



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

RELAÇÃO ENTRE EL NIÑO E BRANQUEAMENTO DE CORAIS

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Aline de Matos Valério (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: aline@dge.inpe.br

Dr. Abraham Chian-Long Chian (DGE/INPE, Orientador)
E-mail: achian@dge.inpe.br

COLABORADORA

Dr^a. Margarete Oliveira Rodrigues (LAC/INPE)

Maio de 2004

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Corais e recifes de corais	4
3.2. Importância dos corais	8
3.3. Distúrbios naturais causados nos recifes de corais	9
3.4. Variabilidade climática: El Niño	10
3.5. Branqueamento de corais	15
3.6. Declínio de corais no mundo	17
3.7. Resistência e recuperação	18
3.8. Corais no Brasil e branqueamento	22
3.8.1. Corais	22
3.8.2. Temperatura da superfície do mar no Brasil	24
3.8.3. Branqueamento	24
3.9. Impacto humano	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. Obtenção dos registros de TSM	28
4.1.1. Realização dos gráficos de série temporal	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1. Impacto Global	35
5.1.1. Pacífico Central	35
5.1.2. Pacífico Leste	36
5.1.3. Índico	38
5.2. Impacto no Brasil	39
5.3. Discussão Geral	41
5. CONCLUSÕES	43
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE	48
A.1. <i>Wavelet</i>	48
A.1.1. Utilização da ferramenta <i>wavelet</i>	49

1. INTRODUÇÃO

Os recifes de corais reúnem 1/4 de todas as espécies marinhas e ocupam uma área de apenas 0,02% nos oceanos. Dentre vários outros fatores estressantes, eles são sensíveis a pequenas variações de temperatura sendo importantes bioindicadores das mudanças climáticas globais (Kikuchi, 2003).

O branqueamento é um fenômeno que ocorre nos corais como uma resposta a fatores estressantes e em neste trabalho será focado o estresse térmico da superfície do mar, principalmente quando devido às anomalias resultantes do evento do El Niño de 1997-1998. Este fenômeno é assim chamado porque a sua cor é perdida pois suas algas simbióticas do tecido, chamadas Zooxanthellae, se desprendem ou seus pigmentos são degradados devido a essas anomalias marítimas.

O grau de branqueamento é variável de acordo com a exposição do coral à variação climática e à duração dessa exposição. A morte dos corais pode ser evitada caso as Zooxanthellae sejam recuperadas dentro de um intervalo de tempo adequado, que varia de acordo com a espécie acometida (Douglas, 2003).

Estudos recentes sugerem que 11% de recifes de corais conhecidos historicamente já estão extintos, enquanto que 16% estão severamente ameaçados (Gardner, 2003). Além disso, estima-se que 30% dos corais estão seriamente ameaçados e cerca de 60% deve ser extintos até 2030 (Hughes, 2003).

Além das alterações do clima que modificam a temperatura da superfície do mar (TSM) e ocasionam estresse, outros fatores podem levar ao branqueamento de corais como o aumento da turbidez que diminui a quantidade de luz, variação da salinidade, correntezas de águas doces provenientes de deságüe de rios, poluição, enfermidades e tempestades, principalmente quando relacionadas à furacões cuja frequência e intensidade dão pouco tempo para a recuperação entre as recorrências. Outros pontos importantes que colaboram com o declínio das variedades de corais são as ações antropogênicas, como a pesca

exagerada, o turismo descontrolado e a poluição. Assim, com o aumento das populações humanas, a escala dos impactos antrópicos sobre recifes cresce exponencialmente (Hughes, 2003; West & Salm, 2003).

Em muitos recifes de coral o número de peixes herbívoros diminuiu devido à pesca assim como aumentou a quantidade de nutrientes vindos das atividades agrícolas causando turbidez e eutrofização e conseqüentemente causando alterações ecológicas como a colonização de macroalgas em regiões que antes eram dominadas pelos corais (Hughes, 2003).

O declínio de corais também está associado às mudanças na química dos oceanos devido ao alto nível de dióxido de carbono da atmosfera, que pode causar um enfraquecimento dos esqueletos e reduzir a formação de corais (Hughes, 2003) e, por causa do atraso no tempo da resposta oceânica, o aquecimento do oceano irá continuar durante o próximo século mesmo se a concentração de dióxido de carbono se estabilizasse hoje (West & Salm, 2003).

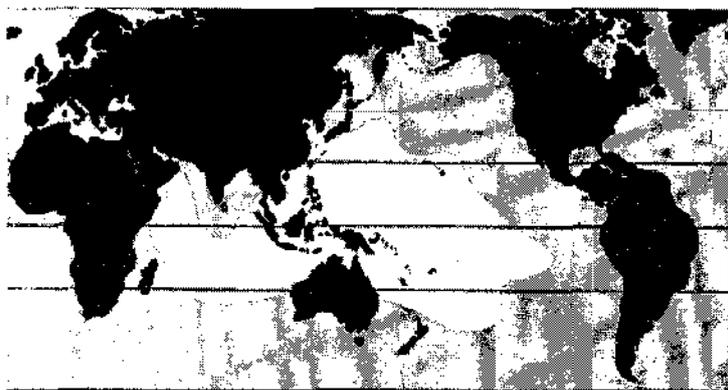
O branqueamento dos corais causa um impacto ecológico pois diminui a variedade de organismos dependentes desse ambiente podendo levar algumas espécies à extinção e também é responsável por um impacto econômico pois inúmeras regiões tropicais têm este ecossistema como fonte rentável de alimento e turismo.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por finalidade comparar o fenômeno de branqueamento de corais em diferentes localidades dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico durante os anos de 1997 e 1998, para demonstrar que este branqueamento está relacionado com o fenômeno do El Niño que durante o mesmo período evoluiu com grande intensidade alterando a temperatura da superfície do mar.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Corais e Recifes de Corais



Coral Reef Regions of the World

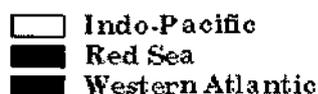


Fig. 1. Regiões de recifes de corais encontradas no mundo. Cor amarela refere-se a região Indo-Pacífica, a cor vermelha ao Mar vermelho e a cor roxa a parte oeste do Oceano Atlântico. <www.reefrelief.org> acessado 25/03/04.

Os corais, pertencem ao Filo Cnidária e são em sua maioria da classe Anthozoa na qual o estágio medusóide está ausente. São organismos invertebrados e sésseis de ambiente marinho que vivem na maioria das vezes em colônias (Barnes & Rupert,1990). Habitam águas costeiras em todo o mundo, embora sejam mais abundantes nos oceanos tropicais, vivendo em águas rasas e claras entre 3-10m, porém também podem ser encontrados em águas profundas e escuras, até 60 m (Spencer, et al.,2000; Lough & Barnes, 1996; Barnes & Rupert, 1990).



Fig. 2. Águas rasas e claras onde geralmente os corais são encontrados.

Esses organismos quando pétreos ou escleractínios produzem um esqueleto de carbonato de cálcio, e são chamados de hermatípicos quando formam os recifes de corais que podem chegar a atingir proporções de centenas de quilômetros. A grande maioria apresenta uma forma colonial formada por pequenos pólipos de cerca de 1 a 3 mm de diâmetro (Barnes & Rupert, 1990; Barnes & Rupert, 1996).

Seu esqueleto é formado por carbonato de cálcio secretado pela epiderme da metade inferior da coluna assim como também do disco basal. Enquanto a colônia estiver viva, o carbonato será depositado por baixo dos tecidos vivos. Além de oferecer um substrato onde a colônia possa prender-se, o esqueleto também tem uma importante função de proteção (Barnes & Rupert, 1996).

Os pólipos dos corais são interconectados pelas dobras laterais das dobras da parede colunar que se conectam com as dobras semelhantes dos pólipos vizinhos, assim, todos os pólipos se conectam por meio de uma camada tecidual horizontal que contém uma extensão da cavidade gastrovascular, além de também uma camada superior e inferior da gastroderme e da epiderme (Barnes & Rupert, 1996).

A taxa de crescimento varia de acordo com a espécie (os corais ramificados normalmente tem um crescimento mais rápido que os outros) e com a temperatura da água (Barnes & Rupert, 1996).

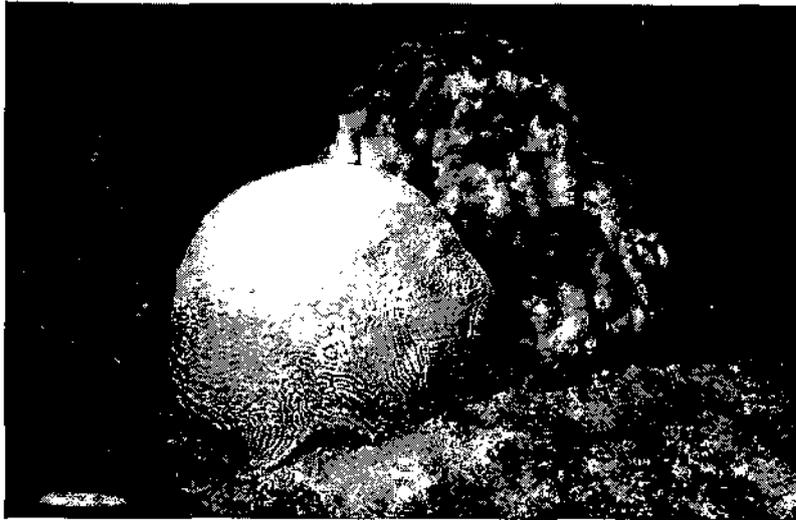


Fig.3. Corais pétreos à direita e coral em formato de pluma à esquerda.

A densidade do carbonato de cálcio secretado não é a mesma durante todo o ano, ela varia com as modificações sazonais de temperatura e de luz. Por isso os corais apresentam esqueletos com faixas de crescimento, como os anéis de árvores, que podem ser vistas em radiografias e são utilizadas para determinar a idade e a taxa de crescimento do coral além de também ajudar nos estudos de paleoclima (Barnes & Rupert, 1996).

Mais de 60 gêneros de corais possuem algas protistas dinoflageladas simbióticas chamadas Zooxanthellae no interior das células gastrodémicas (Barnes,1990) que lhes confere a coloração e provê mais de 50 % de seu nitrogênio protéico e, em algumas espécies, até mais de 95% do carbono fixado na fotossíntese pode ser transferido da alga para o hospedeiro sendo necessário para seu crescimento, reprodução e manutenção (Douglas, 2003; Migotto, 2003; West & Salm, 2003). Assim, a alga simbiótica lhes fornece energia e material para produção de cálcio e em troca o coral lhe fornece nitrogênio e fósforo (Barber, 2001; Edid, 2002). O grau de dependência entre corais e algas varia entre as espécies e com a localidade. Os corais de águas profundas e a alguns de água fria não possuem zooxantelas enquanto que todos os hermatípicos as possuem (Barnes & Rupert, 1996).

Os padrões esqueléticos das várias espécies de corais dependem da forma de crescimento da colônia e dos arranjos dos pólipos na mesma. Algumas espécies formam massas

esqueléticas achatadas ou arredondadas, sendo grandes e pesados, outros exibem uma forma de crescimento vertical e ramificada, sendo muitas vezes mais delicados (Barnes,1990).

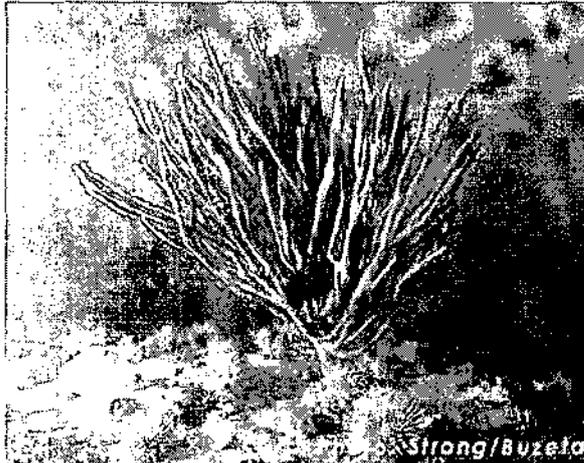


Fig.4. Coral ramificado

Estes organismos que se reproduzem sexuadamente são dióicos. A plânula (larva da reprodução sexuada) prende-se e o primeiro pólipó gerado torna-se o organismo original de todos os membros da colônia (Barnes & Rupert, 1996).

Os corais estão sujeitos a lesões ou morte devido a tempestades, marés baixas, predação e doenças. A colônia viva pode regenerar cerca de 1 cm de tecido destruído, mas não muito mais do que isso. Embora alguns corais ramificados podem se regenerar a partir de fragmentos quebrados. A doença das faixas brancas e pretas é causada por microorganismos e pode causar a morte tecidual. O risco da doença aumenta onde a poluição aumenta os níveis de nutrientes na água (Barnes & Rupert, 1996).

O branqueamento dos corais é um fenômeno que demonstrou estar relacionado a elevação da temperatura da água, ocorre quando estes expõem suas zooxantelas. O coral pode se recuperar se a condição não for prolongada. Esse fenômeno pode ser uma evidência da elevação global na temperatura (Barnes & Rupert, 1996).

Os recifes são estruturas calcárias tropicais que podem ser formados por corais escleractínios e outros organismos como octocorais, anêmonas do mar, hidrozoários coralinos e bivalves, todos contendo zooxantelas, formando assim o mais complexo, diverso e produtivo ecossistema costeiro marinho. Sua distribuição (entre outros fatores) é restrita a regiões de águas quentes, ocorrendo somente nos mares tropicais e semitropicais, onde a temperatura mínima da água não é menor que 20°C (Barnes & Rupert, 1990).

3.2. Importância dos Recifes de Coral

Apresentam inúmeros benefícios como:

- fornecem alimentos e são as principais fontes de recurso econômico de milhares de pessoas que vivem em regiões tropicais, principalmente nos países subdesenvolvidos. O valor dos recursos vivos como pesca e dos serviços como o turismo tem sido estimado em torno de 375 bilhões de dólares anualmente (West & Salm, 2003).
- Os recifes atuam como um berçário de peixes, sendo um ambiente seguro que (no caso de áreas protegidas) favorece a reposição de populações de áreas densamente exploradas.
- Provém habitats para grande parte da diversidade biológica marinha do mundo.
- fornecem matéria prima para pesquisas na área farmacológica (Castro, 2003).
- servem como a principal estrutura de proteção da costa da maioria das ilhas tropicais.



fig.5. Peixes associados a recifes de coral.
<www.reefrelief.org>
acessado 17/05/04

3.3 Distúrbios naturais causados nos recifes de corais

As variações no nível do mar ao longo das várias centenas de milhares de anos, sempre foi e tem sido um distúrbio, a redução do nível do mar tem causado sedimentações e grandes erosões (Levinton, 1995).

Os recifes se encontram em um cinto de tempestades tropicais e estão sempre sujeitos a furacões e ciclones e sua recuperação pode demorar anos pois a frequência e a intensidade destes fenômenos acabam deixando pouco tempo para a recuperação entre as recorrências. Após um evento assim, o nível de nutrientes na água pode aumentar fazendo com que cresça o número de larvas de predadores, como as estrelas-do-mar, aumentando a devastação (Hughes, 2003; Levinton, 1995).

Os eventos do El Niño também causam grandes danos já que a temperatura da superfície da água pobre em nutrientes aumenta e é levada para zonas costeiras rasas, causando uma mortalidade tanto de corais quanto das espécies dependentes. Essa mortalidade é devida ao branqueamento, fenômeno que ocorre quando os corais expõem suas zooxantelas devido a condições de estresse como o aquecimento da água (Levinton, 1995).

As doenças também possuem um importante papel. Quando espécies dependentes do coral tais como peixes e esponjas adoecem sendo levadas a extinção nos recifes, a complexidade biológica sofre uma mudança, aumentando o número de algas marinhas e podendo causar a morte de dos corais (Levinton, 1995).

Os corais são suscetíveis a doenças como a das faixas pretas (black band disease) que é causada por uma cianobactéria *Phormidium corallyticum*. Uma compacta rede de filamentos pretos que eventualmente separam o tecido coralino de seu esqueleto de cálcio. Algumas vezes, outra bactéria penetra e o tecido morre (Levinton, 1995).

Áreas de recifes que sofreram mortalidade em massa eventualmente começam a desintegrar por erosão biológica e física, acrescentando carbonato de cálcio nos recifes remanescentes.

A perda da complexidade estrutural por causa da desintegração do recife, combinada com o exagerado crescimento das algas e a falta do estabelecimento e desenvolvimento bem sucedidos de corais nos recifes danificados pode levar a padrões alterados na composição das espécies dos recifes e até mesmo reestruturar a comunidade. Tais trocas têm ocorrido após os eventos (algumas vezes em combinações um com o outro) como ciclones, ataques predatórios de estrelas-do-mar coroa-de-espinhos (*Acanthaster planci*), doenças epizooticas e eventos de branqueamento (West & Salm, 2003).

Além desses fatores naturais, ações antropogênicas como a pesca exagerada e a poluição que pode levar a sedimentação e eutrofização colaboram para os distúrbios nos recifes de corais (Gardner, 2003).

3.4 Variabilidade Climática: El Niño

A temperatura da Terra aumentou aproximadamente 0.6°C nos últimos 100 anos com dois principais períodos : entre 1910 e 1945 e desde 1976 até os dias de hoje, sendo que a taxa de aquecimento do último período tem sido aproximadamente o dobro da primeira e portanto a época em que vivemos tem sido a mais quente dos últimos 1000 anos (Walther, 2002).

Nos últimos 100 anos também foi observado um aquecimento dos oceanos tropicais de cerca de $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$. Esse aumento tem sido provocado principalmente pelo fenômeno El Niño que induz anomalias locais e temporárias. Esse fenômeno tem aumentado em tamanho e duração no último século e previsões revelam que essa tendência deverá aumentar rapidamente nos próximos 50 anos (Walther, 2002).

Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
Dezembro de 1998

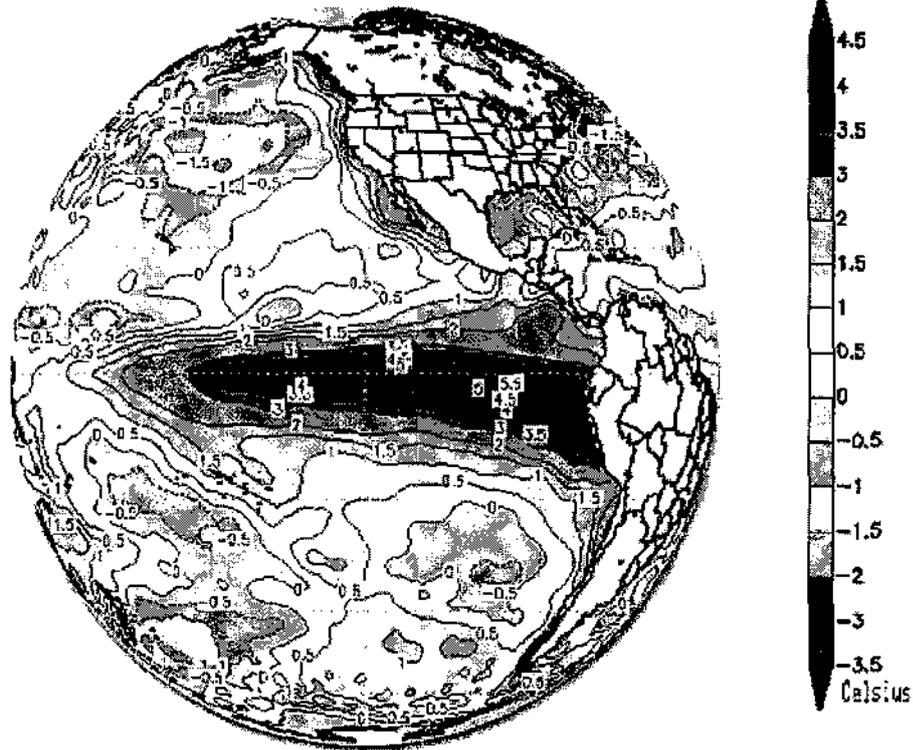


Fig.6. Anomalia de TSM em dezembro de 1998. Os tons avermelhados indicam regiões com valores acima da média e os tons azulados as regiões com valores abaixo da média climatológica. Pode-se notar a região no Pacífico Central e Oriental com valores positivos, indicando a presença do El Niño. Dados cedido pelo Dr. John Janowiak - CPC/NCEP/NWS/NOAA-EUA. <http://www.cptec.inpe.br/enos/Oque_el-nino.shtml> acessado 14/05/04 (As cores originais podem ser vistas no site acima)

O fenômeno El Niño é caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. O termo em espanhol El Niño faz referência ao menino Jesus pois este evento atinge o pico geralmente durante a época do Natal, ou seja, dura de 12 a 18 meses, tendo início no começo do primeiro ano, atingindo sua máxima intensidade durante Dezembro - Janeiro e terminando na metade do segundo ano. A TSM excede apenas alguns graus que o usual mas esse aumento já causa grandes mudanças climáticas em todo o mundo. Não existe um ciclo bem definido para a formação do El Niño. Em geral, entre 2 e 7 anos há um episódio (Oliveira, 2001; Svarney & Barnes-Svarney, 2000).

Em condições normais, águas quentes são observadas no Oceano Pacífico Equatorial Oeste e frias junto à costa oeste da América do Sul. Assim há mais evaporação no Pacífico Oeste onde as águas são quentes. Essa evaporação causa a formação de nuvens em uma grande área e o ar deve sobe. A atmosfera responde a um modelo compensatório, ou seja, para subir o ar em uma determinada região deverá descer em outra. O ar que sobe do Pacífico Equatorial Oeste, desce no Pacífico Leste (junto a costa oeste da América do Sul) juntamente com os ventos alísios em baixos níveis da atmosfera (de leste para oeste) e os ventos de oeste para leste em altos níveis da atmosfera formam a célula de circulação de Walker. Estes ventos alísios junto à costa da América do Sul favorecem a ressurgência que é o afloramento de águas frias mais profundas do oceano. Estas águas frias tem alto nível de oxigênio dissolvido, nutrientes e microorganismos que irão ser utilizados pelos peixes da região, aumentando portando a abundância destes organismos na região.

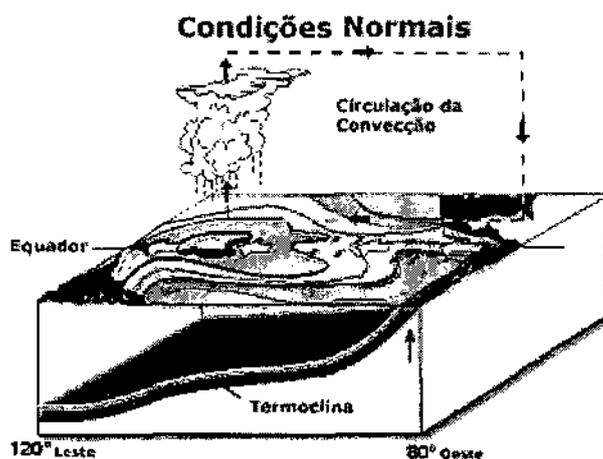


Fig. 7. Circulação observada no Oceano Pacífico Equatorial em anos sem a presença do El Niño ou La Niña, ou seja, anos normais. A célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul e com ventos de leste para oeste próximos à superfície (ventos alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera é a chamada célula de Walker. No Oceano Pacífico, pode-se ver a região com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. < http://www.cptec.inpe.br/enos/Oque_el_nino.shtml> acessado 14/05/04

Com o enfraquecimento dos ventos alísios tem-se o fenômeno El Niño. Em algumas regiões do Pacífico pode ocorrer até a inversão dos ventos, ficando estes de oeste para leste.

Com este enfraquecimento dos ventos toda a superfície do Oceano Pacífico fica mais uniforme e todo o Oceano Pacífico Equatorial começa a aquecer. Este aquecimento gera evaporação com movimento ascendente que por sua vez gera a formação de nuvens. Assim com a presença deste fenômeno há uma inversão na formação de nuvens. É observada intensa formação de nuvens principalmente no Pacífico Equatorial Central e Oriental em vez deste ocorrer no Pacífico Equatorial Ocidental como nas condições normais.

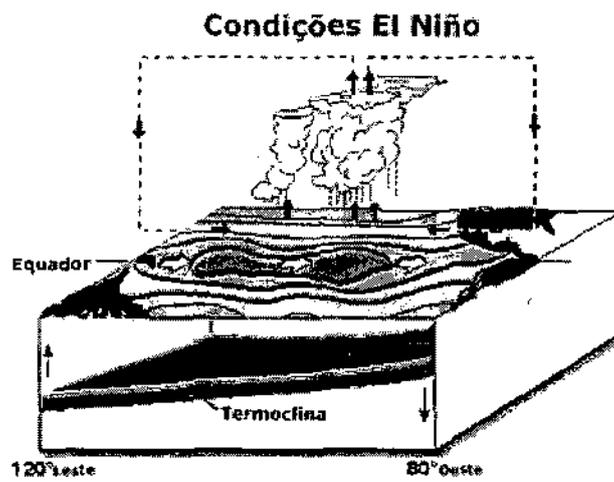


Fig.8. Padrão de circulação observada em anos de El Niño na região equatorial do Oceano Pacífico. Nota-se que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam até a mudar de sentido, ou seja, ficam de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida. No Oceano Pacífico Equatorial podem ser observadas águas quentes em praticamente toda a sua extensão.

Por outro lado, fenômeno La Niña, representa o oposto do El Niño pois consiste no resfriamento anormal das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. As águas mais frias estendem-se por uma estreita faixa, com largura de cerca de 10° de latitude ao longo do equador, desde a costa Peruana, até aproximadamente 180° de longitude no Pacífico Central. Assim como o El Niño, La Niña também varia em intensidade. Em geral, o fenômeno começa a se desenvolver em meados de um ano, atinge sua intensidade máxima no final do mesmo ano e dissipa-se em meados do ano seguinte, durando de 10 a 15 meses e, embora também não tenha um ciclo bem definido costuma ocorrer um episódio num intervalo entre 2 e 7 anos (Oliveira, 2001).

Estes eventos representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical, e portanto, causam conseqüências no tempo e no clima em todo o planeta. Nesta definição, considera-se não somente a presença das águas quentes do El Niño mas também as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento os ventos alísios que sopram de leste para oeste na região equatorial. Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade, e portanto variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo também são observados aumento ou queda de temperatura (Oliveira, 2001).

O ENOS, ou El Niño Oscilação Sul representa de forma mais genérica um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado a alterações dos padrões normais da TSM e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália (Oliveira, 2001).

De acordo com Spencer (2000), os anos de 1982/83 e 1997/98 tiveram os eventos do El Niño mais fortes desde 1877/78 .

3.5 Branqueamento de Corais



Fig.9. Coral parcialmente branqueado.

A cor branca devida ao fenômeno, vem do esqueleto que é formado por carbonato de cálcio. O coral branqueado pode sobreviver e ser recoberto novamente por algas simbióticas após um período que pode durar de semanas a meses, ou morrer (Douglas, 2003).

Como dito anteriormente, os corais quando branqueiam perdem de 60-90% de suas *Zooxanthellae* e as remanescentes podem perder de 50-80% de seus pigmentos fotossintetizantes (Spencer, 2000). As colônias de corais que passaram por condições estressantes e tiveram uma mortalidade parcial ficam mais vulneráveis ao crescimento exagerado de algas e doenças, podendo ocasionar ainda mais perdas. O grau de branqueamento sofrido pelo coral também depende da espécie coralínea acometida pois os corais ramificados tem uma maior propensão ao branqueamento que os de morfologia massiva (West & Salm, 2003).

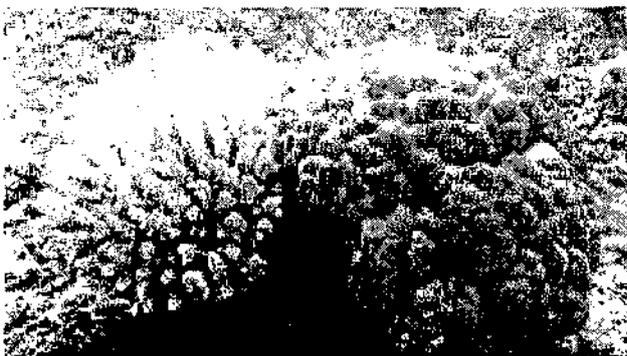


Fig. 10. Duas colônias vizinhas de espécies diferentes onde apenas uma sofreu o branqueamento.

Dependendo do tipo e da duração do agente estressante, o branqueamento pode ser de escalas locais ou geográficas. Os locais são frequentemente resultados de agentes antropogênicos diretos como a poluição que pode ser prevenida ao reduzir o agente estressor em sua fonte (West & Salm, 2003) ou então devido a salinidade reduzida, exposição ao ar devido as marés baixas, sedimentos e altos níveis de bactérias (Barber, 2001).

Quando em grandes escalas, a ocorrência deste fenômeno está relacionada principalmente com as mudanças climáticas e nas últimas duas décadas a frequência e a intensidade dos

episódios de branqueamento de corais no mundo tem aumentado e está combinada com os eventos do El Niño.

Os corais são muito vulneráveis ao aumento de temperatura porque eles geralmente já vivem no limite de sua tolerância e o El Niño promove um ciclo caótico, que se repete a cada 3-4 anos aproximadamente, elevando a temperatura da superfície do mar (TSM). Este fato está relacionado com o ciclo de branqueamento de recifes de corais que também ocorre a cada 3-4 anos. A diferença de 1°C na TSM já desencadeia o branqueamento (Stone, et al., 1999).

Segundo Stone (1999), a radiação solar, principalmente a radiação ultravioleta (UV) também é responsável pelo fenômeno e o aumento do UV ocorre quando a maré passa por períodos mais baixos. Padrões espaciais da distribuição de nuvens ao longo do Oceano Pacífico é considerado importante por controlar o nível de radiação na superfície do mar.

Assim, a combinação da radiação solar (UV) com o TSM leva a uma super exposição dos mecanismos de foto-proteção dos corais, conduzindo ao branqueamento (Spencer, 2000).

Recentes estudos têm sugerido que pigmentos fotossintéticos fluorescentes podem ser um mecanismo de adaptação a este impacto (Barber, 2001).

Os eventos de branqueamento, assim como tempestades, ataques predatórios, doenças epizooticas que levam a uma perda da complexidade estrutural (por causa da desintegração do recife) combinado com o crescimento exagerado de algas e a falta de recrutamento bem sucedido podem levar a padrões alterados na composição das espécies de recifes de corais e até mesmo reestruturar a comunidade (West & Salm, 2003).

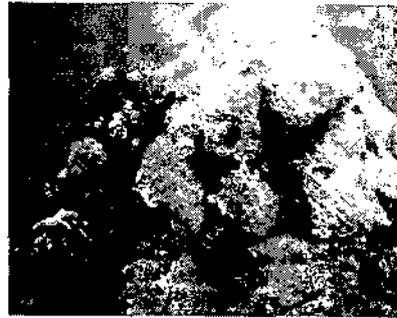
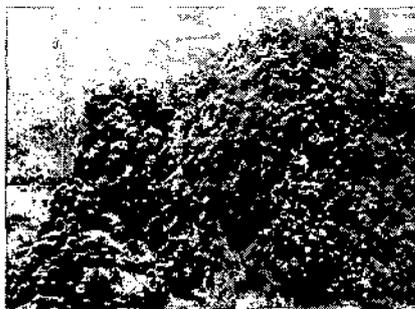


Fig. 11. Colônia de corais antes e depois do branqueamento <<http://www.reefrelief.org>> acessado 28/04/04.

3.6 Declínio de corais no mundo

Atualmente acredita-se que 11% dos corais do mundo conhecidos historicamente já estão extintos e 16% estão severamente ameaçados. Só no Caribe foi evidenciado um grande declínio de corais pétreos nas últimas três décadas, cerca de 80%. Um dos maiores responsáveis pelo alto índice de mortalidade de *Acropora* foi a doença das faixas brancas (white band disease) além de furacões. Acredita-se que 60% dos recifes de corais devem estar extintos até 2030 (Gardner, 2003; Hughes, 2003).

Como eles são sensíveis a pequenas variações na temperatura (sendo portanto importantes bioindicadores de mudanças climáticas) nas regiões de Leeward Netherland Antilhas/Venezuela e no norte da América Central os principais agravantes do declínio de corais pétreos foi o evento do El Niño de 1998, que ocasionou um branqueamento nos corais, além de também o furacão Mitch (Gardner, 2003; Kikuchi, 2003).

Ainda no ano de 1998, o branqueamento alcançou 70-90% de mortalidade em alguns lugares do Golfo da Arábia, Maldivas e Seychelles e quase que uma mortalidade total da espécie dominante (*Agaricia tenuifolia*) nos recifes de águas rasas em Belize (West & Salm, 2003).

Uma das maiores preocupações é que acelerando a taxa de mudança ambiental poderia exceder a capacidade evolutiva de espécies de corais e zooxantelas de se adaptar, ou seja que sua tolerância à temperatura não tem acompanhado as mudanças atuais do clima (Hughes, 2003).

Por causa do atraso no tempo de resposta da temperatura oceânica, o aquecimento do oceano irá continuar durante o próximo século mesmo se a concentração de dióxido de carbono se estabilizasse hoje. Apesar disso, ações supervisionadas podem aumentar a capacidade dos sistemas recifais de persistir face às mudanças climáticas (West & Salm, 2003).

Os recifes do Atlântico começaram a declinar antes dos recifes no Mar Vermelho e na Austrália, mas a trajetória para o declínio tem sido similar em todo o mundo. Antes de surgir às doenças coralinas e o branqueamento os recifes já eram degradados por causa da poluição e da pesca exagerada (Pandolfi, 2003).

3.7 Resistência e Recuperação

Durante os eventos de branqueamento de corais, não há uma eliminação total de todos os corais em todo o recife, até mesmo nos casos mais graves, algumas colônias espalhadas e alguns corais nos recifes apresentam resistência e sobrevivência. Isso se tornou mais evidente depois do evento de branqueamento de 1997-1998.

O termo resistência se refere à habilidade de corais individuais de resistir ao branqueamento ou sobreviver depois de ter sido branqueado. Tal resistência seja talvez devida a uma ou ambas características:

1) intrínseca: tolerância fisiológica de espécies ou colônias específicas .

2) extrínseca: fatores ambientais que provém alguma proteção das condições de branqueamento.

O termo recuperação é usado para explicar a habilidade de uma população de recife de coral de se regenerar para o seu estado prévio através do crescimento e reprodução dos corais sobreviventes e através do recrutamento larval bem sucedido. As condições ambientais que favorecem tal recuperação podem ser diferentes da que favorecem a resistência.

Existem fatores ambientais que podem sozinhos ou interagindo, favorecer ou prejudicar a resistência ao branqueamento por exemplo, as altas temperaturas da superfície do mar e radiações solares são os maiores estressores que interagem e causam um grave branqueamento e mortalidade. Então, a resistência ao branqueamento de corais pode ser aumentada por qualquer fator ambiental que reduza a temperatura, bloqueie as radiações que atingem os corais, ou ambas. Além disso, como uma das conseqüências do branqueamento de corais é a produção de radicais livres tóxicos, os corais que são "esguichados" por grandes volumes de água podem também estar em vantagem.

Assim, algumas características ambientais favorecem a pré-adaptação (tolerância fisiológica) de corais para resistir ao branqueamento, como a presença de condições ambientais estressantes regulares (períodos de elevada radiação solar antes do evento do aquecimento da temperatura da superfície do mar). Baseado nisso, é possível classificar os determinantes da resistência ao branqueamento em 4 grandes categorias: fatores físicos que reduzem o estresse térmico; fatores físicos que aumentam o movimento da água e o fluxo das toxinas; fatores físicos que diminuem o estresse luminoso; e fatores que correlacionam a tolerância ao branqueamento.

- Fatores físicos que reduzem o estresse térmico: ocorrem geralmente em áreas de grandes escalas. Como por exemplo têm-se as correntes de água fria que atravessam centenas de quilômetros e que apesar de serem citadas como a principal causa para o pobre desenvolvimento ou ausência de recifes de corais (exemplo: partes orientais do Pacífico tropical), quando em pequenas escalas amenizam o efeito do aquecimento das águas protegendo os recifes que poderiam se branquear durante o evento do El Niño.

- Fatores físicos que aumentam o movimento da água e o fluxo de toxinas: correntes de água podem prevenir o branqueamento por indução da transferência de detritos fotossintéticos para fora da colônia, evitando o acúmulo prejudicial de radicais livres produzidos pelos corais quando submetidos a altas temperaturas e irradiação solar.

- Fatores físicos que diminuem o estresse luminoso: a qualidade e a quantidade de luz são importantes fatores secundários que em combinação com a temperatura aumentam o branqueamento. Embora sejam necessários mais estudos quanto o comprimento das ondas de luz, tem sido cada vez mais evidente a importância da ação da radiação ultravioleta no branqueamento. Foi mostrado que PAR (400-700 nm comprimentos de ondas) e raios ultra-violetas (UV-R) aumentam as atividades das enzimas responsáveis pela desintoxicação de formas ativas de oxigênio.

Tanto no caso de UV-R como PAR, ao sombrear os corais ou partes dos corais, pode-se moderar a gravidade do branqueamento durante os eventos do El Niño. Para exemplificar foram feitas observações que comprovaram que a gravidade do branqueamento de corais era menor naqueles encontrados em fendas quando comparados com os encontrados no topo.

A proteção de radiação solar também pode ocorrer na forma de atenuação da luz através da disseminação de partículas de matérias em suspensão ou absorção por matérias orgânicas cromofóricas (CDOM) dissolvidas na coluna da água. Assim, a atenuação da luz pelas partículas e absorção por CDOM pode contribuir para uma relação inversa entre irradiação e profundidade.

A cobertura de nuvens também pode oferecer uma proteção de radiações solares. No Taiti não houve branqueamento em massa no evento de 1998, ao contrário do severo branqueamento na Polinésia Francesa isso porque o verão de 1998 foi o mais nublado já registrado e mesmo com as altas temperaturas da superfície do mar similares a de outros anos o branqueamento não ocorreu diferentemente dos anos anteriores.

- Fatores que correlacionam a tolerância ao branqueamento: são aqueles que podem favorecer a pré-adaptação (tolerância fisiológica) de corais para resistir ao branqueamento de corais devido à presença de condições ambientais estressantes regularmente. O histórico de exposição a altas temperaturas pode influenciar sua tolerância termal e sua resistência. A relação entre o histórico termal de um lugar de recifes e a resposta ao branqueamento pode ser devido a uma forte seleção de genótipos tolerantes (West & Salm, 2003).

3.8 Corais no Brasil e branqueamento



Fig.12. Principais regiões do Brasil onde encontram-se recifes de corais.

3.8.1 Corais

O Brasil possui os únicos recifes de coral no oeste do Oceano Atlântico que estão distribuídos ao longo de aproximadamente 2000 km. A maioria das áreas de recifes de coral

do Brasil é pouco conhecido exceto na região de Abrolhos que é considerada a maior e mais rica área de recifes da região ao sul do Rio Amazonas, no Oceano Atlântico (Castro, 1999).

Na costa brasileira são encontradas 18 espécies de corais duros sendo que todos estão adaptados a temperaturas mais altas que das outras regiões do planeta e com as águas mais turvas devido às sedimentações aportadas no mar por causa do grande número de rios. Muitas espécies como *Siderastrea stellata*, endêmica do Brasil, além de tolerante às altas temperaturas e ao alto teor de turbidez também estão adaptadas as marés baixas, podendo resistir nas poças de marés, mas é muito sensível à redução de temperatura do mar (Dutra, 1998).

A região coralina da costa brasileira é limitada ao norte e ao sul por duas barreiras biogeográficas de tipos diferentes:

- Norte: barreira amazônica, de origem fluvial e sedimentar.
- Sul: barreira térmica, com origens múltiplas, como a ressurgência na região de Cabo Frio e influência de águas frias meridionais.

Estas duas barreiras provavelmente foram decisivas para o surgimento das espécies endêmicas brasileiras que, são fotófilas estritas e muito tolerantes a sedimentação (Dutra, 1998). O complexo recifal de Abrolhos reúne a mais extensa área de recifes de coral do Brasil e de todo o oceano Atlântico Sul, o qual possui menos de 1% dos ecossistemas recifais do mundo. O número de espécies é quatro vezes menor que o número de espécies descritas para os recifes do Atlântico Norte, e muitas delas são endêmicas, pertencentes a tempos geológicos anteriores à era primária ou paleozóica (arcaicas), e se tornaram resistentes ao estresse provocado pela turbidez periódica das águas brasileiras.

Além de ser a maior área de recifes de corais, Abrolhos também abrange os maiores recifes e de modelos diferentes àqueles geralmente encontrados, estes possuem uma forma

característica semelhante a um cogumelo sendo chamado de "chapeirão", o qual é construído por uma fauna coralínea rica em espécies endêmicas que se estabelecem em um ambiente lamoso considerado inóspito. Esta característica não é comumente encontrada nos recifes de corais de outros mares tropicais (Conservation International,2003).

Apesar dos recifes brasileiros possuírem uma baixa variedade de espécies coralíneas, os níveis de endemismo para peixes e corais são muito mais elevados do que em outras áreas do Atlântico, e por isso é importante a conservação dessa biodiversidade (Conservation International,2003).

3.8.2 Temperatura da superfície do mar no Brasil

O valor máximo atingido pela temperatura da superfície do mar (TSM) na costa brasileira varia no nordeste de 30°C durante o verão e outono (de fevereiro a maio) a 28°C do final do inverno até o começo do verão (de agosto a dezembro) e na costa sudeste de 30°C (fevereiro a maio) a 27°C (julho a agosto). O valor da temperatura mínima decresce num gradiente de norte a sul. Na costa nordeste, o mínimo atinge valores desde 25°C durante o verão e inverno até 23°C durante o inverno e primavera. Na costa sudeste, durante o inverno a temperatura pode chegar a atingir 21°C.

3.8.3 Branqueamento

Apesar dos eventos de branqueamento de corais serem registrados no mundo todo, no Brasil estes estudos têm começado recentemente e existem poucas observações registradas. No inverno de 1992 foi iniciado, no recife Viçosa, um programa de monitoração da cobertura (presença de *Zooxanthellae*) de corais e o branqueamento foi observado apesar de não ter sido quantificado. No verão de 1993 outros recifes foram visitados e o branqueamento foi observado em colônias de várias espécies de corais duros na área de Abrolhos e também na costa do Estado de São Paulo estando relacionado com um aumento anômalo da temperatura das águas oceânicas. O fenômeno também foi evidenciado no

litoral norte do Estado da Bahia em 1998 e em Abrolhos (sul da Bahia), no verão de 1994 e no verão de 1997/1998 (Castro,1999; Kikuchi, 2003).

Recentemente Kikuchi (2003) publicou um trabalho apresentando resultados preliminares do acompanhamento do branqueamento de corais ocorridos no ano de 2003 na costa leste do Brasil devido a um aquecimento das águas da costa da Bahia entre fevereiro e abril, em razão da evolução do El Niño no Oceano Pacífico. Níveis superiores a 50% de colônias branqueadas foram atingidos e as espécies *Montastrea cavernosa*, *Siderastrea stellata*, *Mussismilia braziliensis* foram as mais afetadas. Foram levantados dados de três localidades: Bahia de Todos os Santos, Ilha de Tinharé e Abrolhos (Kikuchi, 2003).

Neste episódio, as anomalias significativas de temperatura iniciaram na costa brasileira no dia 15 de fevereiro de 2003. Um valor acima de 1°C (considerado necessário para se evidenciar o branqueamento) foi obtido em Abrolhos em fevereiro e em Tinharé em março. Na Bahia de Todos os Santos o máximo obtido foi de 0,75 °C no final de março e no início de abril. Neste ano, o branqueamento foi moderado e pouco duradouro (Kikuchi, 2003).

3.9. Impacto Humano

Uns dos maiores riscos a vida dos corais são de causas antropogênicas, principalmente quando relacionadas à exploração e produção de petróleo, que envolve vários processos como a perfuração e o escoamento que emitem substâncias tóxicas (Conservation International,2003).

Foi realizada uma pesquisa pela Conservation International e cada etapa da exploração e produção de petróleo foram avaliadas nos ecossistemas marinhos. Entre as várias conseqüências negativas estão: alterações na fisiologia e no comportamento, soterramento destes organismos e envenenamento.

De acordo com o *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) um possível incidente com derramamento de óleo pode causar impactos agudos e crônicos em recifes de

corais. Os corais de colônias massivas são mais resistentes aos impactos que corais com colônias arborescentes e os mais elevados riscos de efeitos letais são atribuídos aos recifes da zona intermarés e recifes de áreas rasas porque estão em contato direto com a mancha de óleo. Efeitos subletais à exposição de óleo afetam muitas funções biológicas normais, porque está relacionada ao incremento no crescimento de macroalgas, redução das taxas de crescimento de corais, redução das taxas de fecundidade, ruptura de tecidos e expulsão prematura de larvas. Esta soma de fatores ocasiona uma redução populacional (Conservation International,2003).

Além da perda biológica também seria uma grande perda socioeconômica se um derramamento ocorresse, pois levaria ao colapso duas das principais atividades econômicas: pesca e turismo. Na Costa do Descobrimento, na Bahia, o turismo gera 27% da receita desta atividade na Bahia e mais de 80.000 empregos diretos e indiretos. Dos turistas que freqüentam a Costa do Descobrimento, 93% estão em busca de atrativos naturais, como os corais, e a degradação destes ambientes naturais poderia descaracterizar o cenário, principal motivador do fluxo turístico (Conservation International, 2003).

Além das atividades relacionadas com a exploração do petróleo, a poluição despejada no mar propicia o crescimento exagerado de algas que está relacionado a eutrofização, e o aparecimento de doenças coralíneas que enfraquecem a resistência da colônia recifal (Barber, 2001).

Segundo Barber (2001), os impactos causados por causa da pesca exagerada e eutrofização são difíceis de resolver pois os recifes se encontram geralmente próximos a áreas de grande desenvolvimento costeiro.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar este projeto foram usados índices mensais da TSM desde o ano de 1950 até 2003. As medições das temperaturas e anomalias foram obtidas através do NOAA e são referentes às seguintes regiões:

- Niño 1+2 (0-10° sul) (90°oeste-80° oeste)
- Niño 3 (5°norte - 5°sul) (150°oeste - 90°oeste)
- Niño 4 (5°norte - 5° sul) (160°leste - 150°oeste)
- Niño 3.4 (5°norte - 5°sul) (170°-120°oeste)
- Atlântico Norte (5-20°norte, 60-30°oeste)
- Atlântico Sul (0-20°sul, 30°oeste-10°leste)
- Trópicos globais (10°sul-10°norte, 0-360)

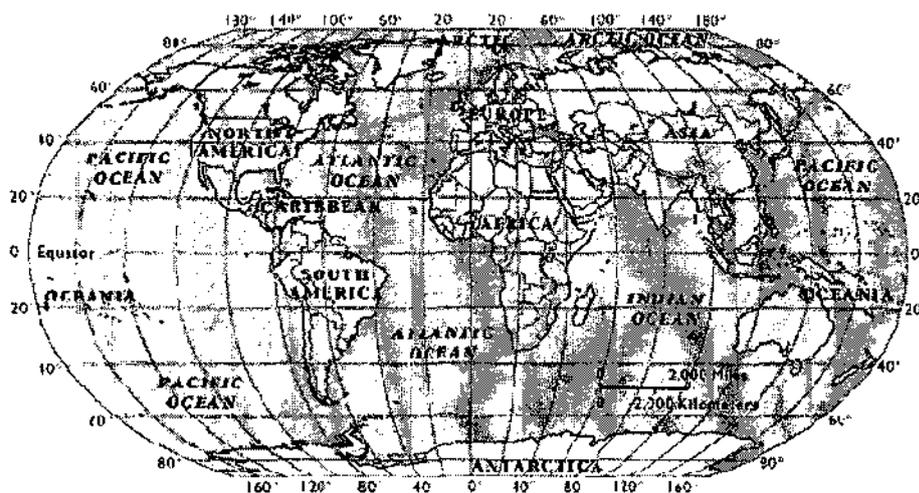


Fig.13. Mapa do globo terrestre <
<http://www.worldatlas.com/atlas/imageg.htm>> acessado
12/12/03.

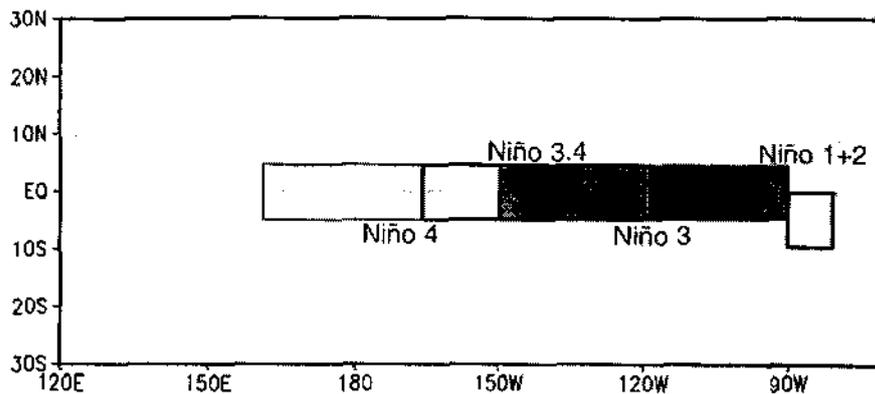


Fig. 14. Ilustração das regiões do El Niño. < <http://www.wxrisk.com/winter200203.htm>> acessado 17/05/04.

4.1 Obtenção dos registros de TSM

Para fazer as medições, o NOAA obtém os registros das TSM e suas anomalias através de satélites de radiômetros infravermelhos, a uma distância de 50 km do campo da superfície do mar. Estes índices são fornecidos duas vezes por semana próximo ao tempo real e são coletadas tanto temperaturas diurnas quanto noturnas. A média mensal da TSM é derivada apenas das observações noturnas porque assim a variação diurna causada pelo aquecimento solar na superfície do mar é eliminada.

As TSMs obtidas in-situ por meio de bóias atracadas ou levadas pela correnteza são usados para remover qualquer erro que possa haver tido na leitura dos dados de satélite e depois as estatísticas referentes a esses valores são reunidas com o tempo. Para obter a TSM de algum dia específico, o método de interpolação linear é aplicado sobre os dois índices mensais de TSM registrados que são mais próximos da data, sendo que o TSM mensal é mais apurado no dia 15 de cada mês. Portanto a interpolação linear é feita baseada no número de dias distantes do dia 15 do mês avaliado.

A anomalia da TSM é calculada através da seguinte equação:

$$\text{Anomalia TSM} = \text{análise TSM} - \text{climatologia interpolada TSM} = \text{fração de dias} \times (b_2 - b_1) + b_1$$

Sendo que a análise de TSM é a informação obtida em tempo noturno a 50 km; b_1 é o primeiro mês do dado climatológico, b_2 é o segundo mês do dado climatológico e a fração de dias é o número de dias entre os dias mais próximos arquivados.

4.1.1 Realização dos gráficos de série temporal

Com estes registros, foram obtidos gráficos referentes às regiões citadas anteriormente da média mensal de TSM do período 1950 até 2003 e dos anos de 1997-1998, quando ocorreu o mais recente e forte evento do El Niño.

Para a obtenção dos gráficos foi feita a média mensal de TSM de todos os anos, desde janeiro de 1950 até dezembro de 2003 a partir dos dados mensais disponibilizados pelo NOAA. Esta média foi feita para todas as regiões.

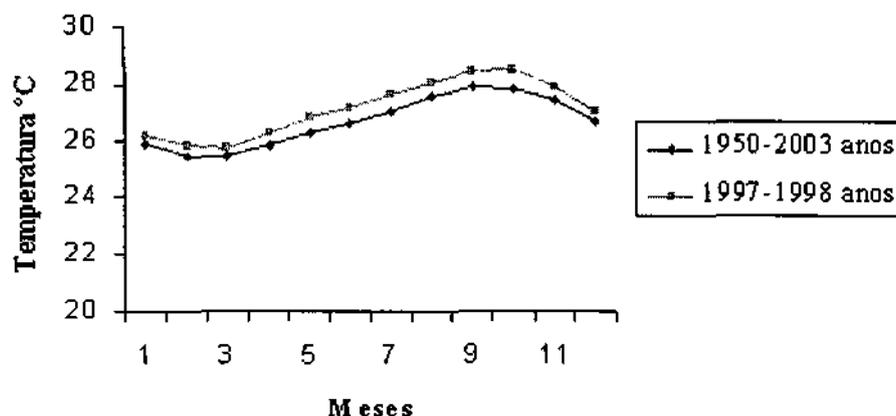
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1. Comparação dos valores estatísticos da TSM entre as regiões analisadas no período 1950-2003.

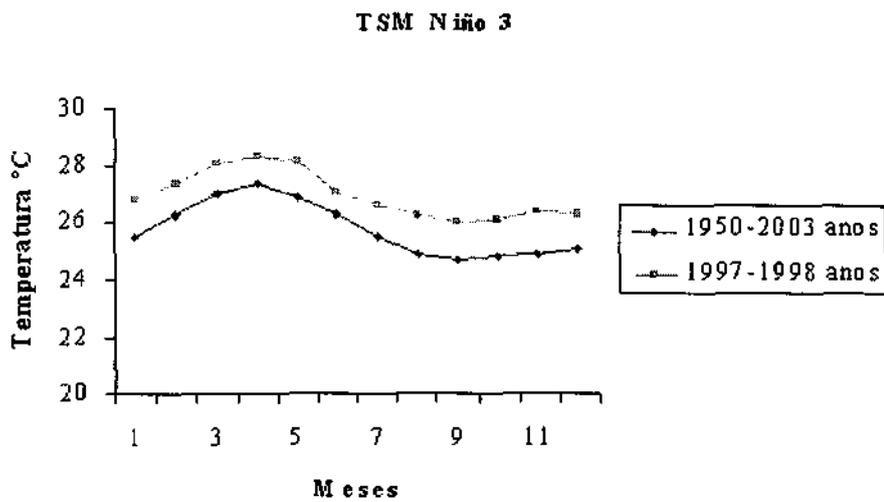
Regiões	Média	Moda	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
TSM NA	26.62	26.56	27.3	24.67	0.3783
TSM AS	24.73	24.61	27.44	23.08	0.5321
TSM TROP	27.56	27.27	29.22	26.36	0.562
TSM NIÑO 1+2	23.03	21.04	29.15	18.8	2.316
TSM NIÑO 3	25.76	26.46	29.14	22.77	1.29
TSM NIÑO 3+4	28.38	28.34	29.83	26.52	0.6888
TSM NIÑO 4	26.94	26.9	29.36	24.27	0.9825

Os dados comparados demonstram que as temperaturas da superfície do mar do Oceano Atlântico são as que menos sofrem variações possuindo os menores desvios padrões em relação as outras regiões isso está relacionado ao baixo impacto do fenômeno do El Niño neste Oceano. A região do Niño 1+2 possui a maior variação sendo justamente a região que compreende o Oceano Pacífico Equatorial, próximo ao Perú, aonde o El Niño inicia a sua formação apresentando maior intensidade. A região do Niño 3 por estar também localizada próxima a região do Perú, também apresenta um acentuado desvio padrão quando comparado com os outros.

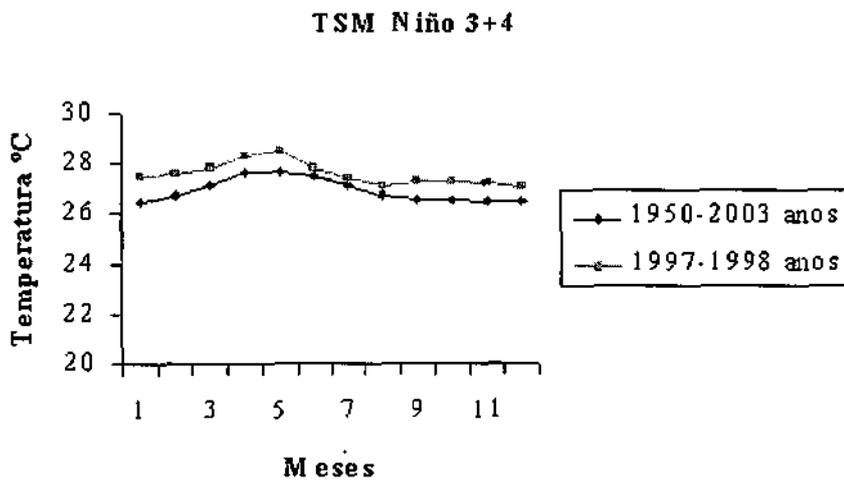
(a) TSM Norte do Atlântico



(e)



(f)



(g)

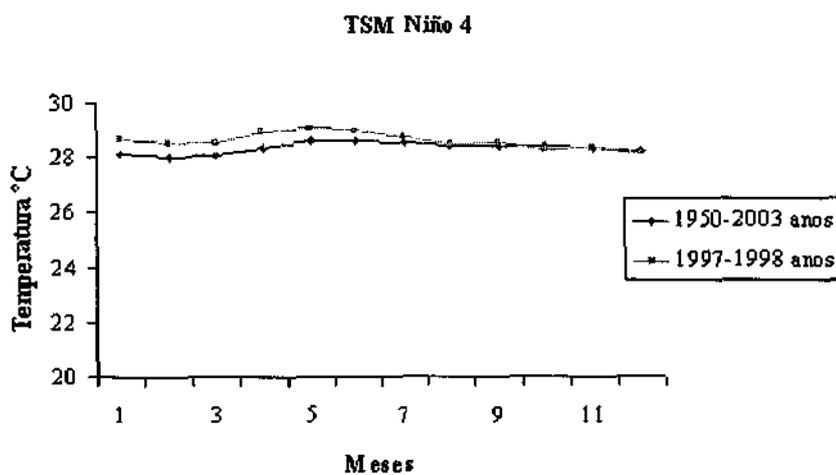
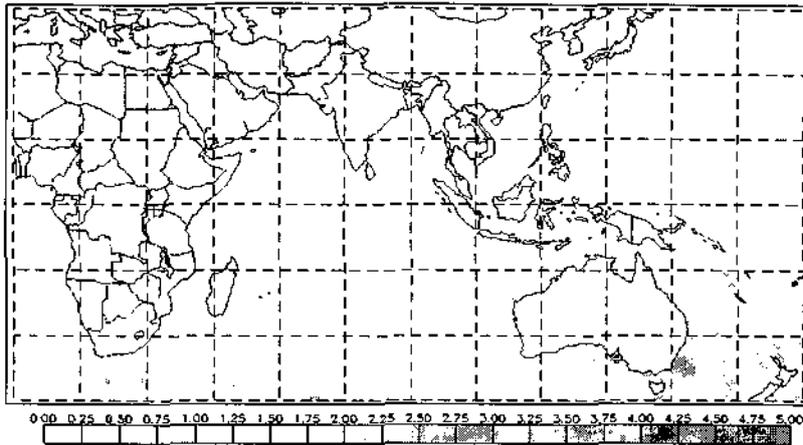


Fig. 15. Gráficos de série temporal, de diferentes regiões do globo, comparando a variação da TSM no período de 1950-2003 com a TSM do período de 1997-1998. (a) Atlântico Sul, (b) Atlântico Norte, (c) Atlântico Tropical, (d) Niño 1+2, (e) Niño 3, (f) Niño 3+4, (g) Niño 4.

Ao observar os gráficos de curvas calculados na fig. 15 nota-se que o TSM das regiões estudadas foram particularmente mais elevados durante o período de 1997-1998 do que a média de TSM dos anos de 1950-2003. Esse aumento da temperatura está ligado ao evento do El Niño, que durante esse período apresentou a maior intensidade registrada desde 1982-1983.

Tanto a curva de 1950-2003 quanto a de 1997-1998 tendem a seguir um mesmo padrão com exceção do El Niño 4 cuja curva atípica pode estar relacionada à presença do fenômeno La Niña que resfria as águas superficiais do mar.

NOAA/NESDIS 50km SST - Maximum Monthly Climatology (C), 3/14/1998



NOAA/NESDIS 50km SST - Maximum Monthly Climatology (C), 3/14/1998

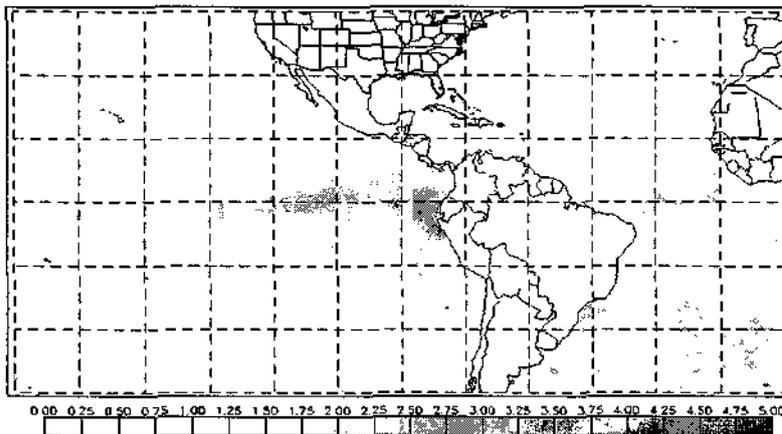


Fig.16. Mapas de hotspots (manchas de calor) da região oriental e ocidental do globo terrestre no dia 14/03/1998. Extraído da home page NOAA-OSDPD <http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST/hotspot_archive/data/hotspot.3.14.1998.gif> acessado 22/10/03

A fig. 16 mostra apenas os hotspots onde a TSM é um grau a mais do que a máxima esperada do verão. A tabela de cor usada mostra as anomalias maiores que 1°C gradativamente de amarelo a vermelho e as anomalias maiores que 0.25°C a 1°C de roxo a azul. A partir da cor amarela significa temperaturas potenciais para causar branqueamento.

Ao observar as figuras e os gráficos gerados nota-se que durante este período de 1997-1998 houve uma intensa elevação da TSM levando a conseqüentes branqueamentos de corais em todo o mundo o que demonstra que apesar de existir outros fatores que possam levar ao branqueamento, a temperatura é um fator determinante para a perda desses organismos.

5.1. Impacto Global

5.1.1. Pacífico Central

De acordo com Reyes-Bonilla (2002), na costa oeste do México em uma região localizada aproximadamente na latitude 29° norte com a longitude -115° oeste, a TSM alcançou 32-34°C dando início a um processo de branqueamento e em novembro de 1997 a TSM baixou para menos de 30°C parando este processo e dando início a recuperação das colônias.

Em 1997, anomalias da TSM acima de 1°C permaneceram por 11 meses (fevereiro a dezembro) na Bahia Banderas e durante 8 meses (março e junho a dezembro) no sul do Golfo da Califórnia.

Devido a estas temperaturas anômalas, a taxa de mortalidade de corais na Península Baja Califórnia ficou de 18% e na Bahia Banderas de 60%. Foi observado morte nos corais branqueados quando a TSM permaneceu por mais de 60 dias a 30°C ou mais.

Após este período, o prospecto de recuperação das colônias branqueadas tem sido positivo e em 1998 não foi observado mortalidade nos corais.

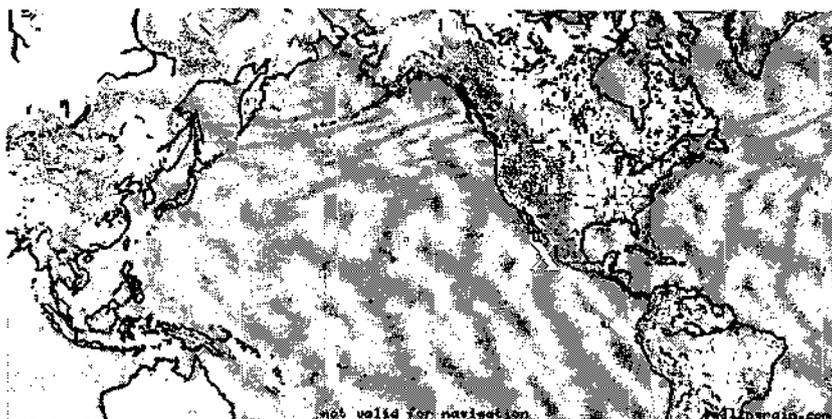


Fig. 16. Região da Península da Baja Califórnia representado por um "X".<
<http://www.calle.com/world/MX/2/>> acessado 17/05/04.

5.1.2. Pacífico Leste

Baird (2002), realizou um experimento para comparar os padrões de resposta de recuperação de 4 espécies de corais da maior TSM ocorrido na Grande Barreira de Recifes de Corais, encontrado aproximadamente na latitude de -16° sul com longitude de 145° leste, na Austrália em janeiro de 1998. O estudo foi realizado em um recife franjeado no lado protegido do vento na Ilha Orpheus e no lado exposto ao vento na Ilha Pelorus. As espécies foram: *Acropora hyacinthues*, *Acropora millepora*, *Platygyra daedalea*, *Porites lobata*.

Os acroporídeos responderam rapidamente ao aumento da TSM, no primeiro censo, 6 semanas após o reporte inicial do branqueamento nesse lugares, todas as colônias de *Acroporas* foram afetadas e a mortalidade foi alta com 70% de colônias de *A. hyacinthues* e 10% de *A. millepora* mortas. Além disso, muitas das colônias sobreviventes foram gravemente afetadas com 80% de *A. hyacinthues* e 30% de *A. millepora* completamente branqueadas.

Em contraste, apenas 60% das colônias de *Platygyra daedalea* foram afetadas e apenas 10% foram completamente branqueadas. A maioria dos *Porites lobata* não sofreram branqueamento com apenas 20% das colônias afetadas.

Depois de 14 semanas, quando o TSM voltou as médias sazonais, a maioria das *Acroporas* sobreviventes foram recuperadas e não houve mais mortalidade registradas em ambas espécies.

A maioria das colônia de *Porites lobata* se recuperou gradualmente. Não houve *P. lobata* completamente branqueada e nenhuma morreu. As colônias de *Platygyra daedalea* levaram muito tempo para recuperar em relação as outras espécies e 60% das colônias continuaram branqueadas por 4 a 6 meses. A primeira colônia inteiramente morta foi registrada na 26ª semana, a segunda na 30ª semana e mais duas foram registradas na 40ª semana.

A mortalidade foi igualmente alta em grandes e pequenas colônias de *Acropora hyacinthus*: 40% das colônias sobreviveram em ambas classes de tamanho. A sobrevivência de *A. millepora* foi independente do tamanho da colônia: 90% das colônias pequenas e 60% das grandes colônias sobreviveram. Similarmente não houve correlação entre o tamanho da colônia e a mortalidade parcial em *Platygyra daedalea*.

A mortalidade foi alta dependendo da gravidade do branqueamento. Todas as colônias de *Acropora hyacinthus* afetadas moderadamente sobreviveram comparada a apenas 25% da colônias gravemente branqueadas:

Similarmente, 92% da colônias moderadamente branqueadas de *A. millepora* sobreviveram comparado a apenas 42% das colônias gravemente branqueadas.

A média da mortalidade parcial de *Platygyra daedalea* aumentou de acordo com o aumento da gravidade do branqueamento e a média da mortalidade parcial foi maior em colônias gravemente branqueadas de *Porites lobata* que nas colônias moderadamente branqueadas

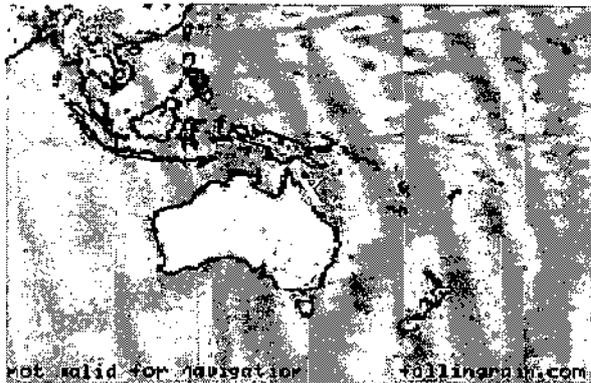


Fig. 17. Região da Austrália onde encontra-se a Grande Barreira de Corais representada por um “X”. < <http://www.calle.com/world/>> acessado 26/05/04.

5.1.3 Oceano Índico

De acordo com Spencer (2000), nas Ilhas de Seychelles localizada aproximadamente a uma latitude de 4° sul com longitude 55° leste, a média mensal da TSM alcança normalmente a temperatura máxima entre fevereiro e abril e a mínima em agosto, porém em 1997-1998 a temperatura excedeu mais de 1°C a temperatura mais alta da média máxima de TSM. E em fevereiro de 1998 a anomalia foi acima de 1.84°C. Durante todo o período de janeiro a abril de 1998, a TSM não ficou menor que 30°C.

Como consequência dessas anomalias, a taxa de corais branqueados e mortalidade foi nas ilhas de St. Pierre/Providence-Cerf de 80%; em Aphonses Atol de 74% e em Aldabra Atol de 41%.

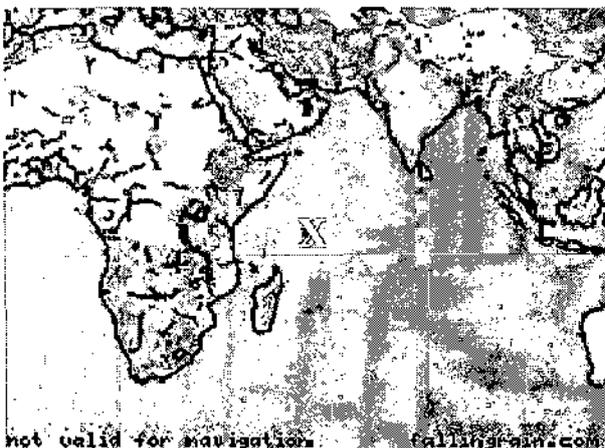


Fig. 18. Região de Seychelles demonstrada por um “X” <http://www.calle.com/world/SE/0/Anse_Boileau.html> acessado 22/05/04.

Na região nordeste da Bahia, entre maio e setembro de 1998 a frequência de colônias branqueadas decaiu e após 6 meses nenhum coral branqueado foi visto e não foi observado mortalidade. Na região de Abrolhos o branqueamento também foi considerável mas não há dados disponíveis de recuperação após este evento.

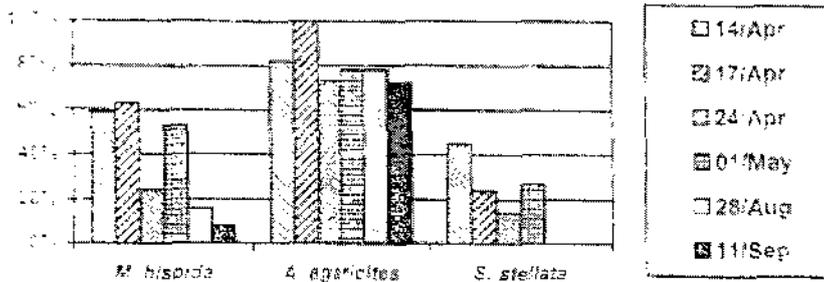


Fig. 20. Observações da frequência de colônias de corais branqueadas, das três principais espécies coralíneas encontradas na costa norte da Bahia em 1998 (Leão,2003) .

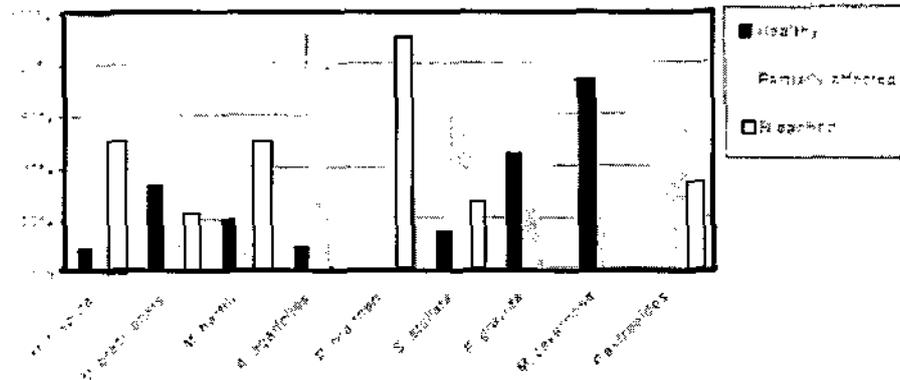


Fig. 21. Observações da frequência de colônias de corais branqueadas, encontradas na região de Abrolhos em 1998 (Leão,2003).

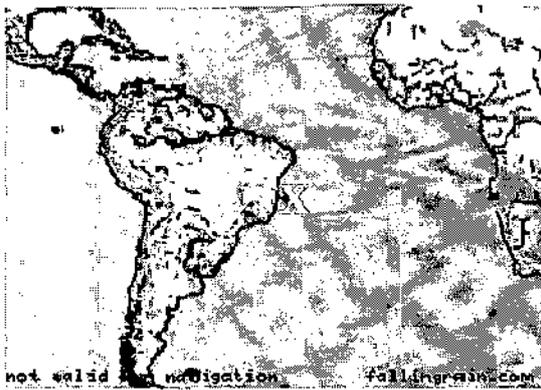


Fig. 22. Região de Abrolhos representado por um "X", no estado da Bahia, Brasil.

5.3. Discussão Geral

Das regiões estudadas, com exceção da região da Bahia no Brasil, todos apresentaram alto grau de branqueamento seguido por mortalidade de algumas espécies. Ao observar o gráfico da TSM (fig. 15) na região do Atlântico Sul nota-se que houve pouca diferença entre a TSM dos anos de 1950-2003 e 1997-1998, resultado de um baixo impacto do El Niño neste Oceano. Essa baixa alteração, além da ausência de mortalidade, levou a um branqueamento de menor nível quando relacionado as outras regiões.

A região de Seychelles, localizada no Oceano Índico, por estar mais próxima às regiões do El Niño, em relação ao Oceano Atlântico, apresentou mortalidade de espécies coralíneas, mas devido à ausência de registros disponíveis não foi possível quantificar a taxa de mortalidade, sendo esta somada à taxa de branqueamento.

Nas regiões localizadas no Pacífico, a mortalidade apresentou uma maior taxa, o que está relacionado com o aumento da TSM nos anos de 1997-1998, cuja diferença entre os anos de 1950-2003 é maior quando comparada com as outras regiões, pois estas localidades encontram-se mais próximas às regiões determinadas pela influência do El Niño.

De todas as localidades estudadas, a área de Baja California no México, encontra-se mais próxima à costa do Perú e, portanto, apresenta uma maior proximidade com a região El

Niño 1+2 e El Niño 3. Nesta área a mortalidade foi mais alta quando comparada com as informações existentes sobre o mesmo período em Seychelles e Bahia.

Os corais da Grande Barreira de Corais, Austrália, encontram-se próximos à região do El Niño 4 e quando comparados com a região de Seychelles e Bahia também apresentaram uma maior taxa de branqueamento e mortalidade.

6. CONCLUSÕES

Os recifes de coral são muito importantes para a sobrevivência humana, especialmente nos países em desenvolvimento, pois provém meios de alimentação para uma grande parte da população. Em ilhas tropicais, servem como estrutura de proteção da costa contra as ondas e contribuem com a economia devido ao turismo. Além disso, os recifes de corais fornecem habitats para grande parte da diversidade biológica marinha do mundo que dependem deste ecossistema para se alimentar, reproduzir, refugiar, entre outras atividades.

Embora existam outros fatores que possam estar relacionados ao branqueamento de corais, a anomalia térmica positiva da TSM parece ter uma estreita relação com este fenômeno, sendo provavelmente o seu principal fator causador. A TSM é fortemente influenciada pelo El Niño, e durante os anos de 1997-98 houve um grande número de corais branqueados em todo o mundo devido ao mais recente e forte El Niño que alterou os padrões de circulação atmosférica.

Por serem os corais sensíveis ao estresse térmico, eles sofrem um sério risco de desaparecer caso não se adaptem às novas condições proporcionadas pelo aquecimento global.

Apesar de não haver como evitar o fenômeno El Niño, assim como prevenir o aquecimento das águas e, conseqüentemente deter o branqueamento de corais, o estudo das espécies coralíneas deve ser incentivado para que se possa compreender melhor a resposta destes organismos ao branqueamento, assim como também deve ser incentivada a criação de mais áreas de proteção aos recifes de coral sendo assim possível mitigar o impacto negativo do branqueamento ao identificar e controlar as respostas dos corais aos diferentes tipos de impactos e aumentar a capacidade do recife de se recuperar ao manter as condições ótimas para o recrutamento em áreas comprometidas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, A.H.; MARSHALL, P.A. 2002. Mortality, growth and reproduction in scleratinian corals following bleaching on the Great Barrier Reef. *Marine Ecology Progress Series*. 237: 133-141.

BARNES, R.D. & RUPERT, E.E. 1990. *Zoologia dos Invertebrados*. 4 ed. São Paulo, Ed. Roca, 1029p.

BARNES, R.D. & RUPERT, E.E. 1996. *Zoologia dos Invertebrados*. 6 ed. São Paulo, Ed. Roca, 1029p.

BARBER, R.T. et al. 2001. The changing health of coral reefs. *Human and Ecological Risk Assessment*. 7(5):1255-1270.

CASTRO, C.B. 1999. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da zona costeira e marinha [on line]. <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/recifes/introducao>> Jul.2003.

CASTRO, C.B., PIRES, O. D. O. 1999, A bleaching event on a Brazilian coral reef. *Rev. bras. oceanogr.* 47 (1): 87-90.

CONSERVATION INTERNATIONAL, 2003. Avaliação de impactos da exploração e produção de hidrocarbonetos no Banco dos Abrolhos e adjacências.117p.

DOUGLAS, A.E. 2003. Coral bleaching - how and why?. *Marine Pollution Bulletin*. 46: 385-392.

DUTRA, L.X.C. et al.1999. Coral bleaching at Bahia's north coast, Brazil. VII Congresso da ABEQUA. 1-2.

DUTRA, L.X.C., 2000. O branqueamento de corais hermatípicos no litoral norte da Bahia associado ao evento El Niño/98. Universidade Federal da Bahia.86p.

GARDNER, T. A. et al. 2003. Long Term Region-Wide Declines in Caribbean Corals. *Science* 301: 958-960.

HUGHES, T.P. et al. 20003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science*. 301: 929-933.

KIKUCHI, R.K.P. et al. 2003, Branqueamento de corais nos recifes da Bahia associados aos efeitos do El Niño 2003. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.1-3.

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. *Elsevier* 211:29-67.

LOUGH, J.M. 2000. 1997-98: Unprecedented thermal stress to coral reefs?. *Geophysical Research Letters*. 27(23): 3901-3904.

MASSEL, S. 2001. Wavelet analysis for processing of ocean surface wave records. *Ocean Engineering*.28: 957-987.

MORIMOTO, M. et al.2002. Salinity records for the 1997-98 El Niño from western Pacific.*Geophysical Research Letters*. 29 (11): 1-4.

OLIVEIRA, G.S. 2001. O El Niño e você: o fenômeno climático. São José dos Campos, SP. ed. Transtec. 116p.

PANDOLFI, J.M. et al. 2003, Global Trajectories of the Long-Term Decline of Coral Reef Ecosystem. *Science*. 301: 955-958.

SPENCER, T. et al. 2000. Coral Bleaching in the Southern Seychelles During the 1997-1998 Indian Ocean Warm Event. *Marine Pollution Bulletin*.40 (7): 569-586.

STONE, L. et al. 1999. Mass Coral Reef Bleaching: A Recent Outcome of Increased El Niño Activity?. *Ecology Letters*. 2: 325-330.

SVARNEY.T.E.;BARNES-SVARNEY,P.2000.The handy ocean answer book. Farmington Hills, ed. Visible Ink, 570p.

TORRENCE, C.; COMPO, G.P.1998. A practical guide to wavelet Analysis.*Bulletin of the American Meteorological Society*. 79 (1): 61-78.

YENTSCH, C.S. et al. 2002. Sunlight and water transparency: cornerstones in coral research. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 268: 171-183.

WALTHER, G.R. et al. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*. 416: 389-395.

WEST, J.M.; SALM, R.V.2003. Resistance and resilience to coral bleaching implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*. 17(4):956-967.

Sites para consulta:

<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/TSM/methodology.html>

<http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/TSM/climohot.html>

http://www.osdpd.noaa.gov/OSDPD/OSDPD_high_prod.html

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>

<http://www.reefbase.org>

<http://www.reefrelief.org>

<http://gbrmpa.gov.au>

<http://coralreef.no.gov>

<http://www.worldatlas.com/aatlas/imageg.htm>

http://www.osdpd.noaa.gov/PSB/EPS/SST/hotspot_archive/data/hotspote.3.14.1998.gif

<http://www.wxrisk.com/winter200203.htm>

http://www.cptec.inpe.br/enos/Oque_el-nino.shtml

APÊNDICE

O prosseguimento deste projeto estará sendo desenvolvido sob orientação do Dr. Abraham Chian e da Dr.^a Margarete Domingues, ambos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e Dr. Heitor Evangelista, Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) e abordará outra forma de análise de séries temporais utilizando a ferramenta *wavelet* que permite um melhor aproveitamento dos dados.

A.1. *Wavelet*

A análise *wavelet* tem se tornado uma ferramenta comum para a análise de variações em séries temporais. Ao decompor as séries temporais em uma frequência temporal no espaço, é possível determinar tanto o modo dominante de variação quanto o como esses modos variam no tempo. O método *wavelet* tem sido empregado em inúmeros estudos de geofísica principalmente quando associados aos eventos de ENOS (Torrence & Compo, 1998).

Esta técnica é usada para o processamento de sinais, reconhecimento de padrões e compreensão de imagens permitindo o tratamento da energia contida no sinal, em função tanto da dimensão espacial (ou tempo) como da escala do *wavelet* (frequência).

Este método, no entanto, apresenta uma aparente ausência de resultados quantitativos ao produzir quadros ricos em cores oferecendo principalmente resultados qualitativos (Torrence & Compo, 1998).

As *wavelets* são pequenas ondas com determinadas propriedades que as tornam adequadas para servir de base para a decomposição de outras funções. Elas podem ter caráter fractal, e ter padrões que se repetem em escalas diferentes. A análise de sinais com *wavelets* permite a extração de dados coerentes tanto no domínio da frequência quanto no do tempo (ou espaço quando se trata de imagens).

A.1.1. Utilização da ferramenta *wavelet*

Existem vários tipos de *wavelets* que se enquadram para cada tipo de situação requerida. Para a realização desta etapa do projeto será utilizada a *wavelet* de Morlet que representa razoavelmente as variações das séries de parâmetros meteorológicos.

A princípio serão obtidos através do NOAA os valores mensais das anomalias da TSM de cada região desde janeiro de 1950 até dezembro de 2003.

Os resultados das imagens processadas pela *wavelet* serão comparadas com as observações de branqueamento já descritas em artigos.

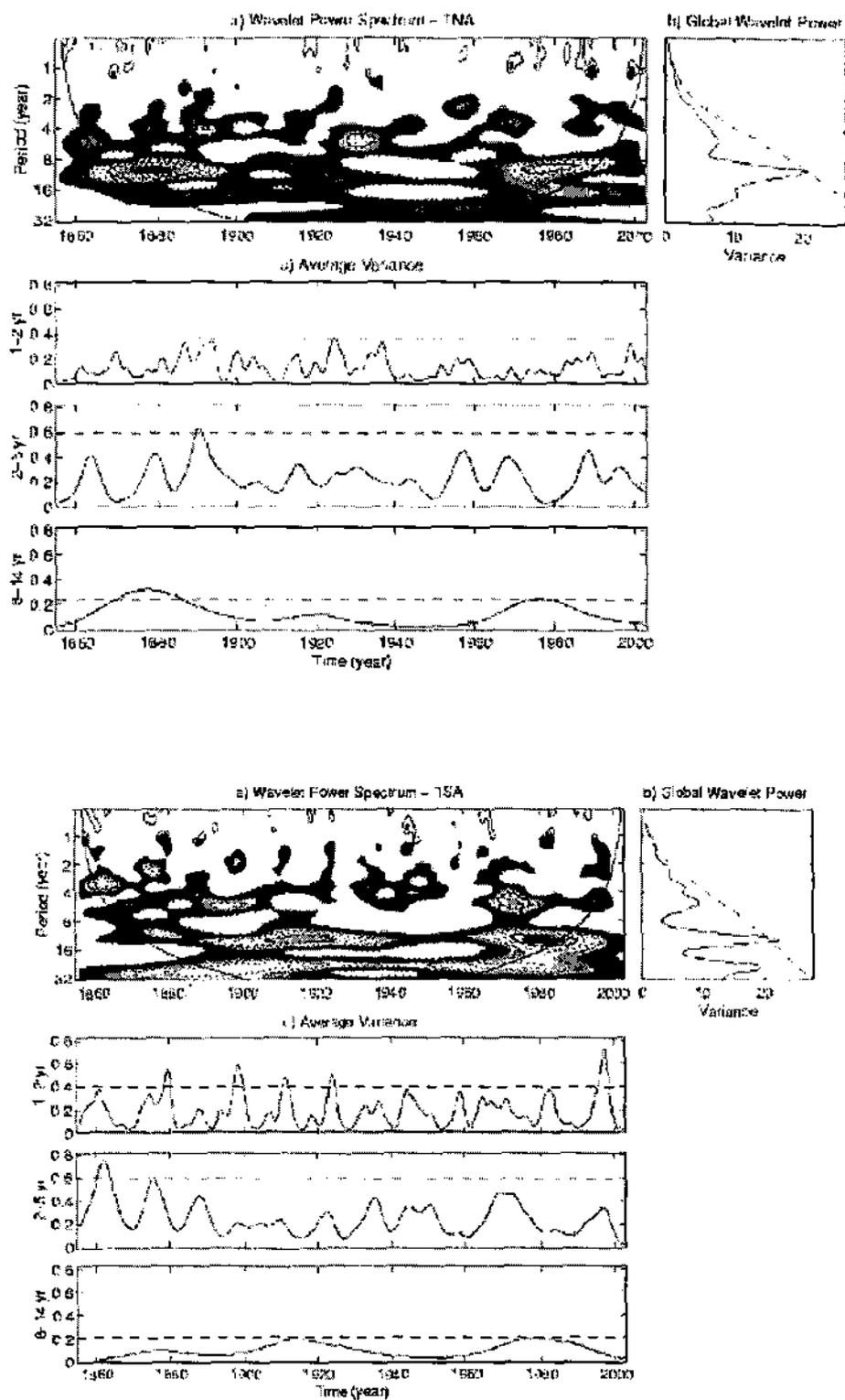


Fig. 23. Exemplos do uso da análise *wavelet* para avaliar a variabilidade climática. Imagens cedidas pela Dr^a. Mary Kayano - INPE.