



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

# **Parâmetros indicativos da resiliência dos recifes de coral do sul da Bahia**

**Camila Brasil Louro da Silveira**

Salvador  
Junho de 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**Curso de Graduação em Oceanografia**  
**Plano de Trabalho Final de Graduação**

**Camila Brasil Louro da Silveira**

Parâmetros indicativos da resiliência dos recifes de coral do sul da Bahia

“Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia,  
Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia,  
como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel  
em Oceanografia”

Orientador: Professor Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi

Salvador  
Junho de 2011

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Ruy Kikuchi, que além de me orientar, me apoiou ao decorrer desses anos de curso e acreditou em meu potencial.

Minha família (a que está perto e a que está longe), minha mãe Paula, meu pai Sérgio (e claro, Cláudia e Cláudio) e meu irmão Dudu. Minhas avós e avôs, tias e tios.

Aos amigos de curso que fizeram da faculdade algo mais: Laísa, Maria, Ju, Danilo, Luquinhas, Zé e tantos outros que lembrarei para sempre.

A toda a equipe da RECOR (Professora Dra. Zelinda Leão e Professora Marília Oliveira) e aos meus amigos companheiros de estágio.

Aos professores que levarei do curso pra vida: Carlos Lentini, Guilherme Lessa e outros.

A Gabriel, que me deu apoio e alegria em todos os momentos.

Aos amigos que ficaram no meio do caminho e aos que me acompanharão para sempre.

**A Deus.**

**“... tempestade vai e vem...  
vai firme no leme, marinheiro!”**

**(Samuel Rosa e Chico Amaral)**

## ABSTRACT

Coral reef environments are very important economically, environmentally and academically. They represent priority areas for management and preservation. In order to maintain the functional identity of the coral reef ecosystem, it is necessary to actively assess its resilience. The resilience of coral reefs can be understood as a combination of variables that control the capacity of the environment to absorb disturbances and recover from impacts. Since 2000, the AGRRA Protocol has been applied at reefs in Southern Bahia, especially after the mass bleaching associated with the *El Niño* phenomenon in 1998. In an attempt to quantify the resilience, the *El Niño* of 2003 was chosen as a climatic disturbance. Eight operational indicators of resilience were identified: coral cover, distance from the coast, bleaching, percentage of recent mortality and recruitment of corals, algal index, the relative percentage of priority species and species diversity. The reefs in the study area were grouped according to the indicators of reef vitality. Reefs offshore and further south of Bahia were grouped (Abrolhos reef complex, including the coastal and the outer arc) and exhibited the best indicators of resilience. The nearshore reefs and located northern of Abrolhos (Cabrália Bay, Corumbau and Tinharé and Boipeba) revealed relatively poorer indicators of resilience. Two of the most significant differences between the two areas were: the frequency of colonies with percentages of recent mortality and the recruitment rate. From data obtained by the AGRRA Protocol, the identification and quantification of variables closely related with coral resilience was possible. There is a need for a greater focus and concern about coastal marine environments, which are increasingly more fragile due to the persistence and intensity of environmental and anthropic impacts.

**Key-words:** resilience; key indicators of resilience; coral reefs

## RESUMO

Recifes de corais são ambientes de notória importância ecológica, econômica, ambiental e educacional e representam áreas prioritárias para manejo e preservação. A fim de manter a identidade funcional do ecossistema recifal, faz-se necessário acessar mais ativamente a resiliência. A resiliência de recifes de corais pode ser entendida como uma combinação de fatores que controlam a capacidade de resistência e recuperação do ambiente. Desde 2000, vem sendo aplicado o Protocolo AGRRA em recifes do sul da Bahia, principalmente após o branqueamento em massa observado devido ao *El Niño* em 1998. Na tentativa de quantificar a resiliência, o *El Niño* de 2003 foi escolhido como distúrbio climático. Foram identificados oito parâmetros indicativos da saúde dos recifes que poderão indicar a sua resiliência: cobertura coralínea, distância da costa, branqueamento, mortalidade recente e taxa de recrutamento dos corais, índice algáceo, porcentagem relativa de espécies prioritárias e diversidade de espécies. Os recifes da área estudada foram agrupados de acordo com os índices de vitalidade recifal. Recifes mais distantes da costa e mais ao sul do estado da Bahia ficaram agrupados (complexo recifal dos Abrolhos, arco costeiro e arco externo) e exibiram os melhores indicadores de resiliência. Os recifes mais próximos da costa e localizados ao norte de Abrolhos (baía de Cabrália, Corumbau e recifes de Tinharé e Boipeba) exibiram índices relativamente piores de resiliência. As diferenças mais significativas entre as duas áreas foram em relação a resposta na porcentagem de colônias com mortalidade recente, na cobertura coralínea e na taxa de recrutamento. Foi possível, a partir de dados obtidos pelo Protocolo AGRRA, a identificação e quantificação de variáveis intimamente relacionadas com a resiliência recifal. Observou-se também, a necessidade de uma maior preocupação com os ambientes marinhos costeiros, que estão a cada dia, exibindo maior fragilidade em decorrência da crescente persistência e intensidade de impactos ambientais e antrópicos.

Palavras chave: resiliência; parâmetros indicativos de resiliência; recifes de coral

## 1. INTRODUÇÃO

Recifes de corais são *hotspots* de biodiversidade no meio marinho (Roberts, 2002) e representam ambientes prioritários para manejo e preservação. O objetivo principal da conservação dos recifes é garantir que esse ecossistema mantenha sua habilidade de prover os bens e serviços que normalmente provê em seu estado “natural”. No caso em questão, isso significa um ambiente dominado por corais: um espaço tridimensional com alta biodiversidade relativa às áreas adjacentes, capaz de fornecer além da fonte de alimento em si, locais de refúgio, caça, acasalamento, entre outros, a diversos grupos funcionais da fauna e flora.

Apesar de sua notória importância ecológica e econômica, recifes de corais estão sendo cada vez mais depredados por uma combinação catastrófica de impactos naturais e antrópicos, locais e de larga escala. Todo ambiente complexo possui uma capacidade inerente de absorver impactos. Quando o distúrbio é maior ou mais recorrente que o ecossistema pode suportar, porém, observa-se uma mudança funcional nesse ambiente. No caso de recifes de corais, a partir de um determinado limite de intensidade, recorrência e/ou duração do impacto, há uma alteração na dominância de coral para alga (McCook, 1999; Nyström, 2001; West & Salm, 2003; Hughes et al., 2007; Nyström et al., 2008). O ecossistema dominado por macroalgas ilustra um cenário altamente indesejado e representa perda significativa da fauna e flora associadas. Devido a fortes evidências de ambientes originalmente de dominância coralínea que alternaram para dominância macroalgácea (e.g Hughes, 1994), a ciência voltada ao estudo de corais adotou amplamente o conceito de resiliência.

O termo **resiliência** pode ser definido semanticamente como a habilidade de algo ou alguém retornar a um estado prévio ideal (Dicionário Cambridge). Na Ecologia, em uma das definições mais antigas, Holling (1973) entendeu a resiliência como a medida da persistência do sistema e de sua habilidade para absorver mudanças e distúrbios, mantendo as mesmas relações entre as populações. Essa visão é focada principalmente na ideia da resistência do ecossistema a impactos. Ao longo do tempo, porém, foi observado que recifes altamente impactados, que sofreram alternância de fase de coral para macroalga, eram capazes de recuperar cobertura coralínea e retornar ao estado de fase inicial. Foi posto em evidência então, o importante papel da habilidade de recuperação para o estudo da resiliência em recifes de corais.

Para o propósito deste trabalho, foi utilizada uma definição mais recente, que entende o termo resiliência como a capacidade de um sistema de absorver distúrbios pontuais ou

recorrentes e de se adaptar às mudanças sem mudar fundamentalmente para um estado alternativo (Hughes, 2010). É importante salientar que essa definição engloba também variações temporais pontuais nas abundâncias relativas de corais e de algas. Em eventos agudos (e.g. ciclones e tempestades tropicais) os corais podem ser suprimidos rapidamente, porém em recifes resilientes, a cobertura coralínea tende a aumentar entre esses eventos (Hughes, 2010).

A manutenção da resiliência é devida a uma combinação de fatores ecológicos e espaciais que envolvem, entre outros: diversidade funcional e de espécies, conectividade espacial e disponibilidade de superfície para assentamento larval (reprodução), doenças, bioerosão e branqueamento. É importante observar a existência de um sistema de re-alimentação para cada um desses fatores, ou seja, cada um dos mecanismos responsáveis pela manutenção, aumento ou redução da resiliência do local é também influenciado por ela. Um exemplo clássico compreende o fenômeno conhecido como branqueamento: é sabido que o branqueamento de colônias de corais pode reduzir a resiliência do recife (West & Salm, 2003); ao mesmo tempo, um recife mais resiliente será mais capaz de suportar impactos e distúrbios que culminam no branqueamento das colônias.

Atualmente, os esforços de pesquisa têm sido voltados principalmente para o entendimento do motivo de alguns recifes suportarem maiores e mais longos impactos enquanto outros acabam completamente degradados. A resposta para esse questionamento pode ser dada por uma abordagem mais direta e quantitativa da resiliência associada a esses recifes. Para tal quantificação, faz-se necessário entender principalmente *o que* influencia uma condição mais ou menos resiliente. Diversos estudos vêm sendo publicados enfatizando a importância da manutenção e identificação de ambientes resilientes a fim de mitigar os efeitos antrópicos e naturais sofridos por esses ecossistemas (Salm et al., 2001; Salm & Coles, 2001; West & Salm, 2003). Essa identificação faz-se necessária pois sistemas altamente resilientes, em caso de evento impactante, podem servir como fonte de diversidade (e.g. larvas, locais de assentamento) para os locais degradados. Além disso, são as áreas que tendem a manter as relações interpopulacionais relativamente intactas, garantindo também os recursos naturais da região.

Há, porém, um número relativamente pequeno de trabalhos visando quantificar a resiliência. Um exemplo desses é o estudo realizado por Hughes et al. (2007), que objetiva visualizar os efeitos da sobrepesca sobre a resiliência de recifes de corais na Grande Barreira de Corais da Austrália. Para isso, os pesquisadores observaram o branqueamento das colônias quando imposta diminuição ou depleção de herbivoria.



Até recentemente, a poluição advinda da zona costeira e a sobrepesca eram tidas como as maiores ameaças aos recifes de corais. Atualmente, porém, a ligação entre as mudanças climáticas, o aquecimento global, o branqueamento e a mortalidade de corais é evidente. Além do estresse térmico, há também como consequência direta das mudanças globais, o aumento na acidez da água do mar devido ao aumento de dióxido de carbono atmosférico, que culmina no enfraquecimento dos esqueletos coralíneos e redução no crescimento dos recifes (Kleypas et al., 1999). Um dos maiores problemas no caso de aumento global de temperatura é que do ponto de vista do manejo, não é possível, pelo menos em curto prazo, acessar a fonte da mudança a fim de suspendê-la ou revertê-la. No entanto, muitas vezes é possível controlar localmente impactos como a sobrepesca e a poluição costeira.

Os estudos relacionados às análises da situação dos recifes de corais atualmente são focadas principalmente em dados de mortalidade e branqueamento, ao invés de serem baseados no motivo dos recifes perderem a capacidade de absorver e se recuperarem de distúrbios. Para a melhor compreensão a cerca dos mecanismos que levam ao enfraquecimento do recife como um todo, sugere-se o estudo da resiliência, abordando quantitativamente os parâmetros que a regem. Desse modo, se tenta evitar que os mecanismos responsáveis pela diminuição da resiliência recifal e possíveis causadores das mudanças de fase entrem em ação. Locais resilientes também precisam ser identificados, pois representam áreas prioritárias de conservação.

Pesquisas recentes (Kikuchi et al., 2010) já mostram que os recifes da costa brasileira têm sofrido degradação crescente, devido a uma série de processos naturais e perturbações antropogênicas. Já foi observado também em diversos locais o aumento da taxa relativa de macroalga/alga filamentosa e redução da cobertura coralínea. Em 1998, o evento climático *El Niño* foi responsável por um branqueamento e mortalidade em massa de corais a nível global (Hoegh-Guldberg, 1999; Wilkinson et al., 1999; West & Salm, 2003), e causou branqueamento também nos recifes brasileiros (Dutra et al., 2000). Tendo em vista o caráter periódico de eventos climáticos e o prognóstico de aumento de temperatura global, propõe-se com este trabalho uma abordagem direta e a definição das variáveis que podem influenciar a resiliência dos recifes de corais do sul da Bahia. Nessa área, encontram-se ecossistemas recifais de suma importância ecológica e econômica para a região. Um dos locais estudados compreende o complexo recifal dos Abrolhos, que representa o maior e mais rico complexo recifal do oceano Atlântico Sul (Leão, 1999).

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é identificar e quantificar os parâmetros responsáveis pela variação de resiliência dos recifes frente a perturbações associadas a anomalias térmicas nos recifes do Sul da Bahia.

### **Objetivos secundários**

1. Calcular a persistência e intensidade do *El Niño* de 2003 para a região, comparando esse ano com os anos de 2002 e 2004, em que não ocorreram anomalias térmicas significativas, determinando se esse evento climático pode ser realmente considerado como causador de branqueamento na área.
2. Descrever os recifes da costa da Bahia sob a ótica da resiliência.
3. Determinar áreas de maior/menor resiliência a partir dos parâmetros calculados.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1- Área de estudo**

Os locais avaliados estão distribuídos por toda a costa ao sul do estado da Bahia. Seguindo em direção sul, são por ordem: Ilhas de Tinharé e Boipeba, Baía de Cabália, Recifes Itacolomis e o complexo recifal dos Abrolhos, que envolve os recifes do arco interno e do arco externo (Figura 1).

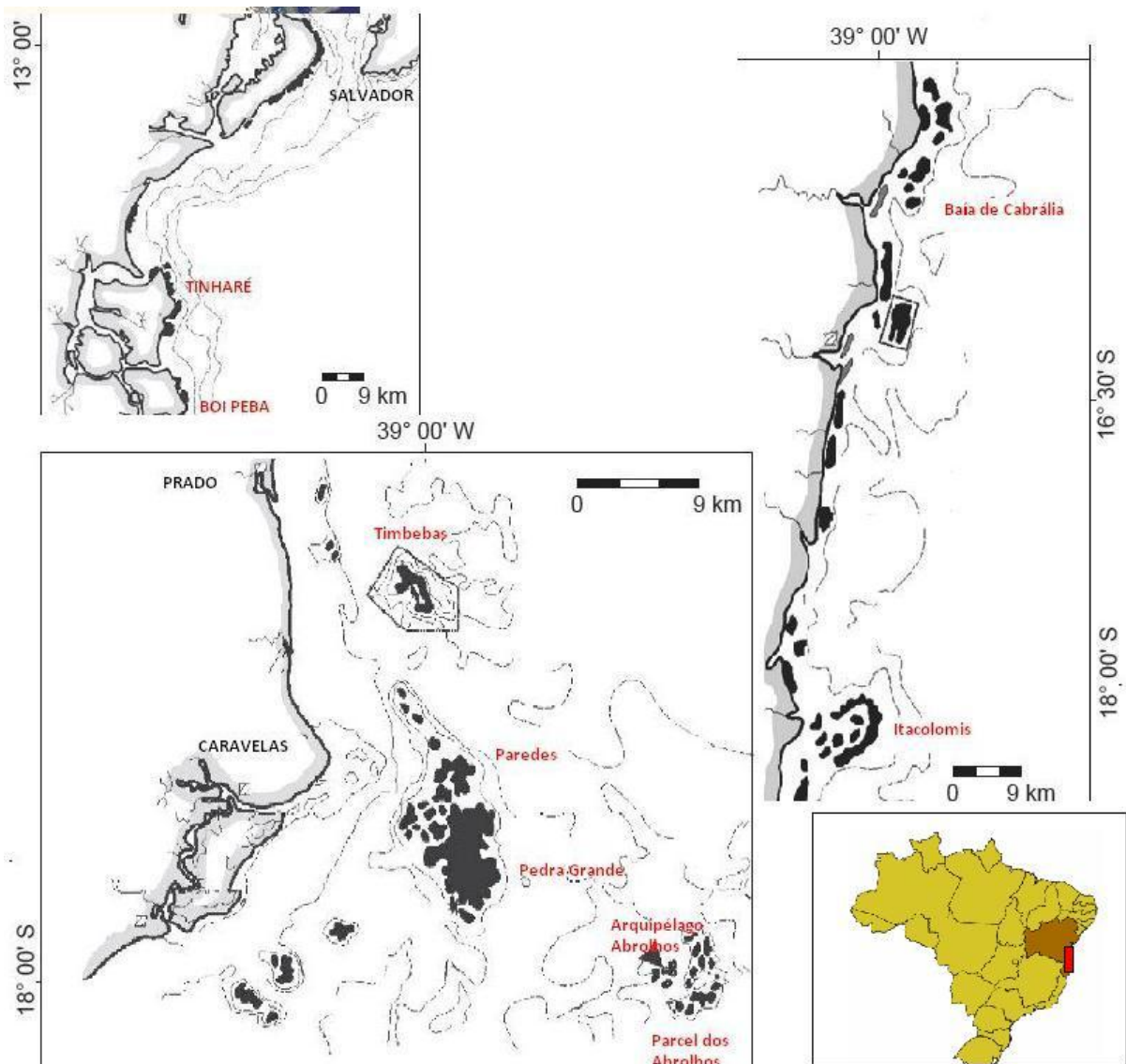


Figura 1: Mapas representativos das áreas estudadas. Adaptado de Leão et al. (2003)

**Tinharé e Boipeba** ( $13^{\circ} 12' S$  e  $38^{\circ} 54' W$ ): As ilhas de Tinharé e Boipeba estão localizadas no município de Cairu, no litoral baixo sul da Bahia. Essas ilhas são parte de uma APA (i.e Área de Proteção Ambiental) desde 1992 e são bordeadas por recifes em franja (SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 1992). Segundo Castro & Pires (2001), os recifes dessa área estão entre os menos estudados do Brasil e, de toda a costa da Bahia, são tidos como a área menos conhecida (Leão et al., 2003). As Ilhas de Tinharé e Boipeba sofrem atualmente com o crescimento populacional e com a grande demanda turística principalmente durante o verão (Loiola, 2009). A diversa

comunidade recifal da área pode ser encontrada nas poças de maré que cortam os recifes, que são justamente os principais pontos de visitação turística do local (Albuquerque, 2010).

**Baía de Cabrália** (16  14' S e 38  57' W) e **Itacolomis** (16  53' S e 39  54' W): A baía de Cabrália, originalmente denominada Terra de Vera Cruz, faz parte do município de Santa Cruz Cabrália e está localizada a aproximadamente 23 km de Porto Seguro. A  rea   caracterizada principalmente por recifes em forma de banco, em águas de no máximo 20 metros de profundidade (Leão et al., 2003). Mais ao sul encontram-se os recifes de Itacolomis, localizados nos limites da Reserva Extrativista Marinha de Corumbau estabelecida em 2000 (IBAMA). Os recifes de Itacolomis são muito pouco estudados e nessa área já   possível encontrar os gigantes chapeir es, corais que crescem em formato de cogumelos, formato de crescimento esse, exclusivo dos recifes brasileiros.

**Complexo Recifal dos Abrolhos** (17  27' - 18  01' S e 38  40' - 39  00' W): O recife das Timbebas está localizado ao norte de Abrolhos, próximo da costa do município de Alcobaça e faz parte da APA da Ponta da Baleia/Abrolhos, criada em 1993 (SEMARH, 1993). O complexo recifal dos Abrolhos está localizado paralelamente a leste do município de Caravelas, no extremo sul da Bahia. Formam os maiores e mais ricos recifes de corais do Brasil e do oceano Atlântico Sul. Esses recifes se dividem em dois arcos: o arco interno e o arco externo. No primeiro (que inclui Timbebas), mais próximo da costa, foram acessados os recifes: Lixa, Pedra de Lixa Leste, Paredes e Popa Verde. O arco interno   composto por recifes de variadas dimensões e estruturas que estão orientados em sua maioria, paralelamente   costa; os corais dessa região são geralmente encontrados em profundidades médias que variam de 10 a 15 m. A leste do arco interno, encontra-se o arco externo, onde foram acessados os recifes do Parcel dos Abrolhos e as ilhas do Arquipélago de Abrolhos. Ambos os locais pertencem   área protegida do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. Nessa região pode-se encontrar a forma o coralínea denominada chapeir o e, em alguns locais, esses chapeir es crescem próximos uns aos outros, formando imensos bancos de recifes. O complexo recifal dos Abrolhos   alvo de diversas pesquisas científicas (e.g Leao, 1982; Castro, 1994; Leao & Ginsburg, 1997; Leao, 1999; Castro & Pires, 2001; Kikuchi et al., 2003; Francini-Filho et al., 2008; Kikuchi & Leao, 2008; Span o et al, 2008; Francini-Filho et al., 2010), justamente por sua importância ecológica, econ mica e educacional.

A localiza o, a data de investiga o, as coordenadas e as esta es de cada um dos recifes visitados podem ser visualizadas na tabela presente no Apêndice.

Tendo em vista que as visitas aos pontos estudados não foram feitas de forma completamente regular (nem todos os recifes foram acessados todos os anos), foi necessário ajustar a série temporal dos dados disponíveis. Esse ajuste objetivou o agrupamento de recifes que respondessem de forma similar a um determinado fenômeno, sendo possível assim analisar os dados disponíveis (de 2000 a 2009) e avaliar os parâmetros de resiliência sugeridos. Assim, o agrupamento foi realizado seguindo o utilizado em Kikuchi et al. (2010). Como é possível visualizar na Figura 2 a partir do gráfico do MDS (Kikuchi et al., 2010), os índices de vitalidade se dividem em duas áreas principais. Os recifes costeiros (i.e Tinharé e Boipeba, Cabrália e Itacolomis) estão representados por triângulos brancos e os recifes externos (i.e Complexo recifal dos Abrolhos) por triângulos pretos invertidos. Foi pretendida a determinação de zonas que traduzissem as similaridades nos indicadores de vitalidade recifal e a distância da costa. Para a finalidade deste trabalho, portanto, os recifes foram divididos em dois grupos principais:

- i. **EXT** (Recifes Externos, distância da costa superior a 5 km): Complexo recifal dos Abrolhos (arco interno e arco externo)
- ii. **COS** (Recifes Costeiros): Recifes da baía de Cabrália, Itacolomis e recifes das ilhas Tinharé e Boipeba.

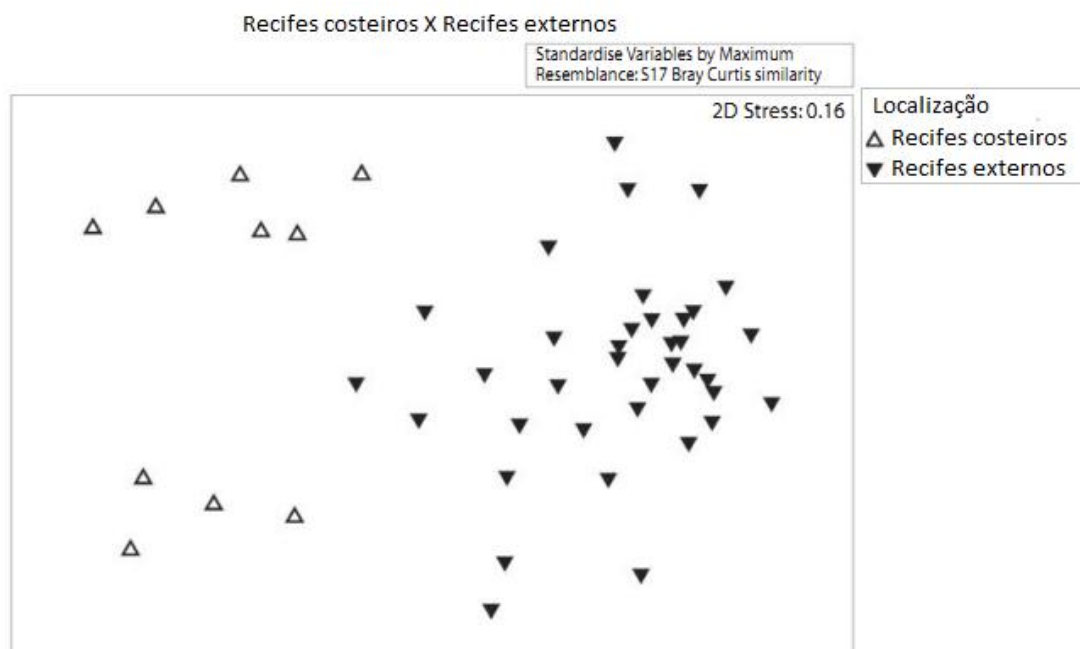


Figura 2: Gráfico MDS dos índices de similaridade dos pontos estudados em recifes de corais do Sul da Bahia (Tinharé e Boipeba, Cabrália, Itacolomis e arcos costeiro e externo de Abrolhos). Kikuchi et al. 2010.

### 3.2- Aquisição dos dados de campo

Desde o ano de 2000, a avaliação de recifes na região de Abrolhos vem sendo realizada seguindo o protocolo AGRRA (*Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment*, Ginsburg et al., 2008). A técnica de campo utilizada consiste no senso visual para estimar as condições dos corais ao longo de transsectos que englobam uma área de 10m<sup>2</sup> (cada transsecto). Utilizando o AGRRA (Figura 3), registra-se: o percentual de cobertura de coral vivo, o número de colônias acima de 10 cm (indicando gênero, espécie, diâmetro máximo, porcentagem de tecido morto, porcentagem de tecido branqueado e presença de doenças). Com cinco quadrados (aresta 25 cm) colocados aleatoriamente ao longo do transsecto, estima-se o índice algáceo, (i.e percentual de alga filamentosa, macroalga, calcária ramificada e coralinácea incrustante) e o número de recrutas de coral.

Nos locais estudados, houve campanhas de AGRRA nos anos de 2000 a 2009.



Figura 3: Foto realizada durante aplicação do Protocolo AGRRA em 2010. Foto por Átila Bertoncini

### 3.3- Avaliação dos dados climáticos

Para que fosse factível um estudo de resiliência, fez-se necessário delimitar um período onde houvesse possível mudança decorrente de um distúrbio considerável. Sabe-se que uma anomalia de +1° C na superfície do mar pode ser responsável por branqueamento e

mortalidade em massa em recifes de corais (Goreau et al., 2000). Sabe-se também que em 2003, foi observada tal anomalia térmica em áreas recifais da costa baiana (Leão et al., 2008). Sugeriu-se, portanto, a utilização do fenômeno climático *El Niño* (2003) como distúrbio climático e os anos posteriores como possível período de recuperação.

Para observar a intensidade e duração do fenômeno, seguiu-se uma metodologia similar a utilizada pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) *Coral Reef Watch*. Houve a necessidade de uma adaptação na metodologia e da obtenção de novos dados devido à ausência de uma estação virtual que suprisse as necessidades deste trabalho. Além disso, foi sugerida a utilização de uma resolução espacial mais alta que a utilizada pela NOAA (50 km por pixel). Para calcular as anomalias para o ano de 2002, 2003 e 2004 para as áreas da baía de Cabralia e de Abrolhos, foi utilizado o banco de dados *Pathfinder* v 5.0, que proporciona uma resolução espacial de 4 km, como sugerido por Lisboa & Lentini (2009). O *Pathfinder* abriga dados de sensoriamento remoto de temperatura superficial da água do mar. A partir desses dados, é possível estimar anomalias térmicas para determinada data, posto que o mesmo banco de dados possui também dados de temperaturas de anos anteriores.

As anomalias térmicas foram calculadas utilizando as médias mensais (dos cinco primeiros meses) de dez anos imediatamente anteriores ao período pretendido. Essas médias calculadas seriam, portanto, uma temperatura média esperada para cada mês segundo uma série histórica. O valor da anomalia térmica corresponde à diferença entre a temperatura do período estudado e a média calculada para aquele mês.

### **3.4- Análise dos dados indicativos de resiliência**

Tendo definido a perturbação climática, a série de dados foi analisada a fim de detectar possíveis mudanças nos parâmetros e elementos indicativos de resiliência.

A saúde e vitalidade de um ecossistema recifal têm como premissa básica o equilíbrio nas relações entre grupos funcionais (Folke et al., 2004). Em caso de distúrbios, a dinâmica do ecossistema e em cada um desses grupos (e.g corais, algas e peixes) também será afetada. Utilizando o protocolo AGRRA, é possível examinar múltiplos indicadores da vitalidade recifal. Os parâmetros indicativos de resiliência foram sugeridos com base no conhecimento da dinâmica em recifes de corais; dessa forma, foi possível identificar condições espaciais e parâmetros ecológicos que influenciam a resiliência local que podem ser acessados e medidos diretamente em campo.

A etapa seguinte consistiu no cálculo dos dados objetivados por ano, por espécie de coral (quando aplicável), por estação e por zona de agrupamento. Para cada uma das variáveis, foram produzidos gráficos utilizando o software Microsoft Excel. A partir desses, foi possível a melhor visualização do comportamento dos parâmetros. Com isso, pretende-se observar se e quanto os recifes mudaram após o impacto climático e, em caso de mudança, se foram capazes de retornar a uma situação similar anterior ao distúrbio.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1- Dados climatológicos**

#### **Abrolhos**

A partir da análise dos dados climatológicos obtidos através do banco de dados *Pathfinder* v 5.0 com resolução de 4 km, foi possível confirmar a anomalia térmica ocorrida em 2003. O *El Niño* de 2003 foi capaz de provocar anomalias positivas recorrentes que foram, inclusive, ligeiramente superiores a 1º C. Ao observar a Figura 4 é possível notar as diferenças entre a média climatológica (correspondente ao “zero”, representado pela linha vermelha) e a temperatura calculada, em 2002, 2003 e 2004. A anomalia recorrente demonstrada no segundo gráfico dessa série ilustra um cenário propício para branqueamento. É possível sugerir também, o período representado pelo último gráfico da série (2004) como satisfatório para uma possível recuperação dos recifes de corais na área estudada. Essa recuperação pode ser dada visto que, pelo que se pode inferir dos dados correspondentes, o distúrbio de aquecimento cessou.



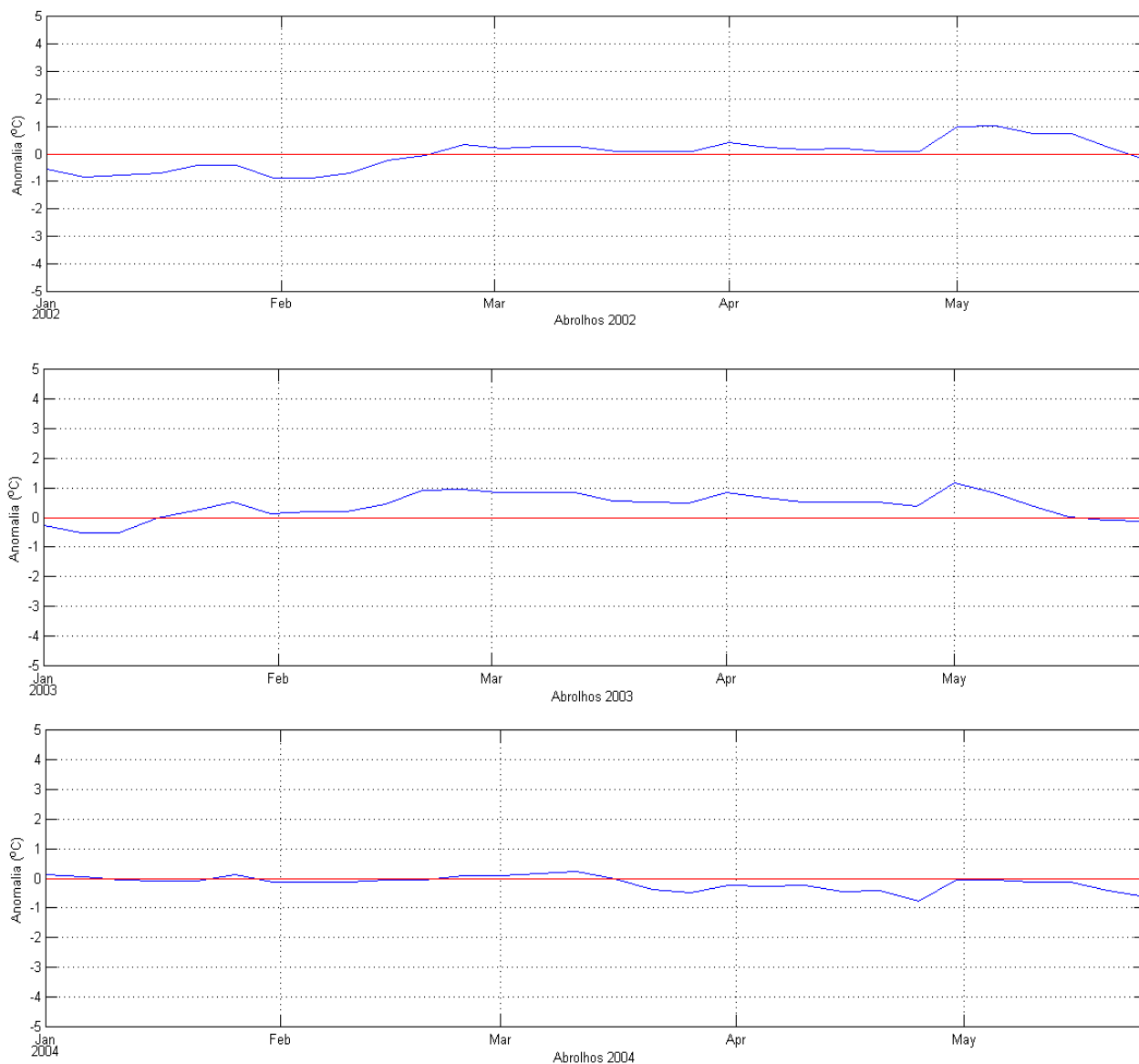


Figura 4: Gráficos representativos das anomalias térmicas calculadas para a região de Abrolhos, para os anos de 2002, 2003 e 2004

### Cabrália

A área correspondente à baía de Cabrália gerou dados similares aos obtidos para Abrolhos (Figura 5). É similarmente possível observar a persistência, duração e intensidade das anomalias térmicas associadas ao *El Niño* de 2003, capaz de provocar eventos de branqueamento. É visível também a diferença entre os anos imediatamente adjacentes a 2003, principalmente o ano de 2004, que não exibiu anomalia positiva significativa.

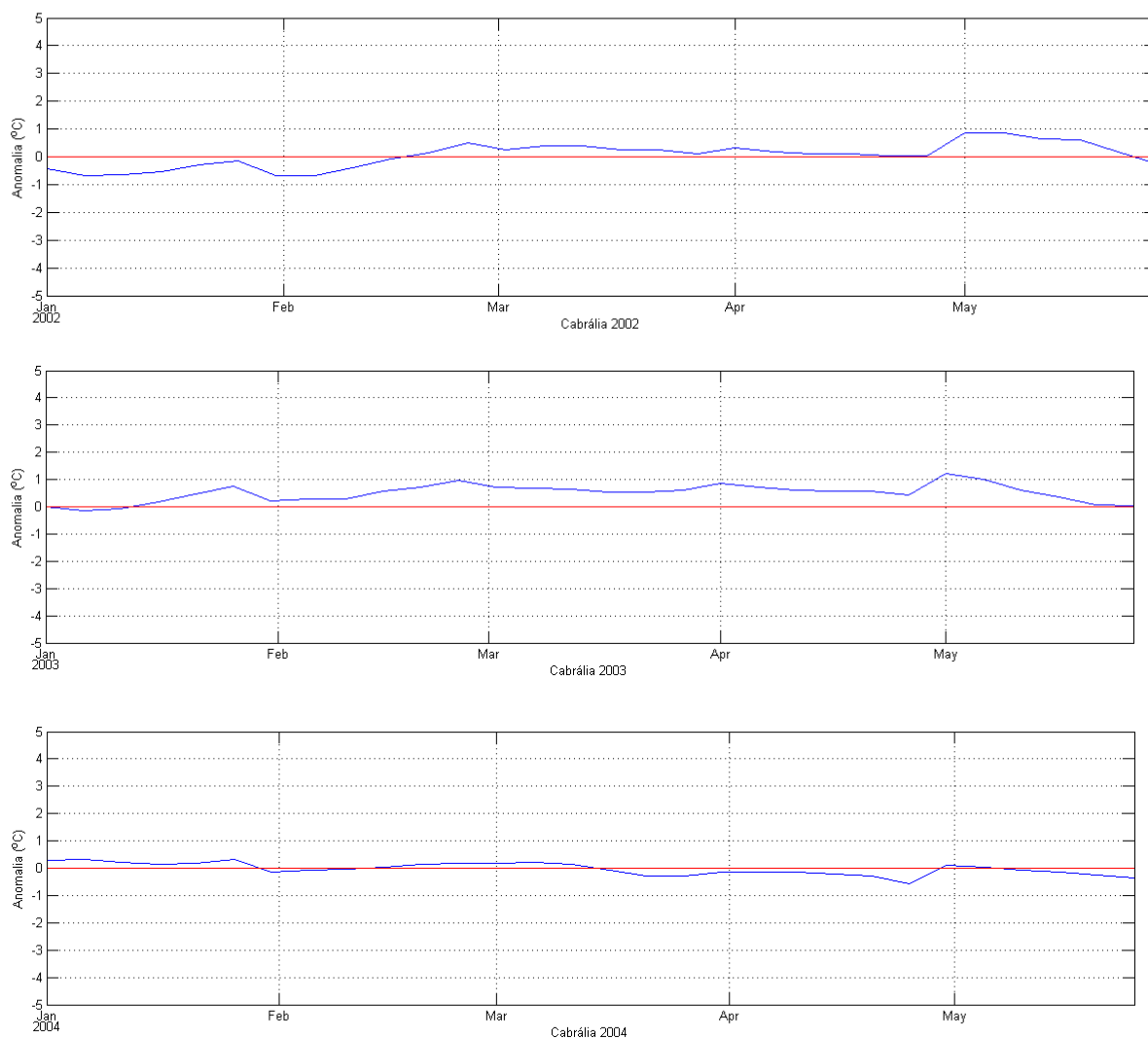


Figura 5: Gráficos representativos das anomalias térmicas calculadas para a região da baía de Cabralia, para os anos de 2002, 2003 e 2004

## 4.2- Definição dos parâmetros

### Cobertura coralínea

Segundo Meesters et al. (1996), a mortalidade de corais pode ser resultante de bioerosão, sedimentação, branqueamento, competição e perturbações abióticas. Duas das causas diretas para a perda de tecido dos corais podem ser devido a morte da colônia em função do enfraquecimento provocado por doenças ou branqueamento excessivo, por exemplo e aumento da predação no coral. Pode-se observar perda progressiva de tecido coralíneo

também devido à competição entre corais e algas. O contato com algas, além da perda de substrato, pode ocasionar o sufocamento da colônia e aumento de doenças.

Diversos recifes localizados em águas submetidas às variações climáticas já sofreram com a diminuição na porcentagem de cobertura coralínea (Gardener et al., 2003; Berkelmans & Willis, 1999; Mumby et al., 2007). Quando um recife é submetido a perturbações recorrentes e/ou persistentes, a cobertura pode variar bastante temporalmente. Em situação de *El Niño*, por exemplo, e considerando o distúrbio exclusivamente climático, têm-se o aumento da temperatura que pode causar o branqueamento. O branqueamento da colônia, por sua vez, causa o enfraquecimento da colônia e, em alguns casos, sua morte.

Em caso de alternância de fase ou de diminuição da resiliência, portanto, deve-se esperar a redução da porcentagem de corais no local.

Usada pontualmente, a porcentagem de cobertura de coral não pode ser considerada uma métrica confiável para a resiliência (Hughes et al., 2010). Um recife saudável e com alta resiliência em recuperação, por exemplo, pode ter a porcentagem de coral menor que um recife em trajetória ascendente de dominância macroalgácea. Dessa forma, a cobertura coralínea só pode ser considerada se o mesmo recife estiver sendo monitorado por uma série temporal de diversos anos e se os mecanismos de retroalimentação estiverem sido identificados, como é o caso deste estudo.

Assim, considerando os recifes estudados, pode-se inferir que recifes que mantiverem suas coberturas coralíneas elevadas são mais resilientes que aqueles que perderem tecido devido ao distúrbio.

Como se pode observar na Figura 6, não houve variação da cobertura coralínea significativa que fosse associada ao *El Niño* de 2003. Apesar de os dois agrupamentos de recifes terem porcentagens de coral bastante diferentes, o comportamento das duas áreas foi similar. Os recifes de EXT mantiveram as coberturas em torno de 10 a 15%, enquanto que nos recifes mais ao norte e mais próximos a costa (COS), as porcentagens de cobertura se mantiveram entre 4 e 7% aproximadamente. Não houve diminuição drástica no ano de 2003 ou no seguinte, o que era de se esperar se o recife houvesse mudado fundamentalmente ou alternado de fase. Nos dois casos, inclusive, houve aumento nas porcentagens de cobertura se considerados o ano do *El Niño* (2003) e os anos imediatamente posteriores a fenômeno climático.

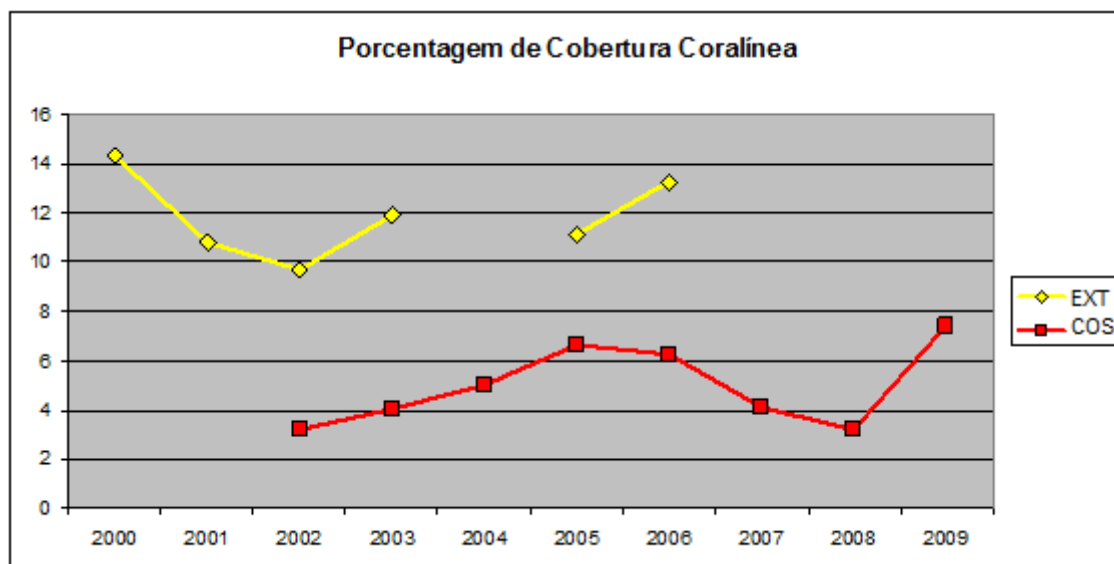


Figura 6: Gráfico representativo das porcentagens de cobertura coralínea por ano, para EXT e COS.

### Distância da costa

Em geral, recifes mais próximos à costa estão mais susceptíveis à degradação e recifes mais distantes da costa permanecem mais isolados. Para a degradação de recifes costeiros, principalmente no caso da Bahia, pode-se citar como causas a maior interação humana (turismo, sobrepesca, degradação física do recife, entre outros) e a maior carga de sedimentos, que varia inversamente à vitalidade da biota recifal. Dessa forma, é possível inferir que recifes de corais localizados a uma maior distância da costa, em geral, são mais saudáveis que recifes costeiros. Os ecossistemas mais distantes da interação humana têm, além da menor gama de distúrbios, uma possibilidade maior de recuperação; uma vez cessado qualquer que seja o distúrbio, um ambiente no qual não haja impacto antrópico significativo, tem maiores chances de se recuperar. Segundo Kikuchi et al. (2010), apesar dos indicadores de vitalidade serem relativamente diferentes entre os recifes mais externos e os recifes mais internos, alguns dos locais mais distante da costa já exibem sinais de degradação, tendo seus índices de vitalidade próximos dos recifes costeiros.

É possível, baseando-se nas informações citadas anteriormente, inferir que recifes mais externos (EXT) possuirão maior resiliência que recifes costeiros (COS), dada maior probabilidade de resistência e recuperação desses ambientes.

## **Porcentagem de Branqueamento**

O branqueamento está intimamente associado à resiliência. Muitos estudos inclusive utilizam o branqueamento como indicativo principal de mudanças no recife e da vitalidade do mesmo (e.g Hoegh-Guldberg, 1999; Hughes et al., 2003; West & Salm, 2003). Considerando um estresse térmico, é geralmente o primeiro indicador visual considerado. Com o aumento da temperatura, o branqueamento se dá pela perda das algas (zooxantelas) que vivem em simbiose com o animal. Com isso, ocorre a redução no sistema de produção energética dessa colônia. O estresse severo e/ou persistente pode causar mortalidade, redução na capacidade reprodutiva, redução da habilidade para combater doenças, entre outros, o que reduz ainda mais a resiliência recifal.

A resiliência do ecossistema pode ser vista como a capacidade do recife em evitar o branqueamento severo e em massa, e/ou pela capacidade do recife de retornar a um estado saudável uma vez cessado o distúrbio que causou o branqueamento.

Para o cálculo do branqueamento, foi intencionado um índice que indicasse o número de colônias que exibiram quaisquer porcentagens branqueadas. Assim, foi calculada a frequência de branqueamento em cada estação e posteriormente, as médias por ano do número de colônias branqueadas para EXT e COS (Figura 7).

Para os de recifes de COS, é possível visualizar a estreita relação entre o aumento da temperatura superficial da água (Figura 5) e a porcentagem de colônias que foram branqueadas. Em 2003, o número de colônias branqueadas excedeu em mais de três vezes o número de colônias branqueadas em anos anteriores e posteriores, com exceção de 2006. Os recifes das ilhas de Tinharé e Boipeba, que proveram os dados para o ano de 2003, exibiram alta porcentagem de branqueamento, atingindo mais de 35% de colônias branqueadas. Para razões comparativas, pode-se observar o ano de 2002; no mesmo local, apenas 10% das colônias estudadas encontravam-se branqueadas.

Os recifes de EXT exibiram, relativamente, menores porcentagens de branqueamento. Houve aumento na frequência de colônias branqueadas principalmente nos anos de 2003, 2005 e 2006. É necessário salientar que não houve aplicação do Protocolo AGRRA na área em 2004. É possível observar nesses dados, com exceção do ano de 2005, um menor percentual de branqueamento nesses recifes, quando comparados aos recifes estudados em COS. As frequências de branqueamento ficaram abaixo da linha de 5% em anos que não estiveram associados com altas anomalias térmicas positivas (2000 a 2002).

Segundo Leão et al. (2008), em 2005 também houve anomalia térmica positiva nas águas da Bahia, porém de menor intensidade que a observada em 2003. O aquecimento em 2005 pode ser dado como razão para o aumento na frequência de colônias branqueadas observado nesse ano.

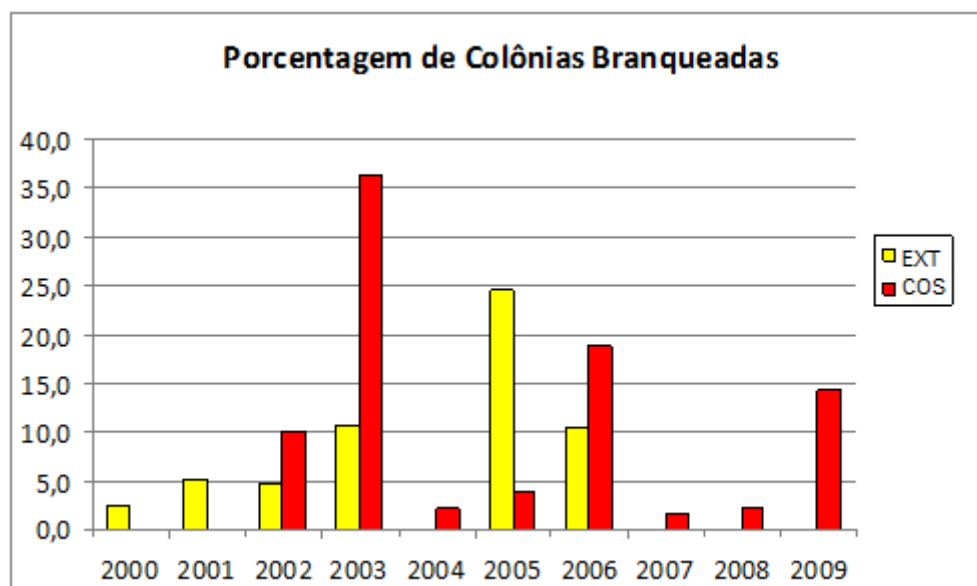


Figura 7: Gráfico representativo da frequência de colônias branqueadas por ano, para EXT e COS.

### Riqueza de espécies de corais

Apesar da relativa baixa biodiversidade dos recifes de corais brasileiros (Laborel, 1970), a riqueza de espécies pode ser um dado importante para inferir a resiliência. A relação entre biodiversidade e resiliência é diretamente proporcional (Loreau et al., 2003). Em teoria, portanto, uma maior biodiversidade geralmente propicia maior resiliência ao ecossistema marinho.

Essa condição pode ser explicada do ponto de vista que uma maior quantidade de espécies e de grupos funcionais confere ao recife uma maior diversidade nas respostas ao distúrbio: diferentes espécies podem ter comportamentos diferentes, dada uma mesma perturbação (McClanahan, 2004).

A diversidade para as áreas foi calculada diretamente, a partir da contagem das diferentes espécies observadas durante a aplicação do AGRRA.

A intenção primária desse trabalho para o caso do cálculo da diversidade de espécies não é indicar variância temporal, mas sim espacial. Isto é, a identificação de áreas significativamente diferentes no que diz respeito ao número de espécies encontradas. Essas áreas podem indicar zonas de alta resiliência associada, exibindo maior resistência e melhor recuperação após o distúrbio climático.

É possível observar que o número de espécies em cada local não variou de forma significativa ao longo do tempo (Figura 8). As colunas destacadas em amarelo e vermelho representam as médias encontradas para os agrupamentos EXT e COS, respectivamente. As médias se encontraram entre 8 e 11 para COS e aproximadamente entre 7 e 9 para EXT. Os agrupamentos exibiram números de espécies bastante similares. A fauna recifal dos recifes do sul da Bahia tem uma maior diversidade de espécies, se comparada a outras áreas de recifes no Brasil, porém, a diversidade coralínea é significativamente mais pobre que a de recifes do Atlântico Norte: recifes caribenhos possuem em geral, um número de espécies quatro vezes superior ao encontrado nos recifes do complexo de Abrolhos (Leão, 1999).

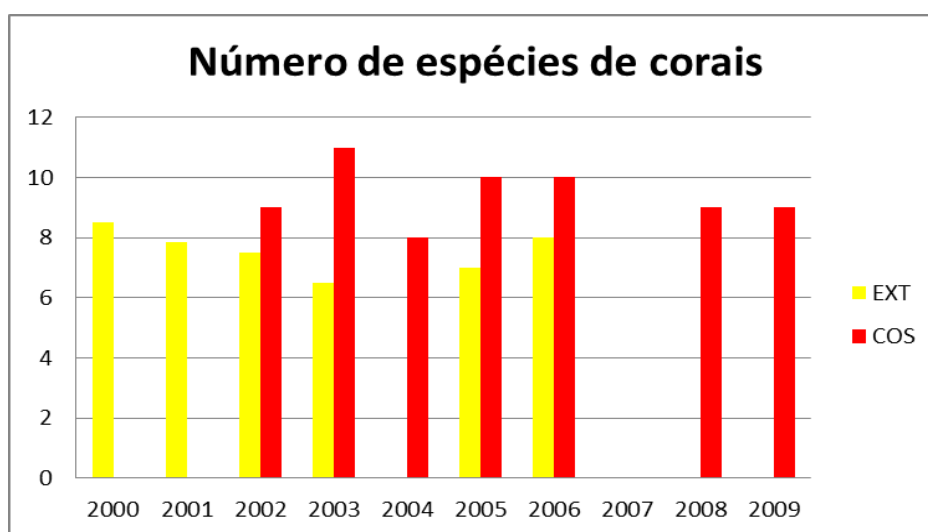


Figura 8: Diversidade de espécies por estação

### **Índice algáceo (porcentagens relativas de: alga filamentosa, macroalga e alga coralínea – calcária incrustante)**

O índice de macroalga é dado importante, pois é a quantificação da competição entre corais e algas, ou, mais importante, entre os corais e as macroalgas. Segundo Steneck & Sala (2005), a abundância de macroalga é uma importante medida da saúde do recife,

sendo essas medidas inversamente proporcionais. Além disso, é o dado indicativo do organismo dominante do local. De acordo com Rogers & Miller (2006), ainda não há um limite no qual se determine a porcentagem de aumento de macroalga (e diminuição de cobertura de coral) no local que constitua definitivamente uma alternância de fase. É possível, no entanto, inferir que haverá um aumento progressivo de macroalga no local à medida que o ambiente passe para um estado de dominância algácea (McCook 1999). Com a aplicação do AGRRA, é factível a estimativa das porcentagens de macroalga, alga coralínea e alga filamentosa. O aumento de macroalga está associado geralmente à diminuição da pastagem realizada por grandes herbívoros.

Recifes saudáveis e resilientes devem, em teoria, apresentar baixas porcentagens de macroalga. Em uma situação de distúrbio climático, um recife com altas porcentagens relativas de macroalga deve responder de forma mais lenta ou, em situações de maior degradação, não absorver o impacto e degradar-se ainda mais rápido. O crescimento de macroalga impõe uma situação extremamente desfavorável para corais (Liman 2001), pois, além dessas algas não serem substratos viáveis para o assentamento das larvas, há a competição por espaço: as macroalgas podem crescer por cima das colônias já assentadas, impedindo a penetração solar e causando branqueamento, enfraquecimento e até a morte do coral.

Observando as porcentagens calculadas para COS e EXT, é possível visualizar grandes diferenças entre as duas áreas. Os recifes mais externos, pertencentes a EXT, exibiram cobertura de macroalga significativamente menor que os recifes mais costeiros (COS).

Para EXT, as porcentagens relativas de macroalga em geral não ultrapassaram 10%, salvo o ano de 2001 (11,8%). No que diz respeito a cobertura algácea, é possível classificar os recifes de EXT como recifes com alta cobertura de alga filamentosa. Apesar de não haver um limite definido a partir do qual o recife é considerado “em iminente perigo de dominância macroalgácea”, alguns estudos (e.g Bruno et al., 2009) implicitamente quantificam o termo “dominância” em >50% da cobertura bentônica. Como evidenciado na Figura 9, os recifes de EXT se encontram longe dessa situação, mostrando indicativos importantes de vitalidade e resiliência recifal. Além da baixa cobertura relativa de macroalga associada a essa área, não é possível observar uma variância temporal associada ao evento do *El Niño*. Apesar da ausência de dados referentes ao ano de 2003, em caso de mudança na dominância no recife, o aumento de cobertura de macroalga seria visível também nos anos posteriores. Em 2005, no entanto, os recifes observados em EXT exibiram uma cobertura de menos de 3% de macroalga.



Os recifes da área de COS apresentam uma situação diferente. É possível observar nesses locais, a máxima cobertura de macroalga encontrada no ano associado ao *El Niño* (2003). Porcentagens acima de 70% são geralmente preocupantes e indicam recifes que estão na iminência de uma alternância de fase, se já não mudaram fundamentalmente (Bruno et al., 2009). Observa-se, no entanto, uma progressiva recuperação nos dois anos seguintes, até que, em 2005, a cobertura relativa de macroalga se encontra abaixo dos 30%. Esse fato pode indicar o poder de recuperação desse local, uma vez cessado o distúrbio climático. Em 2006, porém, a cobertura de macroalga volta a aumentar, ultrapassando o limite de dominância de 50%.

Observando separadamente, é possível inferir uma maior resistência dos recifes de EXT, enquanto que recifes de COS são menos resilientes. No caso, observa-se que em caso de impacto térmico e anomalia térmica positiva, os recifes de COS podem exibir crescimento macroalgáceo superior a recifes de EXT.

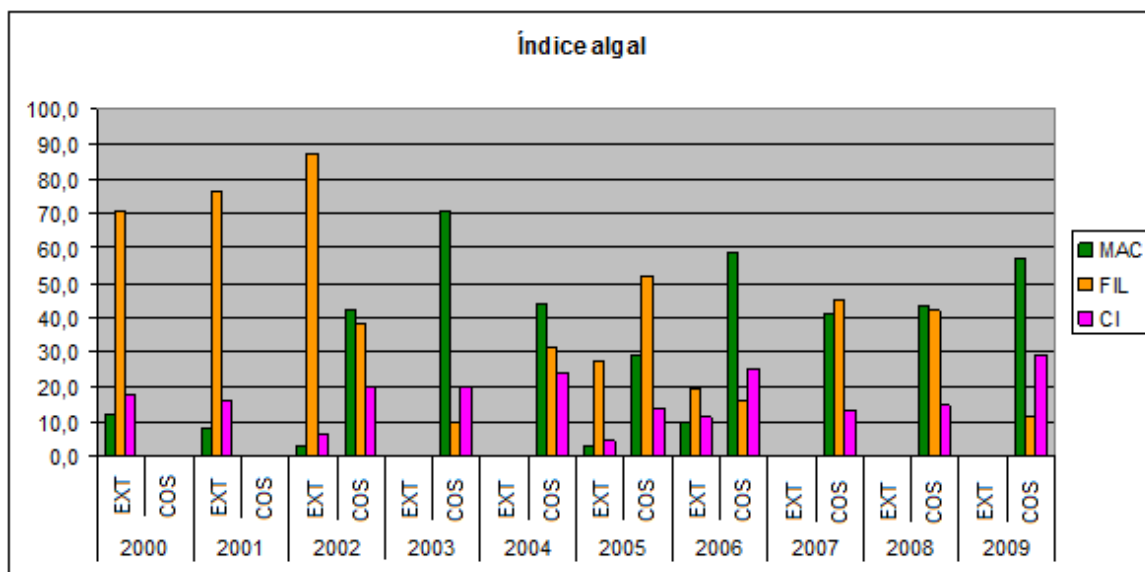


Figura 9: Porcentagens relativas de macroalga (MAC), alga filamentosa (FIL) e calcária incrustante, ou coralinácea (CI), por ano, para EXT e COS

### **Ocorrência de espécies prioritárias para a construção do recife e mais resistentes a estresses climáticos (*Mussismilia brasiliensis*, *Mussismilia harttii*, *Mussismilia hispida*, *Siderastrea stellata* e *Favia leptophylla*)**

As diferentes espécies encontradas em um ecossistema recifal podem exibir diferentes respostas a distúrbios (McClanahan, 2004; McClanahan et al., 2007). Além disso, cada espécie contribui de forma diferente na construção física do recife. Neste trabalho, as chamados “espécies prioritárias” são definidas como as espécies que mais contribuem na construção da estrutura, com o esqueleto calcificado que é a base dos recifes coralíneos e, simultaneamente, as que apresentam maior resistência a estresses térmicos. Segundo Leão et al. (2003), os principais construtores dos recifes brasileiros são corais maciços ou “pétreos”, como os dos gêneros *Mussismilia*, *Siderastrea* e *Favia*. Há indícios também da relação entre os tamanhos dos pólipos dos corais e suas resistências a estresses ambientais. Das espécies encontradas em recifes brasileiros, as tidas como mais resistentes e que mais contribuem com a construção recifal são: *Mussismilia brasiliensis*, *Mussismilia harttii*, *Mussismilia hispida*, *Siderastrea stellata* e *Favia leptophylla* (Leão et al., 2003). Após análise dos dados de campo, observa-se que a espécie *F. leptophylla* não contribui de significativamente na construção recifeal em relação as outras espécies citadas. Apesar desse dado, a inclusão dessa espécie na lista de “espécies prioritárias” é feita, devido à sua caracterização como uma das espécies mais resistentes encontradas em recifes brasileiros, em caso de flutuações de temperatura.

Partindo, portanto, da ideia da resistência, permitiu-se a inferência que recifes que possuíssem maior porcentagem relativa das espécies prioritárias exibiriam melhor resposta ao distúrbio climático. Esses recifes seriam então mais resilientes, posto que maior quantidade de colônias dessas espécies proporcionariam melhor capacidade de absorção de impactos.

É possível observar no gráfico da Figura 10 que em praticamente todas as situações estudadas, a combinação das porcentagens das cinco espécies é responsável por mais da metade das colônias do local. Apenas em 2005, para os recifes de COS houve porcentagem inferior a 50% (49%), porém, muito próxima desse valor. Em 2003 nota-se uma redução nos recifes de EXT. Em geral, é possível notar grande similaridade nas áreas estudadas, que na maioria exibem porcentagem relativa de espécies prioritárias >70%. Apesar de não haver na literatura uma definição exata para esse índice (se alto, baixo, moderado), permite-se dizer que recifes que possuem mais da metade de suas colônias

pertencentes a espécies “resistentes” a estresses térmicos não sucumbirão à alternância devida a esse tipo de impacto com facilidade.

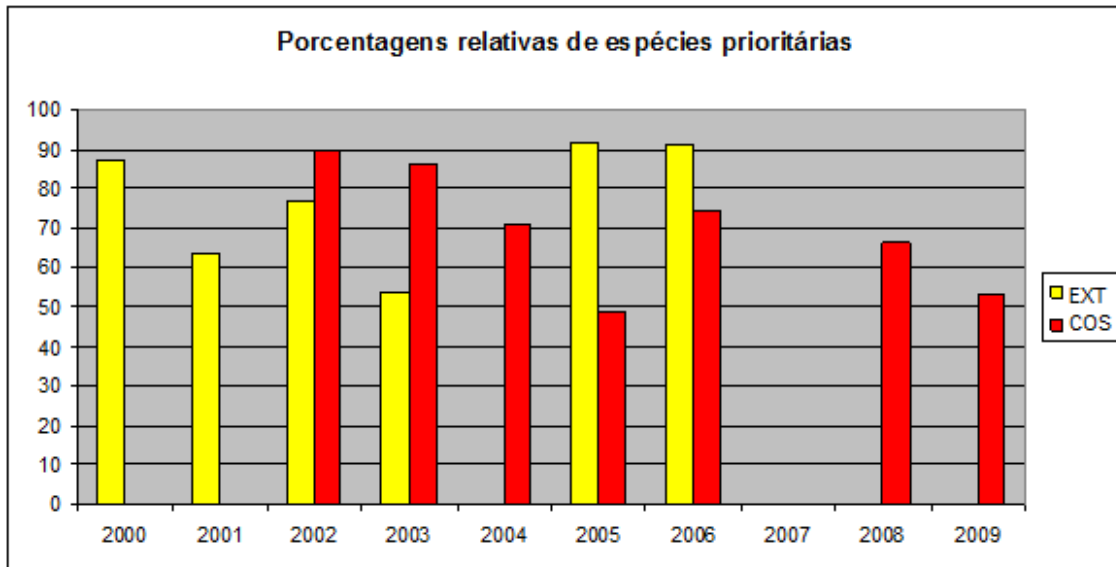


Figura 10: Porcentagens relativas de espécies prioritárias (*M. hispida*, *M. harttii*, *M. brasiliensis*, *S. stellata* e *F. leptophylla*) por ano, para EXT e COS

## Recrutamento

Recrutamento de coral pode ser definido como um processo entre a fase larval e a fase adulta do coral. Após a fecundação, é necessário que a larva se fixe a um substrato apropriado para que seu crescimento possa se desenvolver até a fase adulta. O recrutamento envolve, portanto: fecundação, fixação larval e sobrevivência, e é um processo chave para a resiliência dos recifes (Albright et al., 2010). Recifes de corais com diminutas taxas de recrutamento indicam uma situação indesejável. Em geral, a baixa frequência de recrutas e/ou diminuição progressiva desse índice, indicam a impossibilidade de fixação das larvas. Essa situação ocorre principalmente devido a competição por espaço no substrato com macroalgas.

Os dados exibidos na Figura 11 ilustram as médias das quantidades de recrutas/quadrado observadas nos locais estudados. É possível visualizar imediatamente a discrepância entre a densidade de recrutas dos recifes de EXT e dos recifes de COS. A partir dos dados, não se pode inferir variação associada ao *El Niño* de 2003. Mais uma vez, confere-se aos recifes de EXT uma maior resiliência associada à capacidade reprodutiva e disponibilidade de substrato para fixação larval. O aumento da temperatura tem consequência direta

negativa sobre a calcificação em organismos adultos (Oliveira, 2007). Além do impacto direto sobre os organismos calcificadores, o aumento da temperatura também provoca diminuição do pH no local. A acidificação das águas também é tida como mecanismo causador de redução na taxa de recrutamento (Albright et al., 2010) e influencia negativamente na fertilização e fixação das larvas. A partir dos dados obtidos nos locais, no entanto, não foi possível observar relação entre a ocorrência do distúrbio climático e a diminuição na taxa de recrutamento nos locais.

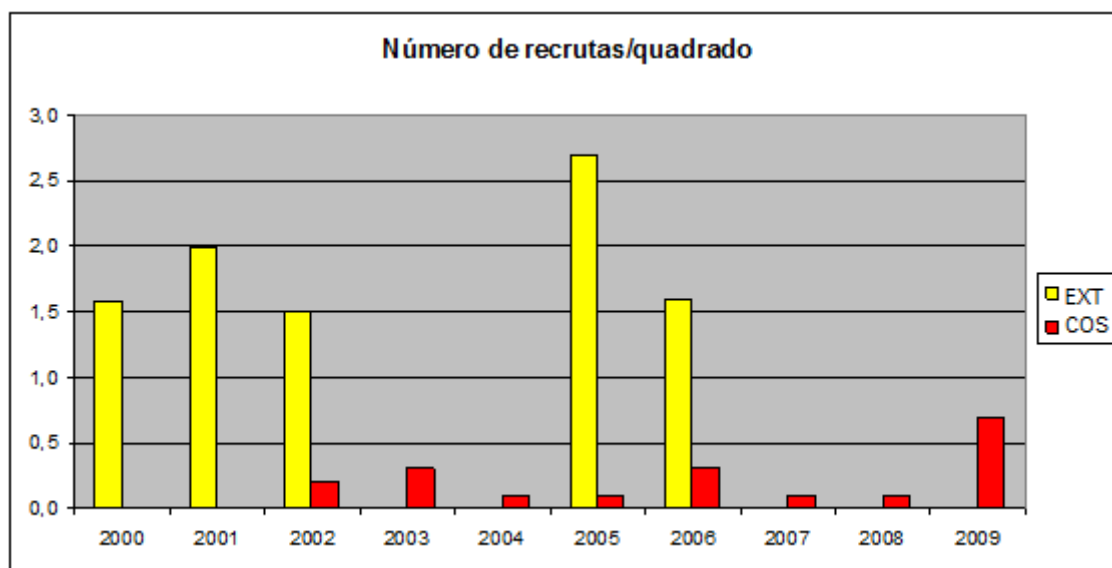


Figura 11: Densidade de recrutas (quantidade/quadrado) por ano, para EXT e COS

### Porcentagem de mortalidade recente

A mortalidade recente pode ser um índice primordial na detecção da resiliência, ou perda dela. O branqueamento por si só é o indicativo visual mais utilizado atualmente na avaliação da resistência do recife, pois é a resposta mais instantânea dada pela colônia. No entanto, a colônia branqueada em geral se recupera. No caso, se o branqueamento estiver associado com o aumento da mortalidade no local, têm-se um indicativo básico que o recife teve sua capacidade de recuperação prejudicada. É possível sugerir que recifes de corais mais resilientes exibirão porcentagens de mortalidade recente mais baixas.

Os dados exibidos no gráfico de frequência de mortalidade recente (Figura 12) demonstram de forma bastante evidente as diferenças locais entre recifes de EXT e recifes de COS.

Em COS, é possível detectar um aumento gradual no número de colônias exibindo mortalidade recente parcial a partir de 2003, ano em que ocorreu o *El Niño*. Em 2005, a frequência de mortalidade recente atingiu seu máximo, que correspondeu a

aproximadamente 40% das colônias. Apesar desse alto valor encontrado, a recuperação das colônias a partir desse ano também é evidenciada. Os recifes de COS demonstram, a partir dos dados calculados, alta recuperação. Essa informação fica evidenciada principalmente no ano de 2009; nesse ano, apenas 1,2% das colônias apresentavam indícios de mortalidade recente.

Para EXT, os valores se mantiveram entre aproximadamente 1 e 5%, indicando pouca ou nenhuma variância associada ao fenômeno do *El Niño* ocorrido em 2003. Esses dados representam uma forte indicação do alto potencial resiliente das colônias dos recifes de EXT. Apesar de haver branqueamento associado (ver Figura 7) à anomalia térmica em questão, não houve mortalidade associada.

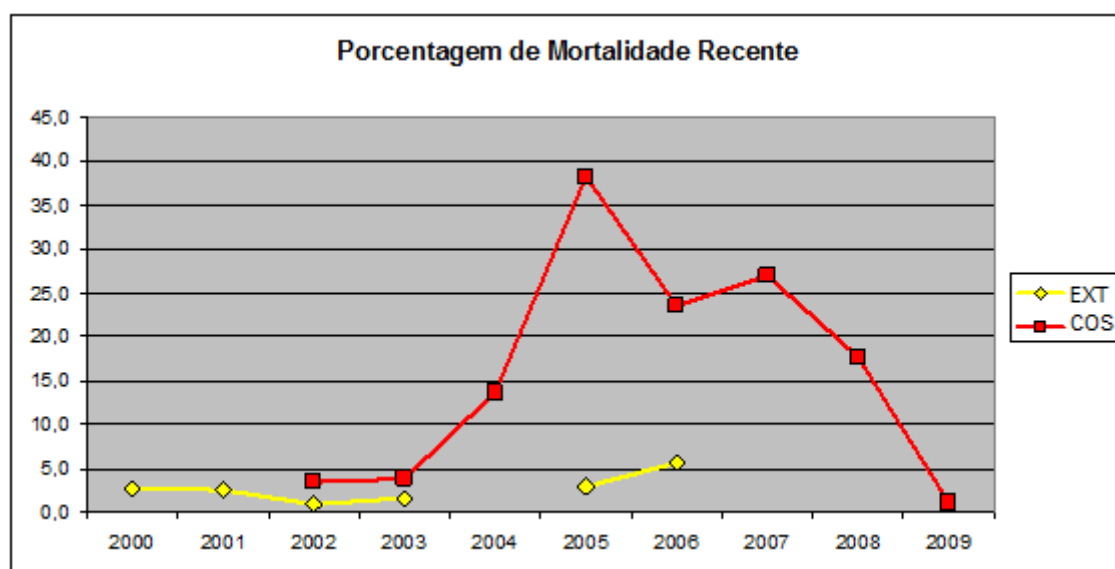


Figura 12: Gráfico representativo da frequência de colônias exibindo mortalidade recente por ano, para EXT e COS

## 5. CONCLUSÕES

A partir dos dados apresentados neste trabalho, foi sugerir oito variáveis associadas com a resiliência dos recifes de corais do sul da Bahia (cobertura coralínea, distância da costa, branqueamento, mortalidade recente, taxa de recrutamento, índice algáceo, porcentagem relativa de espécies prioritárias e diversidade de espécies). Com a aplicação do protocolo

AGRRA em uma série temporal, é factível o acompanhamento de diversos parâmetros, dentre eles, os apontados como indicadores de resiliência.

As duas áreas estudadas diferem fundamentalmente em aspectos como: taxa de recrutamento, mortalidade recente, suscetibilidade a branqueamento, cobertura coralínea e porcentagem relativa de macroalga. Essas discrepâncias apontam para uma capacidade resiliente maior dos recifes de Abrolhos, em relação aos recifes costeiros das áreas de COS, que correspondem a Tinharé e Boipeba, Corumbau e baía de Cabralia. Apesar da relativa menor resiliência que foi possível inferir, os recifes costeiros apresentaram alta capacidade de recuperação de tecido coralíneo. Em algumas das variáveis, não houve diferenciação significativa entre o antes, o durante e o depois do fenômeno climático, indicando que os recifes baianos possuem alta resistência a estresse térmico como o *El Niño* de 2003. Autores (Leão et al., 2003) sugerem inclusive que os ecossistemas recifais dessa área se adaptaram ao longo do tempo às condições adversas de variações térmicas e aos altos valores de turbidez. Os recifes do sul da Bahia possuem baixa diversidade de espécies se comparados, por exemplo, a recifes de corais do oceano Atlântico Norte, porém, são fundamentalmente construídos pelas espécies mais importantes para o crescimento e manutenção do ambiente recifal.

Podemos concluir com este trabalho que áreas recifais como as representadas por COS possuem índices em situação limítrofe, como é o caso da alta cobertura de macroalga e baixa taxa de recrutamento. Os recifes mais fracos e menos resilientes estão mais suscetíveis às mudanças e variações de temperatura da água do mar.

O estresse térmico possui estreita relação com a vitalidade recifal e apenas o manejo consciente desses ecossistemas possibilita uma perspectiva positiva, frente ao prognóstico de aquecimento e a ciclicidade de eventos como o *El Niño*. Além da atenção para os recifes que podem estar em situação de risco, faz-se necessário manejar e administrar diretamente os recifes altamente resilientes (EXT). Ecossistemas coralíneos como o complexo recifal dos Abrolhos são fundamentais para a manutenção ecológica, econômica e educacional do meio marinho do qual todos nós dependemos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBRIGHT R, MASON B, MILLER M & C LANGDON. (2010). Ocean acidification compromises recruitment success of the threatened Caribbean coral *Acropora palmata*. PNAS. Vol 107 no 47. 20400-20404.
- ALBUQUERQUE T. (2010) Efeitos da Atividade Turística na Ictiofauna das Piscinas Naturais de Moreré, Cairu, Bahia. Trabalho de Conclusão de Curso.
- BERKELMANS R, WILLIS BL. (1999). Seasonal and local spatial patterns in the upper thermal limits of corals on the inshore Central Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 18: 219-228.
- BRUNO JF et al. (2009). Assessing evidence of phase shifts from coral to macroalgal dominance on coral reefs. *Ecology* 90:1478–1484.
- CASTRO CB. (1994). Corals of Southern Bahia. Pp.161-176. *In: Hetzel, B. & Castro, C. B. (Eds.). Coral Reefs* 18, 357-367.
- CASTRO CB & PIRES DO. (2001). Brazilian Coral Reefs: what we already know and what is still missing. *Bulletin of Marine Science*, 69: 357-373.
- DUTRA LXM, KIKUCHI RKP, LEÃO ZMAN. (2000). Thirteen months monitoring coral bleaching on Bahia's north coast, Brazil. *Proc. Int. Coral Reefs Symp.* 9. Vol 1. Bali, Indonesia. p. 373.
- FOLKE C, CARPENTER S, WALKER B, SCHEFFER M, ELMQVIST T, ET AL. (2004). Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35:557–8
- FRANCINI-FILHO RB, MOURA R.L, THOMPSON F, REIS RD, KAUFMAN L, KIKUCHI RKP & LEÃO ZMAN. (2008). Diseases leading to accelerated decline of reef corals in the largest South Atlantic reef complex (Abrolhos Bank, Eastern Brazil). *Mar. Pol. Bul.* doi:10.1016/j.marpolbul.2008.02.013.
- FRANCINI FILHO RB, REIS RM, MEIRELLES PM, MOURA RL, THOMPSON FL, KIKUCHI RKP, KAUFMAN L. (2010) Seasonal prevalence of white plague like disease on the endemic Brazilian reef coral *Mussismilia braziliensis*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 38, p. 292-296
- GARDENER TA, COTE I, GILL JA, GRANT A & WATKINSON AR. (2003) Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301, 958–960
- GINSBURG RN, KRAMER P, LANG JC, SALE P & STENECK RS. (1998). AGRRA, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment. Disponível online em <http://agrra.org> (Último acesso em 07/2011)

- GOREAU T, MCCLANAHAN T, R HAYES, & A STRONG. (2000). Conservation of coral reefs after the 1998 global bleaching event. *Conservation Biology* 14:5–15.
- HOEGH-GULDBERG O. (1999). Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Mar. Freshw. Res.* 50:839–66
- HOLLING CS (1973). Resilience and stability of ecology systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1-23.
- HUGHES TP. (1994). Catastrophes, phase-shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265, 1547-1551.
- HUGHES TP et al. (2007). Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Curr Biol* 17:360–365
- HUGHES TP, GRAHAM NAJ, JAKCKSON JBC, MUMBY PJ, STENECK RS. (2010). Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends Ecol Evol* 25:633–642
- KIKUCHI RKP & LEÃO ZMAN. (2008). Disease leading to accelerated decline of reef corals in the largest South Atlantic reef complex (Abrolhos Bank, eastern Brazil). *Mar. Pol. Bull.* 56: 1008-1014.
- KIKUCHI RKP, LEAO ZMAN & OLIVEIRA MDM. (2010). Conservation status and spatial patterns of AGRRA vitality indices in Southwestern Atlantic Reefs. *Rev. biol. trop.*, vol.58, suppl.1, pp. 1-31. ISSN 00347744.
- KLEYPAS JA et al. (1999). Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on coral reefs. *Science* 284:118–20
- LABOREL J. (1970). Madréporaires et hydrocoralliaires récifaux des cotes brésiliennes. *Rés. Sci. Camp. Calypso* 9(25):171-229.
- LEÃO ZMAN. (1982). Morphology, geology and developmental history of the Southernmost coral reefs of Western Atlantic, Abrolhos Bank, Brazil. Ph.D. Thesis, RSMAS, University of Miami, Florida, USA
- LEÃO ZMAN & R.N. GINSBURG. (1997). Living reefs surrounded by siliciclastic sediments: the Abrolhos coastal reefs, Bahia, Brazil. *Proc. 8th Int. Coral Reef Symposium* 2: 1767-1772.
- LEÃO ZMAN. (1999). Abrolhos - O complexo recifal mais extenso do Oceano Atlântico Sul. In: Schobbenhaus,C.; Campos,D.A.; Queiroz,E.T.; Winge,M.; Berbert-Born,M. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível online em <http://www.unb.br/ig/sigep/sitio090/sitio090.htm>. (Último acesso em 07/2011)



- LEÃO ZMAN, KIKUCHI RKP, TESTA V. (2003). Corals and coral reefs of Brazil. Em Cortês J (Ed.) *Latin America Coral Reefs*. Elsevier. Amsterdã, Holanda. pp. 9-52.
- LEÃO ZMAN, KIKUCHI RKP. & OLIVEIRA MDM. (2008). Branqueamento de corais nos recifes da Bahia e sua relação com eventos de anomalias térmicas nas águas superficiais do oceano. *Biota Neotropica*, 8(3): 69-82.
- LIMAN D. (2001). Competition between macroalgae and corals: effects of herbivore exclusion and increased algal biomass on coral survivorship and growth. *Coral Reefs*; 19(2): 392-399.
- LISBOA DS, LENTINI CAD. (2009) Geração de mapas de HotSpots e Índice de Aquecimento para identificação de regiões de branqueamento no Nordeste do Brasil com base em dois conjuntos de dados. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos : Editora do INPE, p. 6541-6547.
- LOIOLA MM. (2009). Mapeamento ecológico e definição de áreas prioritárias para conservação dos recifes de Tinaré-Boipeba, Baixo sul do estado da Bahia. Trabalho de Conclusão de Curso
- LOREAU M, MOUQUET N, GONZALEZ A (2003) Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes. *Proc Natl Acad Sci USA* 100:12765-12770
- MCCLANAHAN TR. (2004). The relationship between bleaching and mortality of common corals. *Marine Biology* 144: 1239-1245
- MCCLANAHAN TR, GRAHAM NAJ, CALNAN JM & MACNEIL MA. (2007). Toward pristine biomass: Reef fish recovery in coral reef marine protected areas in Kenya. *Ecological Applications* 17(4), 1055-1067.
- MEESTERS EH, I. WESSELING & RPM. BAK. (1996). Partial mortality in three species of reef-building coral and the relation with colony morphology. *Bull. Mar. Sci.* 58: 838-852.
- MUMBY PJ, HASTINGS A, EDWARDS HJ. (2007). Thresholds and the resilience of Caribbean coral reefs. *Nature* 450:98–101
- NYSTRÖM M (2001) Corals and phase shifts. *Trends in Ecology & Evolution* 16(3)
- NYSTRÖM M et al. (2008). Capturing the cornerstones of coral reef resilience: linking theory to practice. *Coral Reefs* 27:4, 795-809

- OLIVEIRA MDM. (2007). Efeito do aquecimento global sobre a extensão linear, densidade e taxa de calcificação do esqueleto do coral *Mussismilia braziliensis* Verrill 1868, no último século (Abrolhos, Bahia). Doctorate Thesis, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 186 pp.
- ROBERTS CM, et al. (2002.) Priorities for tropical reefs marine biodiversity hotspots and conservation. *Science* 295:1280–1284.
- ROGERS CS, MILLER J. (2006) Permanent ‘phase shifts’ or reversible declines in coral cover? Lack of recovery of two coral reefs in St. John, US Virgin Islands. *Mar Ecol Prog Ser*; 306: 103-114.
- SALM RV, & SL COLES. (2001). Coral bleaching and marine protected areas. Proceedings of the workshop on mitigating coral bleaching impact through MPA design. Asia Pacific Coastal Marine Program report 0102. The Nature Conservancy, Honolulu
- SALM RV, SE SMITH & G LLEWELLYN. (2001). Mitigating the impact of coral bleaching through marine protected area design. Pages 81–88 in H. Z. Schuttenberg, editor. Coral bleaching: causes, consequences, and response. Coastal management report 2230. Coastal Resources Center, Narragansett, Rhode Island
- SEMARH (1992). Decreto número 1240 de 05 de junho de 1992. Disponível online em <http://www.semarh.ba.gov.br>. (Último acesso em 07/2011)
- SEMARH (1993). Decreto número 2218 de 14 de junho de 1993. Disponível online em <http://www.semarh.ba.gov.br>. (Último acesso em 07/2011)
- SPANÓ S, LEÃO ZMAN. & KIKUCHI RKP. (2008). Diagnóstico do estado de conservação dos recifes em franja do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. *OLAM Ciência & Tecnologia*, 8(2): 245-277.
- STENECK RS & EA SALA. (2005). Large marine carnivores: trophic cascades and top-down controls in coastal ecosystems past and present. Pages 110–137. in Ray, J. C., K. H. Redford, R. Steneck, and J. Berger. Large carnivores and the conservation of biodiversity. Island Press. Washington, D.C., USA.
- WEST JM, SALM RV. (2003). Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Cons. Biol.* 17: 956-967.
- WILKINSON CR. (1999). Global and local threats to coral reef functioning and existence: review and predictions. *Mar. Freshw. Res.*50, 867–878

## APÊNDICE

Anos de investigação, estações e coordenadas geográficas dos locais estudados

ANO	LOCAL	ESTAÇÕES	LEGENDA	Latitude	Longitude	
2000	PAB_00	PAB2	PARCEL DOS ABROLHOS 2	-17,996709	-38,636684	
		PAB3	PARCEL DOS ABROLHOS 3	-17,99777	-38,63674	
		PAB4	PARCEL DOS ABROLHOS 4	-17,958566	-38,655850	
		PAB5	PARCEL DOS ABROLHOS 5	-17,944234	-38,660150	
		PAB6	PARCEL DOS ABROLHOS 6	-17,926798	-38,660388	
		ARQUIPELAGO_00	MVE	MATO VERDE EAST	-17,964778	-38,702490
	MVC		MATO VERDE CENTRAL	-17,964778	-38,702778	
	MVW		MATO VERDE WEST	-17,964778	-38,703135	
	CLD		CALDEIROS	-17,970833	-38,711111	
	CLDR		CALDEIROS REDONDA	-17,963483	-38,708367	
	CPN		CANAL PORTINHO NORTE	-17,961461	-38,698324	
	PTN		PORTINHO NORTE	-17,962083	-38,696733	
	PTNW		PORTINHO NORTE WEST	-17,960890	-38,698597	
	2001		ARQUIPELAGO_01	PTS	PORTINHO SUL	-17,963444
		MV		MATO VERDE	-17,964778	-38,702778
CSB		CALDEIROS STA BÁRBARA		-17,963533	-38,705950	
CLDR		CALDEIROS-REDONDA		-17,963483	-38,708367	
PTNC		PORTINHO NORTE - CALDEIROS		-17,960528	-38,702389	
PTN		PORTINHO NORTE		-17,962083	-38,696733	
SUE		SUESTE		-17,981839	-38,701446	
CSE		CHAPEIRINHOS SUESTE		-17,979474	-38,707888	
LESTE_01		LES1		PEDRA DE LESTE 1	-17,775642	-39,051537
		LES2		PEDRA DE LESTE 2	-17,744074	-39,000909
		LES3	PEDRA DE LESTE 3	-17,781778	-39,049921	
		LES4	PEDRA DE LESTE 4	-17,785974	-39,053570	
LIXA_01		LIXA1	RECIFE DE LIXA 1	-17,699282	-38,965194	
		LIXA2	RECIFE DE LIXA 2	-17,698917	-38,990017	
		LIXA3	RECIFE DE LIXA 3	-17,737247	-38,959353	
		LIXA4	RECIFE DE LIXA 4	-17,727025	-39,004254	
		LIXA5	RECIFE DE LIXA 5	-17,689791	-38,983811	
PAB_01		PAB1	PARCEL DOS ABROLHOS 1	-17,989959	-38,650018	
		PAB2	PARCEL DOS ABROLHOS 2	-17,996709	-38,636684	
		PAB3	PARCEL DOS ABROLHOS 3	-17,99777	-38,63674	
		PAB4	PARCEL DOS ABROLHOS 4	-17,958566	-38,655850	
		PAB5	PARCEL DOS ABROLHOS 5	-17,944234	-38,660150	
		PAB6	PARCEL DOS ABROLHOS 6	-17,926798	-38,660388	
PRD_01		PRD1	PARCEL DAS PAREDES 1	-17,765194	-38,9345	
		PRD2	PARCEL DAS PAREDES 2	-17,816982	-38,909818	
		PRD3	PARCEL DAS PAREDES 3	-17,901282	-38,921283	
		PRD4	PARCEL DAS PAREDES 4	-17,87017	-38,986639	

		PRD5	PARCEL DAS PAREDES 5	-17,81611	-39,007528
	TIM_01	TIM1	TIMBEBAS 1	-17,50186	-39,01575
		TIM2	TIMBEBAS 2	-17,49708	-39,02569
		TIM3	TIMBEBAS 3	-17,46633	-39,04064
		TIM4	TIMBEBAS 4	-17,48022	-39,02281
		TIM5	TIMBEBAS 5	-17,47881	-39,00944
2002	ARQUIPELAGO_02	MV	MATO VERDE	-17,964778	-38,702778
		CSB	CALDEIROS -SANTA BARBARA	-17,963533	-38,705950
		CLDR	CALDEIROS-REDONDA	-17,963483	-38,708367
		PTN	PORTINHO NORTE	-17,962083	-38,696733
		GUA	GUARITA	-17,960222	-38,692250
	LESTE_02	LES1	PEDRA DE LESTE 1	-17,775642	-39,051537
		LES2	PEDRA DE LESTE 2	-17,744074	-39,000909
	LIXA_02	LIXA1	RECIFE DE LIXA 1	-17,699282	-38,965194
		LIXA2	RECIFE DE LIXA 2	-17,698917	-38,990017
		LIXA3	RECIFE DE LIXA 3	-17,737247	-38,959353
		LIXA4	RECIFE DE LIXA 4	-17,727025	-39,004254
		LIXA5	RECIFE DE LIXA 5	-17,689791	-38,983811
	PAB_02	PAB1	PARCEL DOS ABROLHOS 1	-17,989959	-38,650018
		PAB2	PARCEL DOS ABROLHOS 2	-17,996709	-38,636684
		PAB3	PARCEL DOS ABROLHOS 3	-17,99777	-38,63674
		PAB4	PARCEL DOS ABROLHOS 4	-17,958566	-38,655850
		PAB5	PARCEL DOS ABROLHOS 5	-17,944234	-38,660150
		PAB6	PARCEL DOS ABROLHOS 6	-17,926798	-38,660388
	POPAVERDE_02	POPV1	POPA VERDE 1	-18,020370	-38,988330
		POPV2	POPA VERDE 2	-18,028550	-39,000010
		POPV3	POPA VERDE 3	-17,979670	-38,968980
		POPV4	POPA VERDE 4	-18,000100	-38,955120
		POPV5	POPA VERDE 5	-18,036667	-38,991667
	TBP_02	BAI	BAINEMA	-13,630639	-38,886444
		MOR	MORERÉ	-13,597361	-38,891222
		GAR	GARAPUÁ	-13,491056	-38,902417
		PPA	PONTA PANÃ	-13,464194	-38,888778
	TIM_02	TIM1	TIMBEBAS 1	-17,501861	-39,015750
		TIM2	TIMBEBAS 2	-17,497083	-39,025694
		TIM3	TIMBEBAS 3	-17,466333	-39,040639
		TIM4	TIMBEBAS 4	-17,480222	-39,022806
		TIM5	TIMBEBAS 5	-17,478806	-39,009444
	PRD_02	PRD1	PARCEL DAS PAREDES 1	-17,765194	-38,9345
		PRD2	PARCEL DAS PAREDES 2	-17,816982	-38,909818
		PRD3	PARCEL DAS PAREDES 3	-17,901282	-38,921283
		PRD4	PARCEL DAS PAREDES 4	-17,87017	-38,986639
		PRD5	PARCEL DAS PAREDES 5	-17,81611	-39,007528
2003	ABR_03	LIXA	LIXA	-17,699282	-38,965194
		TIM	TIMBEBAS	-17,501861	-39,015750

		PAB	PARCEL DOS ABROLHOS	-17,989959	-38,650018
	TBP_03	BAI	BAINEMA	-13,630639	-38,886444
		MOR	MORERÉ	-13,597361	-38,891222
		GAR	GARAPUÁ	-13,491056	-38,902417
2004	CABRALIA_04	ARA	ARARIPE	-16,181167	-38,913194
		COAN	COROA ALTA NORTE	-16,225333	-38,944111
		COAS	COROA ALTA SUL	-16,239722	-38,952639
		ITC	ITACIPANEMA	-16,262833	-38,964917
		ALA	ALAGADOS	-16,274111	-38,969361
		NAU	NAUFRÁGIO	-16,348611	-38,977639
2005	ARQUIPELAGO_05	PTS	PORTINHO SUL	-17,963444	-38,700194
		PTN	PORTINHO NORTE	-17,962083	-38,696733
		SIR	SIRIBA	-17,970230	-38,708367
	CORUMBAU_05	CAN	CANUDOS	-16,898270	-39,083250
		SIL	SILVA	-16,897632	-39,090946
		CAV	CAVALO	-16,892416	-39,063361
	CABRALIA_05	ARA	ARARIPE	-16,181167	-38,913194
		COAN	COROA ALTA NORTE	-16,225333	-38,944111
		COAS	COROA ALTA SUL	-16,239722	-38,952639
		ITP	ITACIPANEMA	-16,262833	-38,964917
		ALA	ALAGADOS	-16,274111	-38,969361
2006	CABRALIA	ARA	ARARIPE	-16,181167	-38,913194
		COAN	COROA ALTA NORTE	-16,225333	-38,944111
		COAS	COROA ALTA SUL	-16,239722	-38,952639
		ITP	ITACIPANEMA	-16,262833	-38,964917
		ALA	ALAGADOS	-16,274111	-38,969361
		NAU	NAUFRAGIO	-16,348611	-38,977639
	ARQUIPELAGO_06	MV	MATO VERDE	-17,964778	-38,702490
		FAR	FAROL	-17,964778	-38,702778
		SIR	SIRIBA	-17,964778	-38,703135
		PTN	PORTINHO NORTE	-17,970833	-38,711111
		GUA	GUARITA	-17,963483	-38,708367
		PAB2	PARCEL DOS ABROLHOS 2	-17,996709	-38,636684
2007	CABRALIA_07	ARA	ARARIPE	-16,181167	-38,913194
		COAN	COROA ALTA NORTE	-16,225333	-38,944111
		COAS	COROA ALTA SUL	-16,239722	-38,952639
		ITP	ITACIPANEMA	-16,262833	-38,964917
2008	CABRALIA_08	ARA	ARARIPE	-16,181167	-38,913194
		ARAS	ARARIPE SUL	-16,184417	-38,919917
		COAS	COROA ALTA SUL	-16,239722	-38,952639
		ITC	ITACIPANEMA	-16,262833	-38,964917
		ALA	ALAGADOS	-16,274111	-38,969361
		NAU	NAUFRAGIO	-16,348611	-38,977639
2009	CABRALIA_09	ARAN	ARARIPE NORTE	-16,181167	-38,913194
		ARAS	ARARIPE SUL	-16,184417	-38,919917

INHA	INHANGABA	-16,207778	-38,935083
COAS	COROA ALTA SUL	-16,239722	-38,952639
ITC	ITACIPANEMA	-16,262833	-38,964917
ALA	ALAGADOS	-16,274111	-38,969361
NAU	NAUFRAGIO	-16,348611	-38,977639