nas poças de maré nos Recifes de Coroa Vermelha está na faixa 25,8 – 32°C, podendo haver períodos de maior favorecimento da calcificação com o aumento da temperatura em relação à região do infralitoral com temperaturas mais baixas (23,8°C – 26,3°C) para algumas espécies de coral. Entretanto nenhum estudo prévio foi realizado com a espécie de coral *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868) (que habita as poças de maré e infralitoral no recife de Coroa Vermelha) referentes às suas taxas de calcificação e as mudanças na temperatura.

De'ath et al. (2009) estudando a calcificação em *Porites* (Link, 1807) nos recifes da Grande Barreira de recifes da Austrália reportaram que, em anos com temperaturas anômalas há um aumento mas também o declínio da calcificação em anos com temperaturas elevadas.

A concentração de oxigênio dissolvido foi maior nas poças (Tab. 1) e essa adição de oxigênio pode ser resultado da atividade foto/e ou quimiossintética. O recife de Coroa Vermelha destaca-se pela presença de pequenas e diversas colônias dos corais *S. stellata* e *F. grvida* dispostas ao longo de todo o platô recifal. Além dos corais zooxantelados, macroalgas, fitoplâncton e o microfitobentos habitam as poças de maré e constituem o grupo dos autotróficos. Outras espécies de corais zooxantelados mais sensíveis às variações ambientais estão presentes na região do infralitoral, onde a concentração de O_{2diss} foi quase a metade do valor registrado nas poças.

Nas poças de maré a água retida permanece estagnada por aproximadamente três horas no período de baixamar. Segundo estudos feitos por Nakamura et al. (2001), a estagnação da água restringiria as trocas de massa entre os corais e a camada circundante de água prejudicando o metabolismo do mesmo devido ao acúmulo de toxinas dentro dos corais. Ainda segundo Nakamura et al. (2001), em locais com pouca circulação de corrente e altos índices de radiação (o caso das poças), as colônias estariam mais susceptíveis ao efeito de branqueamento em consequência da degradação dos pigmentos fotossintetizantes. Entretanto o que se vê nas poças de maré recifais de Coroa Vermelha são elevados teores de O_{2diss} .

O predomínio da atividade autotrófica maior nas poças pode ser justificado pelos valores mais elevados de pH e as menores concentrações de CID e da $pCO_{2\text{água}}$. Isto sugere o

maior consumo do CID pelos autotróficos e possivelmente para *S. stellata* que detém uma grande capacidade adaptativa.

Durante a produção da matéria orgânica (ex, fotossíntese e /ou quimiossíntese) parte do CID é removido, elevando o pH da água (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001) e diminuindo pontualmente a $p\text{CO}_2$ na água. Nos dias atuais a pressão parcial do CO_2 atmosférica ($p\text{CO}_{2\text{atm}}$) é de aproximadamente $360\mu\text{atm}$. No presente estudo o valor médio da $p\text{CO}_2$ água da poça foi de $176 \pm 89 \mu\text{atm}$, enquanto a $p\text{CO}_2$ água do infralitoral expressou valor médio de foi de $397 \pm 90 \mu\text{atm}$. Esta diferença entre a $p\text{CO}_{2\text{água}}$ nas poças e a $p\text{CO}_{2\text{atm}}$ pode induzir o fluxo de CO_2 no sentido atmosfera - água do mar. Os recifes de corais dominados por algas e microfítobentos, onde a comunidade calcificadora é pouco expressiva, atuam como sumidouros de carbono diminuindo a $p\text{CO}_2$ (Kayanne et al., 1995; Gattuso, et al.,1997).

O aumento da concentração de dióxido de carbono e da pressão parcial de CO_2 tem um efeito negativo na calcificação de corais como resultado do decréscimo do estado de saturação da aragonita (Gattuso et al., 1998b; Gattuso et al., 1999; Leclercq et al., 2000). Baseado nisso, o processo de calcificação pode ser favorecido nas poças de maré recifais onde a $p\text{CO}_{2\text{água}}$ é menor que no infralitoral.

Estudos realizados por Gattuso et al. (1998b), relata que a calcificação parece aumentar exponencialmente quando o Ω_{arag} alcança 100% (ou =1) e atinge um platô ao chegar aos 300% de saturação. Os mesmos autores calcularam que a calcificação seria zero quando o estado de saturação fosse de 66%, entretanto outros autores registraram corais calcificando a uma saturação de 50%. No presente estudo o estado de saturação da aragonita tem uma relação direta com o aumento do pH e inversa com o aumento da $p\text{CO}_{2\text{água}}$.

No contexto geral, principalmente nos dias de sol onde a atividade autotrófica certamente a mais intensa, e são observados os menores valores de $p\text{CO}_{2\text{água}}$, maiores valores de pH, Ω_{arag} , temperatura e $\text{O}_{2\text{diss}}$ pode-se sugerir que as poças de maré detém uma melhor condição para a calcificação.

2.4.2 Nutrientes

As concentrações dos nutrientes amostrados nas poças de maré e na região do infralitoral durante as marés baixas estiveram dentro de uma mesma faixa de concentração ou com valores bem próximos, sugerindo uma homogeneidade na distribuição dos nutrientes entre os locais amostrados. Costa Jr et al. (2006) caracterizaram a distribuição dos nutrientes no recife de Coroa vermelha e constataram que a concentração não variou entre as amostras de água coletadas sobre o platô e nas amostras de superfície próximas à crista do recife. Estes

mesmos autores sugeriram que essa homogeneidade é justificada pelo afloramento de águas subterrâneas que percolam entre os poros do recife calcário servindo como fonte das espécies nitrogenadas e distribuindo-as ao redor do recife.

Nos recifes rasos, durante as marés baixas, a reciclagem de nutrientes feita pelos autotróficos e heterotróficos não ocorre rapidamente e é limitada pela transferência de massa entre as camadas circundantes às superfícies dos organismos bênticos (Atkinson & Steven, 2003). Além disso, a absorção de nutrientes nos recifes também está relacionada com as concentrações de nutrientes, a velocidade da água (ou fluxo de água), e os efeitos de mistura em decorrência dos ventos (Atkinson & Steven, 2003). Nas poças de maré do recife de Coroa Vermelha, o curto período de tempo e a estagnação da água, pode ter afetado a troca de massa entre as camadas circundantes dos organismos autotróficos e heterotróficos dificultando a remoção dos nutrientes da coluna d'água e mantendo os valores numa mesma faixa de concentração que a região do infralitoral.

As concentrações das formas nitrogenadas, (nitrato+ nitrito = valores não detectáveis a $4,32 \mu\text{mol L}^{-1}$) foram similares as obtidas por Costa Jr. et al. 2006 (nitrato+ nitrito $1,74$ a $3,64 \mu\text{mol L}^{-1}$) no recife de Coroa Vermelha que julgaram tais valores sendo consideravelmente maiores do que a maioria dos recifes Caribenhos com pouca influência antropogênica. As concentrações de fosfato também foram similares ($0,02$ a $0,8 \mu\text{mol/L}$) as obtidas por Costa Jr. et al. 2006 ($0,46$ a $0,91 \mu\text{mol/L}$). Situado bem próximo as áreas de urbanização, o recife de Coroa Vermelha detém as maiores concentrações de nutrientes quando comparado aos recifes mais afastados da costa (Recife de Fora) principalmente durante a estação seca quando a maior parte dos nutrientes de origem terrestre está restrita aos recifes costeiros (Costa Jr. et al., 2006).

O enriquecimento por nutrientes possibilita o crescimento de macroalgas que competem com os corais por espaço (Mc. Cook et al., 2001). Além da mudança na estrutura da comunidade coralínea, o excesso de nutriente torna possível o aumento na densidade das zooxantelas simbiotes que vivem dentro dos corais. Isso pode gerar um aumento na fotossíntese e diminuição da calcificação, baseado na hipótese de que ambos os processos competem pelo mesmo estoque de CID (Langdon & Atkinson, 2005).

2.5 CONCLUSÃO

Durante a preamar a água que permanece retida nas poças de maré recifais sem conectividade com a água adjacente ao recife de Coroa Vermelha, apresenta características físicas e químicas distintas àquelas do infralitoral. Tais diferenças são mais marcantes principalmente nos dias de sol.

A menor $p\text{CO}_{2\text{água}}$ nas poças é provavelmente resultado da atividade autotrófica mais intensa que reduz a $p\text{CO}_{2\text{água}}$ aumentando o Ω_{arag} e em consequência disto favorecendo a calcificação. Adicionalmente, temperaturas variando entre 25-31°C foram observadas apenas nas poças podendo ser mais favoráveis à calcificação. Entretanto, ainda não existem dados referentes ao máximo de calcificação em relação ao ótimo de temperatura para as espécies de corais endêmicas do Brasil e principalmente para aquelas que habitam os locais mais expostos dos recifes.

As concentrações dos nutrientes amostrados nas poças de maré e na região do infralitoral durante as marés baixas estiveram dentro de uma mesma faixa de concentração ou com valores bem próximos, sugerindo uma homogeneidade na distribuição dos nutrientes nos locais amostrados.

3 CALCIFICAÇÃO E METABOLISMO LÍQUIDO EM COLÔNIAS SIDERASTREA STELLATA

Resumo

O metabolismo líquido dos corais pode ser expresso pelo balanço entre os processos fotossintéticos e de respiração. A calcificação implica na mobilização das formas carbonatas mais Ca^{+2} . A calcificação diminui a alcalinidade total juntamente com o metabolismo líquido modificam o sistema CID da água do mar. Doze colônias de *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868), das quais seis foram coletadas no infralitoral e seis nas poças de maré recifais. Tais colônias foram incubadas com água dos seus respectivos locais de origem para medir as taxas de calcificação e o metabolismo líquido em três experimentos realizados em campo e três experimentos realizados em laboratório. Nos experimentos realizados em campo, as taxas de calcificação em *Siderastrea stellata* variaram significativamente entre as colônias do infralitoral e poças exceto no último experimento 3. O metabolismo líquido foi significativamente diferente entre as colônias originárias do infralitoral e poças nos três experimentos. Quando as colônias do infralitoral e poças foram condicionadas em um mesmo ambiente (experimentos ex situ) nenhuma diferença significativa foi encontrada no metabolismo líquido e taxas de calcificação expressas pelas colônias. Não foi observada uma relação direta entre $\text{pCO}_{2\text{água}}$ e as taxas de calcificação. Uma correlação significativa foi observada entre as taxas de calcificação e o metabolismo líquido das colônias de *S. stellata*. A temperatura parece ser o principal fator norteador da calcificação em *S. stellata*. Um ótimo de calcificação foi observado em temperaturas ente 28–30°C para *S. stellata*. O Ω_{arag} tem um papel secundário na calcificação em *S. stellata* atuando quando a temperatura é mais baixa (aqui em torno de 26°C).

Palavras-chave: variáveis físicas e químicas; calcificação; CO_2 ; calcificação; coral; metabolismo líquido; ômega aragonita; temperatura.

Abstract

The balance between the photosynthesis and respiration process in the corals can be defined as its net metabolism. The calcification affects the system carbonate in seawater and involve uptake of Ca^{+2} ions. The calcification decrease the total alkalinity and act in concert with net metabolism changing the carbonate system in the seawater. Twelve colonies of *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868) were collected in the Coroa Vermelha reef, six in the near crest infralittoral and six in tidal pools. These colonies were incubated with seawater from the original sites (tidal pools and infralittoral) and placed in flasks, The net calcification and net metabolic rates were calculated by the changes of total alkalinity and dissolved inorganic carbon in the flasks. A total of three field and laboratory experiments were conducted. The laboratory experiments were carried with the same kind of nearshore seawater, after acclimation. During the field experiments, the net calcification rates were significantly different between colonies from pools and infralittoral ($p < 0,05$), except during third experiment.

Net metabolic rates in the field experiments were significantly different in colonies from pools and infralittoral ($p < 0,05$). In laboratory, when the colonies were acclimated and incubated with the same seawater, no significantly difference was observed. It was not observed a significant correlation between $\text{pCO}_{2\text{água}}$ and net calcification. One significant correlation was observed between net calcification and net metabolism. The temperature seems to be the principal factor influencing net calcification this study. The calcification rates were optimal from 28–30°C. Ω_{arag} had a secondary role in the calcification, prevailing at lower temperatures (about 26°C).

Keywords: physico-chemical variables; nutrients; net metabolism; calcification; CO_2 ; coral; saturation state of CaCO_3 .

3.1 INTRODUÇÃO

A fixação do dióxido de carbono (fotossíntese) e a precipitação do carbonato de cálcio (calcificação) estão fisiologicamente integrados nos corais escleractíneos zooxantelados. A fotossíntese e a calcificação utilizam carbono inorgânico dissolvido (Gattuso et al., 1999; Adey & Small., 2000), e sua concentração na água do mar é um fator crucial para o metabolismo dos corais.

Enquanto a produção da matéria orgânica envolve o consumo de CO_2 e de suas formas carbonatadas dissolvidas, o processo de mineralização da matéria orgânica implica na liberação do CO_2 dissolvido no ambiente aquático (Beyers, 1963; Carmouze, 1994; Begon et al., 2007). O metabolismo líquido dos corais pode ser expresso pelo balanço entre os processos fotossintéticos e de respiração. Esses processos também são determinados através de análises da alcalinidade total (AT) e do total de carbono inorgânico dissolvido (CID) (Smith & Kinsey, 1978; Carmouze, 1994) num dado intervalo de tempo (Fig. 6).

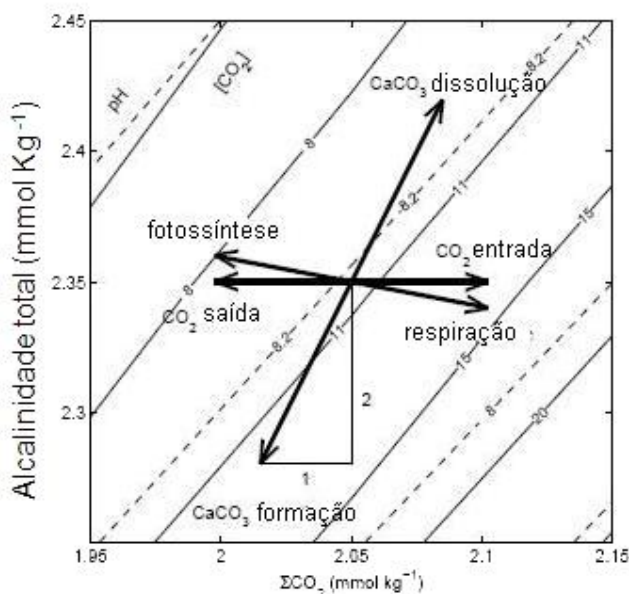
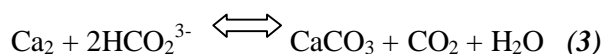


Figura 6. Variação da alcalinidade total e do total de carbono inorgânico dissolvido (ΣCO_2 , ou CID) na água do mar devido a vários processos como a calcificação, descalcificação, fotossíntese e respiração, invasão e liberação de CO_2

Fonte: Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001, modificado.

O processo de calcificação nos corais implica na mobilização das formas carbonatadas, e em especial o CO_2^{-3} , que é mais utilizado na reação de formação do carbonato de cálcio (CaCO_3). A formação do CaCO_3 nos corais diminui a alcalinidade total e modifica o sistema CID da água do mar (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001) pela liberação de 0,6 mol de CO_2 dissolvido para as águas circundantes (Frankignoulle et al., 1994; Frankignoulle et al., 1995) e removendo dois moles de bicarbonato para cada mol de carbonato de cálcio precipitado (Smith & Kinsey, 1978) (equação (3)).



A calcificação diminui o CID e a alcalinidade total na proporção de 2:1 respectivamente (Smith & Kinsey, 1978; Frankignoulle et al., 1994; Frankignoulle et al., 1995). O oposto é observado no processo de descalcificação (Fig. 6). Já a produção da matéria orgânica (fotossíntese e/ou quimiossíntese) consome o CO_2 dissolvido e o bicarbonato, diminuindo a concentração do CID e aumentando o pH no sistema (Zeebe & Wolf-Gladrow, 2001).

Corais escleractínios utilizam a aragonita como forma de carbonato de cálcio para precipitação. A aragonita é um mineral que compõe o esqueleto calcário dos corais e detém uma estrutura geométrica ortorrômbica. O estado de saturação da aragonita (Ω_{arag}) é função do equilíbrio do $\text{CO}_2(\text{atm})$ com a água do mar, e da constante de solubilidade (K_{ps}) do metal envolvido (Ca^{+2}) (Houghton et al., 1996) que favorece a formação ou dissolução do carbonato de cálcio na água (CaCO_3). Quando o $\Omega < 1$ a solução está subsaturada favorecendo a dissolução, e se $\Omega > 1$, a solução é supersaturada com a formação do mineral favorecida (Zeebe & Wolf-gladrow, 2001).

Mudanças globais, como o aumento da $\text{pCO}_2 \text{ atm}$ (Houghton et al., 1996), diminuição do pH e elevação da temperatura da água do mar, influenciam o estado de saturação do mineral aragonita (Gattuso et al., 1998a). O aumento da concentração de CO_2 dissolvido diminui o pH e a concentração de carbonatos [CO_3^{2-}] por restrições termodinâmicas, alterando o equilíbrio entre as formas carbonatas e conseqüentemente provocando uma diminuição no estado de saturação (Gattuso et al., 1999). A diminuição do pH também pode estar relacionada com a decomposição da matéria orgânica (mineralização) na água tornando-a mais ácida devido ao aumento no número de íons hidrogênio (H^+) livres na solução. Quanto maior a quantidade de íons hidrogênio, mais ácida será a água. Já o aumento da temperatura

causa a diminuição da constante de solubilidade do mineral CaCO_3 . Altos valores de temperatura e baixos valores de pH podem interferir no processo de calcificação.

3.1.1 Objetivo

3.1.1.1 Objetivo geral

- Analisar o metabolismo líquido e as taxas de calcificação das colônias de *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868) que habitam as poças de maré recifais e a região do infralitoral no recife de Coroa Vermelha, Bahia.

3.1.1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar em cada campanha as variáveis físicas e químicas da água nas poças de maré, no infralitoral e no tanque e contêineres em laboratório (ex situ) usado para incubação das colônias do coral *S. stellata*;
- Calcular e comparar as taxas de calcificação e o metabolismo líquido de *S. stellata* incubadas com água do infralitoral e da poça de maré do platô recifal nos experimentos realizados campo (*in situ*) e em uma mesma água durante as incubações ex situ (tanque e contêineres);
- Relacionar a concentração (biomassa) de clorofila - a (Cl-a $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), com o metabolismo líquido e a taxa de calcificação das colônias de *S. stellata*;
- Correlacionar a pressão parcial do CO_2 na água ($\text{pCO}_{2\text{água}}$), ômega aragonita (Ω_{arag}) e a temperatura da água com as taxas de calcificação das colônias de *S. stellata*.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Área de estudo

O litoral sul da Bahia é o local de maior diversidade e abundância de corais do Atlântico Sul (Castro & Pires, 2001). Apesar da baixa diversidade de espécies de corais em relação aos recifes caribenhos e do pacífico, o litoral sul da Bahia detém a maior concentração de corais endêmicos do Brasil.

A cidade de Santa Cruz de Cabrália localiza-se no extremo sul da Bahia a 22 km da cidade de Porto Seguro. Esta região é caracterizada pelo alto índice pluviométrico superior a 1.400mm sendo então considerado como grau úmido (Lopes & Bonfim, 2000). A variabilidade das chuvas retrata o ritmo climático da região alternando em períodos de chuva e seca, apesar de não haver um só mês com índice pluviométrico médio inferior a 60 mm (Lopes & Bonfim, 2000).

O tipo de clima desta região é considerado tropical quente e úmido e o regime pluviométrico confirma o caráter tropical (Aouad, 1998). A temperatura média anual é de 24,40°C variando entre mínimo de 21,3°C e máximo de 28°C (Lopes & Bonfim, 2000).

O sistema de recifes de Coroa Vermelha (16°39'54"S e 39°00'00"W) situado na cidade de Santa Cruz de Cabrália é formado por estruturas descontínuas paralelas à costa, unida ao litoral por um tómbolo de areia. Nas laterais deste, há o desenvolvimento de pradarias sob substrato lodoso. Nas proximidades do recife encontram-se terras úmidas, banhados, brejos manguezais e pequenos rios (Fig. 7). O recife de Coroa Vermelha cresce sobre um cordão de arenito de praia submerso, localizado a dez metros de profundidade (Leão, 1994). Durante a preamar o platô recifal de Coroa Vermelha torna-se exposto permitindo a formação de poças de marés recifais. Tais poças variam em extensão e volume, entretanto encontram-se poças de tamanhos similares. Estas poças são habitadas por uma diversidade de organismos autotróficos, heterotróficos, calcificadores, e decompositores. Dentro das poças de maré recifais também são encontradas colônias dos corais escleractínios *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868) e *Favia gravida*. A borda do recife de Coroa Vermelha atinge aproximadamente dez metros de profundidade e a porção permanentemente submersa é

definida aqui como porção do infralitoral. Nesta porção do recife colônias de corais distribuem-se por toda lateral do recife até bem próximo ao fundo arenoso.

A proximidade do recife de Coroa Vermelha à área de urbanização torna-o mais susceptível ao impacto por eutrofização mediante a saída de efluentes domésticos não tratados (Costa Jr. et al., 2006).

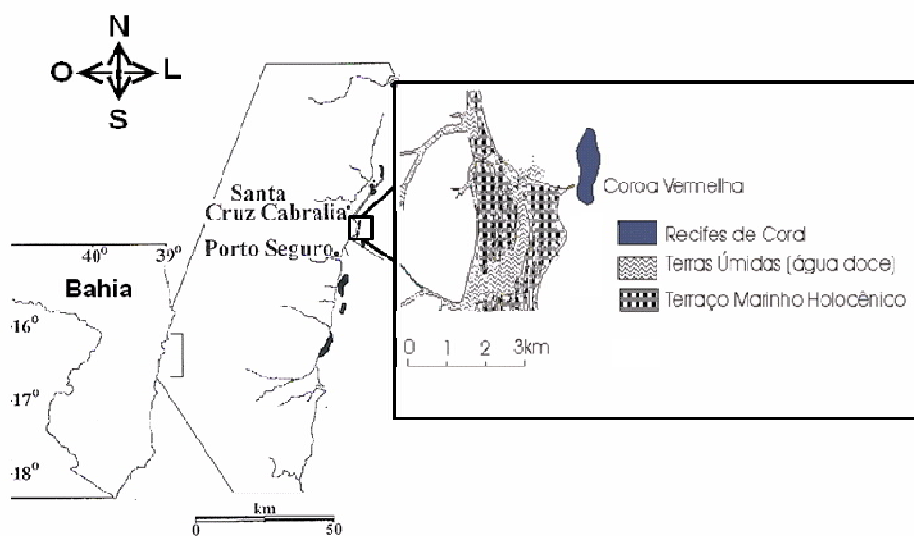


Figura 7. Localização do recife de coral Coroa Vermelha situado na cidade de Santa Cruz de Cabrália, Bahia, Brasil. Porção em destaque: recife de coral, terras úmidas e terraço marinho Holocênico. Fonte: Costa Jr. (2006) e Dominguez et al. (2002), modificado.

3.3.2 Incubação das colônias no recife “in situ”

Três experimentos foram realizados nos recifes de Coroa Vermelha durante os anos de 2006–2008. O primeiro experimento foi realizado no dia 11 de julho de 2006 (dia de sol). O segundo experimento realizou-se em 14 de junho de 2007 (dia de sol) e por fim, o terceiro experimento foi feito no dia 23 de janeiro de 2008 (dia de chuva). Foram selecionadas aleatoriamente em cada campanha doze colônias de *S. stellata*, seis coletadas nas poças sobre o platô recifal de Coroa Vermelha e seis coletadas na região do infralitoral a um metro e meio de profundidade. As colônias coletadas nas poças foram envolvidas individualmente em sacos plásticos de “bolhas” (proteção de para evitar a fricção) com pequenos furos que permitiram o

fluxo de água contínuo através dos poros. Em seguida, tais colônias foram reunidas em um saco de pano que foi amarrado à estrutura do recife dentro de uma poça, permanecendo lá durante um período de 24 horas. O mesmo foi feito para as colônias do infralitoral, sendo que o saco foi amarrado a um metro de profundidade na borda externa do recife. Este procedimento foi realizado com o intuito de reduzir o erro pela dissolução do carbonato de cálcio que é liberado no momento da retirada das colônias fixadas ao substrato. O possível estresse sofrido pelas colônias coletadas no infralitoral e poças foi de igual magnitude possibilitando assim a comparação entre as mesmas. No dia seguinte, foram determinadas as variáveis físicas e químicas da água da poça (Fig. 8 - a) e do infralitoral (Fig. 8 - b) onde estavam dispostos os sacos contendo as colônias respectivas aos ambientes de origem e coletada uma amostra de água de cada ambiente para a análise da alcalinidade total.

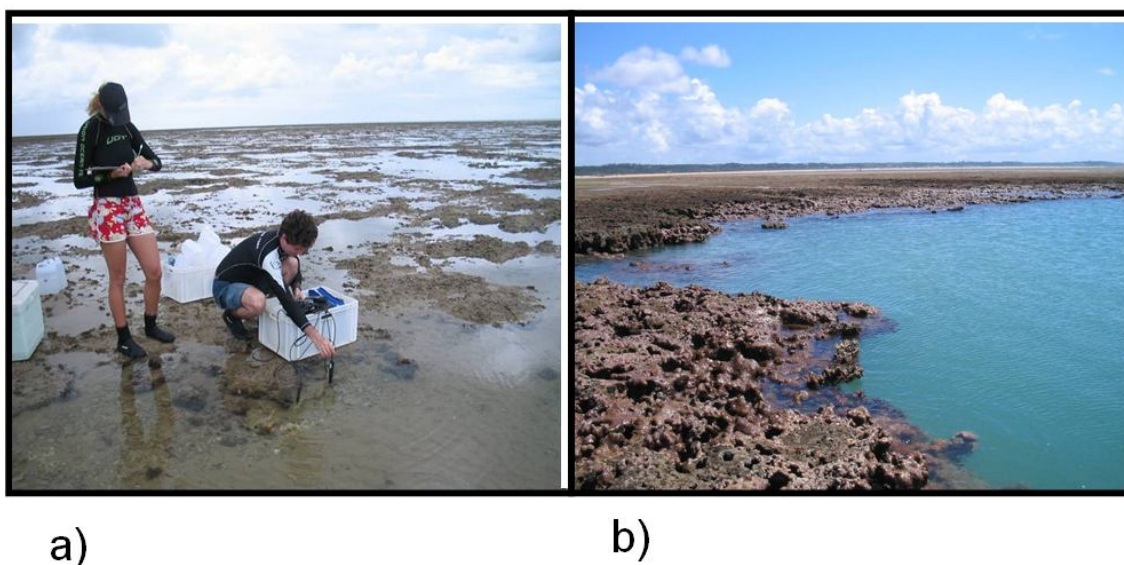


Figura 8. Fotografia da metodologia utilizada para a caracterização das variáveis físicas e químicas na poça de maré recifal (a) e região do infralitoral (b) (borda externa do recife) no recife de Coroa Vermelha.

Em seguida, as colônias foram retiradas dos sacos e individualmente mantidas em frascos de acrílico, com volume aproximado de 1,350 ml. Estes, contendo as colônias coletadas nas poças, foram então preenchidos com água de uma poça. Nos frascos que continham colônias originárias do infralitoral, foi adicionada água do respectivo ambiente. Todos os frascos foram fechados e incubados dentro de uma mesma poça, isto porque na região do infralitoral (na borda externa do recife) a força das ondas não permitiu a estabilização dos frascos (Fig. 9).



Figura 9. Frascos de acrílico tendo em si colônias individualmente separadas do coral *S. stellata* coletadas no infralitoral e poças contendo água do mar dos respectivos locais, no recife de Coroa Vermelha.

O tempo de incubação foi de duas horas em todas as campanhas. Após o tempo de incubação os frascos foram abertos e então medidos os valores de temperatura, pH (escala NBS) e salinidade com medidor digital portátil WTW Multiline P4. Amostras de água para a análise da alcalinidade total foram recolhidas em seringas de 20 mL, previamente lavadas com solução saturada de cloreto de mercúrio de forma a cessar a atividade biológica. Este procedimento foi realizado no início e término das incubações.

Frascos de DBO (demanda biológica de oxigênio) de 300 mL contendo água do mar coletada nas poças e no infralitoral foram mantidos na poça durante o mesmo período de incubação das colônias para avaliar a fração do metabolismo devido aos microorganismos presentes no plâncton (bacterio-, fito- e zooplâncton). Estes resultados foram utilizados para correções da calcificação e do metabolismo líquido das colônias.

3.3.3 Incubações das colônias “ex situ”

Ao final de cada experimento realizado em campo (exp1, exp2 e exp3), três colônias de cada ambiente (três do infralitoral e três das poças, totalizando seis colônias em cada experimento) foram transferidas do campo e aclimatadas numa mesma água (Fig. 10). Após o exp.1 em campo, as colônias foram alocadas em um tanque do Projeto Coral Vivo em Arraial d’Ajuda correspondendo ao experimento LAB 1, onde havia constante renovação e circulação de água. Ao final do exp.2 e exp. 3 as colônias foram transferidas respectivamente para os contêineres LAB 2 e LAB 3 com menor capacidade de água que LAB 1, mas onde foi feita

constante renovação de água assim como aeração mediante uma bomba de ar. Em LAB 1 as colônias permaneceram durante dois dias para aclimação. Em LAB 2 e 3 o tempo de aclimação foi reduzido para um dia. Antes da incubação individual das colônias, foram determinadas as variáveis físicas e químicas em LAB 1, LAB 2 e LAB 3. Posteriormente, as colônias foram incubadas individualmente nos frascos de acrílico fechados por um período de duas horas. Após o tempo de incubação os frascos foram abertos e então medidos os valores de temperatura, pH (escala NBS) e salinidade com medidor digital portátil WTW Multiline P4. Amostras de água para a análise da alcalinidade total foram recolhidas em seringas de 20 mL, previamente lavadas com solução saturada de cloreto de mercúrio de forma a cessar a atividade biológica. Este procedimento foi realizado no início e término das incubações. A contribuição do plâncton também foi avaliada nestas incubações.

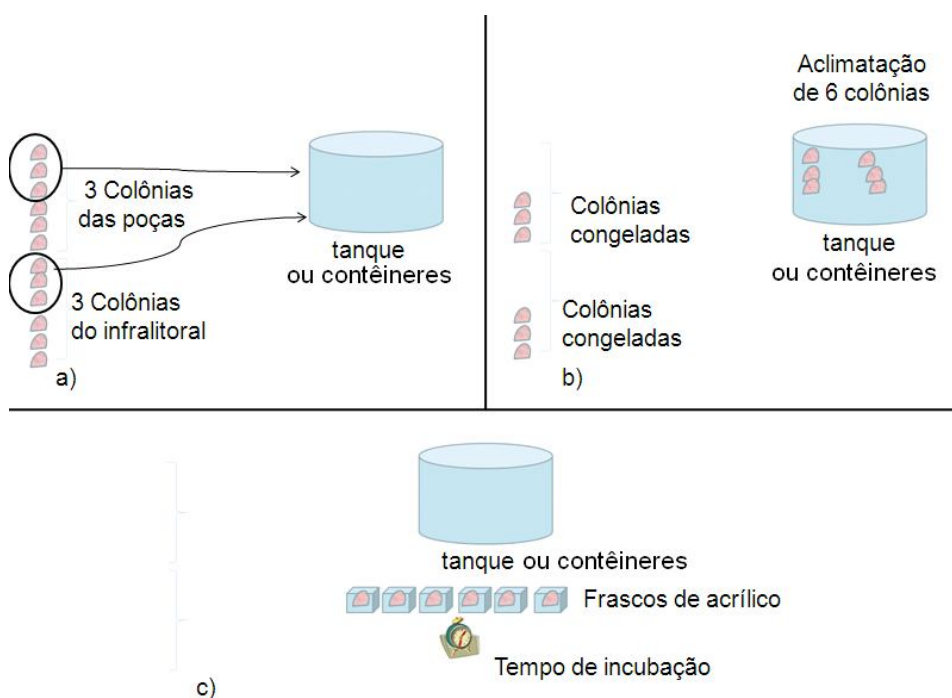


Figura 10. Experimentos “ex situ” realizados com colônias do coral *S. stellata* coletadas no infralitoral e poças de maré recifais aclimatadas numa mesma água. Em “a” colônias sendo transferidas do campo para um tanque (LAB 1) ou contêineres (LAB 2 e LAB 3). “b”, colônias em aclimação. “c”, incubação individual das colônias nos frascos de acrílico vedados.

Após o término das incubações, as colônias foram congeladas e transferidas para o laboratório onde foi feita a análise da concentração de clorofila presente nas colônias.

3.3.4 Cálculo das variáveis AT, CID, $p\text{CO}_{2\text{água}}$ e Ω_{arg}

A alcalinidade das amostras foi obtida pela titulação com HCl 0,0100N seguindo o método proposto por Gran. A alcalinidade total das amostras foi calculada a partir do ALCACARB, BAS (Carmouze, 1994),

A alcalinidade dos carbonatos (CID) assim como os valores da pressão parcial do CO_2 na água do mar ($p\text{CO}_{2\text{água}}$) e ômega aragonita (Ω_{arg}) foram calculadas com o programa CO2SYS, EXE, baseado nos dados de alcalinidade total, pH, salinidade, temperatura (Carmouze, 1994). Foram utilizadas neste programa as opções de K1 e K2 (constantes de solubilidade) de Merzbach, replotadas por Dickson & Millero (1987).

A concentração dos pigmentos clorofilianos de cada colônia foi obtida através da maceração de 1cm^2 da colônia (porção central da colônia) e extração em acetona. Posteriormente, tal extrato foi centrifugado e o sobrenadante levado ao espectrofotômetro seguindo o método tricromático de Parsons et al. (1984). A área da colônia foi medida com papel alumínio o qual recobriu apenas a porção viva da colônia. Após a moldagem no papel alumínio, o modelo foi plotado em papel A4 recortado e levado à estufa juntamente com 1cm^2 do mesmo papel. Posteriormente, foi feita a pesagem numa balança de precisão e assim, utilizando uma regra de três simples, obteve-se a área da colônia.

3.3.5 Cálculo do metabolismo líquido e taxa de calcificação

Inicialmente, o cálculo do metabolismo líquido (Produção primária bruta – Respiração; P-R) das colônias de *S. stellata* foi feito através da diferença entre a concentração de CID presente na água dos frascos de incubação no tempo final e no tempo inicial das incubações. Posteriormente, o valor da diferença foi padronizado por hora e pela área da colônia viva por centímetro quadrado (cm^2). Em seguida, foi descontado o metabolismo líquido planctônico pela subtração da atividade metabólica líquida medida nos frascos de DBO, das observadas nos aquários com colônias de *S. stellata*. Por fim, subtraiu-se o valor encontrado pela taxa de calcificação calculada para as respectivas colônias (equação (4)).

$$P - R = \Delta\text{TCO}_2 - \text{Calc.} \quad (4)$$

As taxas de calcificação das colônias foram calculadas pela diferença entre a concentração da alcalinidade total no tempo final e inicial das incubações, baseada na técnica da anomalia da alcalinidade (equação (5)). A precipitação de 1 mol de CaCO_3 reduz em um mol a concentração de CID e em dois mols a Alcalinidade Total (Zeebe & Wolf-GLandrow, 2001). O valor da diferença foi padronizado por hora e pela área da colônia viva em cm^2 e descontada da taxa de calcificação realizada pelo plâncton.

$$\text{Calc.} = \frac{\text{Alc}_{total}}{2} \quad (5)$$

3.3.6 Análise estatística

A estatística não paramétrica, teste de Mann-Whitney (U), foi utilizada para comparar o metabolismo líquido e as taxas de calcificação das colônias coletadas nas poças e região do infralitoral nos experimento realizados em campo e “ex situ”.

Foi feita a estatística descritiva (valores de máximo, mínimo, média e desvio padrão) das variáveis pCO_2 e temperatura medidas na água contida dentro dos frascos de incubação ao final dos experimento no campo e “ex situ”.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Incubação “in situ”

As variáveis físicas e químicas amostradas na água de uma poça e ponto do infralitoral para cada dia de coleta e utilizadas nas incubações das colônias de *S. stellata* (Experimento 1 - jul/2006 (EXP. 1); Experimento 2 - jun/2007 (EXP. 2); Experimento 3 - jan/2008 (EXP.3)) estão dispostas na Tab. 2. Estes dados representam as medidas iniciais das variáveis físicas e químicas no tempo inicial das incubações e revelam as diferentes condições físicas e químicas da água entre as poças de maré e a região do infralitoral assim como a variação ocorrida nos diferentes dias de coleta.

Tabela 2 - Variáveis físicas e químicas amostradas nas poças de maré e infralitoral no tempo inicial das incubações. Temperatura (T °C), salinidade (SAL - NBS), pH, pressão parcial do CO₂ na água (PCO₂água(µatm)), alcalinidade total (AT, µmol/l), total de carbono inorgânico dissolvido (CID), e ômega aragonita (Ω_{arg}) amostradas na água poça, infralitoral em cada experimento. Experimento 1 (EXP. 1), experimento 2 (EXP. 2) e experimento 3 (EXP. 3)

Variáveis	EXP. 1		EXP. 2		EXP. 3	
	Poça	Infralitoral	Poça	Infralitoral	Poça	Infralitoral
T °C	26,7	23,9	25,7	26,6	27,0	24,5
SAL (NBS)	36,3	36	35,9	36,2	33,3	34,4
pH	8,06	8,02	8,26	8,3	8,32	8,21
PCO ₂ água (µatm)	501	546	225	292	199	325
AT (µmol/l)	2085	2062	2107	2400	1749	2047
CID µmol/l	1849	1864	1742	1998	1414	1760
Ω _{arg}	2,61	2,2	3,8	4,5	3,3	3,1

Os valores do metabolismo líquido (CID µmol/cm²/h-1) das colônias de *S. stellata* nos diferentes dias de coleta estão dispostos na Fig. 11.

A análise dos dados revela diferenças significativas (p < 0,05) entre todos os experimentos 1, 2 e 3. O metabolismo líquido das colônias do infralitoral no experimento 1

foi significativamente maior que nos experimentos 2 e 3. No experimento 3 o metabolismo líquido também foi significativamente maior que no experimento 2.

Esta condição foi causada pelas diferenças nas variáveis físicas e químicas (Tab. 3) da água que variaram em respostas aos dias de sol e chuva e supostamente pela variação da luminosidade nos diferentes dias de coleta. De fato, as maiores taxas metabólicas líquidas das colônias foram observadas no experimento 1, dia de sol, e as menores no experimento 2, dia de chuva. No experimento 3 o dia foi parcialmente nublado, com chuva e sol no início da manhã e as taxas metabólicas líquidas registraram valores intermediários quando comparados aos valores medidos no experimento 1 e 2.

O metabolismo líquido das colônias de *S. stellata* em resposta aos dois ambientes distintos, infralitoral e poça de maré recifais nos mesmos dias de coleta foram observados conforme Fig. 11.

No experimento 1 (Fig. 11), o metabolismo líquido expresso pelas colônias originárias das poças foi significativamente maior ($p < 0,05$) que o metabolismo líquido das colônias coletadas no infralitoral. A concentração de CID no tempo inicial das incubações (Tab. 2) apresentou valores bem próximos entre os dois ambientes, mas a temperatura da água na poça (Tab. 3) foi mais elevada que no infralitoral.

Já no experimento 2 (Fig. 11) o metabolismo líquido das colônias originárias das poças foi significativamente menor que o expresso pelas colônias do infralitoral. Os valores negativos indicam heterotrofia líquida para ao menos uma colônia em cada ambiente. A medida de temperatura, do CID e a concentração de clorofila a (*Chl a*) foram maiores no infralitoral.

O metabolismo líquido das colônias originárias das poças foi significativamente maior que o medido nas colônias do infralitoral durante o experimento 3 (Fig. 11). A concentração de CID foi maior no infralitoral (Tab. 3), entretanto o valor de temperatura (Tab. 2) foi maior na poça.

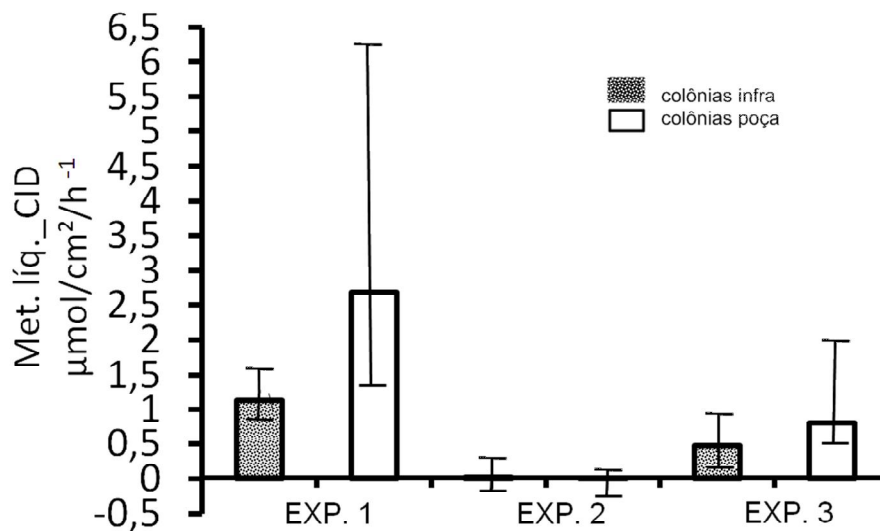


Figura 11. Variação no metabolismo líquido ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{h}^{-1}\text{CID}$) expresso pelas colônias de *S. stellata* originárias do infralitoral e poças de maré recifais incubadas com água dos respectivos locais de origem no recife de Coroa Vermelha. Observam-se valor máximo, mínimo, e mediana para cada um dos experimentos (exp. 1, dia de sol; exp. 2, dia de chuva; exp. 3, dia nublado e pouca chuva). Os valores negativos indicam heterotrofia líquida.

As concentrações de clorofila presente nas colônias de *S. stellata* originárias do infralitoral e poças de maré estão dispostas na Fig. 12. Apenas no experimento 2, a concentração de clorofila nas colônias do infralitoral foi quase o dobro do medido nas colônias das poças e significativamente maior ($p < 0,05$).

O teste de correlação de Spearman ($p > 0,05$; $R = 0,65$) indicou correlação significativa e positiva entre as concentrações de clorofila e o metabolismo líquido medidos nas colônias originárias do infralitoral apenas no experimento 2. Nos demais experimentos as concentrações de clorofila das colônias do infralitoral e poças não diferiram significativamente ($p > 0,05$) e também não houve nenhuma correlação significativa entre as concentrações de clorofila e o metabolismo líquido das colônias ($p > 0,05$).

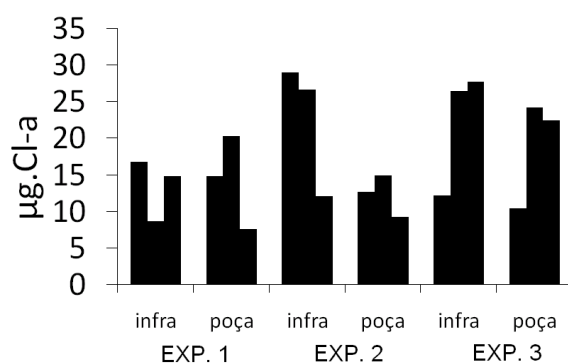


Figura 12. Concentração de *Chl a* ($\mu\text{g.CI-a}$) por cm^2 extraída das colônias de *S. stellata* originárias da região do infralitoral e poças de maré recifais logo após as incubações realizadas em campo para os três experimentos (EXP. 1 EXP. 2, EXP. 3).

A Tab. 3 exibe os valores médios das variáveis físicas e químicas amostradas dentro dos frascos de incubação contendo as colônias do infralitoral e poças de maré no tempo final das incubações em cada experimento (Experimento 1 - jul/2006 (EXP. 1); Experimento 2 - jun/2007 (EXP. 2); Experimento 3 - jan/2008 (EXP.3)). No experimento 1, a temperatura média dentro dos frascos atingiu ao final do tempo de incubação, 29°C . Os frascos contendo as colônias originárias da poça aqueceram-se mais rapidamente permanecendo por mais tempo nesta condição, já que a temperatura inicial da água na poça (Tab. 2) foi mais elevada que na água do infralitoral. As mesmas condições são reportadas para o experimento 3.

Tabela 3 - Variáveis físicas e químicas amostradas dentro dos frascos de incubação contendo as colônias do infralitoral e poças, após o término das incubações “in situ”. Temperatura (T °C), salinidade (SAL - NBS), pH, pressão parcial do CO_2 na água ($\text{pCO}_{2\text{água}}(\mu\text{atm})$), alcalinidade total (Alc. T. $\mu\text{mol/l}$), total de carbono inorgânico dissolvido (CID), e ômega aragonita (Ω_{arg}). Experimento 1 (EXP. 1), experimento 2 (EXP. 2) e experimento 3 (EXP. 3). Média \pm desvio padrão (Méd. \pm dp).

Variáveis	EXP. 1		EXP. 2		EXP. 3	
	Frascos poça	Frascos infra	Frascos poça	Frascos infra	Frascos poça	Frascos infra
	Méd. \pm dp	Méd. \pm dp	Méd. \pm dp	Méd. \pm dp	Méd. \pm dp	Méd. \pm dp
T °C	29,4 \pm 0,9	29,1 \pm 0,2	26,7 \pm 0,1	27,5 \pm 0,22	28,8 \pm 0,2	28,8 \pm 0,1
pH	8,2 \pm 0,07	8,2 \pm 0,06	8,3 \pm 0,02	8,3 \pm 0,07	8,3 \pm 0,03	8,2 \pm 0,02
pCO₂água(μatm)	300,1 \pm 67,1	371,42 \pm 0,24	284,2 \pm 28,4	294,5 \pm 81,6	201,4 \pm 13,2	290,9 \pm 21,3
Alc. T. ($\mu\text{mol/l}$)	1977,4 \pm 67,9	2027,8 \pm 60,3	2259,8 \pm 156,5	2239,2 \pm 208,7	180,9 \pm 132,1	1916,35 \pm 83
CID $\mu\text{mol/l}$	1637,6 \pm 84,7	1724,7 \pm 82,6	1873,9 \pm 135,8	1851,9 \pm 200	1441 \pm 101	1600 \pm 72,8
Ω_{arg}	3,6 \pm 0,4	3,27 \pm 0,24	4,2 \pm 0,7	4,2 \pm 0,6	3,69 \pm 0,4	3,36 \pm 0,21

As taxas de calcificação ($\text{CaCO}_3 \mu\text{mol/cm}^2/\text{h}^{-1}$) das colônias de *S. stellata* (coletadas no infralitoral e poças) calculadas para os diferentes dias de coleta (Experimento 1 - jul/2006 (EXP. 1); Experimento 2 - jun/2007 (EXP. 2); Experimento 3 - jan/2008 (EXP.3)) estão dispostas na Fig. 13.

A análise dos dados revela diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os experimentos 1, 2 e 3. As taxas de calcificação das colônias coletadas nas poças foram similares nos experimentos 1 e 3 e entre 2 e 3 ($P > 0,05$), diferindo apenas entre os experimentos 1 e 2. Já nas colônias do infralitoral as taxas de calcificação foram similares apenas entre os experimentos 1 e 3 ($P > 0,05$). De fato, as maiores taxas de calcificação das colônias do infralitoral e poças foram observadas no experimento 1, dia de sol e com a temperatura da água mais elevada.

Nas colônias do infralitoral e das poças durante o experimento 2, foi observado um declínio nas taxas de calcificação em relação ao experimento 1, reportando também ao processo de descalcificação indicado pelos valores negativos na Fig. 13. Apesar dos valores de Ω_{arg} na água da poça e infralitoral no experimento 2 terem sido os mais elevados dentre os experimentos, as taxas de calcificação das colônias foram as mais baixas. Além disso, dentro dos frascos de incubação foram medidos os menores valores de temperatura de todos os experimentos (Tab. 3).

Os valores das taxas de calcificação das colônias de *S. stellata* em resposta aos dois ambientes distintos, infralitoral e poça de maré recifais, são apresentados na Fig. 13.

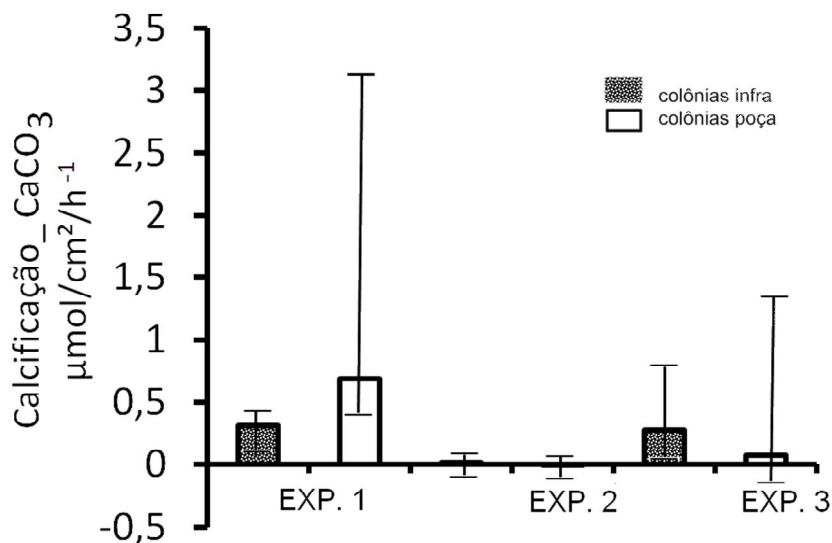


Figura 13. Variação na taxa de calcificação ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{h}^{-1} \text{CaCO}_3$) expresso pelas colônias de *S. stellata* originárias do infralitoral e poças de maré recifais incubadas com água dos respectivos locais de origem. Observam-se valor máximo, mínimo, e mediana para cada um dos experimentos (EXP. 1 EXP. 2, EXP. 3).

As principais variáveis que afetam a calcificação em corais são a temperatura, a $p\text{CO}_2$ e o $\Omega_{\text{aragonita}}$. Em resposta a uma menor $p\text{CO}_2$, maiores valores de temperatura e do $\Omega_{\text{aragonita}}$ medidos na água inicial da poça no experimento 1 (exp. 1; Fig 13), as taxas de calcificação das colônias originárias das poças foram significativamente maiores ($p < 0,05$) que as calculadas para colônias do infralitoral.

Inversamente, no experimento 2 (Fig 13) os valores de temperatura e $\Omega_{\text{aragonita}}$ foram mais elevados na água do infralitoral, e registrou-se as maiores taxas de calcificação ($p < 0,05$) nas colônias do infralitoral apesar da $p\text{CO}_2$ ter sido mais elevada.

No experimento 3 (Fig 13) nenhuma diferença significativa foi encontrada ($p > 0,05$) entre as taxas de calcificação apesar das principais variáveis ligadas à calcificação terem sido mais favoráveis na água da poça.

Em todos os experimentos foi observada uma correlação significativamente positiva entre o metabolismo líquido e a taxa de calcificação das colônias de *S. stellata* ($p < 0,05$ e $R = 0,7$ no experimento 1; $p < 0,05$ e $R = 0,81$ no experimento 2 e $p < 0,05$ e $R = 0,72$ no experimento 3).

3.4.2 Incubações “ex situ”

As variáveis físicas e químicas amostradas na água do tanque do Coral vivo (LAB1 - jul/2006) e containeres (LAB 2 - jun/2007; LAB 3 - jan/2008) estão dispostas na Tab. 4.

Tabela - 4 Variáveis físicas e químicas temperatura (T °C), salinidade (SAL - NBS), pH, pressão parcial do CO₂ na água (PCO₂água(µatm)), alcalinidade total (Alc. T. µmol/l), total de carbono inorgânico dissolvido (CID), e ômega aragonita (Ω_{arg}) amostradas na água do tanque do projeto Coral Vivo (C.V) no experimento 1 (exp. 1), e containeres nos experimentos 2 e 3 (exp. 2; exp. 3).

	LAB 1	LAB 2	LAB 3
Variáveis	Tanque	Contêiner	Contêiner
T °C	24,3	29	27,3
SAL (NBS)	37,5	35,9	34,5
pH	8,24	8,0	8,13
PCO₂água(µatm)	314	620	352
Alc, T, (µmol/l)	2221	2262	1758
CID µmol/l	1878	2054	1518
Ω_{arg}	3,64	2,4	2,4

Quando as colônias de *S. stellata* originárias do infralitoral e poças de maré foram incubadas com uma mesma água, nos diferentes experimentos, nenhuma diferença significativa foi encontrada entre suas taxas metabólica ($p > 0,05$). Em uma mesma água o metabolismo líquido das colônias do infralitoral e poças de maré são similares (Fig. 14).

Quando transportadas dos ambientes de origem para os experimentos “ex situ”, ao menos para uma colônia as *S. stellata* foi registrada heterotrofia líquida.

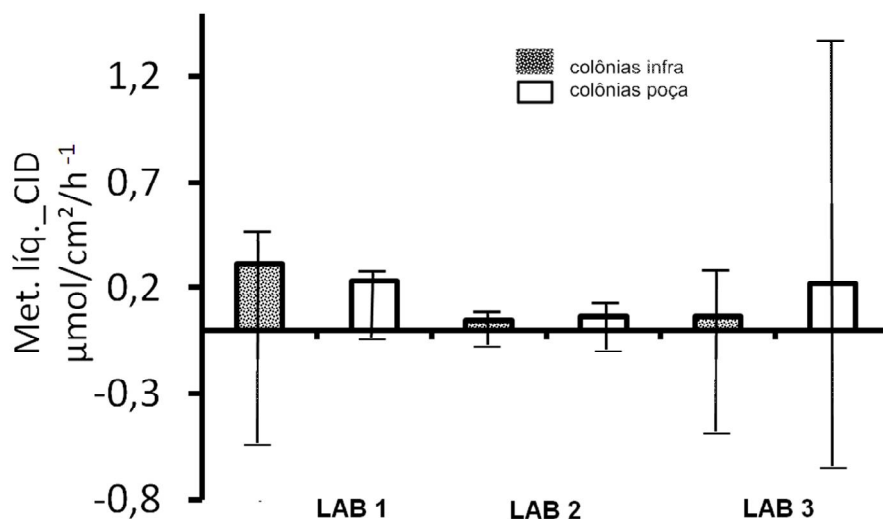


Figura 14. Variação no metabolismo líquido ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{h}^{-1}\text{CID}$) expresso pelas colônias de *S. stellata* originárias do infralitoral e poças de maré recifais incubadas com água dos respectivos locais de origem. Observam-se valor máximo, mínimo, e mediana para cada um dos experimentos (exp. 1 exp. 2, exp. 3).

A menor diferença entre a concentração inicial de CID (Tab. 2) e a concentração final de CID dentro dos frascos de incubação (Tab.5) foi observada em LAB 3. Ou seja, os dados revelam a maior mobilização do CID em LAB 1 e 2.

Tabela 5 - Variáveis físicas e químicas amostradas dentro dos frascos de incubação após o término das incubações ex situ. Temperatura (T °C), salinidade (SAL - NBS), pH, pressão parcial do CO_2 na água ($\text{pCO}_{2\text{água}}(\mu\text{atm})$), alcalinidade total (Alc. T. $\mu\text{mol}/\text{l}$), total de carbono inorgânico dissolvido (CID), e ômega aragonita (Ω_{arg}). Experimento 1 (Exp. 1), experimento 2 (Exp. 2) e experimento 3 (Exp. 3). Média \pm desvio padrão (Méd. \pm dp).

Variáveis	LAB 1		LAB 2		LAB 3	
	Frascos poça	Frascos infra	Frascos poça	Frascos infra	Frascos poça	Frascos infra
	Méd, \pm desv,	Méd, \pm desv,	Méd, \pm desv,	Méd, \pm desv,	Méd, \pm desv	Méd, \pm desv,
T °C	24,7 \pm 0,05	24,9 \pm 0,9	32,3 \pm 0,73	32,7 \pm 0,8	34,6 \pm 0,1	34,6 \pm 0,2
pH	8,3 \pm 0,01	8,29 \pm 0,01	8,01 \pm 0,02	8,03 \pm 0,03	8,05 \pm 0,01	8,4 \pm 0,04
pCO₂água(μatm)	254,4 \pm 18,9	250,1 \pm 15,4	567,2 \pm 48,2	610,4 \pm 78,9	434,0 \pm 92,48	479,7 \pm 63
A,T, ($\mu\text{mol}/\text{l}$)	2075,6 \pm 85,4	2061,6 \pm 85,7	2028,3 \pm 232,3	2241,5 \pm 62,9	1689,3 \pm 296,1	1789,8 \pm 72
CID $\mu\text{mol}/\text{l}$	1713,8 \pm 81,5	1697,3 \pm 73,2	1781,3 \pm 207,6	1971,4 \pm 69,5	1451,7 \pm 274,5	1549,3 \pm 73
Ω_{arg}	3,7 \pm 0,1	3,7 \pm 0,2	4,3 \pm 0,2	4,3 \pm 0,6	3,6 \pm 0,3	3,7 \pm 0,6

Apenas no experimento 2 houve diferença significativa entre as concentrações de clorofila presente nas colônias do infralitoral e poças ($p > 0,05$). Apesar desta diferença, a maior concentração de clorofila nas colônias do infralitoral (Fig. 15). não apresentou

nenhuma correlação com o metabolismo líquido das mesmas. A concentração média de clorofila calculada para as colônias do infralitoral foi de $20,05 \pm 1,7 \mu\text{g},\text{cm}^2 \text{Cl-a}$ e $13,9 \pm 3,2 \mu\text{g},\text{cm}^2 \text{Cl-a}$ para as colônias originárias das poças.

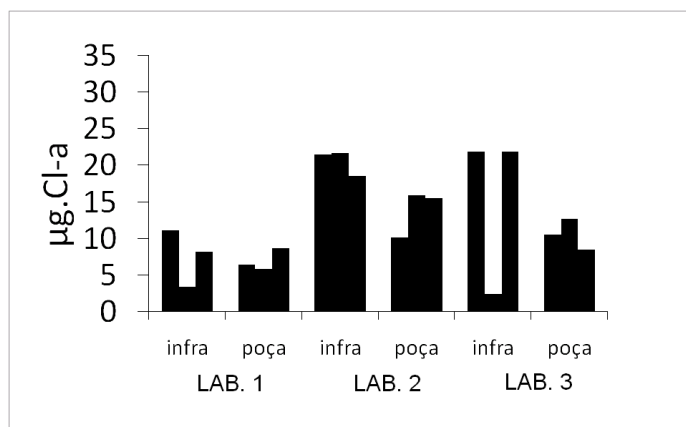


Figura 15. Concentração de clorofila – a ($\mu\text{g.Cl-a}$) por cm^2 extraída das colônias de *S. stellata* originárias da região do infralitoral e poças de maré recifais logo após as incubações realizadas ex situ para os três experimentos (LAB. 1 LAB. 2, LAB. 3).

A taxa de calcificação das colônias originárias do infralitoral e poças também não diferiram significativamente ($p > 0,05$) quando aclimatadas a uma mesma condição “ex situ” nos três experimentos. Em uma mesma água as taxas de calcificação expressas pelas colônias são similares (Fig. 16).

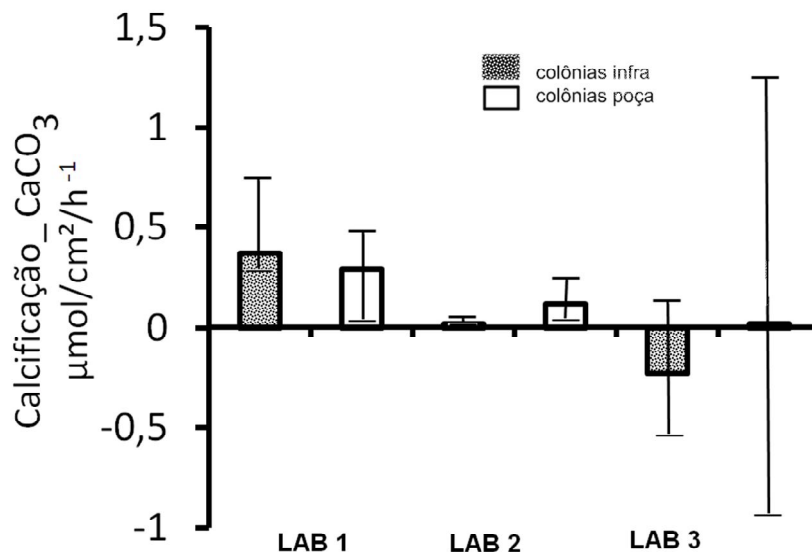


Figura 16. Variação na taxa de calcificação ($\mu\text{mol}/\text{cm}^2/\text{h}^{-1} \text{CaCO}_3$) expressa pelas colônias de *S. stellata* originárias do infralitoral e poças de maré recifais incubadas com água dos experimentos ex situ. Observam-se valor máximo, mínimo, e mediana para cada um dos experimentos (LAB. 1 LAB. 2, LAB. 3).

A temperatura da água registrada dentro dos frascos ao final do tempo de incubação aumentou. Em LAB 1 houve um pequeno aumento de aproximadamente $0,4^\circ\text{C}$, enquanto em LAB 2 o aumento foi de aproximadamente 3°C , e LAB 3 a temperatura da água aumentou em 7°C alcançando aproximadamente 34°C (Tab. 5). Nesta ultimo experimento, exceto por uma única colônia coletada na poça, as demais colônias incubadas no container expressaram baixas taxas de calcificação e algumas colônias sofreram descalcificação (Fig. 16). Apenas nos frasco de incubação do experimento 3 foi observado um aumento da $\text{pCO}_{2\text{água}}$.

Os resultados dos testes de correlação de Spearman entre o metabolismo líquido e taxa de calcificação das colônias revelaram uma correlação significativamente positiva apenas em LAB 3 ($p < 0,05$; $R = 0,9$). Nos demais experimento nenhuma correlação significativa foi observada ($p > 0,05$).

3.5 DISCUSSÃO

Por vez, as condições ambientais para a calcificação e metabolismo líquido foram mais favoráveis nas poças do que no infralitoral principalmente nos dias de sol e com a ausência de chuva. Na água das poças, em dia nublado e com chuva, ocorreram mudanças bruscas nas variáveis físicas e químicas afetando as taxas de calcificação e o metabolismo líquido das colônias de *S. stellata*.

Nos experimentos “ex situ”, quando as colônias originárias do infralitoral e poça permaneceram numa mesma condição, não houve diferença entre o metabolismo líquido e as taxas de calcificação. Estas colônias responderam similarmente as modificações no meio. Isto é uma evidencia de que as condições físicas e químicas da água influenciam mais as taxas de calcificação e o metabolismo líquido em *S. stellata* do que eventuais diferenças fisiológicas intrínsecas às colônias.

No experimento 1, marcado por um dia de sol, ausência de chuva durante todo o período de incubação e com a temperatura da água alcançando em média 29°C, foram registradas a maiores taxas de calcificação e metabolismo líquido de todos os experimentos realizados. Os maiores valores de temperatura e $\Omega_{\text{aragonita}}$ e a menor pressão parcial na água da poça certamente favoreceram as taxas de calcificação e o metabolismo líquido nas colônias originárias das poças no experimento 1. As colônias das poças calcificaram em águas mais quentes por um período maior que as colônias incubadas com águas mais frias do infralitoral, A água nos frascos incubados com as colônias das poças alcançou temperaturas mais elevadas (28,5 – 31°C) em menor tempo que os frascos contendo água do infralitoral.

No experimento 2 ocorreu o inverso do observado no experimento 1. As variáveis físicas e químicas provavelmente foram mais favoráveis na água do infralitoral para a calcificação e o metabolismo líquido. Estudos reportam o máximo de calcificação ocorrendo em temperaturas mais elevadas, onde à calcificação aumenta com a elevação da temperatura e alcança um platô quando a temperatura se eleva a partir de um ou dois graus Celsius além do pico máximo de verão (Clausen & Roth, 1975).

O trabalho feito por De' ath et al 2009 confirmam estudos prévios realizados por outros autores em que a calcificação aumenta linearmente com a média anual, em larga escala, da temperatura da superfície da água do mar. Entretanto segundo os mesmos autores, em anos com temperaturas anômalas esta relação deixa de ser linear, havendo aumento mas também o declínio da calcificação em anos com temperaturas quentes. A explicação dada reporta às temperaturas anômalas bem mais elevadas da superfície da água do mar registradas em curtos períodos, e que reduzem a calcificação mesmo em anos quentes. Outros estudos reportam o declínio da calcificação com o aumento e a diminuição da temperatura. Marshall & Clode, 2004 em seus experimentos registraram o máximo de calcificação das colônias de *Galaxea* (Oken, 1815) e *Dendrophyllia* (Blainville, 1830) ocorrendo em 25°C, e declinando em temperaturas mais baixas. Em *S. stellata*, no presente estudo, as maiores taxas de calcificação foram registradas em colônias procedentes das poças com temperatura máxima da água atingindo 31°C. As espécies de corais originárias de regiões geograficamente distintas certamente divergem em resposta às mudanças ambientais, entretanto faz-se necessário compreender de que forma as mudanças globais interferem e limitam as taxas fotossintéticas e o metabolismo líquido das espécies de corais scleractíneos.

Experimentos realizados por Abramovitch-Gottlib & Vago (2002) em colônias do coral *Stylophora pistillata* (Esper, 1797) e do hidrocoral *Millepora dichotoma* (Forskal, 1775), registraram uma diminuição nas taxas de calcificação das colônias quando a temperatura da água ultrapassava o intervalo de 29 – 31°C. Os dados obtidos em LAB 3 do presente estudo também registraram declínio na taxa de calcificação em *S. stellata* reportando também ao processo de descalcificação quando a temperatura da água atingiu 34°C.

A calcificação é também dependente do estado de saturação do mineral aragonita na superfície dos oceanos (Gattuso et al., 1998b; Gattuso et al., 1999; Langdon et al., 1998; Kleypas et al., 1999). Estudos em laboratório realizados por Gattuso et al. (1998b), e na BIOSFERA 2 (Langdon et al., 1998) mostraram que as taxas de calcificação em corais e algas calcárias declinaram com a redução do estado de saturação da aragonita calculadas para um curto espaço de tempo. A taxa de calcificação da comunidade calcificadora em BIOSFERA 2 diminuiu em 30% quando o Ω_{arag} foi reduzido de 5,0 para 3,2 numa mesma temperatura.

No experimento 1 realizado em campo a taxa de calcificação das colônias incubadas com a água da poça e $\Omega_{\text{arag}} = 2,6$ e com temperatura inicial da água em 26,7°C alcançando ao final do tempo de incubação em média 29°C, foi em média 70% maior que as colônias incubadas com a água do infralitoral e $\Omega_{\text{arag}} = 2,2$ com temperatura inicial da água em 24°C alcançando ao final do tempo de incubação em média 29°C. Já no experimento 2 realizado

em campo a taxa de calcificação foi maior no infralitoral com $\Omega_{\text{arag}} = 4,5$ e a temperatura inicial da água em $26,6^{\circ}\text{C}$ alcançando ao final do tempo de incubação em média $27,5^{\circ}\text{C}$ enquanto na água da poça o Ω_{arag} foi de 3,85 e temperatura inicial da água em $25,7^{\circ}\text{C}$ alcançando ao final do tempo de incubação em média $26,7^{\circ}\text{C}$. Com esses resultados a calcificação em *S. stellata* não parece aumentar apenas em favor da elevação no estado de saturação da aragonita, mas principalmente com o aumento da temperatura.

No experimento 3 em campo, apesar das diferenças entre a temperatura e ômega aragonita observado entre os dois ambientes nenhuma diferença significativa foi encontrada entre as taxas de calcificação das colônias do infralitoral e poças de maré recifais. Porém uma diferença significativa foi encontrada entre o metabolismo líquido expresso pelas colônias do infralitoral e poças. O estado de saturação do carbonato de cálcio é essencialmente depende da concentração de cálcio, íons carbonatos, temperatura e salinidade (Gattuso et al., 1999; Zeebe & Wolf-Glandow, 2001). Os baixos valores de salinidade medidos na água do infralitoral e poças no experimento 3, resultado da entrada de água doce devido à chuva e ao aumento do aporte fluvial neste último experimento, podem ter diminuído a concentração de cálcio na água, afetando assim a calcificação. Gattuso et al. (2000) demonstrou em seus experimento que a redução na concentração de carbonato de cálcio reduz a calcificação enquanto as taxas fotossintéticas permanecem inalteradas.

A condição de poça de maré recifal favoreceu o metabolismo líquido das colônias originárias das poças no experimento 1 e 3 de campo. No experimento 2, além da temperatura e da concentração de CID ter sido maior na água do infralitoral, a concentração de clorofila significativamente maior nas colônias do infralitoral pode ter contribuído para o metabolismo líquido mais elevado.

Reynaud et al. (2003) reportaram que o conteúdo de clorofila – a em *S. pistillata* durante o curso dos experimentos foi significativamente afetada pela temperatura, e maior sob condições de alta temperatura e alta $\text{pCO}_{2\text{água}}$. Em *S. stellata* a concentração de clorofila – a não foi significativamente diferente entre as colônias do infralitoral e poças exceto no experimento 2. Nos recifes de Coroa vermelha as colônias de *S. stellata* habitam as poças de maré recifais e a região do infralitoral, Na água poças a $\text{pCO}_{2\text{água}}$ é significativamente menor e a temperatura significativamente maior do que na região do infralitoral,

Herfort et al. (2008) em seus estudos demonstraram que a saturação das taxas de calcificação e taxas fotossintéticas ocorrem em diferentes concentrações de CID para as espécies dos corais scleractineos *Porites porites* (Pallas, 1766) e *Acropora* sp (Oken, 1815). A concentração de CID na água do mar é de aproximadamente 2 mM e geralmente não é

considerada restritivo para a fotossíntese. Segundo os mesmo autores a calcificação e a fotossíntese foram estimuladas com a adição de HCO_3^- , onde a taxa de calcificação tornou-se saturada em 6 mM de HCO_3^- e a taxa fotossintética em 4 mM de HCO_3^- . No presente estudos a concentração de CID medidas no infralitoral e poças de maré recifais não parecem justificar as diferenças encontradas entre o metabolismo líquido e as taxas de calcificação das colônias originárias do infralitoral e poças de maré recifais.

A fixação do dióxido de carbono (fotossíntese) e a precipitação do carbonato de cálcio (calcificação) estão fisiologicamente integradas nos corais escleractíneos zooxantelados.

A calcificação é maior durante o dia do que à noite, e isso tem apoiado a hipótese da integração da fotossíntese com a calcificação (Gattuso, 1999). Herfort et al. (2008) em seus experimentos realizados com *Acropora sp.* constataram que a calcificação é maior durante o dia que à noite, porém para estes autores a fotossíntese não é o único meio pelo qual, estes resultados podem ser explicados. Em experimentos realizados durante o período noturno estes autores adicionaram HCO_3^- na água do mar e constataram que as taxas de calcificação expressas pelas colônias foram bem próximas que aquelas medidas na presença de luz na água do mar sem adição de HCO_3^- . Então a adição de HCO_3^- pode compensar a ausência do efeito fotossintético sobre a calcificação e também independe do efeito da luz.

Experimentos realizados por Adey & Small, (2000) indicam que nos recifes de corais a calcificação é aumentada na presença de algas não calcificadoras. Muscatine et al. (2005), descreveram o processo de calcificação nos corais escleractíneos zooxantelados como um processo físico químico biológico dirigido, onde as algas simbióticas que disponibilizam produtos da fotossíntese ao hospedeiro e aumentam a taxa de calcificação do mesmo. Os mesmos autores encontraram diferença entre corais zooxantelados e azooxantelados referentes ao conteúdo de 15N presente na matriz orgânica esquelética. Os corais zooxantelados apresentaram concentrações significativamente menores que 15N, indicando o efeito das algas simbiontes no sistema da matriz orgânica.

Segundo Langdon & Atkinson, (2005), a relação simbiótica com as zooxantelas é importante para o crescimento dos corais de modo que a taxa de calcificação nos corais zooxantelados é maior do que nas espécies azooxanteladas. No presente estudo, uma correlação significativamente positiva foi observada entre as taxas de calcificação e o metabolismo líquido em *S. stellata*. Entretanto o efeito das variáveis físicas e químicas que influencia tanto a taxa de calcificação quanto o metabolismo líquido no presente contexto, afeta o possível estado de interdependência entre fotossíntese e calcificação.

3.6 CONCLUSÃO

As colônias de *Siderastrea stellata* incubadas com a água dos seus respectivos locais de origem (infralitoral e poças de maré recifais) apresentaram taxas de calcificação e metabolismo líquido significativamente diferentes. Quando incubadas numa mesma água, as colônias coletadas no infralitoral e poças expressam taxas de calcificação e metabolismo líquido similares.

A temperatura parece ser o principal fator norteador da calcificação em *S. stellata*. Um ótimo de calcificação foi observado em temperaturas ente 28 – 30°C para *S. stellata*.

O Ω_{arag} tem um papel secundário na calcificação em *S. stellata* atuando quando a temperatura é mais baixa (aqui em torno de 26°C).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOVITCH-GOTTLIB, L.; KATOSHEVSKI, D.; VAGO, R. A computerized tank system for studying the effect of temperature on calcification of reef organisms. **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**. 2002. Vol. 31 (3-3), p. 254-252.

ADEY, W. H. & SMALL, A. M. Community and environmental influences on reef coral calcification. **Limnology Oceanography**. 2000. Vol. 45 (7), p. 1667-1671.

AOUAD, M. (1998). *Projeto Porto Seguro – Santa Cruz Cabrália*: clima. Salvador: CPRM, v.1, Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial – GATE, 48p.

ATKINSON, L.P.; HUTHNANCE, J.; BLANCO, J. L. Circulation, mixing and the distribution of remineralized nutrients. 2004. **In**: Robinson, A. R.; McCarthy, J.; Rothschild, B. J. (Org). **The sea**. Vol. 13, p. 227-268.

ATKINSON, L.P.; STEVEN, A.D.L. Nutrient uptake by coral-reef microatolls. 2003. **Coral Reefs**. Vol. 22, p 197-204

BATES, N.R. Seasonal variability of the effect of coral reefs on seawater CO₂ and air sea CO₂ exchange. 2002. **Limnology Oceanography**. Vol. 47 (1) p. 43-52.

BEGON, M.; C, R, TOWNSEND; J, L, HARPER. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4. ed. Porto Alegre, 2007. 500 p.

BEYERS, R.J. The Metabolism of Twelve Aquatic Laboratory Microecosystems. 1963. **Ecological Society of America**. Vol. 33 (4), p. 281-306.

BITTENCOURT, A. C. O. P.; DOMINGUEZ, J. M. L; MARTIN, L. SILVA, I. R. Patterns of Sediment Dispersion Coastwise the State of Bahia – Brazil. 2000. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Vol. 72 (2).

CARMOUZE, J-P. **O Metabolismo dos Ecossistemas Aquáticos, Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas**. Ed. Edgard Blücher/FAPESP. São Paulo, 1994. 253 p.

CASTRO, C.B. & PIRES, D.O. Brazilian coral reefs: what we already know and what is still missing. 2001. **Bulletin of Marine Science**. Berlim. Vol 69 (2): p. 357-371.

CLAUSEN, C.D.; ROTH, A.A. Effect of temperature and temperature adaptation on calcification rate in the hermatypic coral *Pocillopora damicornis*. 1975. **Marine Biology**. Vol. 3, p. 93–100.

COSTA JR, O.S.; ATRILL, M.J.; PEDRINI, A.G. & DE-PAULA, J.C. Benthic macroalgal distribution in coastal and offshore reefs at Porto Seguro bay, Brazilian Discovery Coast. 2000. **Coral Reefs Symposium**. Proc. 9th Int.

COSTA JR, O.S.; ATTRILL, M.J.; NIMMO, M. Seasonal and spatial controls on the delivery of excess nutrients to nearshore and offshore coral reefs of Brazil. 2006. **Journal of Marine Systems**. Vol **60**, p. 63-74.

DE'ATH, G.; LOUGH, J. M.; FABRICIUS, K. E. Declining Coral Calcification on the Great Barrier Reef. **Science**. 2009. Vol. **323**, p. 116-119.

DICKSON, A. G.; MILLERO, F. J. A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media. 1987. **Deep-Sea Research**. Vol **34**, p. 1733-1743.

DOMINGUEZ, J.M.L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S. A Costa do Descobrimento, BA - A geologia vista das caravelas, **In:** Schobbenhaus, C.; Campos, D.A. ; Queiroz, E.T.; Winge, M.; Berbert-Born, M.L.C. (Edits.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. 1. Ed. Brasília, 2002. DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP). Vol.1, p. 233-241.

Disponível em <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio071/sitio071.pdf>

FRANKIGNOULLE, M.; CANON, C.; GATTUSO, J-P. 1. Marine calcification as a source of carbon dioxide: Positive feedback of increasing atmospheric CO₂. 1994. **Limnology and Oceanography**. Vol. **39** (2), p. 458-462.

FRANKIGNOULLE, M.; PICHON, M.; GATTUSO, J-P. Aquatic Calcification as a Source of Carbon Dioxide. 1995. **Carbon Sequestration in the Biosphere**. Vol, **1** (33), p.1-7.

FURLA, P.; GALGANI, I.; DURAND, I.; ALLEMAND, D. Sources and mechanisms of inorganic carbon transport for coral calcification and photosynthesis. 2000. **The Journal of Experimental Biology**. Vol. **203**, p. 3445–3457.

GATTUSO, J.-P.; ALLEMAND, D.; FRANKIGNOULE, M. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral: a review on interactions and control by carbonate chemistry. 1999. **American Zoologic**. Vol. **39**, p. 160-183.

GATTUSO, J.-P.; FRANKIGNOULLE, M.; WOLLAST. O. Carbon and Carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems., 1998- a. **Annual Revision Ecology System**. Vol. **29**, p. 405–34.

GATTUSO, J-P.; FRANKIGNOULE, M.; BOURGE, I.; ROMAINE, S.; BUDDEMEIER, R.W. Effect of calcium carbonate saturation of seawater on coral calcification. 1998- b. **Global and planet Change**. Vol. **18**, p.37-46.

GATTUSO, J-P.; PAYRI, C. E.; PICHON, M.; DELESALLE, B.; FRANKIGNOULE, M. Primary production, calcification and air-sea, CO₂ fluxes of a macroalgal - dominated coral reef community. 1997. **Journal Phycol.** Vol. **33**, p. 729-732.

GOREAU, T. F.; GOREAU, N. I.; GOREAU, T. J. Corals and Coral Reefs. 1979. Reimpresso pela **Scientific American**.

GRASSHOFF, K.; EHRARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis. 1983.** Weinheim. Verlag Chemie. 419 p.

HERFORT, L. THAKE, B.; TAUBNER, I. Bicarbonate stimulation of calcification and photosynthesis in two hermatypic corals. 2008. **Journal Phycol.** Vol. **44**, p. 91-98

HETZEL, B. & CASTRO, C. B. **Corais do sul da Bahia.** 1994. Ed. Nova Fronteira. 189p.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, G.; CALLANDER, B. A.; N, HARRIS N.; KATTENBERG, A. & MASKELL, K. 1996. Climate change. **The science of climate change.** University Press. Cambridge. 572 p.

HOWE, S. A.; MARSHALL, A. T. Temperature effects on calcification rate and skeletal deposition in the temperate coral, *Plesiastrea versipora* (Lamarck). 2002. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.** Vol. **275** (1), p. 63-81.

HUGGETT, J.; GRIFFITHS, C. L. Some relationships between elevation, physical - chemical variables and biota of intertidal rock pools. 1986. **Marine Ecology Prog.** Vol. **29**, p. 189-197.

ITTEKKOT, V.; SCHAFER, P.; HAMBURG, H. hydrological alterations and marine biogeochemistry: A silicate issue? 2000. **BioScience.** Vol. **50** (9), p. 776-782.

KAJIWARA, K.; NAGAI, A.; UENO, S.; YOKOCHI, H. Examination of the effect of temperature, light intensity, and zooxanthellate concentration on calcification and photosynthesis of Scleractinian coral *Acropora pulchra*. 1995. **Faculty of Marine Science and Technology.** Tokai University. Vol. **40**, p. 95-103.

KAYANNE, H.; SUZUKI, A.; SAITO, H. Diurnal changes and partial pressure of carbon dioxide in coral reef water. 1995. **Science.** Vol. **269**, p. 214-216.

KAPLAN, E. H. Field guide to coral reef of the Caribbean and Florida, Boston. 1982. **Houghton-Mifflin Company**, 289p.

KLEYPAS J. Modeled estimates of global reef habitat and carbonate production since the last glacial maximum. 1997. **Paleoceanography.** Vol. **12**, p. 533-45.

KLEYPAS, J.A.; BUDDEMEIER, R.W.; ARCHER, S.; GATTUSO, J-P.; LANGDON, C.; OPDYK, B.N. Geochemical Consequences of Increased Atmospheric Carbon Dioxide on Coral Reefs. 1999. **Science**. Vol. **284**, p. 118 – 120.

KNOPPERS, B.A & MOREIRA, P.F. Matéria em suspensão e sucessão do fitoplâncton na Lagoa da Guarapina,. 1988. **Acta Limnológica Brasileira**, Rio de Janeiro Vol. **3** (2), p. 291-317.

KRAINES, S.B.; SUZUKI, Y.; OMORI, T.; SHITASHIMA, K.; KANAHARA, S.; KOMIYAMA, H. Carbonate dynamics of the coral reef system at Bora Bay, Miyako Island. 1997. **Marine Ecology, Prog. Ser.** Vol. **156**, p. 1 -16.

LABOREL, J.L., Madreporaires et hydrocoralliaires récifaux des côtes brésiliennes: systematique, ecologie, repartition verticale et geographie. 1969. **Annales Institut Oceography. Paris**. Vol. **47**, p. 171-229.

LANGDON, C.; ATKINSON, M. J. Effect of elevated pCO₂ on photosynthesis and calcification of corals and interactions with seasonal change in temperature/irradiance and nutrient enrichment. 2005. **Journal of geophysical research**. Vol. **110**, p. 1-16.

LANGDON, C.; TAKAHASHI, T.; McCONNAUGHEY, H.; WEST, H. Effects of calcium carbonate saturation state on the rate calcification of an experimental coral reefs. 1998. **American Zoologic**. Vol. **37**, 72A.

LEÃO, Z.M.A.N. **The coral reefs of Southern Bahia**. In: Hetzel, B. & Castro C.B.(eds). Ed, Nova fronteira, Rio de Janeiro, 1994. 159 p.

LEÃO, Z. M. A.; N BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; NOLASCO, M. C.; MARTIN, L. The effects of Holocene sea level fluctuations on the morphology of the Brazilian coral reefs. 1985, **Revista Brasileira de Geociências**. Vol. **15** (2), p. 154-157.

LEÃO, Z.M.A.N. 1986. **Guia para identificação dos corais do Brasil**. Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geofísica. Instituto de Geociências – UFBA, Salvador. 57p.

LECLERCQ, N.; GATTUSO, J-P.; JAUBERT, J. CO₂ partial pressure controls de calcification rate of a coral community. 2000. **Global Change Biology**. Vol. **6**, p. 329-334.

LOPES, H. B. V. & BONFIM, L. F. C. 2000. Uso do Solo e Cobertura Vegetal. In H. B.V. Lopes & L. F. C. Bomfim, (eds.). *Projeto Porto Seguro – Santa Cruz Cabralia: Hidrogeologia*. Programa Informações Para Gestão Territorial – GATE. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Prefeituras Municipais de Porto Seguro e Santa Cruz Cabralia, Salvador, volume 5, p. 1-43.

MARSHALL, A. T.; CLODE, P. Calcification rate and the effect of temperature in a zooxanthellate and an azooxanthellate scleractinian reef coral. 2004. **Coral Reefs**. Vol. **23**, p. 218-224.

- MC. COOK, L.J. Competition between coral and algal turfs along a gradient of terrestrial influence in the nearshore central Great Barrier Reef. 2001. **Coral Reefs**. Vol. **19**, p. 491-425.
- MULLER, B.; WANG, Y.; WEHRLI, B. 2006, Cycling of calcite in hard water lakes of different trophic states, **Limnology and Oceanography**, **51** (4):1678-1688.
- MUSCATINE, L.; GOIRAN, C.; LAND, L.; JAUBERT, J.; CUIF, JEAN-PIERRE; ALLEMAND, D. Stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of organic matrix from coral skeleton. 2005. **PNAS**. Vol. **102**, p. 1525-1530.
- NAKAMURA, T.; WOESIK, R. VAN. Water-flow rates and passive diffusion partially explain differential survival of corals during the 1998 bleaching event. 2001. Vol. **212**, p. 301–304.
- NYBAKKEN, J. W. **Marine biology and ecological approach**. 1993. Harper Collins College Publishers. Vol. 3, 462 p.
- PARSONS, T.R.; MAITA, Y. & LALLI, C.M. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. 1984. **Pergamon Press**. 173 p.
- PITTOCK, A. B. Coral reefs and environmental change: adaptation to what? 1999. *American Zoologic*. Vol. **39**, p. 10 - 29.
- REID, G. K. **Ecology of intertidal zones**. Ed. Educational Programs Improvement Corporation. Colorado, 1967. Vol. **1**, p. 56-63.
- REYNAUD, S.; LECLERCQ, N.; ROMAINE-LIOUD, S.; FERRIER-PAGÉS, C.; JAUBERT, J.; GATTUSO, J-P. Interacting effects of CO₂ partial pressure and temperature on photosynthesis and calcification in a scleractinian coral. 2003. **Global Change Biology**. Vol. **9** (11): p. 1660 -1668.
- RIVERA, G.L. Effects of water movement and sedimentation on the community structure of scleractinian corals. 1994. St. John, Virgin Islands (United States). **Neritica**. Vol. **8** (1-2), p. 7 - 19.
- SANTOS, M.G.; AMARAL, F.D.; HERNANDÉZ, M.I.M.; KNOWLTON, N.; JARÁ, J. Variação morfológica de *Favia fravida* Verrill, 1986 e *Siderastrea stellata* Verrill 1868 (Cnidaria, Scleractinia): Aspectos esqueléticos. 2004. **Boletim do Museu Nacional**. Vol. **517**, p.1- 9.
- SMITH, S.V.; KINSEY, W. Calcification and organic carbon metabolism as indicated by carbon dioxide. 1978. In: STODDART, D.R.; JOHANNES, R.E, (eds), **Coral Reefs: Research methods**, Monogr, Oceanogr, Methodol., **5**. UNESCO, p. 469 - 484.
- ZEEBE, R. E.; WOLF-GLADROW, D. CO₂ in Seawater: Equilibrium, kinetics, Isotopes. 2001. **Elsevier Oceanography Series**, 346p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)