



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA  
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO – DEDC  
CAMPUS VIII – PAULO AFONSO/BA  
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**FÁBIO DE BRITO MORAES**

**Análise de ciclos isotópicos de O e C e da taxa de  
crescimento de *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) do  
arquipelago de Fernando de Noronha-PE**

**PAULO AFONSO  
2021**

**FÁBIO DE BRITO MORAES**

**Análise de ciclos isotópicos de O e C e da taxa de crescimento de *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) do arquipélago de Fernando de Noronha-PE**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Departamento de Educação – DEDC, *Campus VIII*, como pré-requisito para obtenção de Grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Natan Silva Pereira

**PAULO AFONSO**  
2021

FICHA CATALOGRÁFICA  
Sistema de Bibliotecas da UNEB

d999a

de Brito Moraes, Fábio

Análise de ciclos isotópicos de O e C e da taxa de crescimento de *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) do arquipelago de Fernando de Noronha-PE / Fábio de Brito Moraes. - Paulo Afonso, 2021.

45 fls : il.

Orientador(a): Natan Silva Pereira.

Inclui Referências

TCC (Graduação - Ciências Biológicas) - Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Educação. Campus VIII. 2021.

1.Taxa de crescimento. 2.Geoquímica. 3.Isótopos estáveis de C e O. 4.*Mussismilia hispida*. 5.Corais.

CDD: 558

**FÁBIO DE BRITO MORAES**

**Análise de ciclos isotópicos O e C e da taxa de crescimento de  
*Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) do arquipélago de Fernando  
de Noronha-PE**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia – UNEB, Departamento de Educação – DEDC, *Campus VIII*, como pré-requisito para obtenção de Grau de Licenciado em Ciências Biológicas.

Data da defesa: 22/06/2021

**Banca Examinadora:**

*Natan Silva Pereira*

---

Prof. Dr. Natan Silva Pereira, Universidade do Estado da Bahia (Orientador)

*José Ricardo de Oliveira Santos*

---

Prof. Me. José Ricardo de Oliveira Santos, Universidade do estado da Bahia

*Patricia Barros Pinheiro*

---

Profa. Dra. Patricia Barros Pinheiro, Universidade do Estado da Bahia

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço a DEUS, pelas conquistas que obtive na vida, pela segurança e saúde não só minha, como também de toda a minha família.

Gostaria de agradecer também aos meus pais, José Andrade de Moraes e Eliane Maria de Brito Moraes, pelo apoio e pelo cuidado que dedicaram a minha vida, saúde e trajetória, e por todo amor entregue. Agradeço também a minha irmã, Cristiane de Brito Moraes, pelo apoio e conselhos dados que me ajudaram a enxergar melhor as possibilidades na minha trajetória e pelo incentivo aos estudos. Ao meu Primo Adriano Moraes pelo incentivo de sempre estudar e seguir em frente, me ajudando a vislumbrar um bom futuro.

Agradeço ao meu orientador Natan Pereira, pela paciência, dedicação e amizade. Por ter me dado a oportunidade de me desenvolver mais e mais na vida acadêmica e pela orientação nesse e em outros trabalhos.

Agradeço à Marina M. Gregório, por estar presente em minha vida pessoal e acadêmica, por toda a dedicação, amor e por sempre me ajudar a me reerguer quando estou pra baixo, pela compreensão e paciência e por toda ajuda no combate aos empecilhos da vida.

Gostaria de agradecer aos meus colegas de classe e do NESP pela ajuda nos trabalhos, amizade e companheirismo.

Agradeço aos docentes da Uneb *Campus VIII* Pelo incentivo, pelo ensino de qualidade e por estarem presentes na minha história como grandes contribuidores da minha personalidade e intelecto.

*“Um número cada vez maior de pessoas acreditava que havia sido um erro terrível da espécie descer das árvores. Algumas diziam que até mesmo subir nas árvores tinha sido uma péssima idéia, e que ninguém jamais deveria ter saído do mar. ”*

*Douglas Adams*

## Resumo

Corais escleractínios são cnidários capazes de incorporar elementos traços em seu esqueleto, cuja análises geoquímicas podem demonstrar, com precisão, diversos fatores ambientais como temperatura, salinidade, cobertura de nuvem entre outros fatores ambientais. O Atlântico Sul Tropical ainda possui uma carência de estudos paleoclimáticos utilizando arquivos com base em corais. Este trabalho tem como objetivo estimar a taxa de crescimento através das análises de isótopos estáveis de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  incorporados no esqueleto do coral *Mussismilia hispida* durante seu crescimento, do Arquipélago de Fernando de Noronha. Para tal, foi estudado uma colônia de *M. hispida* (18MHFN-BI1), sendo realizada amostragens a cada 0,4 mm com uma microfuradeira de mesa, o carbonato retirado para as análises foi armazenado e analisado por espectrometria de massa determinando os valores para os isótopos estáveis  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ . As médias obtidas para o  $\delta^{13}\text{C}$  foram  $(-1,88 \pm 0,72\text{‰})$  e  $\delta^{18}\text{O}$   $(-4,44 \pm 0,26\text{‰})$ . Além disso, foi estimada a taxa de crescimento médio (mm/ciclo) e o número de ciclos para 18MHFN-BI1 com total de 20 ciclos e crescimento médio de  $2,52 \pm 0,52$  mm/ano. Demonstrando que para a utilização de corais como arquivo climático a espécie *M. hispida* possui uma taxa de crescimento suficiente para a obter informações de alta resolução apresentando uma confiabilidade de seu uso como arquivo natural necessário para expandir as pesquisas realizadas para outras regiões da costa brasileira.

Palavras-chave: Taxa de Crescimento; Geoquímica Isotópica; Paleoclimatologia

## Abstract

Scleractinian corals are cnidarians capable of incorporating trace elements into their skeleton, whose geochemical analysis can accurately demonstrate several environmental factors such as temperature, salinity, cloud cover, and other environmental factors. The South Tropical Atlantic still has a lack of paleoclimatic studies using coral-based archives. This work aims to estimate the growth rate through the analysis of stable isotopes of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  incorporated in the skeleton of the *Mussismilia hispida* coral during its growth, from Fernando de Noronha Archipelago. For this, a colony of *M. hispida* (18MHFN-BI1) was studied, sampling every 0.4 mm with a table microdriller, the carbonate removed for analysis was stored and analyzed by mass spectrometry, determining the values for the stable isotopes  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ . The means obtained for the  $\delta^{13}\text{C}$  were  $(-1.88 \pm 0.72\text{‰})$  and  $\delta^{18}\text{O}$   $(-4.44 \pm 0.26\text{‰})$ . In addition, the average growth rate (mm/cycle) and the number of cycles for 18MHFN-BI1 with a total of 20 cycles and average growth of  $2.52 \pm 0.52$  mm/year were estimated. Demonstrating that for the use of corals as a climatic archive, the species *M. hispida* has a enough growth rate to obtain high resolution information, showing a reliability of its use as a natural archive necessary to expand the research carried out to other regions of the Brazilian coast.

Keywords: Growth Rate; Isotopic Geochemistry; Paleoclimatology

## Lista de figuras

Figura 1 - Relação simbiótica presente nos corais. pólipos de uma colônia de coral apresentando em seu tecido a presença de zooxantelas (em verde) .....	15
Figura 2 - Imagem de um recife de coral evidenciando a sua complexidade e diversidade faunística e florística. ....	16
Figura 3 - Imagem mostrando duas colônias de corais endêmicos da Bahia: A. <i>Mussismilia braziliensis</i> . B. <i>Favia leptophylla</i> . ....	18
Figura 4 - A. Imagem mostrando uma colônia de <i>Mussismilia hispida</i> . B. Mostrando os corálitos. ....	19
Figura 5 - Comparação entre <i>M. hispida</i> (A) e <i>M. braziliensis</i> (B) .....	20
Figura 6 - Mapa da América do Sul indicando a localização de Fernando de Noronha; em vermelho distribuição da espécie de coral <i>M.hispida</i> . ....	20
Figura 7 - Imagem apresentando uma comunidade de corais que sofreram branqueamento, principalmente <i>Mantipora</i> (esquerda), <i>Acropora</i> (direita) .....	22
Figura 8 - Bandamentos de alta e baixa densidade revelados em radiografia de uma lâmina de coral <i>Porites lútea</i> . ....	25
Figura 9 - Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha – PE .....	27
Figura 10 - Coleta das colônias de corais durante o trabalho de campo em Fernando de Noronha – PE .....	28
Figura 11 - (A) Colônia de <i>M. hispida</i> (18MHFN-BI1); (B) Realização do corte da colônia para obter a Placa de <i>M. hispida</i> ; (C) Placa de <i>M. hispida</i> .....	29
Figura 12 - Radiografia da placa de <i>M. hispida</i> ; (em vermelho) corálito onde foram extraídas as amostras para análise de isótopos estáveis. ....	30
Figura 13 - Gráfico ilustrativo didático exemplificando como é feito o reconhecimento dos ciclos isotópicos e a taxa de crescimento. ....	32

Figura 14 - Série temporal do  $\delta^{18}\text{O}$  (azul) e  $\delta^{13}\text{C}$  (vermelho) com contagem de ciclos isotópicos da colônia de coral 18MHFN-B11.....34

Figura 15 - Dados do Índice de Niño Oceânico utilizados para monitorar e classificar a força relativa do ENSO, o El Niño-Oscilação Sul..... 36

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Taxa de crescimento da colônia de <i>M. hispida</i> . 18MHFN-BI1 .....	36
Tabela 2 – Médias da taxa de crescimento da colônia de <i>M. hispida</i> . 18MHFN-BI1 em comparação com outras espécies de corais. ....	38

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	12
2. Revisão Bibliográfica .....	14
2.1. Ambientes recifais: biologia dos corais e importância ecológica .....	14
2.1.1. Biologia dos Corais .....	14
2.1.2. Importância Ecológica .....	15
2.2. Recifes de corais brasileiros .....	17
2.3. <i>Mussismilia Hispida</i> .....	19
2.4. Mudanças climáticas e vulnerabilidade dos ecossistemas de recifes de corais .....	21
2.5. Estudos das mudanças climáticas a partir de registros de corais e o estudo geoquímico dos corais .....	22
2.6. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio .....	24
2.7. Taxa de crescimento e esclerocronologia química .....	24
3. Metodologia .....	26
3.1. Caracterização da área de estudo .....	26
3.2. Trabalho de campo .....	27
3.3. Etapas de laboratório .....	28
3.3.1. Corte, radiografia e taxa de crescimento .....	28
3.3.2. Amostragem .....	30
3.3.3. Análises isotópicas .....	31
3.3.4. Análise estatística com a utilização do <i>software grapher</i> .....	31
3.3.5. Como foi estimada a taxa de crescimento .....	31
4. Resultados e discussão .....	33
4.1. Isótopos estáveis .....	33
4.2. Ciclos isotópicos e taxa de crescimento (Esclerocronologia química) .....	34
5. Considerações finais .....	39
Referências .....	40

## 1. Introdução

É de grande importância para a ciência conhecer o clima no passado, e através do uso de indicadores, torna-se viável a compreensão de fatores que atuavam em tempos remotos. Compreender a variabilidade climática do planeta nas suas diferentes escalas temporais talvez seja um dos grandes desafios da ciência contemporânea, principalmente quando consideramos a indisponibilidade de longas séries temporais para registros instrumentais, principalmente no Oceano Atlântico Sul (KIKUCHI; OLIVEIRA; LEÃO, 2013).

Os corais têm a capacidade de precipitar carbonato de cálcio a longo de sua vida. Essa precipitação acontece em função das variações nas condições ambientais e resultam principalmente na formação de bandas sazonais de crescimento com diferentes densidades (KNUTSON; BUDDEMEIER; SMITH, 1972; LOUGH; BARNES, 1997; HELMLE; DODGE; KETCHAM, 2000).

Existem diversos fatores que atuam na formação e no crescimento de uma colônia de coral como a quantidade de luz que incide na região, gradiente de temperatura que pode variar de acordo com a profundidade da água e até mesmo os nutrientes presentes no ambiente. O crescimento dos corais depende de vários fatores exógenos e endógenos (BARNES; GROWTH; BUDDEMEIER, 1976).

A maior parte das espécies de corais maciços utilizadas em estudos paleoceanográficos exibe a formação de duas bandas de densidade por ano, sendo a de alta densidade relativa a um período com ocorrência de temperaturas mais elevadas e a de baixa densidade relativa a um período de temperaturas mais amenas (KIKUCHI, OLIVEIRA e LEÃO, 2013). Assim, um par de bandas, sendo uma mais densa e outra menos densa, dispostas de forma adjacente, representa o crescimento do organismo ao longo de um ano (KNUTSON; BUDDEMEIER; SMITH, 1972; TAYLOR, BARNES e LOUGH, 1993)

A análise das bandas de densidade em esqueletos de corais fornece três parâmetros esclerocronológicos básicos, capazes de descrever o crescimento destes organismos: densidade esquelética, taxa de crescimento linear ou extensão e taxa de calcificação (LOUGH; BARNES, 1992, 1997, 2000, CARRICART-GANIVET, 2001, 2004).

A composição química presente no exoesqueleto de coral depende de como os elementos da água do mar são extraídos e incorporados em sua estrutura. Em sua

maioria, o exoesqueleto do coral assimila-se a composição esperada para aragonita inorgânica precipitada da água do mar. Grande parte dos elementos traços e mesmo pequenas partículas ocorrem em proporções que refletem suas abundâncias da água do mar e suas tendências de serem incorporadas dentro ou entre os cristais de aragonita (KEITH; WEBER, 1965; WEBER; WOODHEAD, 1970; WEBER, 1973).

A Família *Mussidae* que inclui um gênero endêmico do Brasil (*Mussismilia*) engloba três espécies, *M. hispida* e *M. Braziliensis* e *M. harttii*. (SOUZA, 2002)

A espécie de coral *M. hispida* ocorre do Parcel de Manuel Luiz - MA a São Paulo - SP (~3200 km). As comunidades brasileiras de recifes de corais são bastante únicas, frequentemente não formam verdadeiros recifes de corais, entretanto comunidades de corais florescem no fundo duro. (CASTRO; PIRES, 2001).

No Atlântico Sul existe uma deficiência de dados que exploram a utilização de arquivos naturais para investigações paleoclimáticas (PEREIRA *et. al.* 2018). Nos últimos dez anos algumas pesquisas que utilizaram registros com base em corais ajudaram a compreender como esses organismos podem ser utilizados como registros ambientais (*e.g.* EVANGELISTA *et. al.* 2018, PEREIRA *et.al.* 2018, MAIAL *et. al.* 2009).

Portanto, o presente estudo tem como principal problema o seguinte questionamento: é possível determinar a taxa de crescimento de uma colônia de *M. hispida* por meio de perfis de isótopos estáveis de C e O?. Assim, este estudo busca compreender a taxa de crescimento da espécie *M. hispida*, do Arquipélago de Fernando de Noronha. Esta avaliação possui caráter mandatório antes da utilização desta espécie como arquivo natural e na geração de informações paleoclimáticas do Atlântico Sul.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Ambientes recifais: biologia dos corais e importância ecológica

#### 2.1.1. Biologia dos Corais

Os corais são organismos que fazem parte do filo Cnidária, classe Anthozoa. Dentro desta classe, existe a ordem Scleractinia que constitui-se de corais que apresentam exoesqueleto, e por essa razão é possível distinguir dois grupos que são: corais hermatípicos, que apresentam zooxantelas e corais ahermatípicos que não possuem a presença de zooxantelas. Independentemente desses fatores, ambos os grupos dos Cnidários sofrem influências do ambiente, resultando na limitação da quantidade e qualidade das espécies (WELLS; HANNA, 1992).

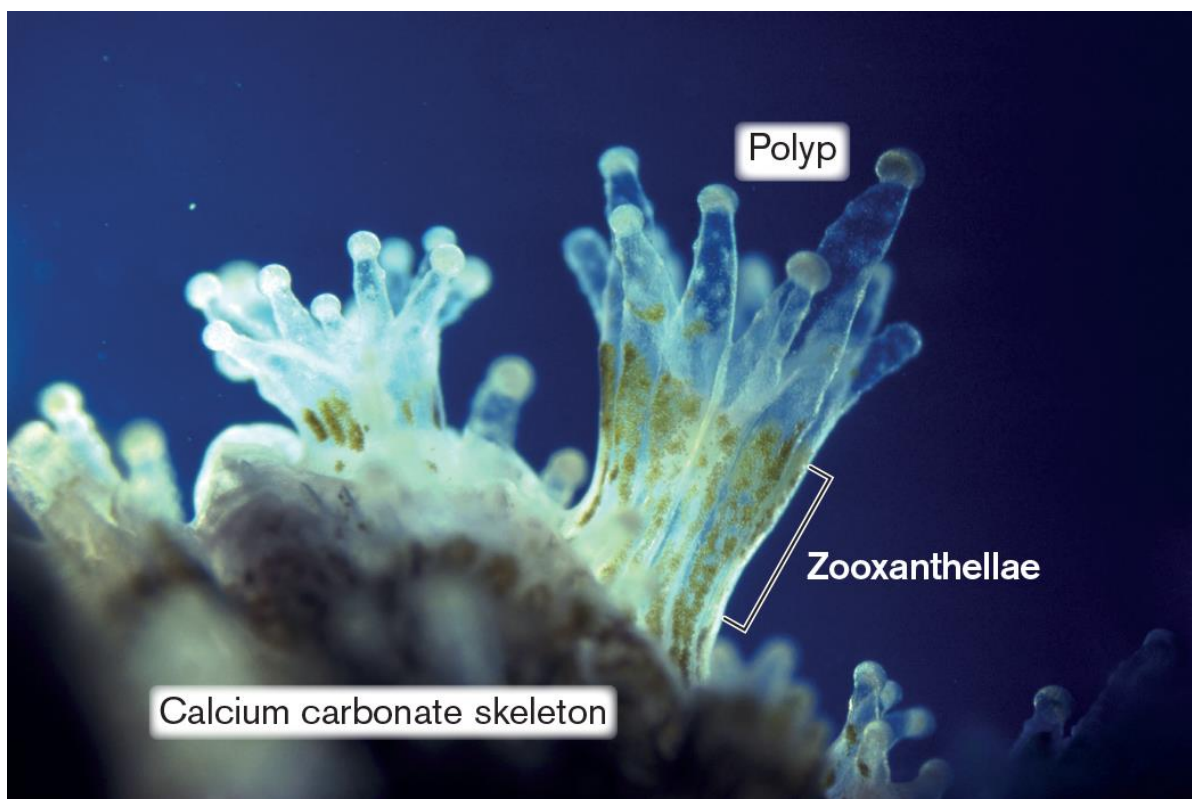
Os corais podem possuir tanto hábito solitário quanto colonial, os corais consiste em um pólipos e apresenta em sua estrutura um rígido exoesqueleto formado de carbonato de cálcio, chamado coralito que por sua vez é dividido em compartimentos verticais chamados de septos. A boca é circundada por tentáculos que são utilizados para captura de presas que combinada com o ânus, conduzem ao intestino (PINET *et al.*, 2017).

Os corais apresentam três camadas de tecidos: epiderme, mesogléia e gastroderme (RUPPERT *et al.*, 2005). Na gastroderme estão localizadas as algas simbiotes - zooxantelas (Figura 1) - que representam o estado vegetativo do dinoflagelado *Symbiodinium microadriaticum* (WELLS *et al.*, 1983). Essa associação com as zooxantelas, representa um grande sucesso em ambientes recifais, pois as algas usam a luz solar e o dióxido de carbono para produzir compostos orgânicos ricos em carbono, que vão suprir boa parte das necessidades nutricionais do coral, e em retorno os corais provem abrigo as zooxantelas (ALLEN, 2000).

Os organismos mais importantes que atuam na construção dos recifes são justamente os corais. Os recifes de corais são formados por grandes quantidades de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que também é conhecido por calcário, que é depositado por organismos vivos (CASTRO, 2012).

As colônias de corais são repletas por milhares de pólipos, constituindo uma estrutura rígida formada por organismos marinhos portadores de esqueleto de calcário, resistente ao efeito das ondas e das correntes marinhas, formando um

importante ecossistema que abriga uma grande diversidade de animais marinhos (LEGRANDE *et al.*, 2006).



**Figura 1.** Relação simbiótica presente nos corais. pólipos de uma colônia de coral apresentando em seu tecido a presença de zooxantelas (em verde). Fonte: disponível em: <<http://www.whalemarch.org/coral.php>>

### 2.1.2. Importância Ecológica

Os recifes de coral é um ecossistema que possui a maior biodiversidade e é um dos mais antigos da terra (WILKINSON, 2002). Devido a sua grande capacidade de construir um ambiente onde quase cada filo animal do planeta possui um representante presente (SALVAT; PAILHE, 2002).

São ricos em recursos de grande importância ecológica, econômica, natural e social para os países que possuem (MAIDA; FERREIRA, 1997). Possuem uma grande semelhança com as florestas tropicais não só em sua complexidade física, mas também pela sua alta biodiversidade e na elaborada especialização das espécies e nas interações entre si (REAKA-KUDLA, 1997).

Diversos tipos de substratos, até mesmo navios naufragados são capazes de permitir o desenvolvimento de ambientes recifais, abrigando uma fauna e flora bastante diversa (Figura 2). Entre os organismos adaptados à grande quantidade de luz e ao movimento das ondas, estão espécies de corais-pétreos (escleractínios), corais-de-fogo, octocorais, esponjas, zoantídeos, algas e peixes (HETZEL *et al.*, 1994), e devido a essa quantidade e complexidade de organismos habitando um recife, há a grande produção de substâncias químicas utilizadas na competição por espaço.



**Figura 2.** Imagem de um recife de coral evidenciando a sua complexidade e diversidade faunística e florística. Fonte em: <<https://www.infoescola.com/ecologia/ecossistemas-marinhos/>>

Os corais possuem um processo de vida complexo, tendo uma grande interdependência entre os organismos que habitam o mesmo ambiente. É fato que a especialização das espécies diminui a elasticidade de um ecossistema, o que o torna frágil e mais suscetível a mudanças em seu meio e ao stress (RAY, 1987). A presença de um grande número de espécies habitando o local que possui um espaço relativamente limitado, faz com que exista um alto grau de competição interespecífica e uma grande variação de relações mutualísticas (RICKLEFS; SCHLUTER, 1996).

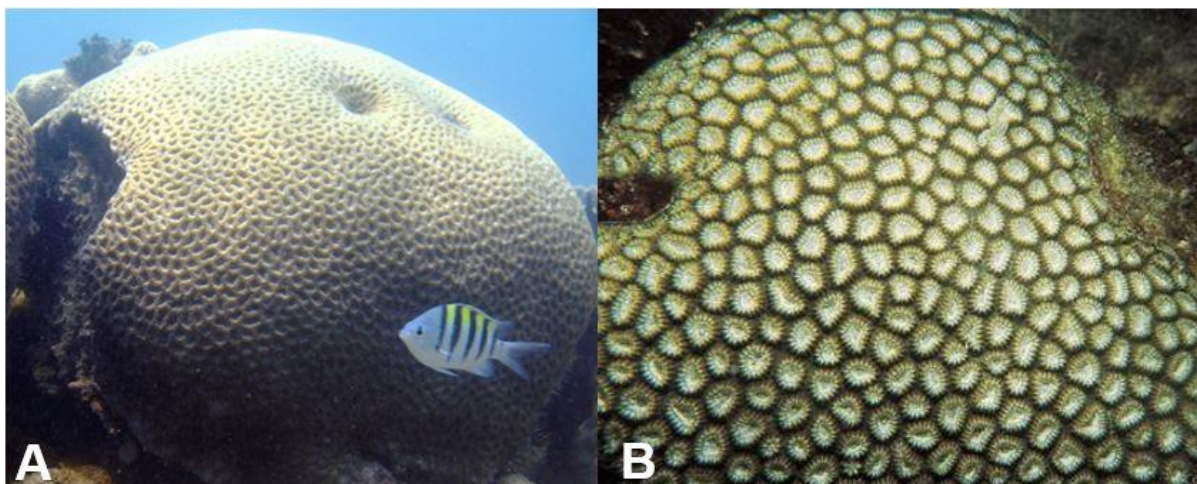
A ecologia de corais e suas relações com as mudanças que podem ocorrer no seu habitat devido a inúmeros fatores, tornam este grupo uma ferramenta importante no estudo das mudanças ambientais (EÇA *et al.*, 2012). Eles respondem a diferentes agentes estressantes, refletindo, o nível de degradação do ecossistema. Por serem extremamente sensíveis a variações da temperatura das águas oceânicas (GLYNN, 1993), os ecossistemas recifais se apresentam também como excelentes biomonitores.

## 2.2. Recifes de corais brasileiros

O Brasil possui os únicos recifes verdadeiros do Atlântico Sul; entretanto, a diversidade de corais é baixa quando comparada com a de outros países, possuindo apenas 23 espécies de corais-pétreos zooxantelados. Porém, as características do sistema fazem com que mesmo os recifes brasileiros apresentem uma altíssima fauna distinta, com alto grau de endemismo. Além disso, os recifes brasileiros possuem um diferencial por ocorrerem em águas com alto grau de turbidez (ZILBERBERG, 2016).

Segundo Leão *et al.* (2016) no Brasil, o filo Cnidaria é representado por 23 espécies de corais duros e cinco espécies de hidrocorais, entre os quais, sete são endêmicos sendo eles: *Siderastrea stellata* (Verrill, 1868), *Favia gravida* (Verrill, 1868), *Favia leptophylla* (Verrill, 1868), *Estrangia brasilienses* (Vouga, 1906), *Mussismilia harttii* (Verrill, 1868), *Mussismilia braziliensis* (Verrill 1867), *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902). (LEÃO, 2016)

No litoral sul da Bahia estão localizados os maiores e mais ricos recifes de corais de todo o Atlântico Sul, estes que são favorecidos pelas ótimas condições de salinidade, temperatura e profundidade, nas quais, Leão *et al.* (2016), as espécies *Mussismilia braziliensis* e *Favia leptophylla* aparecem como exclusivas e só têm registro na Bahia (Figura 3).



**Figura 3.** Imagem mostrando duas colônias de corais endêmicos da Bahia: A. *Mussismilia braziliensis*. B. *Favia leptophylla*. Fonte: (A) Disponível em: < <https://www.pensamentoverde.com.br/coralcerebro-mussismilia-braziliensis-projetocoralvivo/>> (B) Charlie Veron

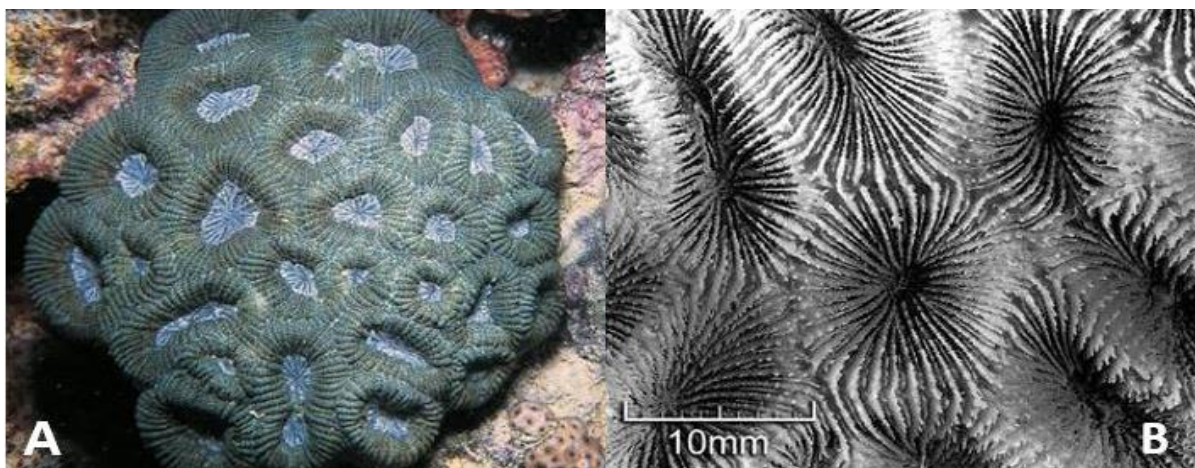
A pesquisa mais abrangente e que permanece até hoje como uma grande referência aos estudos dos recifes de corais, foi realizada por Jacques Laborel na década de 60, onde ele fornece uma descrição qualitativa e semi-quantitativa dos recifes brasileiros ao longo da costa nordestina, somado a isso, um novo patamar de conhecimento sobre os recifes foi introduzido através dos estudos de Zelinda Leão que realizou pesquisas focadas na estrutura geológica e história (FERREIRA, 2006). Segundo Leão et al. (2015), as estruturas físicas dos recifes são classificadas como: recifes de franja, os mais comuns no litoral brasileiro, crescendo ao redor da costa de ilhas e continentes; os recifes em barreira, que se formam paralelamente a costa, separados por lagos; os atóis que se localizam no meio dos oceanos; os recifes em mancha pequenos e isolados que crescem na base de plataformas ou ilhas; e os chapeirões, que possuem formato de coluna ou cogumelo, que é exclusivo do Brasil e é encontrado principalmente no sul da Bahia.

As águas brasileiras apresentam uma elevada turbidez (LEÃO *et al.*, 2016), este fator ambiental dificulta a entrada da radiação, devido a isso, torna-se importante quantidade elevada de zooxantelas para garantir os processos respiratórios via absorção de luz (GALVÃO *et al.*, 2013). Tais fatores podem explicar o alto índice de espécies endêmicas já que está relacionado ao grande aporte sedimentar encontrado nas águas brasileiras (NUNES *et al.*, 2011).

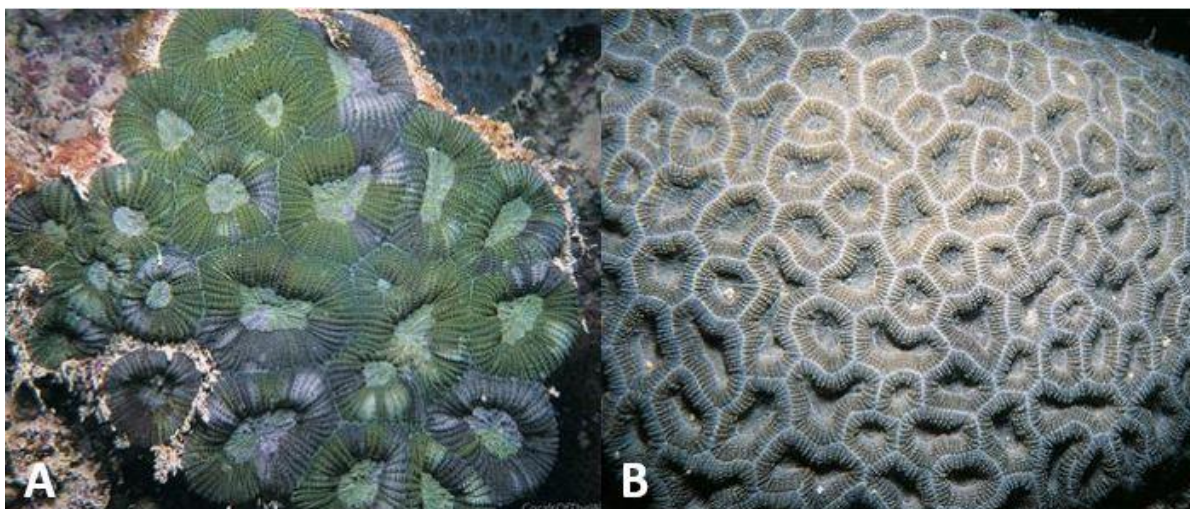
### 2.3. *Mussismilia Hispida*

*Mussismilia hispida* (Verrill), no início, acreditava-se era pertencente a região das Índias Ocidentais, mas isso é quase certamente um erro. Segundo Laborel *et al.* (1967) As populações de *M. hispida* mostram fortes diferenciações regionais, sendo razoável supor que o espécime que acreditavam ter sido coletado nas Índias Ocidentais veio do Brasil. Além disso, o espécime *Mussismilia hispida* nunca mais foi coletado nas Índias Ocidentais. (LABOREL, 1967).

O espécime foi descrito por Verrill em 1902, são colônias massivas e podem chegar a cerca de 0,5 metro de largura e são geralmente achatadas. Os coralitos são arredondados possuindo paredes espessas com 10-15 mm de diâmetro, os septos das colônias de *M. Hispida* vivas, tem dentações arredondadas. O espécime possui coloração marrom e cinza, geralmente com as paredes e centros dos coralitos de cores diferentes, com listras radiais (Figura 4). Possui semelhança com a espécie *Mussismilia braziliensis* (Figura 5), habitam águas rasas e são tolerantes a ambiente com alta turbidez (HETZEL; CASTRO, 1994).



**Figura 4.** A. Imagem mostrando uma colônia de *Mussismilia hispida*. B. Mostrando os coralitos. Fonte: (A e B); Fotografia: Charlie Veron. disponível em:<  
[http://www.coralsoftheworld.org/species\\_factsheets/species\\_factsheet\\_summary/mussismilia-hispida/](http://www.coralsoftheworld.org/species_factsheets/species_factsheet_summary/mussismilia-hispida/)>



**Figura 5.** Comparação entre *M. hispida* (A) e *M. braziliensis* (B) Fonte: (A e B); Fotografia por: Charlie Veron. disponível em: <[http://www.coralsoftheworld.org/species\\_factsheets/species\\_factsheet\\_summary/mussismilia-braziliensis/](http://www.coralsoftheworld.org/species_factsheets/species_factsheet_summary/mussismilia-braziliensis/)>

Portanto, a espécie *M. hispida* é endêmico do Brasil sua ocorrência é conhecida desde o Parcel de Manuel Luiz - MA a São Sebastião - SP (~3200 km), sendo que a sua abundância é comum (Figura 6).



**Figura 6.** Mapa da América do Sul indicando a localização de Fernando de Noronha; em vermelho distribuição da espécie de coral *M.hispida*. Fonte: Mapa elaborado em <<https://www.simplemapp.net/>>; Distribuição de *M. hispida* por Fábio Moraes

#### 2.4. Mudanças climáticas e vulnerabilidade dos ecossistemas de recifes de corais

O clima interage entre si e possui uma grande dinâmica que consiste na interação entre oceanos, atmosfera, superfície terrestre e outras massas de água e seres vivos (Climate carbon coral reefs, 2010). Mudanças do clima são descritas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), como qualquer alteração no clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou resultado da atividade humana.

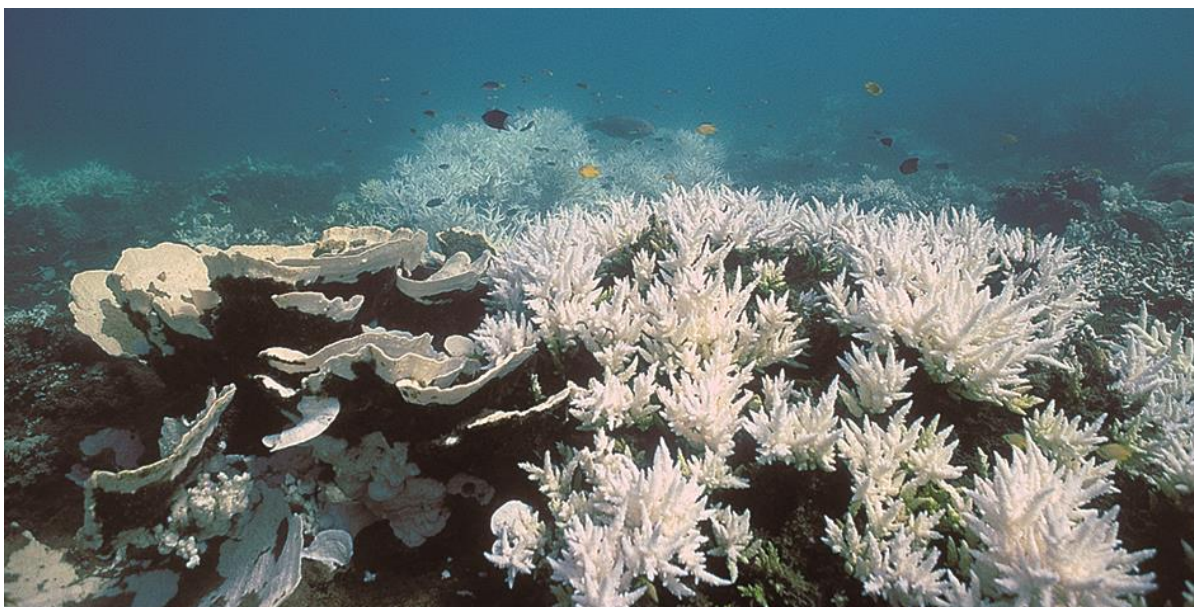
O planeta Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma maneira que momentos de alta atividade geológica lançaram à superfície terrestre grandes quantidades de gases criando um efeito estufa natural. (MARENGO, 2007).

Para compreender interações do clima, dos ecossistemas e das atividades humanas é preciso entender os impactos das mudanças climáticas e a vulnerabilidades desses sistemas, é crucial avaliar também, o potencial da humanidade em alterar, ao longo do tempo, o clima do nosso planeta, além de examinar como o crescimento econômico e mudanças no comportamento social podem promover efeitos positivos e negativos no ambiente (MOSS *et al.*, 2010).

De fato, alterações do clima global estão ocorrendo, o que torna indispensável avaliar as causas baseando-se numa ampla investigação levando em conta não só ações antrópicas, mas também, os processos naturais incluindo os da esfera geológica e astronômica (CONTI, 2011). É importante ressaltar que há evidências de que o clima vem sendo alterado drasticamente pela ação humana desde a época da Revolução Industrial, no final do século XIX, devido à enorme emissão de gases estufa na atmosfera (MITCHELL, 1989).

Existem outros fatores que podem influenciar no desenvolvimento dos recifes de coral, locais onde há um grande movimento turístico, práticas de mergulho recreativo, pesca entre outros. Esse tipo de invasão humana pode causar danos a saúde dos recifes, alterando sua estrutura física e trófica (LEÃO, 2015). É imprescindível para os corais, que o ambiente apresente condições adequadas para seu desenvolvimento, o aumento da temperatura por exemplo, interfere na simbiose entre os corais e as algas, ocasionando a perda das zooxantelas, fenômeno conhecido como branqueamento (Figura 7) (WEBER; WOODHEAD, 1972). As

zooxantelas são responsáveis pelo fornecimento de nutrientes utilizados na manutenção do crescimento e da intensidade da coloração que está intrinsecamente ligado à incidência de radiação, ou seja, quanto menor a radiação, maior será a incidência de zooxantelas e quanto maior a radiação, menor será a quantidade de zooxantelas. (HEDLEY; MUMBY, 2002).



**Figura 7.** Imagem apresentando uma comunidade de corais que sofreram branqueamento, principalmente *Mantipora* (esquerda), *Acropora* (direita). Fonte: Katharina Fabricius Disponível em: <<http://www.coralsoftheworld.org/page/algae-symbiosis/>>

Segundo Wood (1983) a temperatura da superfície do mar (TSM) é o principal influenciador do branqueamento dos corais. O estresse térmico altera o metabolismo e reprodução, além de regular a saturação da aragonita que é a principal fonte de cálcio para a estrutura do coral. Seu estado de saturação é elevado em águas com alta temperatura e salinidade, apresentando constante circulação de água (KLEYPAS *et al.*, 1999).

## 2.5. Estudos das mudanças climáticas a partir de registros de corais e o estudo geoquímico dos corais

Para entender melhor as variações climáticas, é importante obter dados e conhecer as condições do clima do passado. Entretanto, a utilização de registros instrumentais só tivera início após o ano de 1950. Para se obter conhecimento das

modificações ocorridas no ambiente ao longo dos tempos, são utilizados arquivos naturais, como anéis de árvores, sedimentos de gelo e corais (GROTTOLI, 2001).

A utilização de corais maciços como uma ferramenta para o estudo do clima teve início na década de 70, após Knutson *et al.* (1972) validarem a cronologia anual das bandas de densidade a partir da observação de registros de radioatividade em esqueletos de colônias de corais que estiveram expostas a testes nucleares.

Os estudos sobre a variação isotópica (e.g.  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ) e razões elementais (e.g. Sr/Ca, Mg/Ca U/Ca) iniciaram-se na década de 1960 (KEITH; WEBER 1965). Porém, somente após a descoberta de que corais escleractínios contém bandamentos depositados anualmente (BUDDEMEIER; MARAGOS; KNUTSON, 1974; KNUTSON; BUDDEMEIER; SMITH, 1972), foi que investigações se intensificaram, uma vez que se tornou possível a determinação temporal dessas variações geoquímicas (SWART; GROTTOLI, 2003).

Com as análises do esqueleto do coral é possível estimar parâmetros como: temperaturas pretéritas a partir de razões de Sr/Ca, Mg/Ca, U/Ca e  $\delta^{18}\text{O}$ ;; ressurgência, descargas de rios e condições hidrográficas que deixam registros de elementos traços e partículas de argila incorporadas no esqueleto e também no  $^{14}\text{C}$ ; cobertura de nuvens e atividade fisiológica através do  $\delta^{13}\text{C}$ ; atividade antropogênica através do conteúdo de Pb e também no  $\delta^{13}\text{C}$ . (DASSIÉ; LEMLEY; LINSLEY, 2013; EAKIN; GROTTOLI, 2006; GROTTOLI, 2001; SWART; GROTTOLI, 2003; SWART *et al.*, 2010).

A composição química do esqueleto do coral vai depender de como os elementos são extraídos da água do mar e incorporados em sua estrutura. Geralmente, o esqueleto do coral assemelha-se a composição esperada para aragonita inorgânica precipitada da água do mar. Grande parte dos elementos traços e partículas menores surgem em proporções que refletem suas abundâncias da água do mar e suas tendências de serem incorporadas dentro ou entre os cristais de aragonita (KEITH; WEBER, 1965; WEBER, 1973; WEBER; WOODHEAD, 1970).

Entretanto, isótopos estáveis de C e O não são incorporados na taxa esperada. Isso indica uma diferença na forma de como os elementos chegam ao local de calcificação, a maior parte dos elementos traços por difusão (transporte de fluidos), enquanto que C e O em grande parte como dióxido de carbono (que pode ser alterado por atividades fisiológicas do coral), se difundem pela membrana celular e reage no centro de calcificação formando  $\text{HCO}_3^-$  ou  $\text{CO}_3^{2-}$  para reagir com  $\text{Ca}^{2+}$  e precipitar

CaCO<sub>3</sub> (COHEN; MCCONNAUGHEY, 2003).

## 2.6. Isótopos estáveis de carbono e oxigênio

A possibilidade de incorporar dados geoquímicos faz com que o exoesqueleto dos corais seja um excelente arquivo natural do clima passado. A incorporação desses sinais geoquímicos (e.g. isótopos estáveis de O e C) são controlados por parâmetros oceanográficos, como por exemplo a luminosidade, temperatura, a salinidade. Assim, esses conteúdos são considerados *proxies* (i.e. evidências indiretas sobre as condições ambientais) para diferentes parâmetros ambientais do ecossistema marinho (GONÇALVES, 2010).

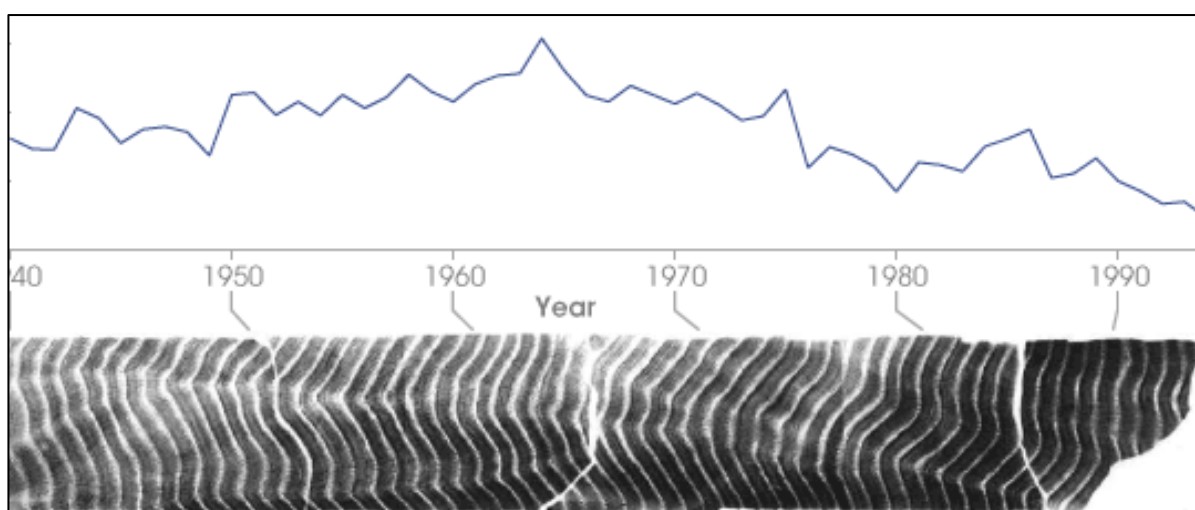
Os valores  $\delta^{18}\text{O}$  em corais são utilizados como *proxies* de temperatura (TSM) e salinidade (SSM). Quando há um aumento da temperatura, os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  no esqueleto dos corais diminuem. Por mais de duas décadas a composição isotópica do oxigênio em esqueletos de corais vem sendo largamente utilizada em reconstruções climáticas (KUHNER *et al.*, 1999).

Os isótopos de carbono, possui uma grande complexidade de controles fisiológicos o que o torna mais difícil de se interpretar. Para Eakin; Grottoli (2006) o  $\delta^{18}\text{O}$  é influenciado pela temperatura e salinidade, ou seja, quando a temperatura aumenta a fração do  $\delta^{18}\text{O}$  diminui. Já o  $\delta^{13}\text{C}$  é influenciado pela fotossíntese (variando de estação de chuva e seca).

## 2.7. Taxa de crescimento e esclerocronologia química

A taxa de crescimento dos corais é um fator importante em reconstruções paleoceanográficas, uma vez que a velocidade com que um arquivo natural é formado, ou incrementado, indica a qualidade da resolução temporal dos dados incorporados em sua estrutura. Ou seja, taxa de crescimento elevada, indica a possibilidade de registros de alta resolução (i.e. mensal ou semanal), ao passo que arquivos naturais com baixa taxa de crescimento geram registros com baixa resolução (i.e. anual, decadal). Além disso, colônias vivas fornecem registros centenários e combinado com corais fósseis podem revelar condições ambientais do passado. Os corais crescem através da deposição de CaCO<sub>3</sub> (aragonita) precipitada por uma fina camada de tecido vivo na parte superior da colônia (BARNES; LOUGH, 1993).

Existe diversos elementos que estão dispostos na água do mar que variam de acordo com as condições ambientais e que são incrementados no esqueleto do coral. Um padrão de crescimento dos corais que ocorre por extensão axial e espessamento do esqueleto. Um espessamento rápido com uma lenta extensão aumenta a densidade do esqueleto, enquanto que rápida extensão com lento espessamento reduz sua densidade (SUN *et al.*, 2008). Essas variações cíclicas produzem padrões de bandamentos de densidades na estrutura do esqueleto dos corais, os quais são visíveis em radiografias (Figura 8), geralmente acrescentando um bandamento de alta e um de baixa densidade anualmente (BUDDEMEIER; MARAGOS; KNUTSON, 1974; KNUTSON; BUDDEMEIER; SMITH, 1972).



**Figura 8.** Bandamentos de alta e baixa densidade revelados em radiografia de uma lâmina de coral *Porites lútea*. Fonte: Eakin & Grottoli (2006).

A esclerocronologia é a datação por avaliação e contagem de bandamentos, passou a ser utilizada em 1970 como um indicador das condições ambientais, quando descobriram que os corais alternavam seus esqueletos de carbonato de cálcio nas diferentes estações (WEBER; WOODHEAD, 1970). Além disso, é possível avaliar a taxa de crescimento de uma colônia de coral a partir de dados geoquímicos obtidos ao longo do seu eixo de crescimento. Uma vez que os isótopos estáveis de C e O costumam variar anualmente, formando ciclos, os comprimentos destes ciclos podem ser então utilizados para estimar a taxa de crescimento anual de uma determinada colônia de coral (GROTTOLI, 2001).

### 3. Metodologia

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

O arquipélago de Fernando de Noronha (03°54'S e 032°25'W) localiza-se no Oceano Atlântico equatorial a 360 km da cidade de Natal, no Rio Grande do Norte e a 545 km de Recife, capital do estado de Pernambuco (Figura 9). É formado por um grupo de 21 ilhas vulcânicas possuindo uma área total de 26 km<sup>2</sup>, dos quais 17 km<sup>2</sup> é ocupado pela ilha principal (MANSO et al., 2011).

O arquipélago é dividido em duas Unidades de Conservação: a Área de Proteção Ambiental (APA) de Fernando de Noronha - Rocas - São Pedro e São Paulo criada em junho de 1986. E o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha criado em outubro de 1988, que ocupa 70% do Arquipélago de Fernando de Noronha, envolvendo uma área de aproximadamente 11.270 ha (NORONHA, SÃO, PAULO, N.D.).

O arquipélago possui clima tropical, com duas estações bem definidas, com um período mais seco entre os meses de agosto e janeiro e mais úmido de março a maio. A temperatura média anual é de 25° sem muita variação ao longo do ano e a precipitação média anual é de 1.300 mm (GEOCIÊNCIAS, 2006)

As condições ambientais do arquipélago de Fernando de Noronha são excelentes para o desenvolvimento de corais e hidrocorais. Sendo a *Montastrea cavernosa* a espécie de coral dominante no arquipélago, tendo a presença também da *Mussismilia hispida* que é o objeto de estudo deste trabalho e é uma espécie endêmica do Brasil.

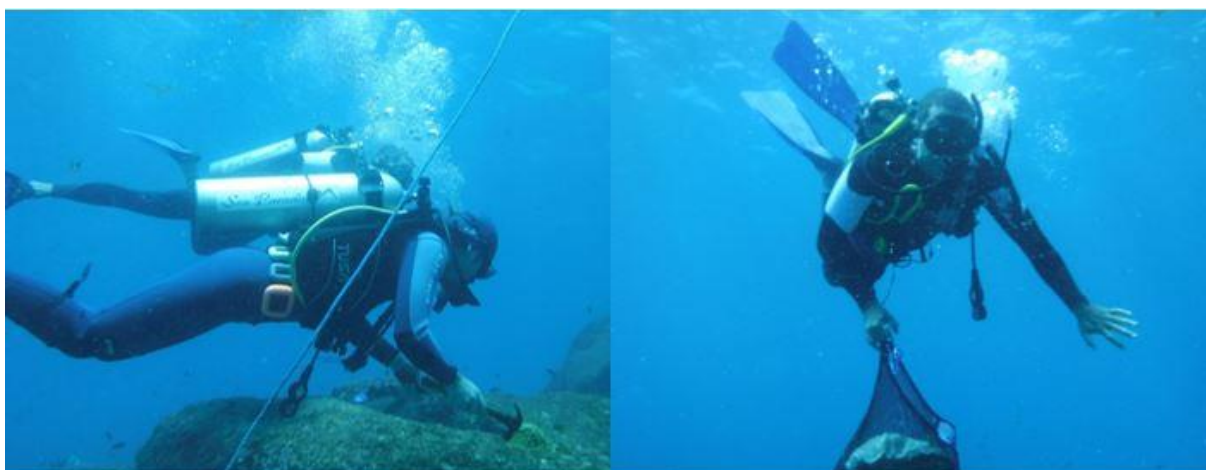


**Figura 9.** Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha – PE. Fonte: Mapa elaborado em <<https://www.simplemappr.net/>>;

### 3.2. Trabalho de campo

Uma expedição científica para o Arquipélago de Fernando de Noronha foi realizada entre 11 e 15 de junho de 2018, onde foi coletada uma colônia de *M. hispida* com a utilização de equipamento de SCUBA (*Self Contained Underwater Breathing Apparatus*) para a extração da colônia no Buraco do Inferno entre as coordenadas 03°48'34.16"S e 032°22'54.80"W.

Para a extração do coral do substrato foi utilizado um martelo, uma faca e uma chave de fenda (Figura 10), em seguida o coral foi acondicionado em um saco plástico e identificado. A coleta foi autorizada pelo Instituto Chico Mendes para Biodiversidade – ICMBIO (**licença nº 48589-5**).

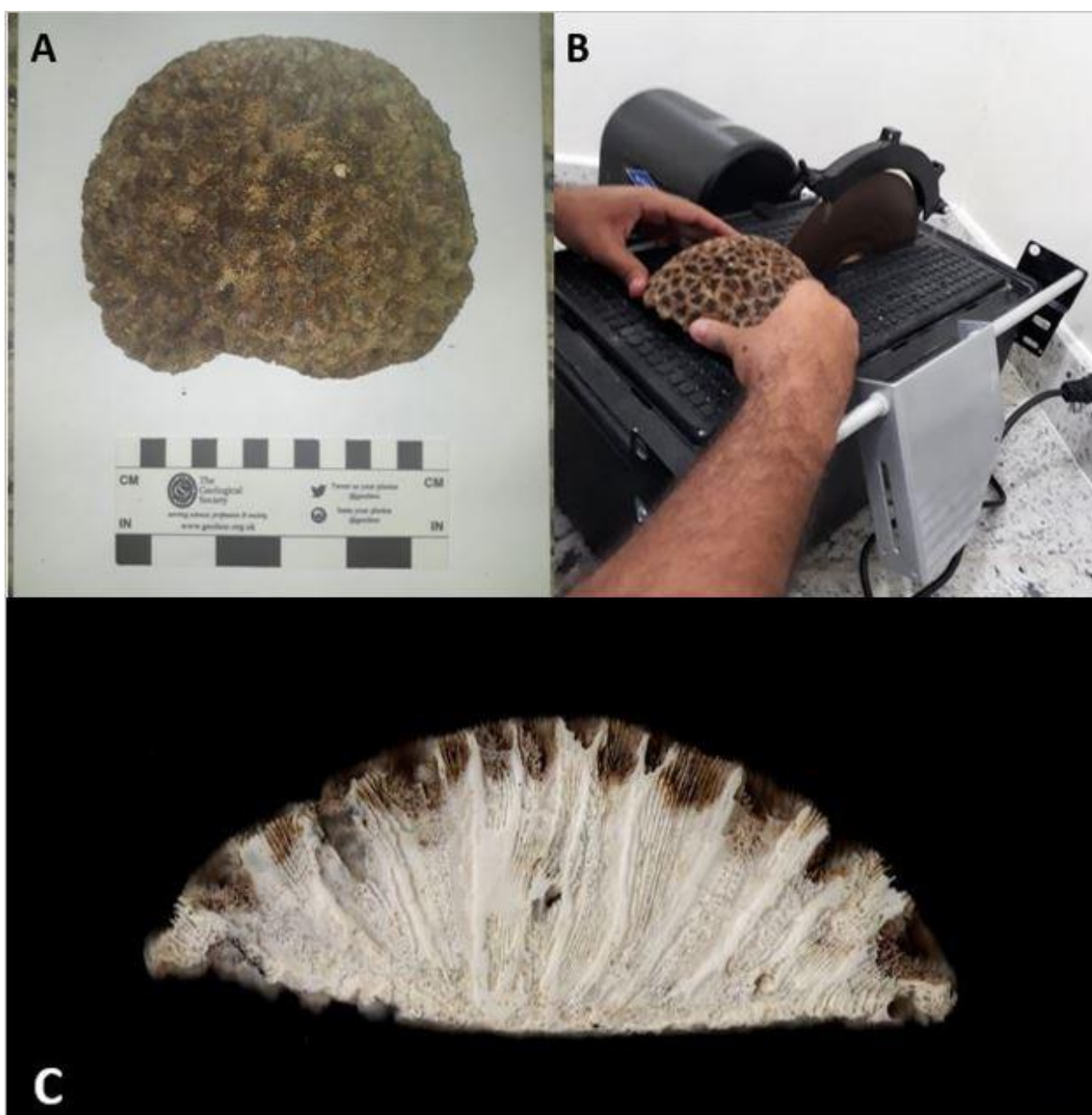


**Figura 10.** Coleta das colônias de corais durante o trabalho de campo em Fernando de Noronha – PE. Fonte: Natan Pereira (2018).

### 3.3. Etapas de laboratório

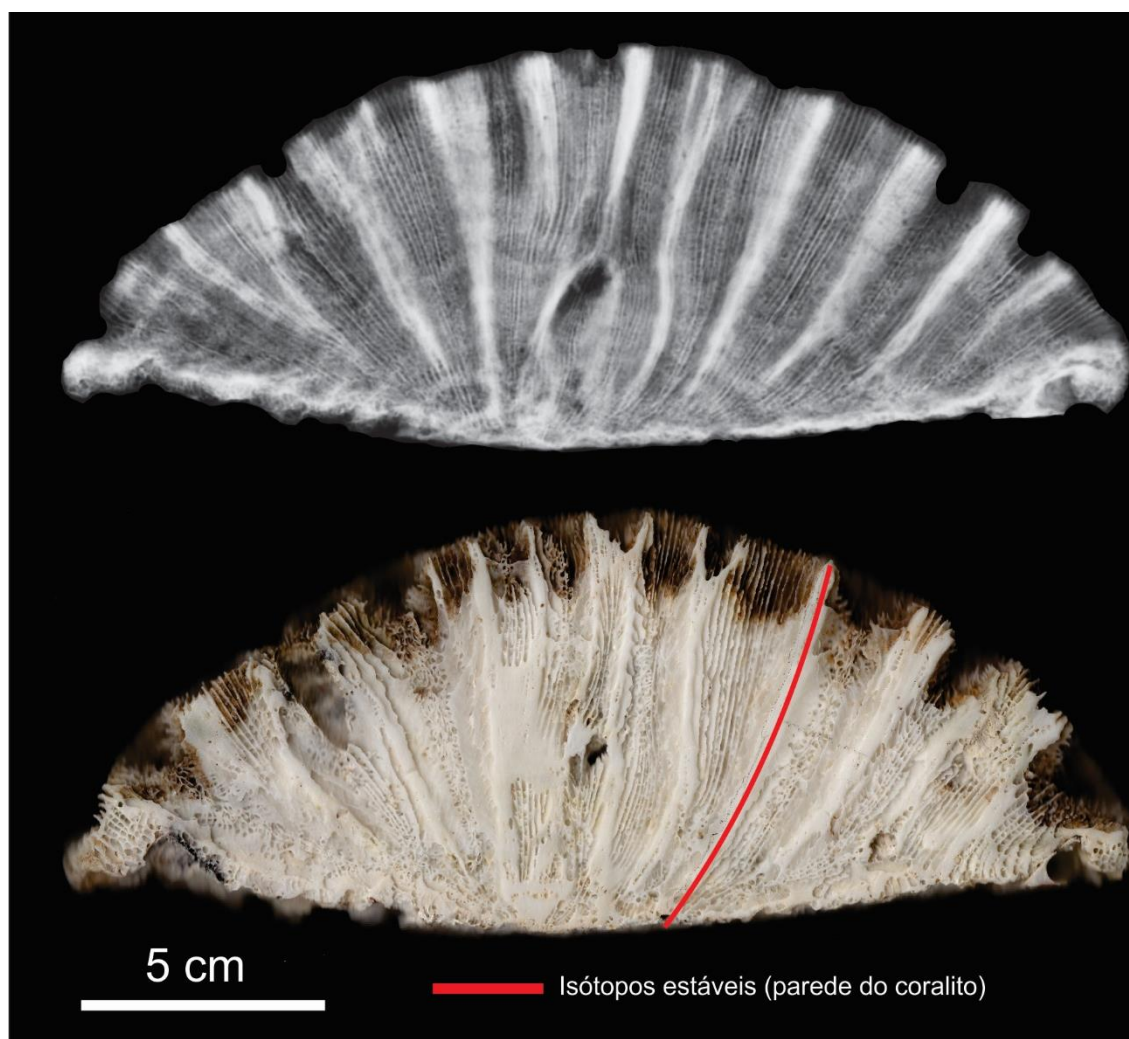
#### 3.3.1. Corte, radiografia e taxa de crescimento

O coral coletado foi lavado com água corrente e exposto ao sol por um período de cinco dias para remoção de tecido vivo da colônia. Em seguida foi codificado como 18MHFN-BI1. Foi realizado o corte da colônia para obter placa de 5 mm de espessura utilizando uma serra de mesa (Figura 11), este procedimento foi realizado no NESP (Núcleo de Estudos em Sedimentologia e Paleoclimatologia) da Universidade Estadual da Bahia – UNEB Campus VIII.



**Figura 11.** (A) Colônia de *M. hispida* (18MHFN-BI1); (B) Realização do corte da colônia para obter a Placa de *M. hispida*; (C) Placa de *M. hispida*. Fonte: Fábio Moraes (2018).

A colônia foi posicionada de acordo com seu eixo de crescimento e cortes longitudinais foram realizados. Houve a radiografia da placa de 5 mm, utilizando os seguintes parâmetros radiográficos: 50 kVA, 100 mA e 0,03 s (Figura 12). As radiografias geradas foram digitalizadas no NESP-UNEB.



**Figura 12.** Radiografia da placa de *M. hispida*; (em vermelho) coralito onde foram extraídas as amostras para análise de isótopos estáveis. Fonte: Natan Pereira (2018)

### 3.3.2. Amostragem

Para a retirada do material do esqueleto do coral, foi utilizada uma microfresadora de mesa para a remoção de carbonato ao longo da parede do coralito em intervalos de 0,4 mm, (brocas diamantadas de 1 mm) as amostras extraídas foram armazenadas em tubos *Eppendorfs*, codificadas e organizadas e enviadas para Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo.

### 3.3.3. Análises isotópicas

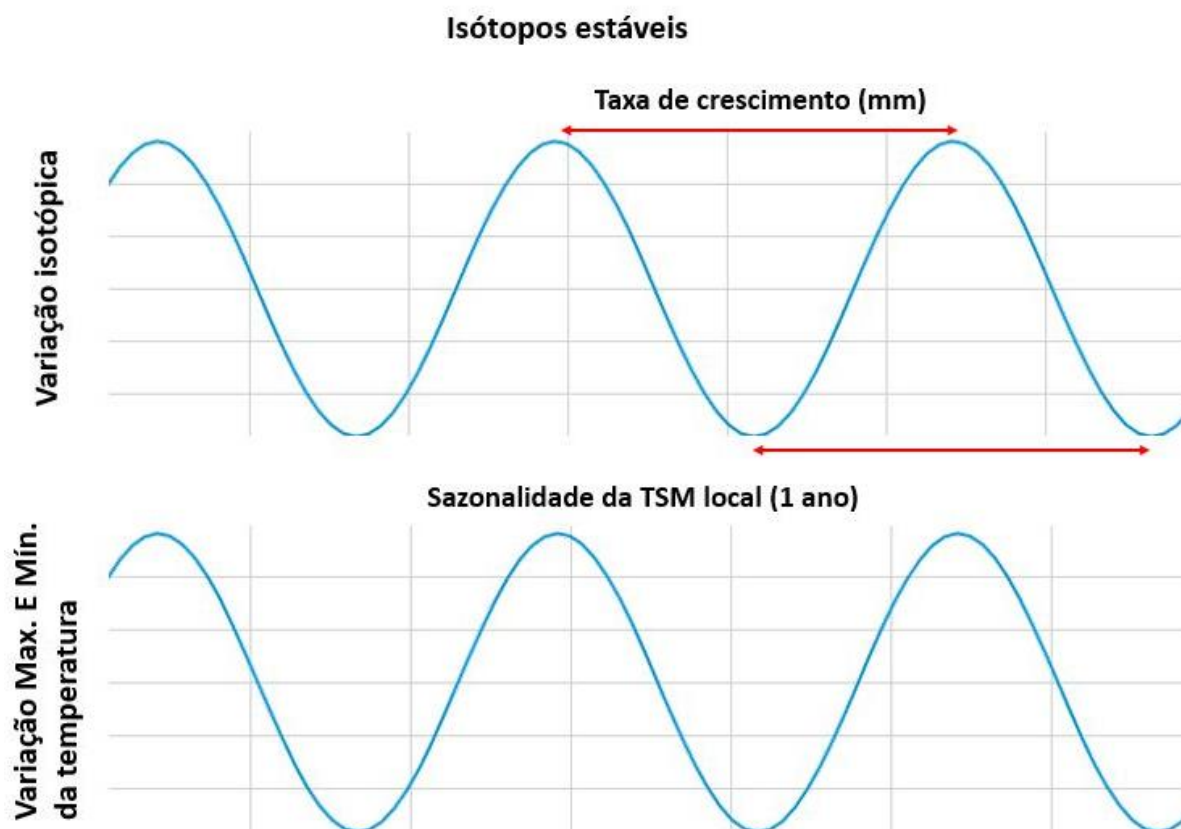
Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  de 130 amostras foram determinadas no Laboratório de Paleoceanografia e Paleoclimatologia da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, usando o espectrômetro de massa de razão isotópica *Thermo*™ MAT253 acoplado a um dispositivo de preparação de carbonato *Thermo*™ Kiel IV. A composição isotópica do carbonato de cálcio e coral foi analisada no  $\text{CO}_2$  recuperado pela reação do carbonato com ácido fosfórico. O calcário *Solnhofen* foi usado como padrão de trabalho interno, que foi calibrado contra o *Vienna Pee Dee Belemnite* (VPDB) usando o padrão NBS19. A precisão analítica foi melhor que  $\pm 0,05$  ‰ para  $\text{O}^{18}\text{O}$   $\pm 0,07$  ‰ para  $\pm^{18}\text{O}$  ( $\pm 1$  141,  $n = 141$ ).

### 3.3.4. Análise estatística com a utilização do software *grapher*

Os dados obtidos foram trabalhados e depois foram transferidos para o *Grapher*, um *software* utilizado para criação de gráficos, desenvolvido pela *Golden Software*. Os dados gerados foram plotados e transformados em gráfico para melhor visualização da variabilidade da temperatura de superfície do mar (TSM) e dos ciclos isotópicos, possibilitando estimar a taxa de crescimento e a idade da colônia de coral obtida.

### 3.3.5. Como foi estimada a avaliação de taxa de crescimento

Os isótopos estáveis de C e O sofrem uma variação sazonal em seu conteúdo isotópico com a temperatura e outros fatores presentes no ambiente. A variação anualmente da temperatura influencia a variação anual do conteúdo isotópico presente no exoesqueleto do coral, ou seja, é possível visualizar uma variação cíclica nos valores dos isótopos estáveis de oxigênio, o quais são sincronos com a temperatura (Figura 13).



**Figura 13.** Gráfico ilustrativo didático exemplificando como é feito o reconhecimento dos ciclos isotópicos e a taxa de crescimento. Fonte: Fábio Moraes (2020)

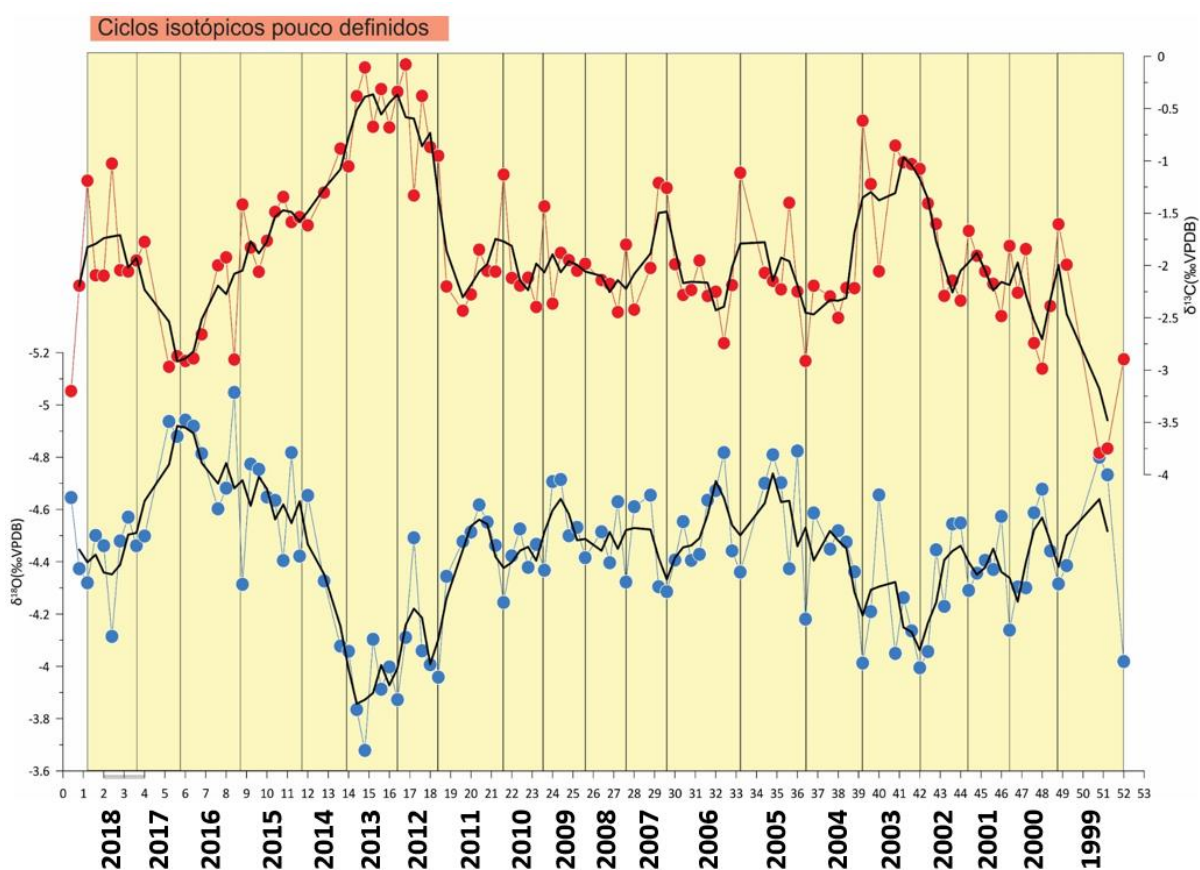
A variação sazonal da temperatura influencia na variação isotópica, cujo comprimento desses ciclos irá equivaler a um ano de crescimentos da colônia de coral, ou seja, a extensão dos ciclos representa o quanto o coral cresceu naquele ano, podendo assim estimar a sua taxa de crescimento e contabilizar a quantidade de ciclos.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Isótopos estáveis

Os valores de isótopos estáveis de carbono da colônia 18MHFN-B11 apresentaram valores variados entre -0,08 a -3,79 ‰, com média de  $-1,88 \pm 0,72\text{‰}$ . Já os dados obtidos para os isótopos estáveis de oxigênio variaram de -3,68 a -5,05 ‰, possuindo uma média de  $-4,44 \pm 0,26\text{‰}$ .

Entre ~13 e 18 mm há uma pequena sequência de ciclos isotópicos da colônia 18MHFN-B11 que é caracterizada por valores mais enriquecidos de carbono (Figura 14). Outras sequências de ciclos enriquecidas de  $^{13}\text{C}$  foram observados também entre as distâncias de 38 e 44 mm. Na região entre 0 a 18 mm houve problemas de amostragem, devido a complexidade na retirada de amostras da colônia, o que representa que os valores dos ciclos neste período estão pouco definidos.



**Figura 14.** Série temporal do  $\delta^{18}\text{O}$  (azul) e  $\delta^{13}\text{C}$  (vermelho) com contagem de ciclos isotópicos da colônia de coral 18MHFN-B11.

O padrão de sequências de ciclos isotópicos descritos anteriormente para o ciclo de isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ), também está caracterizado por valores mais positivos de oxigênio (Figura 14).

Uma vez que as variações nos valores de isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  apresentam parâmetros para a atividade fisiológica e cobertura de nuvens (ALLISON *et al.*, 1996; Reynaud-vaganay *et al.*, 2001) e o  $\delta^{18}\text{O}$  representa os valores da temperatura superficial da água do mar (TSM) (PATZOLD, 1984; FAIRBANKS *et al.*, 1979; MCCONNAUGHEY, 1989; DUNBAR *et al.*, 1994) e a salinidade (COLE e FAIRBANKS, 1990; LINSLEY *et al.*, 1994), pode-se sugerir que a colônia estudada experimentou algum estresse ambiental.

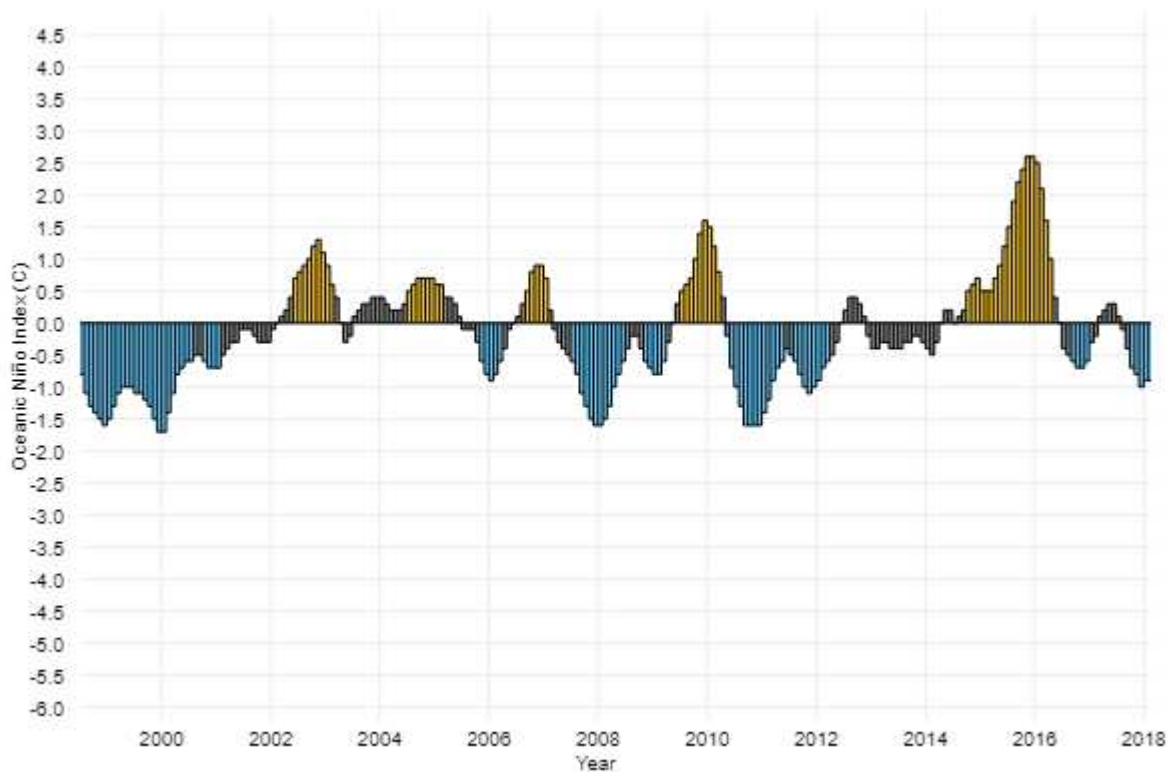
#### 4.2. Ciclos isotópicos e taxa de crescimento (Esclerocronologia química)

Foram identificados um total de 20 ciclos isotópicos através das análises de isótopos estáveis, este valor representa que a colônia de coral possui 20 anos de idade (Figura 14). A taxa de crescimento apresentou um crescimento máximo de 3,58 mm/ano no ano de 2011 e mínimo 1,93 mm/ano no ano de 2000 com valores de crescimento médio de  $2,52 \pm 0,52$  mm/ano.

O Índice de Niño Oceânico (ONI) (Figura 15) é o principal indicador da *National Oceanographic and Atmospheric Administration* - NOAA para monitorar El Niño e La Niña, que são fases opostas do padrão climático denominado El Niño-Oscilação Sul, ou "ENSO". Segundo a NOAA valores acima de  $+0,5$  °C considera-se que há condições do El Niño presentes, indicando que está significativamente mais quente do que o normal. Existem condições de La Niña quando o Índice de Niño Oceânico é  $-0,5$  °C ou inferior, indicando que a região está mais fria do que o normal. Os valores entre  $0,5$  °C e  $-0,5$  °C são considerados temperaturas neutras.

Ao analisar a taxa de crescimento da colônia 18MHFN-BI1 a cada ano (Tabela 1) juntamente com os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 14) pode-se observar uma relação entre os valores empobrecidos de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  1999 – 2000 ( $-4,6\text{‰}$  para O e  $-3,0\text{‰}$  para C), 2006 - 2008 ( $-4,8\text{‰}$  para O e  $\sim -2,8\text{‰}$  para C) e 2016 – 2017 ( $-5,05\text{‰}$  para O e  $-3,0\text{‰}$  para C), respectivamente e uma lenta taxa de crescimento. Para o evento de 1999 a 2000 (La Niña) o crescimento foi de 2,4 mm/ano e 2 mm/ano, respectivamente. Após o La Niña ocorreu o evento de 2002 a 2004 (El Niño) o coral teve sua taxa de crescimento de 2,8 mm/ano e 2,4 mm/ano respectivamente. Diversos

autores relataram uma relação entre uma menor taxa de crescimento e os eventos ENOS (e. g., (DUNBAR *et al.*, 1994; GLYNN *et al.*, 1996; PEREIRA *et al.*, 2015).



**Figura 15.** Dados do Índice de Niño Oceânico utilizados para monitorar e classificar a força relativa do ENSO, o El Niño-Oscilação Sul. Fonte: disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index>>

**Tabela 1** – Taxa de crescimento da colônia de *Mussismilia hispida*. (18MHFN-BI1) por ano.

18MHFN-BI1					
Ano	Ciclo	Taxa de crescimento (mm)	Índice de Niño Oceânico	$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{‰}}$
1999	01	2,4	La niña	-4,02	-2,9
2000	02	2,0	La niña	-4,14	-1,6
2001	03	3,2	La niña	-4,14	-1,8
2002	04	2,8	Neutro	-4,29	-1,7
2003	05	3,0	El niño	-3,99	-1,1
2004	06	2,4	Neutro	-4,01	-0,6
2005	07	2,0	El niño	-4,18	-2,9
2006	08	3,2	La niña	-4,36	-1,1
2007	09	2,0	El niño	-4,28	-1,2
2008	10	2,0	La niña	-4,32	-1,8
2009	11	2,0	La niña	-4,41	-1,9
2010	12	2,0	El niño	-4,36	-1,4
2011	13	3,6	La niña	-4,24	-1,1
2012	14	3,2	La niña	-3,95	-0,9
2013	15	2,8	Neutro	-3,87	-0,3
2014	16	2,8	Neutro	-4,05	-1,0
2015	17	2,4	El niño	-4,42	-1,5
2016	18	2,0	El niño	-4,31	-1,4
2017	19	2,4	La niña	-4,88	-2,8
2018	20	3,2	La niña	-4,46	-1,9

Infelizmente, para a colônia 18MHFN-BI1 do Arquipélago Fernando de Noronha, não foram encontradas correlações entre os eventos de niño oceânico e a taxa de crescimento.

Os valores encontrados são similares ao de Silva et al 2019, nas quais 3 colônias de *M. hispida* codificadas como: 13MH-1, 13MH-2 e 13MH-3 foram analisadas e apresentaram cerca de 21, 21 e 20 ciclos respectivamente e a taxa de crescimento para a colônia 13MH-1 demonstrou mínima de 2,2 mm/ano, a máxima de 3,79 mm/ano, e média de  $2,83 \pm 0,51$  mm/ano. A colônia 13MH-2 apresentou mínima de crescimento de 1,96 mm/ano, máxima de 4,71 mm/ano, e média de  $3,21 \pm 0,86$  mm/ano e por fim a colônia 13MH-3 com mínima de 2,65 mm/ano, máxima de 5,29 mm/ano e média de  $3,71 \pm 0,82$  mm/ano.

De fato, ainda há uma escassez de estudos a respeito da taxa de crescimento da espécie *M. hispida*, apesar da ampla distribuição relação as demais espécies do gênero *Mussismilia*. A nível de gênero, há dados disponíveis a referentes a outras espécies, como *Mussismilia braziliensis*, amplamente estudada, e *Mussismilia hartti*.

As colônias analisadas da espécie *M. hispida* apresentaram ciclos anuais que demonstram estar de acordo com outros trabalhos realizados com as demais espécies do gênero *Mussismilia* (e.g. LEÃO *et al.*, 2003; SUGGETT *et al.*, 2012; KIKUCHI *et al.*, 2013).

Kikuchi *et al.* (2013) determinou uma taxa de crescimento médio de 9,2 mm/ano para uma colônia *M. braziliensis*. Suggett *et al.* (2012) obtiveram um valor médio de aproximadamente 6 mm/ano para três colônias de *M. braziliensis* e um valor médio de ~2 mm/ano para três colônias de *M. hartti* e segundo estudo de Leão *et al.* (2003), determinaram uma taxa média de crescimento de 8 mm/ano para *M. braziliensis* (medidas em Raio-X), todas as medidas citadas acima foram obtidas a partir colônias coletadas em Abrolhos, no estado da Bahia.

Pereira *et al.* (2018), realizou a análise de três colônias de corais da espécie *Siderastrea stellata*, onde foi possível obter valores médios de crescimento de 2,90 mm/ano, 2,76 mm /ano e 3,46 mm/ano. Pinheiro *et al.* (2017) determinaram uma média  $6,8 \pm 0,7$  mm/ano para *S. stellata* (todos os dados obtidos de colônias coletadas no Atol das Rocas). Pode ocorrer variações no crescimento de uma colônia de coral dentro de uma mesma espécie. Vivendo na mesma região, em condições ambientais similares, colônias de corais podem apresentar estratégias de crescimento diferentes (ROGERS, 1979).

Ao comparar essas taxas de crescimento com a obtida para as colônias analisadas, a espécie *M. hispida* apresenta um crescimento médio intermediário, quando comparada com a espécie *M. braziliensis* e *M. hartti*. Apesar de serem espécie do mesmo gênero. para se comparar de forma mais contundente a taxa de extensão linear dessa espécie, há a necessidade de mais dados a respeito da espécie *M. hispida* do arquipélago de Fernando de Noronha e dos demais locais de ocorrência, visto a sua ampla distribuição na costa brasileira. (Tabela 2)

**Tabela 2** – Médias da taxa de crescimento da colônia de *M. hispida*. 18MHFN-BI1 em comparação com outras espécies de corais.

Médias da taxa de crescimento		
Autor	Espécie	Crescimento (mm/ano)
esse trabalho	<i>M. hispida</i>	<b>2,52</b>
Silva <i>et al</i> 2019	<i>M. hispida</i>	<b>2.83</b>
Silva <i>et al</i> 2019	<i>M. hispida</i>	<b>3.21</b>
Silva <i>et al</i> 2019	<i>M. hispida</i>	<b>3.71</b>
Kikuchi <i>et al.</i> (2013)	<i>M. braziliensis</i>	9,2
Suggett <i>et al.</i> (2012)	<i>M. braziliensis</i>	~6
Suggett <i>et al.</i> (2012)	<i>M. hartti</i>	~2
Leão <i>et al.</i> (2003)	<i>M. braziliensis</i>	8
Pereira <i>et al.</i> (2018)	<i>S. stellata</i>	2,90
Pereira <i>et al.</i> (2018)	<i>S. stellata</i>	2,76
Pereira <i>et al.</i> (2018)	<i>S. stellata</i>	3,46
Pinheiro <i>et al.</i> (2017)	<i>S. stellata</i>	6,8

Do ponto de vista para utilização de corais como arquivo climático a espécie possui uma taxa de crescimento próximo do necessário para a obtenção de informações de alta resolução (que compreende os corais com crescimento entre 3-15 mm/ano) (GONÇALVES, 2010) uma vez que, espécies de crescimento muito lento, caso que pode ser observado na espécie de coral *Siderastrea radians* (~1,3 mm/ano), apresentam algumas dificuldades na interpretação de seus dados, o que pode acarretar em interpretações errôneas (MOSES; SWART, 2006).

## 5. Considerações finais

Nesse estudo foram apresentadas informações baseadas em uma espécie de coral, sendo o primeiro registro acerca da taxa de crescimento, bem como registros isotópicos e padrão de série temporal para espécie *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) de Fernando de Noronha, no Atlântico Sul Equatorial

Este trabalho apresenta um registro a respeito da taxa de crescimento de corais escleractínios bem como de dados isotópicos de *M. hispida*. Apesar do crescimento da espécie ser menor em comparação com outras espécies, a taxa de *M. hispida* demonstrou ser confiável para se obter informações de alta resolução, tornando-se útil sua utilização como arquivo climático sendo capaz de armazenar uma grande quantidade de informações por comprimento.

A espécie apresenta um potencial para registro de variações climáticas. Ao realizar a análise da taxa de crescimento, foi possível observar uma relação entre valores empobrecidos de  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  1999 – 2000 (-4,6‰ para O e -3,0‰ para C), 2006 - 2008 (-4,8‰ para O e ~-2,8‰ para C) e 2016 – 2017 (-5,05‰ para O e -3,0‰ para C) respectivamente e uma lenta taxa de crescimento, para o evento de 1999 a 2000 (La Niña) o crescimento foi de 2,4 mm/ano e 2 mm/ano, respectivamente. Após o La Niña ocorreu o evento de 2003 (El Niño) o coral teve sua taxa de crescimento de 3,0 mm/ano. Diversos autores relataram uma relação entre uma menor taxa de crescimento e os eventos ENOS. O registro da ocorrência de episódios ENOS ao longo do tempo, trazem uma contribuição significativa para compreensão desses eventos e suas consequências (e.g sociais, econômicas, ambientais) além de auxiliar na realização de projeções futuras.

Entretanto, faz-se necessária a calibração de um paleotermômetro para a espécie estudada para consolidá-la como arquivo paleoclimático, bem como, expandir as investigações realizadas para outras regiões do nordeste brasileiro, a fim de consolidar essa espécie como um arquivo natural confiável, uma vez que *M. hispida* tem uma ampla distribuição geográfica ao longo da costa brasileira.

## Referências

ALLISON, N.; TUDHOPE, A.W.; FALLICK, A.E., 1996. Factors influencing the stable carbon and oxygen isotopic composition of *Porites lutea* coral skeletons from Phuket, **South Thailand** 43–57.

ALLEN, G. Marine life of the Pacific and Indian Oceans. **USA: Periplus Editions (HK) Ltd**, 2000.

BAMES, H., GROWTH, C. ; BUDDEMEIER, R. W. (1976) '**Coral growth 1**', (759), pp. 183–225.

BARNES, D. J.; LOUGH, J. M. On the nature and causes of density banding in massive coral skeletons. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 167, n. 1, p. 91–108, mar. 1993.

BUDDEMEIER, R. W.; MARAGOS, J. E.; KNUTSON, D. W. Radiographic studies of reef coral exoskeletons: Rates and patterns of coral growth. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 14, n. 2, p. 179–199, jan. 1974.

C. A. SOUZA, F. D. A. (2002) 'variação morfométrica de algumas espécies de corais mussidae (cnidaria, anthozoa) do brasil', pp. 23–36.

CASTRO, P.; HUBER M.E. BIOLOGIA MARINHA. **AMGH Editora Ltda. 8ª edição**, 2012.

COHEN, A. L.; MCCONNAUGHEY, T. A. Geochemical Perspectives on Coral Mineralization, 2003.

COLE, J.E., FAIRBANKS, R.G., 1990. Canton Galpagos 5, 669–683.

CONTI, J. B. (2011). Considerações sobre as mudanças climáticas globais. Revista Do Departamento De Geografia, 16, 70-75.  
<https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0007>

DASSIÉ, E.; LEMLEY, G.; LINSLEY, B. The Suess effect in Fiji coral  $\delta^{13}\text{C}$  and its potential as a tracer of anthropogenic  $\text{CO}_2$  uptake. **Palaeogeography, Palaeoclimatology**, ..., v. 370, p. 30–40, jan. 2013.

DUNBAR, B.; WELLINGTON, M.; COLGAN, W., 1994. Eastern Pacific sea surface temperature since 1600 A . D . ' The record of climate variability in Gahipagos corals we interpret 9, 291–315.

EAKIN, C. M.; GROTTOLI, A. Paleo-climate changes and corals. **Earth-Science Reviews**, v. 81, p. 67–91. 2006.

EÇA, G. F.; FILHO, C. V. S. F.; HATJJE, V. Corais como organismos biomonitoros: aplicação, pré-tratamento e determinação de elementos majoritários e minoritários. **Quim. Nova**, v. 35, n. 3, p. 581- 592, 2012

FAIRBANKS, R.G.; SCIENCES, O.; DRIVE, N.O., An, S., 1979. Annual periodicity of the  $^{18}O / ^{16}O$  and  $^{13}C / ^{12}C$  ratios in the coral *Montastrea annularis* \* 43.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. Monitoramento dos recifes de coral do Brasil- Situação Atual e Perspectivas. Brasília, **MMA (Série Biodiversidade 18)**, 250p. 2006.

GALVÃO, T. A. et al. Assinatura espectral do coral endêmico brasileiro *Siderastrea stellata*. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto- SBSR, 2013, Foz do Iguaçu**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Foz do Iguaçu, PR, INPE, 2013.

GONÇALVES, P. M. A influência da Temperatura e da calcificação na variação de  $\delta^{18}O$  e  $\delta^{13}C$  e Sr/Ca no esqueleto do coral *Mussismilia braziliensis* (Verrill 1868). **Tese (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia: Instituto de Geociências**, Salvador, Bahia, 2010

GLYNN, P.W. Coral reef bleaching ecological perspectives. **Coral Reefs**, v. 12, n. 1, p. 1-17. 1993.

GLYNN, P.W.; VERON, J.E.N.; WELLINGTON, G.M., 1996. Clipperton Atoll (eastern Pacific): Oceanography, geomorphology, reef-building coral ecology and biogeography. **Coral Reefs** 15, 71–99.

GROTTOLI, A. G. Past climate from corals. In: STEELE, J.; THORPE, K.; TUREKIAN, K. (Eds.). . **Encyclopedia of ocean sciences**. London: Academic Press, 2001. p. 2098–2107.

HEDLEY, J. D.; MUMBY, P. J. Biological and remote sensing perspectives of pigmentation in coral reef organisms. **Advances in Marine Biology**, v. 43, p. 279–317. 2002.

HETZEL, B.; CASTRO, C. B. **Corais do Sul da Bahia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1994.

KEITH, M. L.; WEBER, J. N. Systematic Relationships between Carbon and Oxygen Isotopes in Carbonates Deposited by Modern Corals and Algae. **Science** (New York, N.Y.), v. 150, n. 3695, p. 498–501, 22 out. 1965.

KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M. D. M.; Leão, Z. M. a. N. (2013) 'Density banding pattern of the south western Atlantic coral *Mussismilia braziliensis*', **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. Elsevier B.V., 449, pp. 207–214. doi: 10.1016/j.jembe.2013.09.019.

KLEYPAS, J. A. et al. Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. **Science**, v. 284, n. 5411, p. 118-120. 1999.

KNUTSON, D. W.; BUDDEMEIER, R. W.; SMITH, S. V. Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. **Science** (New York, N.Y.), v. 177, n. 4045, p. 270–2, 21 jul. 1972.

KUHNERT, H.; PLAETZOLD, B.G.; HATCHER; KARL-HEINZ WYRWOLL, A.; EISENHAEUER, L.B.; COLLINS, Z.R. ZHU; G. WEFER. A 200-year coral stable oxygen isotope record from a high-latitude reef off Western Australia. **Coral Reefs**, v. 18, n. 1, p. 1–12, 22 abr. 1999. ( localize os outros autores- padronizar

LABOREL, J. (1967). A revised list of Brazilian scleractinian corals and description of a new species. **Postilla** 107:1-14.

LEÃO, Z. M. A. N. et al. Brazilian coral reefs in a period o global change: A synthesis. **Brazilian Journal of Oceanograph**, v. 64, p. 97–116. 2016.

LEÃO, Z. M. A. N., et al. Monitoramento dos recifes e ecossistemas coralinos. In: TURRA, A., and DENADAI, MR., orgs. **Protocolos para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015, pp. 155-179. Disponível em: < <http://books.scielo.org>>.

LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P.; TESTA, V., 2003. Corals and coral reefs of Brazil, **Latin American Coral Reefs**. <https://doi.org/10.1016/B978-044451388-5/50003-5>

LEGRANDE, A. N.; SCHMIDT, G. A. Global gridded data set of the oxygen isotopic composition in seawater. **Geophysical Research LETTERS**, V. 33, P. 1- 5, 2006.

LINSLEY, B. K.; DUNBAR, R. B.; WELLINGTON, G. M.; MUCCIARONE, D. A.. (1994). A coral-based reconstruction of Intertropical Convergence Zone variability over Central America since 1707. **Journal of Geophysical Research**, 99(C5), 9977. doi:10.1029/94jc00360

LOUGH, J. M. ; BARNES, D. J. (1992) ‘Comparisons of skeletal density variations in Porites from the central Great Barrier Reef’, **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. Elsevier, 155(1), pp. 1–25. doi: 10.1016/0022-0981(92)90024-5.

LOUGH, J. M.; BARNES, D. J. (1997) ‘Several centuries of variation in skeletal extension, density and calcification in massive Porites colonies from the Great Barrier Reef: A proxy for seawater temperature and a background of variability against which to identify unnatural change’, **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. Elsevier, 211(1), pp. 29–67. doi: 10.1016/S0022-0981(96)02710-4.

LOUGH, J. M.;BARNES, D. J. (2000) ‘Environmental controls on growth of the massive coral Porites’, **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 245(2), pp. 225–243. doi: 10.1016/S0022-0981(99)00168-9.

MAIDA, M; FERREIRA, B. P. 1997. Coral reefs of Brazil: an overview. pp. 263-74. Vol. 1. In **Proceedings of the 8<sup>th</sup> Internacional Coral Reef Symposium**.

MANSO, A. V; ALBUQUERQUE V. M; VALENÇA E. M, MARIA . L; M. L. NEUMANN, VIRGÍNIO H; PEREIRA S. P; A. S. FERNANDO J. C; ELIDA R. S. M.. (2011) ‘Morfodinâmica de Praias Setentrionais da Ilha de Fernando do Noronha \*

Morphodynamics of the northern beaches of Fernando de Noronha Island', 11(3), pp. 327–339. doi: 10.5894/rgci239.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, E. Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**, 2007. 54p.

MCCONNAUGHEY, T., 1989.  $^{13}\text{C}$  and  $^{18}\text{O}$  isotopic disequilibrium in biological carbonates : I . **Patterns** 53, 151–162.

MITCHELL, J. F. B. The greenhouse effect and climate change. **Rev. Geophys.**, v. 27, n. 1, p. 115-139. 1989.

MOSES, C.S.; SWART, P.K., 2006. Stable isotope and growth records in corals from the island of Tobago: Not simply a record of the Orinoco 587, 580–587.

MOSS, R. H.; EDMONDS J. A.; HIBBARD K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VUUREN, D. P. V.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 11, p. 747- 759. 2010.

NUNES, F.L.D.; NORRIS, R.D.; KNOWLTON, N. Long distance dispersal and connectivity in amphi-Atlantic corals at regional and basin scales. **PLOS ONE**, v. 6, n. 7, p. e22298 doi: 10.1371. 2011.

PATZOLD, J. (1984). Growth rhythms recorded in stable isotopes and density bands in the reef coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines). **Coral Reefs**, 3(2), 87–90. doi:10.1007/bf00263758

PEREIRA, N.S.; SIAL, A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; FERREIRA, V.P.; ULLMANN, C. V.; FREI, R.; CUNHA, A. M. C. 2015. Coral-based climate records from tropical South Atlantic: 2009/2010 ENSO event in C and O isotopes from *Porites* corals (Rocas Atoll, Brazil). **An. Acad. Bras. Cienc.** 87, 1939–1957. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520150072>

PEREIRA, N.S.; SIAL, A. N.; KILBOURNE, H. 2018. Carbon stable isotope record in the coral species *Siderastrea stellata*: A link to the Suess Effect in the tropical South Atlantic Ocean. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.** 497, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.02.007>

PINHEIRO, B. R.; PEREIRA, N.S.; AGOSTINHO, P. G. F.; MONTES, M. J. F. (2017). Population dynamics of *Siderastrea stellata* Verrill, 1868 from Rocas Atoll, RN: implications for predicted climate change impacts at the only South Atlantic atoll. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, 89(2), 873–884. doi:10.1590/0001-3765201720160387

PINET, P. R. **Fundamentos da Oceanografia**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

RAY, G. CARLTON. 1987. Coastal-zone biodiversity patterns: principles of landscape ecology may help explain the processes underlying coastal diversity. **Bioscience**. 47(7):490-498.

REAKA-KUDLA, M. L. 1997. The global biodiversity of coral reefs: a comparison with rain forests. pp. 83-108. In: M. L. Reaka-Kudla; E. D Wilson e E. O. Wilson (eds.) **Biodiversity II: Understanding and protecting our biological resources**. J. H. Press. Washington, D. C. 549 pp.

REYNAUD-VAGANAY, S.Y.; LECLERC, A. J.; JAUBERT, J.; GATTUSO, J. P 2001. Effect of light on skeletal N 13C and N 18O , and interaction with photosynthesis, respiration and calcification in two zooxanthellate scleractinian corals 175, 393–404.

RICKLEFS, R. E. e SCHLUTER, D. 1996. **Species diversity: regional and historical influences**. 350-361pp. In: **Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives**. R. E Ricklefs e D. Schluter, eds. **The University of Chicago Press**, Chicago. 530pp.

ROGERS, C.S., 1979. The effect of shading on coral reef structure and function. **J. Exp. Mar. Bio. Ecol.** 41, 269–288. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(79\)90136-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(79)90136-9)

RUPPERT, E.E.; RICHARD, S. F.; ROBERT, D. B. **Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional – evolutiva**. 7. ed. São Paulo: Roca, 2005.

SALVAT, B de PAILHE, C. 2002. Islands and coral reefs, population and culture, economy and tourism: world view and a case study of French Polynesia. Pp. 213-231. In: CASTRI, F e BALAJI, V. (editors). **Tourism, Biodiversity and information**. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. 501 pp.

SILVA, I. C. B. S.; LIPARINI, A.; PEREIRA, N. S.; BRAGA, B. L. S. S.; SIAL, A. N.; LIU, S.C.; KIKUCHI, R. K. P. (2019). Assessing the growth rate of the South Atlantic coral species *Mussismilia hispida* (Verrill, 1902) using carbon and oxygen stable isotopes. **Journal of South American Earth Sciences**, 102346. doi:10.1016/j.jsames.2019.102346

SUN, D.; SU, R.; MCCONNAUGHEY, T. A.; BLOEMENDAL, J. (2008). Variability of skeletal growth and  $\delta^{13}\text{C}$  in massive corals from the South China Sea: Effects of photosynthesis, respiration and human activities. **Chemical Geology**, 255(3-4), 414–425. doi:10.1016/j.chemgeo.2008.07.012

SWART, P. K.; GREER, L.; ROSENHEIM, B. E.; MOSES, C. S.; WAITE, A. J.; WINTER, A.; HELMLE, K. (2010). The  $^{13}\text{C}$  Suess effect in scleractinian corals mirror changes in the anthropogenic  $\text{CO}_2$  inventory of the surface oceans. **Geophysical Research Letters**, 37(5), n/a–n/a. doi:10.1029/2009gl041397

SWART, P. K.; GROTTOLI, A. Proxy indicators of climate in coral skeletons: a perspective. **Coral Reefs**, v. 22, n. 4, p. 313–315, 1 dez. 2003.

TAYLOR, R. B.; BARNES, D. J.; LOUGH, J. M. (1993) ‘Simple models of density band formation in massive corals’, **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. Elsevier, 167(1), pp. 109–125. doi: 10.1016/0022-0981(93)90187-S.

- WEBER, J. N. Incorporation of strontium into reef coral skeletal carbonate. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 37, n. 9, p. 2173–2190, 1973.
- WEBER, J. N.; WOODHEAD, P. M. J. Temperature dependence of oxygen-18 concentration in reef coral carbonates. **Journal of Geophysical Research**, v. 77, n. 3, p. 463–473, 20 jan. 1972.
- WEBER, J.; WOODHEAD, P. Carbon and oxygen isotope fractionation in the skeletal carbonate of reef-building corals. **Chemical Geology**, v. 6, p. 93–117, 1970.
- WELLS, J. A.; FERRARI, E.; HENNER, D. J.; ESTELL, D. A.; CHEN, E. Y. (1983). Cloning, sequencing, and secretion of *Bacillus amyloliquefaciens subtilisin* in *Bacillus subtilis*. **Nucleic Acids Research**, 11(22), 7911–7925.  
doi:10.1093/nar/11.22.7911
- WELLS, S.; HANNA, N. The Greenpeace book of coral reefs. **New York: Smithmark Pub**, 1992.
- WILKINSON, C. 2002. Status of coral reefs of the world: 2002. GCRMN/AIMS. **Monitoring Network and Australian Institute of Marine Science**, Townsville, Austrália. 378pp.
- WMO, World Meteorological Organization. **Climate, Carbon and Coral Reefs**. Switzerland: World Meteorological Organization, 2010.
- WOOD, E. M. Corals of the world. 1. ed. **Neptune City: T. F. H. Publications**, 1983.
- ZILBERBERG, C. Conhecendo os Recifes Brasileiros: **Rede de Pesquisas Coral Vivo** / Editores: Carla Zilberberg et al. – Rio de Janeiro: Museu Nacional, UFRJ, 2016. 360 p.; 24 cm. – (Série Livros; 58)