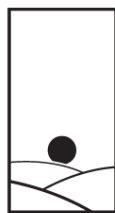


Proponente: Brenno Januario da Silva



BOLSAS FUNBIO
CONSERVANDO
O FUTURO

**REVERSÃO LOCAL DOS EFEITOS DA ACIDIFICAÇÃO OCEÂNICA: UMA
ABORDAGEM EXPERIMENTAL PARA AUXILIAR NA CONSERVAÇÃO DOS
AMBIENTES RECIFAIS**

Eixo temático: Mudanças climáticas e conservação da biodiversidade

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Programa: Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGO)

Candidato: Brenno Januario da Silva

Orientador: Manuel de Jesus Flores Montes

Bolsa solicitada: Doutorado

Titulação: Mestre e PhD em Oceanografia
pela UFPE

Titulação: Mestre em Oceanografia
pela UFPE

Cargo e vínculo: Professor Associado
da UFPE

Lattes:

Lattes:

<http://lattes.cnpq.br/1114800951785631>

<http://lattes.cnpq.br/2999296486918048>

Endereço profissional: Av. Arquitetura, s/n,
Cidade Universitária, Recife/Pernambuco

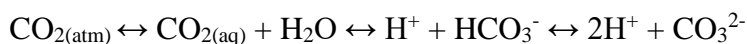
Endereço profissional: Av. Arquitetura, s/
n, Cidade Universitária, Recife/Pernambuco

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

O significativo crescimento das emissões de gás carbônico (CO₂) na atmosfera a partir do período revolução industrial é uma das principais características que segundo alguns pesquisadores, representa a mudança da época geológica Holoceno para o denominado Antropoceno (DONEY & SCHIMEL, 2007; ZALASIEWICZ et al., 2008; STEFFEN et al., 2011; DIRZO et al., 2014). Entre o século XVIII e início do XXI o CO₂ atmosférico apresentou um aumento de ~40%, uma taxa 10 vezes mais rápida do que já ocorreu em milhões de anos, atingindo atuais valores de 413ppm (LUTHI et al., 2009; NOAA, 2019).

As atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo) e o desflorestamento, são os principais responsáveis pelas grandes emissões e acúmulo de CO₂ na atmosfera (DONEY & SCHIMEL, 2007). Esse gás está diretamente relacionado com os fenômenos das mudanças climáticas, sendo um dos principais causadores do efeito estufa e do comumente chamado de “outro problema do CO₂”, a acidificação oceânica (AO) (STEFFEN et al., 2011; DIRZO et al., 2014).

A AO é atualmente considerada um dos grandes problemas ambientais, representada pela redução do pH médio e da concentração de carbonato (CO₃²⁻) do ambiente marinho (ORR et al., 2005; DONEY et al., 2009; FEELY et al., 2009). Pelo fato de serem grandes depósitos de carbono, por difusão, os oceanos já absorveram mais de um terço do total de CO₂ de origem antrópica emitido, equivalente a ~120Pg, regulando os níveis desse gás acumulado na atmosfera (GRUBER et al., 1996; SABINE et al., 2004; FEELY et al., 2009). A reação do CO₂ em sua forma aquosa com a molécula da água (H₂O), resulta na liberação de bicarbonato (HCO₃⁻) e prótons de hidrogênio (H⁺), que por sua vez tende a ser neutralizado pelo CO₃²⁻ dissolvido:



No entanto, conforme há um aumento nos níveis de CO_{2(atm)}, há sua maior captação e consequentemente maior formação H⁺, responsável pela redução do pH (-log₁₀[H⁺]), e mais CO₃²⁻ tende a reagir com esses prótons, ficando assim menos biodisponível. Diante disso, os organismos construtores de recifes, como os corais, algas calcárias, moluscos, dentre outros, são significativamente impactados (GATTUSO et al., 1998; KLEYPAS et al., 2011; BATES et al., 2010; CRUZ et al., 2014; MARANGONI et al., 2017).

A estrutura dos recifes biogênicos é constituída por carbonato de cálcio (CaCO₃) oriundo das atividades metabólicas dos organismos calcificantes, que utilizam do cálcio (Ca²⁺) e CO₃²⁻ disponíveis na água do mar para formação de seus esqueletos. Entretanto, sob as

Proponente: Brenno Januario da Silva

condições de AO, esses organismos apresentam suas taxas de calcificação significativamente reduzidas (LANGDON et al., 2003; YATES & HALLEY, 2006; HOEGH-GULDBERG et al., 2007; KLEYPAS et al., 2011), o que pode implicar na diminuição da capacidade de construção de recifes, assim como na perda de habitats e de biodiversidade (FEARY et al., 2007; CRUZ et al., 2014).

O pH médio dos oceanos já diminuiu mais de 0,1 e a saturação de carbonato de cálcio (Ω_{ar}) em ~20% desde a revolução industrial até a atualidade, o suficiente para reduzir 10% da cobertura coralínea em alguns recifes do globo (ORR et al., 2005; DE'ATH et al., 2012). Trabalhos mostram que antes do final do século XXI a média do pH sofrerá uma redução de 0,4, o que resultará na subsaturação de CO_3^{-2} e em uma mortalidade em massa dos organismos calcificantes, trazendo consequentes impactos âmbito socioeconômico e principalmente na dinâmica trófica do ecossistema recifal (ORR et al., 2005; EYRE et al., 2018; IPCC, 2013; 2014).

Os recifes de corais são habitats de extrema importância ecológica e socioeconômica, pois abrigam e são locais de reprodução e desova para diversas espécies de organismos, garantem proteção diante da erosão costeira, são utilizados como fontes de renda e subsistência por milhões de pessoas, dentre outros fatores (PENDLETON et al., 2016). No entanto, a falta de estudos sistemáticos sobre as mudanças climáticas aumenta a vulnerabilidade desse ecossistema (PBMC, 2014).

Portanto, estudos que compreendam formas de mitigar os impactos da AO são cada vez mais necessários para auxiliar na conservação recifal. A alcalinização artificial dos oceanos (AAO) tem ganhado destaque como uma forma de reduzir os níveis de CO_2 acumulado na atmosfera e os impactos da AO (HARTMANN et al., 2013; ILYINA et al., 2013; KOHLER et al., 2013; FENG et al., 2016; 2017). O princípio dessa técnica é baseado na adição de uma solução alcalina, como hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), olivina (Mg_2SO_4) ou $CaCO_3$, nos oceanos, com o propósito de neutralizar os H^+ em excesso, permitindo assim a maior captação de CO_2 atmosférico, aumentando os valores de pH e da saturação de $CaCO_3$ (CALDEIRA & RAU, 2003; HARVEY, 2008).

Trabalhos de modelagem que vêm aplicando a AAO em escala global e regional mostram que essa técnica é eficiente na mitigação dos impactos da AO, protegendo principalmente os ecossistemas recifais (KELLER et al., 2014; FENG et al., 2016; 2017). Contudo, deve-se levar em consideração que a longo prazo pode resultar em alguns impactos

Proponente: Brenno Januario da Silva

ecológicos, como o aumento da produtividade primária e da concentração de metais pesados, como o ferro (Fe), por isso, é uma técnica de reparação que deve agir em simultâneo com a redução das emissões de CO₂ na atmosfera (GONZÁLES & ILYINA, 2016; GONZÁLES et al., 2018).

A AAO trata-se de uma estratégia da engenharia do clima consideravelmente recente e ainda pouco estudada em termos práticos. Somente um trabalho foi realizado *in situ*, em uma piscina natural da Grande Barreira de Corais, Austrália, portanto em escala local e a curto prazo, com o objetivo de verificar os efeitos nos recifes ao adicionar uma solução alcalina (ALBRIGHT et al., 2016). Nesse trabalho, a região recifal de estudo apresentou um aumento na taxa de calcificação de $6,9 \pm 0,9\%$, contribuindo a princípio com a proteção dos recifes de corais (ALBRIGHT et al., 2016).

No litoral brasileiro, uma das maiores Unidades de Conservação (UC) federais marinhas, a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais (APACC), permanece sem trabalhos envolvendo a problemática da AO. A APACC possui mais de 400 mil ha. de área e cerca de 120km de praia, que se estende desde o município de Rio Formoso, Pernambuco (PE), ao norte de Maceió, Alagoas (AL). Foi criada em 1997 com o principal objetivo de garantir a conservação da biodiversidade dos recifes coralíneos e de arenito.

Dentre os recifes da APACC, os situados no município de Maragogi (AL) apresentam as maiores coberturas coralíneas (FERREIRA & MAIDA, 2006). São encontradas mais de 9 espécies de corais pétreos, destacando-se as colônias de *Millepora alcicornis* Linneaus, 1758 e *Porites asteroides* Lamarck, 1816, além de algas calcárias, e outros diversos organismos (FERREIRA & MAIDA, 2006; CAVALCANTE et al., 2014). No entanto, os impactos das mudanças climáticas, como o aumento do percentual de colônias branqueadas, já estão sendo registrados (FERREIRA & MAIDA, 2006).

Diante disso, o presente projeto tem como principal objetivo aplicar um experimento de alcalinização *in situ* em uma piscina natural dos recifes de Maragogi-AL, testando a hipótese de que a adição de uma solução alcalina aumenta a taxa de calcificação recifal e a saturação do CaCO₃ em escala local e a curto prazo. Os resultados gerados serão significativos subsídios para ações de conservação da APACC, pois, por se tratar do primeiro experimento aplicado no Brasil, servirá como uma base para a elaboração de métodos que possam assegurar resultados a longo prazo e irá destacar a importância da criação de políticas para a redução da emissão de CO₂.

Proponente: Brenno Januario da Silva

OBJETIVO GERAL

Aplicar um experimento de reversão local e a curto prazo dos efeitos da acidificação oceânica em uma piscina natural dos recifes de Maragogi, localizada no litoral norte da APA Costa dos Corais.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo 1: Aumentar os valores da taxa de calcificação recifal e de saturação do CaCO_3 em uma piscina natural dos recifes de Maragogi;

Objetivo 2: Monitorar a variação dos parâmetros abióticos, como pH, pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$), nutrientes, clorofila-*a*, diante da manipulação química durante o período de estudo.

METODOLOGIA

Atividades previstas

Será realizado um experimento *in situ* de alcalinização, em uma piscina natural dos recifes de Maragogi (9°0'15.72"S, 35°10'53.94"O), escala local e a curto prazo, onde serão coletadas amostras de água para posterior análises dos parâmetros abióticos, como taxa de calcificação recifal e de saturação do CaCO_3 , pH, alcalinidade total (AT) e nutrientes. O experimento será dividido em duas etapas, seguindo a metodologia de Albright et al. (2016), ambas realizadas durante o segundo semestre de 2020.

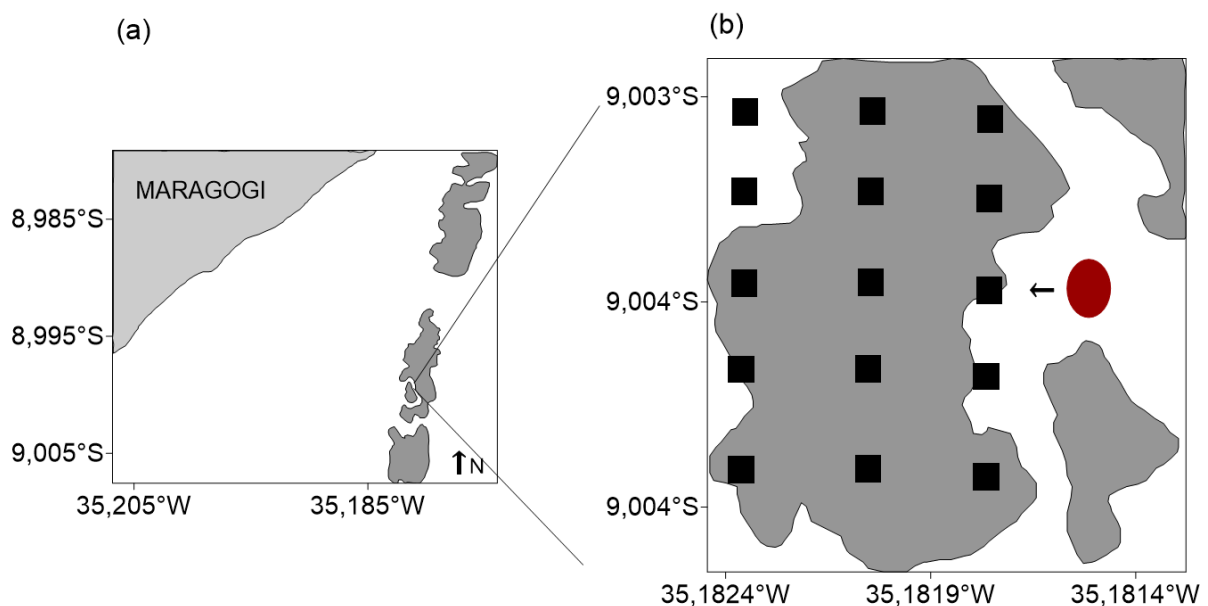
Experimento

A primeira etapa consiste no controle, onde durante a maré baixa serão avaliados os parâmetros sistema carbonato da área de estudo e fluxo das correntes no período de 15 dias, sem a adição da solução alcalina. Já na segunda etapa, também no período de 15 dias, um tanque inflável de 15m³ será parcialmente submerso durante a maré vazante, e abastecido gravitacionalmente com água do mar. Nesse tanque ocorrerá a manipulação química, onde diariamente será adicionado uma solução de 10 mol L⁻¹ de NaOH, sendo homogeneizada por ~45 minutos com o auxílio de duas bombas submersíveis, e tendo o pH controlado para que não ultrapasse o valor de 8,5, evitando a formação do mineral brucite ($\text{Mg}(\text{OH})_2$).

Proponente: Brenno Januario da Silva

A solução alcalina será distribuída na área de estudo com o auxílio das bombas submersíveis e mangueiras de vinil, durante um período de 60 minutos, em aproximadamente 2L s^{-1} na maré baixa. Após os 60 minutos, serão realizadas as coletas de água para posterior análises. Transectos a montante, intermediários e a jusante do tanque experimental serão estabelecidos, onde 5 pontos de coleta serão distribuídos em cada (Fig. 1).

Figura 1: Desenho experimental. Local da área de estudo (a). Quadrados indicam os pontos de coleta, o círculo vermelho e a seta representam o tanque experimental e fluxo dominante da corrente respectivamente (b).



Análises químicas

Os valores de temperatura, salinidade, condutividade e profundidade serão obtidos *in situ* com o auxílio de um CTD Seabird 911+. O oxigênio dissolvido (OD) será determinado usando a metodologia modificada de Winkler (SRICKLAND & PARSONS, 1972), onde as amostras são fixadas em campo com sulfato de manganês (MnSO_4) e iodeto de potássio (KI), e em no máximo 24hrs serão tituladas com tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$).

As amostras de nutrientes inorgânicos dissolvidos (NID) serão resfriadas logo após a coleta e posteriormente filtradas, para obtenção do material particulado em suspensão (STRICKLAND & PARSONS, 1972) e congeladas, para reduzir a atividade biológica. Serão analisadas no Laboratório de Oceanografia Química (LOQuim) da Universidade Federal de

Proponente: Brenno Januario da Silva

Pernambuco (UFPE) através de métodos colorimétricos usando um espectrofotômetro Cary 100. O amônio ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) será analisado de acordo com Bower & Holm-Hansen (1980), enquanto o silicato ($\text{Si}(\text{OH})_4$) e fósforo inorgânico dissolvido serão medidos seguindo a metodologia de Grasshoff et al. (1983). Nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) serão analisados pelo método da sulfanilamida ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$) (GARCÍA-ROBLEDO et al., 2014). A clorofila-a (Chl-*a*) também será analisada com o uso do espectrofotômetro, de acordo com a metodologia da UNESCO (1966).

As amostras de água para as análises dos parâmetros do sistema carbonato serão supersaturadas com cloreto de mercúrio (HgCl_2) em campo, para evitar a influência das atividades biológicas nos resultados, e analisadas em laboratório. AT e pH serão medidos seguindo a metodologia descrita por Dickson et al. (2007), onde materiais certificados de referência internacional (CRM), produzidos por Andrew Dickson (Scripps Institution of Oceanography), serão utilizados para padronização e controle de qualidade desses resultados. Os demais parâmetros do sistema carbonato (carbono inorgânico dissolvido (C_T) $p\text{CO}_2$, Ω_{ar} , Ω_{ca}) serão calculados através do software[®] CO2SYS v2.1, e as taxas metabólicas de calcificação (NEC) e produtividade (NPP) serão obtidas segundo as seguintes equações propostas por Langdon et al. (2010).

Análise de dados

A análise de variância (ANOVA) será utilizada para testar as diferenças significativas entre a etapa controle e a de adição da solução alcalina. Para testar correlações entre os parâmetros será aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA). As análises estatísticas serão realizadas no software[®] JMP e todos os dados serão previamente testados quanto à normalidade e homocedasticidade.

INFRAESTRUTURA E TECNOLOGIA A SER UTILIZADA

O presente projeto terá o apoio logístico da APACC (alojamento da equipe) e irá utilizar a infraestrutura e tecnologias do LOQuim da UFPE para a realização de todas as análises químicas. Contando com:

- 2 CTD Seabird 911+ para a obtenção dos valores de temperatura, salinidade e profundidade *in situ*;

Proponente: Brenno Januario da Silva

- 1 espectrofotômetro Carry 100 para a leitura das amostras de nutrientes inorgânicos dissolvidos;
- 1 espectrofotômetro Ocean View para a leitura do pH;
- 1 titulador automático de AT Apollo SciTech modelo AS-ALK2;
- 2 balanças analíticas de precisão para a pesagem dos materiais e reagentes utilizados durante as análises;
- 2 buretas automáticas para a realização da titulação das amostras de oxigênio dissolvido;
- 2 estufas de secagem para a secagem dos filtros utilizados na separação do material particulado das amostras de nutrientes;
- 5 caixas de Certified References Materials (CRM) para a calibração e validação dos dados do sistema carbonato.

RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO PREVISTO DO PROJETO

Obtenção de dados inéditos para a região tropical sobre metodologias que possibilitam a compreensão dos efeitos da AO nos ambientes recifais, com alta relevância ecológica por se tratar de uma técnica *in situ*; Representa um estudo pioneiro no Brasil que servirá de base para trabalhos de reversão da AO nos recifes a longo prazo e de maiores escalas; Contribuir com a base de dados abióticos da APACC; Gerar artigos científicos para publicação em revistas internacionais e nacionais; A partir da divulgação dos resultados, contribuir para a implementação de políticas públicas para o controle de CO₂ e de poluentes que intensificam a AO.

AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL

A licença para as atividades deste projeto na APACC encontra-se aprovada, com o seguinte número: SISBIO 62389. Data de emissão: 18/02/2019. Enquadrando-se nas atividades de experimentos *in situ*.

Proponente: Brenno Januario da Silva

CRONOGRAMA

Atividades	2020		2021
	1º semestre	2º semestre	1º semestre
Revisão bibliográfica	X	X	X
Preparo e testes para realização do experimento <i>in situ</i>	X		
Aplicação do experimento <i>in situ</i>		X	
Análise de dados		X	
Relatório e Prestação de contas à Funbio			X

Proponente: Brenno Januario da Silva

PLANILHA DE ORÇAMENTO

Bolsas Funbio - Conservando o Futuro ANEXO I - Orçamento Detalhado

CHAMADA N º 02/2019

Título do projeto	Reversão local dos efeitos da acidificação oceânica: Uma abordagem experimental para auxiliar na conservação dos ambientes recifais	
Nome do Proponente	Brenno Januario da Silva	
Instituição de Ensino e Programa	Universidade Federal de Pernambuco/Programa de Pós-Graduação em Oceanografia	
Tipo de Bolsa (Mestrado ou Doutorado)	Doutorado	
Total requisitado (R\$)	R\$ 28.875,00	

Orçamento da Pesquisa						
Categoria de despesa	Descrição dos itens	Material será cedido para Instituição (Sim ou Não)	Quantidade	Unidade (un; litro; metro; dia; km)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Uso e consumo (descrever cada item)	Hidróxido de sódio (NaOH) para a realização do experimento	Sim	30	kg	R\$ 40,00	1,200,00

Proponente: Brenno Januario da Silva

Serviço de Terceiros Pessoa Física	Auxiliar de campo	Não	35	Dias	R\$ 85,00	2,975,00
Serviço de terceiros Pessoa Jurídica	Barqueiro/Alguel de embarcação	Não	35	Dias	R\$ 200,00	7,000,00
Viagens	Gasolina durante o período do experimento	Não	300	L	R\$ 4,50	1,350,00
	Aluguel do carro durante o período do experimento	Não	35	Dias	R\$ 150,00	5,250,00
	Alimentação da equipe durante o período do experimento	Não	1	Feira	R\$ 1,000,00	1,000,00
Equipamentos	Tanque d'água inflável 15m ³	Sim	1		R\$ 5,000,00	5,000,00

Proponente: Brenno Januario da Silva

Bomba d'água submersível	Sim	2	R\$ 2,000,00	4,000,00
Mangueira de vinil (50m)	Sim	3	R\$ 100,00	300,00
Transformador	Sim	2	R\$ 400,00	800,00
TOTAL				28,875,00

REFERÊNCIAS

ALBRIGHT, R.; et al.: Reversal of ocean acidification enhances net coral reef calcification. **Nature**, v. 531, n. 7594, p. 362, 2016.

BATES, N. R.; AMAT, A.; ANDERSSON, A. J. Feedbacks and responses of coral calcification on the Bermuda reef system to seasonal changes in biological processes and ocean acidification. **Biogeosciences**, v. 7, n. 8, p. 2509-2530, 2010.

BOWER, C. E.; HOLM-HANSEN, T.: A salicylate–hypochlorite method for determining ammonia in seawater. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, n. 5, p. 794-798, 1980.

CAVALCANTE, F. R. B.; et al.: Checklist e abundância dos Cnidários nos ambientes recifais de Maragogi, Alagoas. **Tropical Oceanography-ISSN: 1679-3013**, v. 42, n. 2, 2014.

CALDEIRA, K.; RAU, G. H.: Accelerating carbonate dissolution to sequester carbon dioxide in the ocean: Geochemical implications. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 2, p. 225-228, 2000.

CRUZ, I. C. S.; et al.: Evidence of a phase shift to *Epizoanthus gabrieli* Carlgreen, 1951 (Order Scleractinia) and loss of coral cover on reefs in the Southwest Atlantic. **Marine Ecology**, v. 36, n. 3, p. 318-325, 2014.

DE'ATH, G.; et al. The 27–year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 44, p. 17995-17999, 2012.

DICKSON, A. G.; et al. Guide to best practices for ocean CO₂ measurements. **PICES Special Publication**. v. 3, p. 191, 2007.

DIRZO, R.; et al.: Defaunation in the Anthropocene. **Science**, v. 345, n. 6195, p. 401-406, 2014.

DONEY, S. C.; SCHIMMEL, D. S.: Carbon and climate system coupling on timescales from the Precambrian to the Anthropocene. **Annu. Rev. Environ. Resour.**, v. 32, p. 31-66, 2007.

EYRE, B. D.; et al.: Coral reefs will transition to net dissolving before end of century. **Science**, v. 359, n. 6378, p. 908-911, 2018.

Proponente: Brenno Januario da Silva

FEARY, D. A.; et al.: Habitat choice, recruitment and the response of coral reef fishes to coral degradation. **Oecologia**, v. 153, n. 3, p. 727-737, 2007.

FEELY, R. A.; et al.: Present Conditions and Future Changes in a High-CO₂ World. **Oceanography**. v.22, n.4, 2009.

FENG, E. Y.; et al.: Could artificial ocean alkalization protect tropical coral ecosystems from ocean acidification?. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 7, p. 074008, 2016.

FENG, E. Y.; et al.: Model-Based Assessment of the CO₂ Sequestration Potential of Coastal Ocean Alkalinization. **Earth's Future**, v. 5, n. 12, p. 1252-1266, 2017.

FERREIRA, B. P; MAIDA, M.: Monitoramento dos recifes de Coral do Brasil. Brasília, MMA. **Série Biodiversidade** 18. 250p. 2006.

GARCÍA-ROBLEDO, E.; CORZO, A.; PAPASPYROU, S.: A fast and direct spectrophotometric method for the sequential determination of nitrate and nitrite at low concentrations in small volumes. **Marine Chemistry**, v. 162, p. 30-36, 2014.

GATTUSO, J. P.; et al.: Effect of calcium carbonate saturation of seawater on coral calcification. **Global and Planetary Change**. v. 18, n.1, p. 37-46, 1998.

GONZÁLEZ, M. F.; ILYINA, T.: Impacts of artificial ocean alkalization on the carbon cycle and climate in Earth system simulations. **Geophysical Research Letters**, v. 43, n. 12, p. 6493-6502, 2016.

GONZÁLEZ, M. F.; et al.: Enhanced Rates of Regional Warming and Ocean Acidification After Termination of Large-Scale Ocean Alkalinization. **Geophysical Research Letters**, v. 45, n. 14, p. 7120-7129, 2018.

GRASSHOFF, K.; et al.: Methods of Seawater Analysis. **Verlag Chemie**, v. 317, 1993.

GRUBER, N.; et al.: An improved method for detecting anthropogenic CO₂ in the oceans. **Global Biogeochemical Cycles**.v.10, n.4, p.809-837, 1996.

HARTMANN, J.; et al.: Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification. **Reviews of Geophysics**, v. 51, n. 2, p. 113-149, 2013.

Proponente: Brenno Januario da Silva

HARVEY, L. D. D.: Mitigating the atmospheric CO₂ increase and ocean acidification by adding limestone powder to upwelling regions. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 113, n. C4, 2008.

HOEGH-GULDBERG, O.; et al.: Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. **Science**, v. 318, n. 5857, p. 1737-1742, 2007.

ILYINA, T., WOLF-GLADROW, D., MUNHOVEN, G., & HEINZE, C.: Assessing the potential of calcium-based artificial ocean alkalization to mitigate rising atmospheric CO₂ and ocean acidification. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 22, p.5909-5914, 2013.

IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, New York, NY, USA, 2013.

IPCC Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, New York, NY, USA, 2014.

KELLER, D. P.; FENG, E. Y.; OSCHLIES, Andreas. Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high carbon dioxide-emission scenario. **Nature communications**, v. 5, p. 3304, 2014.

KLEYPAS, J. A.; et al.: Coral reefs modify their seawater carbon chemistry—case study from a barrier reef (Moorea, French Polynesia). **Global Change Biology**. v. 17, n. 12, p. 3667-3678, 2011.

KÖHLER, P.; et al.: Geoengineering impact of open ocean dissolution of olivine on atmospheric CO₂, surface ocean pH and marine biology. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 1, p. 014009, 2013.

LANGDON, C.; et al.: Effect of elevated CO₂ on the community metabolism of an experimental coral reef. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 17, n. 1, 2003.

LANGDON, C.; et al.: Measurements of calcification and dissolution of benthic organisms and Communities. In: RIEBESELL, U.; FABRY, V. J.; HANSSON, L.; GATTUSO, J.-P. (Eds.), **Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting**, 260 p. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.

LUTHI, D. L.; et al.: High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. **Nature**. v.453, n.7193, p.379-382, 2008.

Proponente: Brenno Januario da Silva

MARANGONI, L. F. B.; et al.: Effects of CO₂-driven acidification of seawater on the calcification process in the calcareous hydrozoan *Millepora alcicornis* (Linnaeus, 1758). **Coral Reefs**, p. 1-9, 2017.

NOAA.: Ed Dlugokencky and Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)

ORR, J. C.; et al.: Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. **Nature**, 2005.v. 437, n.7059, p. 681-686.

PENDLETON, L.; et al.: Coral Reefs and People in a High-CO₂ World: Where Can Science Make a Difference to People?. **PloS one**, v. 11, n. 11, p. e0164699, 2016.

SABINE, C. L.; et al.: The oceanic sink for anthropogenic CO₂. **Science**. v.305, n.5682, p. 367-371, 2004.

STEFFEN, W.; et al.: The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 369, n. 1938, p. 842-867, 2011.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R.: A practical handbook of seawater analysis. Ottawa: **Fisheries Research Board of Canada Bulletin**. n.167, p.207-211, 1972.

YATES, K. K.; HALLEY, R. B. CO₃⁻² concentration and pCO₂ thresholds for calcification and dissolution on the Molokai reef flat, Hawaii. **Biogeosciences Discussions**, v. 3, n. 1, p. 123-154, 2006.

ZALASIEWICZ, J.; et al.: Are we now living in the Anthropocene?. **Gsa Today**, v. 18, n. 2, p. 4, 2008.