



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15355-TDI/1391

**UM ESTUDO DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DO
BRANQUEAMENTO DE CORAIS NA PLATAFORMA
LESTE DO BRASIL**

Lilian Anne Krug

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi e José Luiz Stech,
aprovada em 28 de julho de 2008.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/09.24.16.48>>

INPE
São José dos Campos
2008

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15355-TDI/1391

**UM ESTUDO DIAGNÓSTICO E PROGNÓSTICO DO
BRANQUEAMENTO DE CORAIS NA PLATAFORMA
LESTE DO BRASIL**

Lilian Anne Krug

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi e José Luiz Stech,
aprovada em 28 de julho de 2008.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/09.24.16.48>>

INPE
São José dos Campos
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

K936e Krug, Lilian Anne.
Um estudo diagnóstico e prognóstico do branqueamento de corais na plataforma leste do Brasil/ Lilian Anne Krug. – São José dos Campos: INPE, 2008.
138p. ; (INPE-15355-TDI/1391)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

1. Recifes de corais. 2. Branqueamento de corais. 3. Redes bayesianas. 4. Bahia (estado). I. Título.

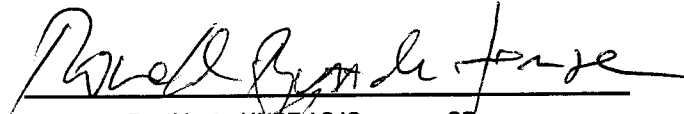
CDU 528.88:551.46(813.8)

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

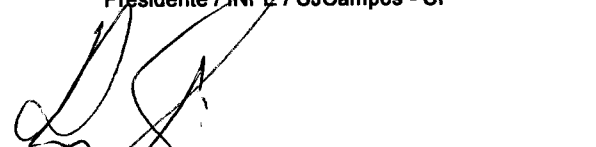
**Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto**

Dr. Ronald Buss de Souza




Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. Douglas Francisco Marcolino
Gherardi



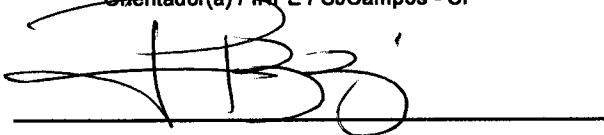
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. José Luiz Stech




Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Luciano Ponzi Pezzi



Convidado(a) / CPTEC/INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Ruy Kenji Papa de Kikuchi



Convidado(a) / UFBA / Salvador - BA

Aluno (a): Lilian Anne Krug

São José dos Campos, 28 de julho de 2008

“In nature we never see anything isolated, but everything in connection with something else which is before it, beside it, under it and over it”.

Johann Wolfgang von Goethe

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Dr. Douglas Gherardi e Dr. José Stech, pela oportunidade, confiança, incentivo, empenho e disponibilidade integral;

Aos colegas do Laboratório de Estudos de Processos da Hidrosfera (o *Aquário*), Fred, Camilinha, Dri, WLins, Ennerênio, Vivs, Edu, Renatinha e Ariana pelos momentos de descontração e de concentração, pelo espírito de equipe e união. Em especial, agradeço à Mari Soppa pela amizade, pelas discussões e colaborações que tanto acrescentaram a este trabalho;

À Dra. Zelinda Leão, Dr. Ruy Kikuchi e Dra. Marília Oliveira, por compartilharem seus conhecimentos sobre os recifes de corais da Bahia e auxílio com os dados de branqueamento;

Aos pesquisadores Dr. Ronald Souza, Dr. Luciano Pezzi, Dr. Marco Caetano, MSc. Gabriel Pereira, MSc. Egídio Arai, MSc. Marcos Adami, MSc. Ramon Freitas, MSc. Mariana Soppa, MSc. Gustavo Moller, MSc. Eduardo Maeda e Eng. Cláudio Almeida agradeço pelo auxílio nos *softwares* e rotinas utilizadas neste trabalho;

À CAPES pelo auxílio financeiro; À Pós-Graduação do curso de Sensoriamento Remoto, em especial à Etel Renó, Vera Fontes e Lucas Lima pela atenção e capricho dispensado aos alunos.

Aos amigos da turma de 2006 de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, minhas 'irmãs' e companheiras de casa Vanessa, Caroline, Ariana e Nara, e tantos outros amigos que fizeram destes anos os meus melhores.

Finalmente, agradeço à minha família pelo amor incondicional, em especial, meus pais, Osmar e Roseli Krug, por acreditarem e viabilizarem meus estudos e por serem meu exemplo maior de determinação e amor à profissão e ao aprendizado.

RESUMO

O equilíbrio de todo o ecossistema no entorno dos recifes de corais depende das zooxantelas, microalgas simbióticas que habitam os tecidos dos corais. Sob condições de estresse os corais hospedeiros expulsam as zooxantelas ou estas têm seus pigmentos fotossintetizantes reduzidos, em um fenômeno denominado branqueamento. O estresse pode ser desencadeado por alterações no ambiente e implica em severas alterações do metabolismo do coral podendo induzir à morte. O presente estudo tem como objetivo relacionar variáveis atmosféricas e oceanográficas adquiridas por sensoriamento remoto, análise e reanálises com o branqueamento registrado na costa do Estado da Bahia e modelar esta relação por meio de redes bayesianas, as quais permitem trabalhar com incertezas fornecendo probabilidades. Realizou-se uma caracterização das principais áreas recifais do Estado a partir da construção e análise da amplitude de variação de variáveis importantes no desenvolvimento dos corais: precipitação, coeficiente de atenuação da luz na coluna d'água a 490 nm (K_{490}), vento resultante e suas componentes na superfície do mar e máxima temperatura da superfície do mar (TSM). A natureza complexa do padrão de branqueamento foi evidenciada a partir de análises estatísticas. Foi detectado um efeito combinado significativo ($R=0,65$; $p<0,01$) da localização do recife e da intensidade do branqueamento na diferenciação das condições ambientais responsáveis pelo branqueamento. A rede construída relaciona o branqueamento com variáveis locais, intensidade do vento resultante na superfície do mar e com o evento de impacto global *El Niño* - Oscilação Sul (ENOS) sendo a persistência temporal de valores elevados de TSM a variável mais influente na intensidade do fenômeno. A rede apresentou uma taxa de acerto de 83%, sendo capaz de reproduzir satisfatoriamente os casos de branqueamento com os quais foi ensinada. Os resultados deste trabalho acrescentam informações a respeito dos recifes de corais e a ameaça a qual estão sujeitos, contribuindo para a compreensão deste sistema ecológico e podendo também ser útil aos tomadores de decisão em relação ao manejo, monitoramento e a conservação do ambiente recifal.

A DIAGNOSTIC AND PROGNOSTIC STUDY OF CORAL BLEACHING ON THE EASTERN BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF

ABSTRACT

The ecosystem surrounding coral reefs depends on healthy zooxanthellae, symbiotic microalgae that live in coral tissues. Under stressful conditions, the host corals expel the zooxanthellae or they have their photosynthetic pigments diminished, in a phenomenon called bleaching. The stress can be induced by environmental changes and results in severe impacts on coral metabolism, sometimes leading to death. The present study aims at connecting atmospheric and oceanographic data, obtained from remote sensing, analysis and reanalysis, with bleaching events along the Bahia State Coast and to model this relation using Bayesian networks (BN). The BN is capable of handling uncertainties by assigning conditional probabilities to variables. A characterization of the main reef areas was performed based on the construction and analysis of the variation amplitudes of relevant variables to coral health: rain precipitation, diffuse attenuation coefficient at 490 nm (K_{490}), wind fields at sea surface and maximum sea surface temperature. The complex nature of bleaching pattern was evident in the multivariate analyses. It has been detected a significant ($R=0,65$; $p<0,01$) compounding effect of reef location and bleaching intensity on the differentiation of environmental conditions leading to coral bleaching. The constructed BN connected bleaching events to thermal variables, resultant wind intensity and *El Niño* Southern Oscillation (ENSO) event. The BN indicates that temporal persistence of high SST values is the most influent variable on the bleaching intensity. The BN presented a predictive rate of 83%, being capable of satisfactorily learn the bleaching conditions from data. The results from this work improve our understanding of this ecological system and presents a framework from which coral bleaching can be predicted from environmental data. This has positive implications on the management, monitoring and conservation of the Brazilian reef environments.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

LISTA DE SÍMBOLOS

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Objetivos.....	28
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	29
2.1	Recifes de coral e o fenômeno do branqueamento.....	29
2.1.1	Corais e hidrocorais.....	29
2.1.2	Recifes de corais.....	31
2.1.3	Branqueamento de corais.....	33
2.1.3.1	Previsão de branqueamento de corais.....	38
2.2	Redes bayesianas.....	42
2.2.1	Construção da estrutura da rede.....	44
2.2.2	Aprendizado das probabilidades.....	45
2.3	Sensoriamento Remoto, Análise e Reanálises.....	46
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.1	Área de estudo.....	49
3.2	Variabilidade ambiental.....	51
3.3	Materiais.....	54
3.3.1	Dados ambientais	54
3.3.1.1	Temperatura da superfície do mar (TSM).....	54
3.3.1.2	Coeficiente de atenuação da luz difusa no comprimento de onda de 490 nm.....	55
3.3.1.3	Precipitação.....	57
3.3.1.4	Vento na Superfície do Mar.....	57
3.3.2	Índices de ENOS.....	57

3.3.3	Dados de branqueamento.....	59
3.4	Métodos.....	61
3.4.1	Cálculo das variáveis ambientais.....	61
3.4.1.1	Máxima temperatura da superfície do mar.....	62
3.4.1.2	Temperatura da superfície do mar acumulada em cinco dias.....	63
3.4.1.3	Média do coeficiente de atenuação da luz em 490 nm	64
3.4.1.4	Média da precipitação.....	64
3.4.1.5	Médias da magnitude do vento e de suas componentes zonal e meridional.....	64
3.4.2	Análise por Componentes Principais.....	65
3.4.3	Análises multivariadas de similaridade.....	66
3.4.3.1	Escalonamento multidimensional não paramétrico (EMD).....	66
3.4.3.2	Agrupamento hierárquico.....	67
3.4.3.3	Análise de similaridade (ANOSIM).....	67
3.4.4	Redes Bayesianas.....	68
3.4.4.1	Estrutura das redes.....	69
3.4.4.2	Dependências das redes.....	71
4	RESULTADOS.....	75
4.1	Caracterização ambiental.....	75
4.1.1	Variabilidade de verão dos parâmetros ambientais.....	75
4.1.2	Similaridade entre áreas recifais.....	79
4.1.3	Similaridade entre casos de branqueamento.....	82
4.2	Previsão de branqueamento.....	85
5	DISCUSSÃO.....	97
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
	APÊNDICE A.....	119
	APÊNDICE B.....	124
	APÊNDICE C.....	131

LISTA DE FIGURAS

2.1 –	Estrutura de um pólipó em A) corte longitudinal e B) corte transversal.....	29
2.2 –	Localização dos principais recifes de corais do mundo (em vermelho).....	32
2.3 –	Unidades de Conservação que abrangem corais e recifes de corais do Brasil. Em azul, os limites das UCs e em vermelho as manchas recifais ao longo da costa.....	33
2.4 –	Colônias A) de coral completamente e B) de hidrocoral parcialmente branqueadas.....	34
2.5 –	A) Mapa do sistema de alerta <i>Coral Bleaching HotSpot</i> de 14/04/98 baseado na anomalia de TSM em relação a climatologia da máxima TSM mensal e B) <i>Degree Heating Week</i> de 30/04/98, índice cumulativo do <i>Coral Bleaching HotSpot</i> sobre um período de 12 semanas ininterruptas.....	40
2.6 –	Rede Bayesiana para estudo de branqueamento dos corais da Grande Barreira de Corais na Austrália.....	42
2.7 –	Ilustração de um grafo de rede Bayesiana.....	43
3.1 –	As principais áreas de recifes da costa da Bahia e os bancos Royal Charlotte e Abrolhos. As áreas 6 a 8 estão destacadas no quadrado.....	49
3.2 –	Sistemas de alta (tons de verde) e baixa (tons de vermelho) pressão atmosférica ao nível médio do mar no Oceano Atlântico Sul. A linha vermelha representa a posição aproximada da Zona de Convergência Intertropical.....	51
3.3 –	Séries temporais dos índices de ENOS para os verões (fevereiro, março e abril) do período de 1993 a 2005. A) Sem defasagem e B) Com defasagem.....	59
3.4 –	Limites e características das áreas utilizadas no estudo. LN = Litoral Norte, BTS = Desembocadura da Baía de Todos os Santos, T/B = Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu, CAB = Região da Cabralia, ITA = Recifes de Itacolomis, ABC = Arco Costeiro dos Abrolhos e PAB = Parcel e Arquipélago dos Abrolhos.....	62
3.5 –	Esquema de construção das imagens de verão da variável Máxima Temperatura da Superfície do Mar (MaxTSM).....	63
3.6 –	Esquema de construção das imagens de verão da variável Temperatura da Superfície do Mar Acumulada em 5 dias (TSMac5d).....	64
3.7 –	Esquema de desenvolvimento do trabalho.....	74
4.1 –	Mapas das Primeiras Componentes Principais. A) Máxima Temperatura da Superfície do Mar; B) Coeficiente de Atenuação da luz a 490 nm; C) Precipitação; D) Vento; E) Componente zonal do vento; F) Componente meridional do vento.....	76
4.2 –	<i>Loadings</i> das 1 ^a CPs das variáveis A) Máxima temperatura da superfície do mar e coeficiente de atenuação da luz a 490 nm; B) Vento e sua componente zonal; C) precipitação e componente meridional do vento.....	77
4.3 –	Segunda Componente Principal da série de Coeficiente de atenuação da luz em 490 nm.....	79
4.4 –	<i>Loading</i> das Primeira e Segunda Componentes Principais da série de Coeficiente de atenuação em 490 nm.....	79

4.5 –	A) Mapa de EMD e B) dendrograma de similaridade entre as áreas recifais de acordo com a variabilidade interanual de MaxTSM e K_{490} . Medida de Bray-Curtis.....	80
4.6 –	A) Mapa de EMD e B) Dendrograma de similaridade entre as áreas recifais de acordo com a presença e ausência das principais espécies de corais e hidrocorais. Medida de Bray-Curtis.....	82
4.7 –	A) Mapa de EMD e B) Dendrograma de similaridade dos casos de branqueamento registrados na Bahia. Medida de Bray-Curtis.....	84
4.8 –	Estrutura inicial da RB com todas as variáveis utilizadas a partir da tabela Branqueamento.....	86
4.9 –	Estrutura inicial da RB com todas as variáveis utilizadas a partir da tabela completa.....	87
4.10 –	A) Rede Bayesiana 1 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.....	88
4.11 –	A) Rede Bayesiana 2 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.....	89
4.12 –	A) Rede Bayesiana 3 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.....	89
4.13 –	A) Rede Bayesiana 4 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.....	89
4.14 –	Sensibilidade do nó branqueamento no estado A) forte, B) fraco e C) ausente a alterações individuais nos demais nós da RB 3.....	94

LISTA DE TABELAS

2.1 –	Lista de espécies de corais e hidrocorais brasileiros.....	31
3.1 –	Características dos dados de sensoriamento remoto, análise e reanálises utilizados no estudo.....	54
3.2 –	Dados dos casos de branqueamento utilizados no trabalho. LN = Litoral Norte, BTS = Desembocadura da Baía de Todos os Santos, T/B = Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu, CAB = Região da Cabrália, ITA = recifes de Itacolomis, ABC = Arco Costeiro dos Abrolhos e PAB = Parcel e Arquipélago dos Abrolhos.....	60
3.3 –	Ocorrência das principais espécies de corais e hidrocorais por área. LN = Litoral Norte, BTS = Desembocadura da Baía de Todos os Santos, T/B = Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu, CAB = Região da Cabrália, ITA = recifes de Itacolomis, ABC = Arco Costeiro dos Abrolhos e PAB = Parcel e Arquipélago dos Abrolhos.....	61
4.1 –	Características das variáveis.....	75
4.2 –	Médias dos autovetores da 1ªCP da Máxima TSM e do Coeficiente de atenuação (K_{490}) para as sete áreas recifais.....	80
4.3 –	Resultado dos testes de ANOSIM para agrupamento das áreas.....	81
4.4 –	Dados de todos os casos de branqueamento registrados. As unidades das variáveis são: °C para MaxTSM e TSMac5d; m^{-1} para K_{490} ; m/s para W , (U) e (V); mm/dia para PPT.....	83
4.5 –	Resultados da ANOSIM para os casos de branqueamento.....	84
4.6 –	Resultados da ANOSIM para o agrupamento dos registros de branqueamento de intensidade fraca (Fr) e intensidade forte (Fo) nas áreas recifais do norte (LB e BTS), centro (T/B e ITA) e sul (ABC e PAB).....	85
4.7 –	Estados dos nós utilizados nas Redes Bayesianas.....	91
4.8 –	Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 1.....	92
4.9 –	Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 2.....	92
4.10 –	Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 3.....	92
4.11 –	Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 4.....	92

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

1 ^a CP	Primeira componente principal
2 ^a CP	Segunda componente principal
ABC	Arco costeiro dos Abrolhos
Abr.	Abril
AC	Água Costeira
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
ACP	Análise por Componentes Principais
AGRRA	<i>Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment</i>
ANOSIM	Análise de Similaridade
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
AT	Água Tropical
AVHRR	<i>Advanced Very-High Resolution Radiometer</i>
BNPC	<i>Belief Network Power Constructor</i>
BSST	<i>Best Sea Surface Temperature</i>
BTS	Desembocadura da Baía de Todos os Santos
CAB	Região de Cabrália
CB	Corrente do Brasil
CBA	Complexo Recifal dos Abrolhos
CDC	<i>Climate Diagnostics Center</i>
CMAP	<i>Merged Analysis of Precipitation</i>
CNB	Corrente do Norte do Brasil
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CP	Componente Principal
CPC	<i>Climate Prediction Center</i>
CSE	Corrente Sul Equatorial
DHW	<i>Degree Heating Week</i>
EMD	Análise não-paramétrica de escalonamento multi-dimensional
ENOS	<i>El Niño</i> Oscilação Sul
Fev.	Fevereiro

GAO	Grafo Acíclico Orientado
GAO-fiel	Grafo Acíclico Orientado Fiel
GBC	Grande Barreira de Corais, Austrália
GSFC	<i>Goddard Space Flight Center</i>
IC	Teste de Independência Condicional
ITA	Recifes de Itacolomis
IYOR	<i>Internacional Year of Reefs</i>
LN	Litoral Norte
Mar.	Março
<i>Max3day</i>	<i>Maximum three-day run of summer SST</i>
MaxTSM	Máxima temperatura da superfície do mar
MDS	<i>Multi-dimensional scaling</i>
MEI	<i>Multivariate El Niño Southern Oscillation Index</i>
MEI_7m	<i>Multivariate El Niño Southern Oscillation Index</i> defasado em 7 meses
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NODC	<i>National Oceanographic Data Center</i>
ONI	<i>Oceanic Nino Index</i>
ONI_8m	<i>Oceanic Nino Index</i> defasado em 8 meses
PAB	Parcel e Arquipélago dos Abrolhos
PPT	Precipitação
Primer	<i>Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research</i>
Pro-Abrolhos	Produtividade, Sustentabilidade e Utilização do Ecossistema do Banco dos Abrolhos
RB	Rede Bayesiana
Sea-WiFS	<i>Sea-viewing Wide Field of View Sensor</i>
SOI	<i>Southern Oscillation Index</i>
SOI_8m	<i>Southern Oscillation Index</i> defasado em 8 meses
T/B	Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu
TPC	Tabela de probabilidade condicional
TSM	Temperatura da Superfície do Mar

TSMac5d	Máxima temperatura da superfície do mar acumulada em cinco dias
UC	Unidade de Conservação
UV	Radiação ultra violeta
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Conjunto de arcos de uma rede Bayesiana
d_{jk}	Índice de similaridade medida por Distância Euclidiana
K_{490}	Coefficiente de atenuação da luz difusa no comprimento de onda de 490 nm
N	Conjunto de nós de uma rede Bayesiana
p	Nível de significância
R	Coefficiente da análise de similaridade
$S_{ii'}$	Índice de similaridade medida por Bray-Curtis
Θ	Conjunto de tabelas de probabilidade condicional de uma rede Bayesiana
(U)	Componente zonal do vento
(V)	Componente meridional do vento
W	Magnitude do vento resultante

1 INTRODUÇÃO

Os recifes de corais são fontes de biodiversidade, produtividade, recursos pesqueiros, matéria prima farmacológica e são fundamentais na proteção do litoral à erosão. Isto os torna um dos ecossistemas marinhos mais valiosos em termos de importância biológica e geração de renda. Tal ecossistema só é possível devido à habilidade única dos corais de produzirem estruturas resistentes que servem de habitat para todos os outros organismos do recife. Esta capacidade, por sua vez, depende da manutenção de populações saudáveis de microalgas simbióticas, chamadas zooxantelas, em seus tecidos (GOREAU E HAYES, 2005).

Em condições de estresse como aquelas causadas por variações bruscas nas condições ambientais, as zooxantelas são expulsas e/ou perdem parte de seus pigmentos fotossintetizantes, reduzindo a coloração dos corais e deixando transparecer seus esqueletos carbonáticos brancos, daí o termo branqueamento (*bleaching*). Estes casos ocorrem em condições pontuais como respostas a eventualidades, tais como passagens de furacões ou prolongados períodos de marés baixas (o que causa exposição direta ao sol). Porém, a partir da década de 1980, branqueamentos de grande escala espacial vêm sendo observados com maior frequência.

Alterações de precipitação, vento, transparência da água e especialmente na temperatura da camada superficial da coluna d'água são os fatores listados como principais causadores de branqueamento (BROWN, 1997). Segundo GLYNN (1993), um ambiente altamente propício ao branqueamento une condições de calma (ventos fracos), baixa turbidez na coluna d'água e sem nebulosidade, o que possibilita uma alta penetração de radiação solar e um maior aquecimento da água.

O branqueamento dos corais é uma das ameaças decorrentes das recentes alterações ambientais destacadas pela comissão do Ano Internacional dos Recifes (*International Year of Reefs – IYOR*). Esta comissão elegeu 2008 o ano em que será encorajado um esforço global para aumentar a compreensão destes ecossistemas e de suas ameaças, bem como respaldar esforços visando à conservação, à pesquisa e ao gerenciamento destes ecossistemas (IYOR, 2008).

Em comunhão a este engajamento, um conjunto de dez instituições de pesquisas brasileiras iniciou, em 2005, o projeto Produtividade, Sustentabilidade e Utilização do Ecossistema do Banco dos Abrolhos (Pro-Abrolhos) em resposta ao edital Institutos do Milênio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O principal objetivo do Pro-Abrolhos é a investigação do funcionamento e da manutenção do ecossistema marinho localizado sobre o Banco de Abrolhos, com vistas à compreensão e ao gerenciamento racional dos recursos biológicos. No Banco dos Abrolhos, encontra-se o Complexo Recifal dos Abrolhos, local de maior concentração de recifes de corais e de maior taxa de endemismo de espécies coralíneas do Oceano Atlântico Sul. Um dos objetivos específicos do Pro-Abrolhos é estudar e modelar o fenômeno do branqueamento em seus recifes.

O Complexo Recifal dos Abrolhos está localizado na porção leste da plataforma continental brasileira, a qual se restringe à costa do Estado da Bahia ($11^{\circ}27'$ a $18^{\circ}20'$ S e $37^{\circ}20'$ a $39^{\circ}40'$ W). Em uma extensão de cerca de 800 km, na costa da Bahia são encontrados bancos de recifes próximos à linha de costa, recifes de franja margeando ilhas, bancos isolados de todos os tamanhos e “chapeirões” (LEÃO et al., 2003a). Predominantemente entre os meses de fevereiro a abril, entre os anos 1993 e 2005, diferentes trabalhos relataram eventos de branqueamento em recifes da região, geralmente associando-os a elevações na temperatura da água acima do comum (CASTRO E PIRES, 1999; CEPEMAR, 2005; LEÃO et al., 2008).

A compreensão mecanicista/determinista dos processos climáticos que desencadeiam as condições de estresse e o branqueamento dos corais pode nunca ser alcançada devido ao número elevado de relações e níveis de complexidade. Em contrapartida, a capacidade de previsão do branqueamento dos corais pode auxiliar os tomadores de decisão no trabalho de manutenção da integridade, qualidade e produtividade dos recifes de corais. Uma forma de superar este paradoxo é por meio da utilização de modelos preditivos que sejam capazes de incorporar as evidências observadas e as incertezas inerentes às medidas realizadas nos sistemas. Modelos que traduzam estas relações podem ser utilizados para alertar quando a probabilidade de ocorrência de branqueamento, em resposta às condições ambientais se tornarem críticas.

Para que se possa aplicar a estratégia de modelagem proposta acima é necessário realizar um diagnóstico das relações entre o clima e o branqueamento que permita o armazenamento de evidências do fenômeno. Como raramente se dispõe de dados coletados *in situ*, a utilização de dados de sensoriamento remoto, análises e reanálises tornaram-se elementos importantes no estudo do funcionamento dos ecossistemas marinhos. Por adquirirem informações de modo sinóptico e em alta frequência temporal, ajudam a entender o papel das alterações ambientais na frequência e intensidade dos eventos de branqueamento. Além disso, têm a vantagem de fornecer informações de baixo custo e são facilmente disponíveis quando comparadas com a aquisição de dados coletados *in situ*. Diversos trabalhos utilizaram dados baseados em temperatura da superfície do mar (TSM) coletadas por satélite para relacionar com o fenômeno de branqueamento (BROWN, 1997; MIGOTTO, 1997; CASTRO E PIRES, 1999; LEÃO et al., 2003a; LEÃO et al., 2003b; WOOLDRIDGE E DONE, 2004). Outras variáveis ambientais já citadas são também, em sua maioria, observáveis via plataformas orbitais, o que viabiliza a investigação da relação destas com o branqueamento.

WOOLDRIDGE E DONE (2004) utilizaram redes de dependência probabilística, também chamadas redes bayesianas (RB), para estruturar as relações entre o branqueamento ocorrido no verão de 2002 e parâmetros meteorológicos, oceanográficos e ecológicos na Grande Barreira de Corais (Austrália). A partir destas RB verificaram a influência de cada parâmetro na intensidade de branqueamento e morte dos organismos coralíneos. As RB são estruturas gráficas utilizadas na representação de relações probabilísticas entre um número elevado de variáveis e na realização de inferências a partir destas (NEAPOLITAN, 2004). Estes modelos de inteligência artificial exploram as dependências condicionais envolvidas nesta representação do conhecimento e permitem trabalhar com relações entre variáveis mesmo que estas sejam incertas ou que as informações sejam incompletas. Uma RB trabalha com a relação direta e indireta entre causas e efeitos e ainda possibilita trabalhar no sentido inverso. Exemplificando, no caso das condições ambientais (causas) que acarretam branqueamento (efeito), é possível saber como se comportavam estas variáveis dado que tenha ocorrido um branqueamento. As RB permitem também agregar novas informações, o que possibilita melhorar a acurácia do modelo na medida em que novos casos vão surgindo.

A pergunta central que o presente trabalho deve responder é se é possível utilizar uma rede de inferência probabilística para modelar o branqueamento dos corais do litoral da Bahia construída a partir de dados de sensoriamento remoto e reanálise.

1.1 Objetivos

O objetivo central deste trabalho é utilizar uma rede bayesiana para identificar as combinações de informações obtidas por sensoriamento remoto e reanálises que permitam modelar os eventos de branqueamento nos corais do estado da Bahia com a maior eficiência possível.

Para se atingir o objetivo geral estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

1. Caracterizar o comportamento das variáveis ambientais selecionadas na área de estudo entre os verões dos anos de 1993 a 2005;
2. Investigar se diferenças significativas ocorrem entre grupos de áreas de recifes de corais da costa da Bahia com base no comportamento das variáveis ambientais e na presença e ausência de espécies de corais e hidrocorais;
3. Investigar similaridades entre os casos de branqueamento;
4. Estruturar redes bayesianas a partir da relação de dependência entre o branqueamento e as variáveis;
5. Determinar o potencial de suporte à decisão da RB estruturada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Recifes de coral e o fenômeno do branqueamento

2.1.1 Corais e hidrocorais

Corais são organismos invertebrados exclusivamente marinhos pertencentes à classe *Anthozoa*, do filo *Cnidária*. Cada indivíduo é denominado pólipó (Figura 2.1) e a maioria das espécies vive em colônias que dependem de um substrato duro para se fixar. São divididos em corais ‘duros’, ou construtores de recifes, e ‘moles’ sendo que os primeiros formam esqueletos rígidos a partir da secreção de carbonato de cálcio (CaCO_3) (RUPPERT E BARNES, 1996). Os hidrocorais pertencem ao mesmo filo, porém à classe *Hydrozoa* e são denominados falsos corais por serem igualmente secretores de carbonato de cálcio e bastantes similares aos corais.

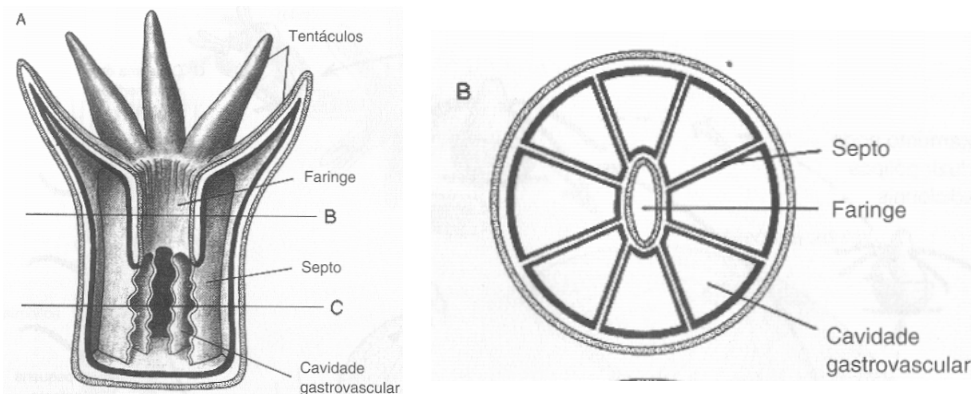


Figura 2.1 - Estrutura de um pólipó em A) corte longitudinal e B) corte transversal.
Fonte: RUPPERT E BARNES (1996).

Uma característica importante de algumas espécies de corais e hidrocorais é a associação simbiótica com microalgas que vivem no interior do seu tecido gastrodérmico, as zooxantelas. Quase todas as espécies de corais construtoras de recifes, também conhecidos como corais hermatípicos, possuem zooxantelas. Essa associação também ocorre com outras espécies de cnidários além de outros invertebrados como moluscos, esponjas e foraminíferos (RUPPERT E BARNES, 1996).

Por meio da fotossíntese, as zooxantelas proporcionam ao organismo hospedeiro a maioria dos compostos orgânicos necessários à sua respiração, crescimento, formação do esqueleto e reprodução (TANAKA et al., 2006). Em troca, o metabolismo do hospedeiro fornece às

microalgas, além de um ambiente protegido, produtos como gás carbônico, nitrogênio e fósforo (WOOD, 1983). O gás carbônico e os nutrientes excretados pelos corais são captados pelas zooxantelas, juntamente com a luz, na realização da fotossíntese. Retirando o excesso de gás carbônico expelido pelo coral, as algas auxiliam na fixação do carbonato de cálcio, caso contrário, o gás se ligaria à água formando o ácido carbônico que dissolveria o carbonato utilizado na construção do esqueleto. Dessa forma, os corais e hidrocorais acumulam grandes quantidades de carbonato de cálcio e são capazes de construir grandes estruturas rígidas denominadas recifes (DUTRA, 2000).

A taxa de crescimento dos corais varia de espécie para espécie e depende de fatores intrínsecos, como a idade do coral e condição das zooxantelas, e de fatores externos como a intensidade da luz, duração do dia (fotoperíodo), temperatura da água, suprimento de alimento, taxa de sedimentação, competição, entre outros (WOOD, 1983). As formas de crescimento das colônias podem ser maciças ou ramificadas, variando de acordo com a espécie. Segundo IYOR (2008), em condições favoráveis (exposição à luz, temperatura consistente e ação moderada das ondas) colônias de corais maciços podem crescer até 4,5 cm/ano e colônias ramificadas até 10 cm/ano.

A fauna coralínea brasileira distingue-se por possuir uma baixa diversidade e uma alta taxa de endemismo quando comparada a outras regiões do mundo. Composta majoritariamente por formas maciças possui dezoito espécies de corais construtores de recifes (hermatípicos) e quatro espécies de hidrocorais (LEÃO et al., 2003a) (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Lista de espécies de corais e hidrocorais brasileiros.

Classe	Espécie	Endemismo	Ocorrência na Bahia
<i>Anthozoa</i>	<i>Agaricia agaricites</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Agaricia fragilis</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Astrangia braziliensis</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Astrangia rathbuni</i>		Não
<i>Anthozoa</i>	<i>Favia gravida</i>	Endêmico do Brasil	Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Favia leptophylla</i>	Endêmico da Bahia	Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Madracis decactis</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Meandrina braziliensis</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Montastrea cavernosa</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Mussismilia braziliensis</i>	Endêmico da Bahia	Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Mussismilia harttii</i>	Endêmico do Brasil	Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Mussismilia hispida</i>	Endêmico do Brasil	Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Phyllangia americana</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Porites astreoides</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Porites branneri</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Scolymia wellsi</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Scolymia cubensis</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Siderastrea stellata</i>	Endêmico do Brasil	Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Siderastrea radians</i>		Sim
<i>Anthozoa</i>	<i>Stephanocoenia michelini</i>		Sim
<i>Hydrozoa</i>	<i>Millepora alcicornis</i>		Sim
<i>Hydrozoa</i>	<i>Millepora nitida</i>	Endêmico do Brasil	Sim
<i>Hydrozoa</i>	<i>Millepora braziliensis</i>	Endêmico do Brasil	Sim
<i>Hydrozoa</i>	<i>Stylaster roseus</i>		Sim

Fontes: LEÃO et al. (2003a); NEVES et al. (2006); NEVES et al. (2008).

2.1.2. Recifes de corais

Em sua maioria, os recifes são encontrados de 30°N a 30°S (Figura 2.2), em águas mais rasas que 30 m ou onde o limite de temperatura permanece entre 16 e 32 °C e a quantidade de luz é maior (IYOR, 2008). Essa dependência geralmente limita os corais às águas limpas, ou seja, com pouco material em suspensão e, conseqüentemente, baixa produtividade. Corais não-construtores de recifes, também chamados de ahermatípicos, podem habitar profundidades e latitudes maiores (RUPPERT E BARNES, 1996).

KLEYPAS et al. (1999) creditam como determinantes na distribuição dos recifes de coral em uma escala global fatores físico-químicos como temperatura, salinidade, nutrientes, disponibilidade de luz e estado de saturação do CaCO₃ na água. Além destes, há ainda os

fatores regionais como condições hidrodinâmicas (ondas, correntes, frequências de tempestades) e biológicos (por exemplo: fontes de larvas, diversidade, doenças).

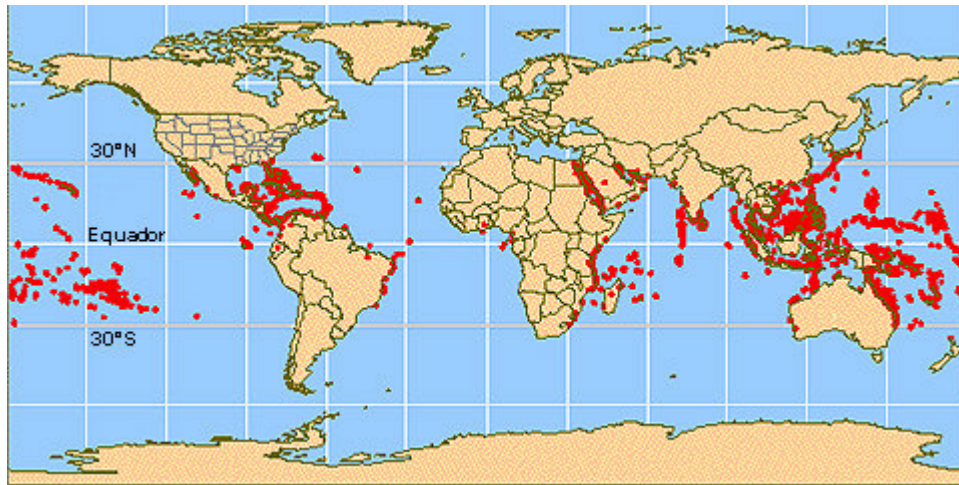


Figura 2.2 - Localização dos principais recifes de corais do mundo (em vermelho).
Fonte: Adaptado de NOAA (2008).

Os corais hermatípicos e hidrocorais constroem estruturas rochosas calcárias, formando seu próprio habitat e sustentando uma grande diversidade de organismos marinhos. Os recifes de corais contêm reentrâncias, frestas e orifícios de variados tamanhos, nos quais habitam numerosa fauna e flora que usufruem desta estrutura como local de refúgio, alimentação, reprodução e moradia. Tal fato afere aos recifes de corais, ainda que circundados por águas pouco produtivas, a qualidade de ambientes marinhos altamente produtivos. Segundo IYOR (2008), os recifes de corais ocupam uma área menor que 0,015% de toda a área oceânica e, ainda assim, abrigam mais de 25% de toda a biodiversidade oceânica.

Além de fonte de recursos pesqueiros, os recifes de corais também têm função como proteção da costa contra a erosão, tornando-se um ecossistema economicamente valioso em termos de geração de renda e serviço ecológico (GOREAU E HAYES, 2005). Os corais fixam parte do gás carbônico que entra no oceano. Juntamente com o cálcio é depositada uma molécula de CO_2 , o que os faz adquirir o caráter de sumidouros de CO_2 , retirando o carbono da atmosfera e fixando-o em sua estrutura (GOREAU, 1992). Além disso, grande parte das pesquisas farmacêuticas é baseada em organismos habitantes de recifes de corais.

A costa brasileira é a única com ecossistemas recifais no oceano Atlântico Sul. Os corais ocorrem da foz do Rio Amazonas ($0^{\circ}30'S$) à costa do Estado de Santa Catarina ($27^{\circ}30'S$).

Entretanto, as maiores edificações de recifes concentram-se nas regiões Nordeste (NE), de Cabo São Roque a foz do Rio São Francisco (5°29'S a 10°30'S) e Leste (E), a qual compreende toda a costa do Estado da Bahia (10°30' a 19°40'S - LEÃO et al., 2003a). Segundo PRATES (2003), nove unidades de conservação (UC) ao longo da costa do país abrangem áreas de ocorrência de corais e recifes de corais (Figura 2.3) sob forma de proteção integral ou visando o manejo sustentável.

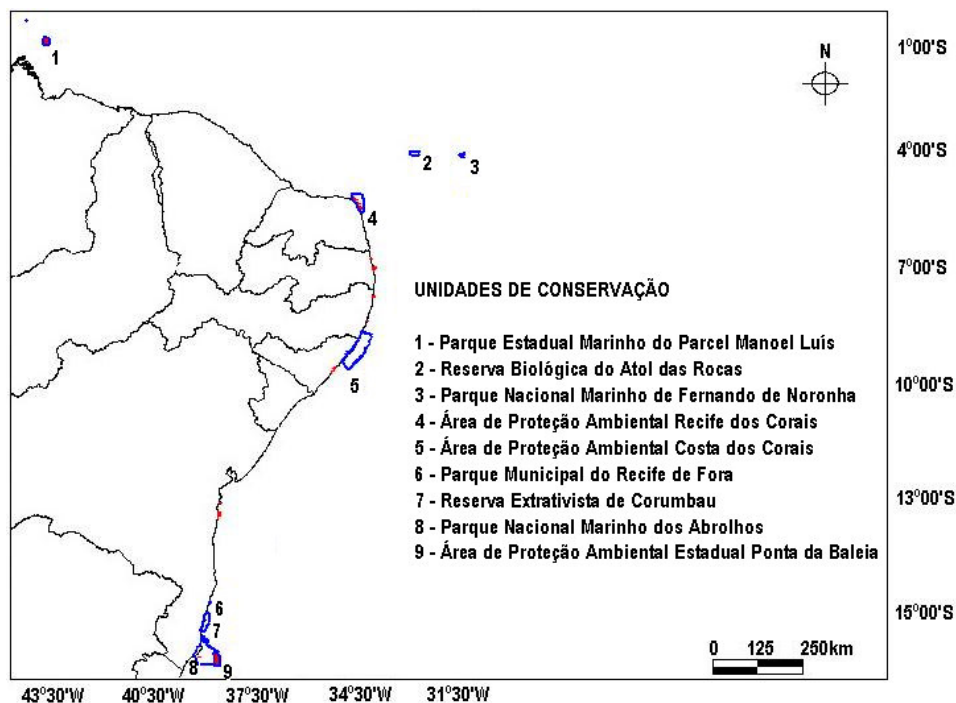


Figura 2.3 - Unidades de Conservação que abrangem corais e recifes de corais do Brasil. Em azul, os limites das UCs e em vermelho as manchas recifais ao longo da costa.

A costa do Estado da Bahia é a área de recifes de corais com o maior nível de endemismo e de maior extensão. Dos 890 km² de áreas de recifes de corais no país, 82% estão no Estado da Bahia e, destes, 92% estão protegidos por UC (calculados a partir de PRATES, 2003). Além disso, das oito espécies de cnidários construtores de recifes, endêmicas brasileiras, duas são exclusivas desse Estado e, de todas as espécies que ocorrem no Brasil, apenas duas não estão presentes nos recifes da Bahia (Tabela 2.1).

2.1.3. Branqueamento de corais

O branqueamento (do inglês *bleaching*) é um fenômeno resultante da depleção de pigmentos fotossintetizantes e/ou expulsão das zooxantelas do tecido do hospedeiro (Figura 2.4), o qual pode ocorrer em foraminíferos, esponjas, anêmonas do mar e em corais. Desencadeado em condições de estresse, pode levar colônias de corais à morte parcial ou total, afetando processos biológicos em toda a cadeia ecológica ligada aos organismos. É importante ressaltar que os corais vivem, em geral, no limite de sua tolerância fisiológica, isto é, em níveis elevados de TSM, irradiância solar e baixa concentração de nutrientes (ambientes oligotróficos), além da exposição periódica à atmosfera durante a maré baixa (GLYNN, 1996).

Dentre os efeitos deletérios do branqueamento, merecem destaque a redução na fecundidade (NYSTROM et al., 2000; WOESIK, 2001), a morte parcial ou total da colônia (NUGUES E ROBERTS, 2002), a redução da biodiversidade (EDINGER et al., 1998), diminuição na capacidade de auto-limpeza e na resistência à invasão de espécies competidoras e doenças (CoRIS, 2007). A recuperação dos corais depende do período de exposição ao estresse e da fisiologia da espécie atingida. A morfologia dos corais também é relevante sendo que espécies ramificadas são mais sensíveis ao branqueamento do que formas maciças e incrustantes (GOREAU et al., 2000; LOYA et al., 2001).

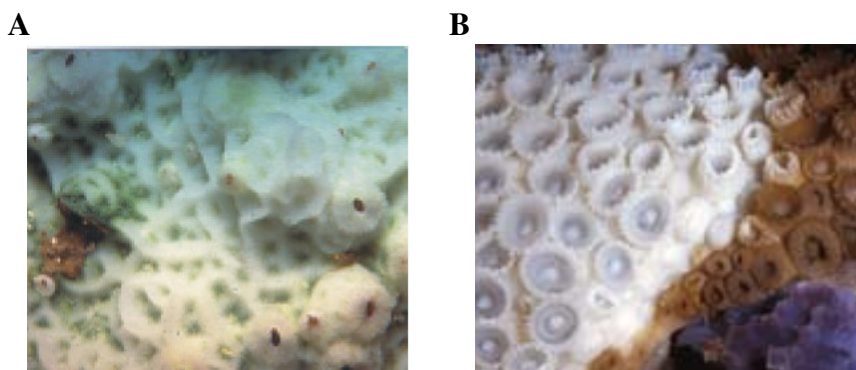


Figura 2.4 - Colônias A) de coral completamente e B) de hidrocoral parcialmente branqueadas.

Fontes: (A) DUTRA (2000); (B) MIGOTTO (2007).

No Brasil os registros de casos de branqueamento em corais e outros organismos (KELMO et al., 2003, 2004, 2006) iniciam-se em 1993. MIGOTTO (1997) acompanhou um evento de branqueamento de corais na costa dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro no verão de 1994. De 1993 a 1996, CASTRO E PIRES (1999) observaram o fenômeno na região do

Banco dos Abrolhos. LEÃO et al. (2008) reúnem no seu trabalho todos os registros de branqueamento de corais de 1998 a 2005 no Estado da Bahia. O evento de 2005 também foi acompanhado em Abrolhos por CEPEMAR (2005). Em quase todas as publicações, os eventos foram positivamente relacionados com elevações na temperatura da água.

Casos de branqueamentos localizados são conhecidos desde o início do século XX (CoRIS, 2007). Ocorrem geralmente em áreas de circulação restrita e podem ser causados por forçantes antropogênicas ou naturais como aquecimento da água, furacões, salinidade reduzida, exposição ao ar devido às marés baixas, sedimentos e altos níveis de bactérias (GLYNN, 1996; BARBER et al., 2001). Após a década de 1980, eventos de ocorrência global, isto é, em várias localidades simultaneamente, têm se tornado mais frequentes e intensos indicando a vulnerabilidade dos recifes às variações ambientais globais (GLYNN, 1993).

O fenômeno de branqueamento de corais apresenta também um padrão de ocorrência global, tendo sido responsável pela mortalidade em massa de corais em amplas áreas geográficas (GLYNN, 1993). Há também registros de ligação do branqueamento com flutuações de índices que medem *El Niño* - Oscilação Sul (ENOS) (GLEASON, 1993; GLYNN, 1993; GOREAU et al., 2000; WOESIK, 2001) e com a tendência de aquecimento global dos oceanos nos últimos 100 anos (FITT et al., 2001). Eventos de branqueamento de grande escala atingem de centenas a milhares de km² e não são desencadeados por fenômenos locais, dificultando sua total previsão (GLYNN 1996; GOREAU E HAYES, 2005) Estudos apontam que estes eventos têm como principais forçantes as elevações da temperatura do mar e da incidência de radiação solar (especialmente nos comprimentos do ultravioleta), os quais freqüentemente atuam juntos. Porém, sabe-se que outros fatores ambientais também estão ligados de forma direta ou indireta ao fenômeno. Segundo BROWN (1997), um ambiente altamente propício a branqueamentos ocorre em períodos de ventos fracos, céu limpo, mar calmo e baixa turbidez. Entre as fontes de estresse ambiental destacam-se as seguintes:

- **Temperatura da água:**

Apesar da temperatura da água ser um dos fatores responsáveis pela diversidade de corais, em localidades com temperatura acima de 30 °C o número de espécies tende a diminuir (GOREAU et al., 2000). O estresse termal ocorre no nível celular, rompendo o processo metabólico de proteção à toxicidade do oxigênio (GLYNN, 1996), e os efeitos podem ser letais dependendo do período de exposição (FITT et al., 2001).

A temperatura da água do mar é a variável ambiental mais relacionada com os eventos de branqueamento e diversos estudos citam a elevação da temperatura como o disparador do branqueamento (GLYNN, 1993 e 1996; GOREAU E HAYES, 1994 e 2005; BROWN, 1997; CASTRO E PIRES, 1999; GOREAU et al., 2000; FITT et al., 2001; LEÃO et al., 2003a). Entretanto, também há citações de estresse causado pela queda repentina da temperatura (BUCHHEIM, 1998; BROWN, 1997). Frequentemente são reportados eventos associados a elevações na temperatura da superfície do mar (TSM), geralmente após um período de TSM acima da média histórica para determinado local e estação do ano (LEÃO et al., 2003a). A exposição à TSM 1° C acima da média climatológica parece ser suficiente para causar branqueamento e morte de organismos (JOKIEL E COLES, 1990). Apesar de alguns casos de branqueamento estarem relacionados a áreas aquecidas pelo fenômeno *El Niño* – Oscilação Sul (ENOS), também houve casos em locais e/ou anos não afetados por ele.

Segundo BUCHHEIM (1998) e CASTRO E PIRES (1999), um retorno a temperaturas normais após um período de baixas temperaturas também pode causar branqueamento. CASTRO E PIRES (1999) observaram um leve branqueamento nos corais dos recifes dos Abrolhos no verão de 1993 e verificaram que 1992 foi um ano anormalmente frio, como também o foi o inverno de 1991.

- **Turbidez da água:**

As zooxantelas necessitam de luz para realizar a fotossíntese, o que faz com que as comunidades recifais limitem-se às regiões mais rasas da plataforma continental. Uma atenuação na quantidade de luz disponível à fotossíntese pode causar redução da taxa de calcificação dos recifes e a redução sazonal da penetração de luz nas altas latitudes pode

limitar a taxa de crescimento dos recifes em profundidades menores, se comparada com a taxa medida nos trópicos (KLEYPAS et al., 1999).

A transparência da água pode afetar o equilíbrio entre o tecido vivo dos corais e o meio externo de formas distintas. Uma diminuição da transparência pode afetar o desempenho das zooxantelas em realizar a fotossíntese, dependendo de sua intensidade e persistência. No caso desta diminuição ser causada pelo aumento na carga de sedimento em suspensão, pode haver a obliteração dos pólipos, com prejuízo à atividade fotossintética das zooxantelas (PHILIPP E FABRICIUS, 2003), resultando no aumento da respiração e na perda de carbono pelo aumento na produção de muco (REIGL E BRANCH, 1995).

Por outro lado, a diminuição na concentração de material em suspensão na coluna d'água, pode resultar em níveis mais elevados de incidência de radiação ultravioleta por um período de tempo mais prolongado, podendo também ser prejudicial ao organismo (GLEASON E WELLINGTON, 1993). Segundo LEÃO et al. (1997) e LEÃO (1999), os corais da Bahia possuem certa resistência ao estresse provocado pelo aumento da turbidez visto que habitam locais de fundo constituído por sedimentos lamosos, com 40 a 70% de areias quatzosas e minerais de argila.

- **Radiação ultravioleta:**

Além de ser responsável pelo ciclo diário e sazonal de aquecimento dos oceanos, a radiação solar possui um importante papel nas reações fotoquímicas nas zooxantelas. Quando submetidas ao estresse, a eficiência fotossintética das microalgas é reduzida e mais energia fica disponível para alterações na fisiologia (FITT et al., 2001). Os comprimentos de onda menores são os que possuem a maior quantidade de energia, e por isso, a radiação ultravioleta (UV – 280 a 400 nm) é capaz de causar branqueamento ou até danificar o material genético dos organismos (ANDERSON et al., 2001).

Há três fatores principais que determinam a quantidade de UV que os corais submersos recebem: 1) o ozônio estratosférico e 2) a nebulosidade, que influenciam na quantidade de UV penetrando através da atmosfera na superfície dos oceanos, e 3) a atenuação da UV pela coluna d'água (BROWN, 1997). A cobertura de nuvens pode afetar a irradiância UV

mais que a redução do ozônio atmosférico (BACHELET et al., 1991). A atenuação da radiação solar na coluna d'água pode ser influenciada por alterações ambientais ou antropogênicas. Atenuação da radiação UV nas águas recifais depende do tipo de água. Águas 'transparentes', como as adjacentes a atóis no meio dos oceanos, podem mostrar atenuação de radiação UV de 99% de toda a irradiância da superfície em profundidades de cerca de 11m enquanto águas mais turvas, próximas à costa, têm esta mesma atenuação em profundidades entre 3 e 6 m (DUNNE E BROWN, 1996).

- **Intensidade do vento na superfície do mar:**

A ação do cisalhamento do vento na superfície do mar pode gerar turbulência e movimento, podendo colaborar no resfriamento por mistura ou advecção. Além disso, a mistura na camada superficial da coluna d'água remove resíduos e leva oxigênio aos corais. As ondas geradas pelo vento também aumentam o espalhamento da luz reduzindo a incidência de radiação solar que atinge os corais. Por isso, durante períodos prolongados de ventos fracos, pode ocorrer um aumento na temperatura e na penetração de luz, propiciando branqueamento. Há registros nas Bahamas de correlação significativa entre a diminuição na intensidade do vento e o aumento de TSM (SMITH, 2001), com subsequente branqueamento de corais.

A Coral Reef Watch testa em caráter experimental uma ferramenta que usa dados de vento na superfície do oceano obtidos por escaterômetro a bordo do satélite QuickSCAT. São observadas as condições de ventos fracos, de intensidade menor que 3 m/s, denominadas zonas de calmaria (*doldrums*) e monitora-se a duração, em números de dias, destes eventos (http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/doldrums_v2/). A resolução espacial é de 25 km, porém os dados são limitados na zona costeira.

2.1.3.1 Previsão de branqueamento de corais

Segundo OBURA (2001), quantificar, o mais cedo possível, as ameaças aos corais é fundamental para qualquer tentativa de gerenciar ou limitar impactos ao ecossistema recifal. Entretanto, diferentes causas e graus de branqueamento, intra e entre colônias de coral e ao longo de gradientes de comunidades recifais são altamente variáveis e difíceis de

quantificar, o que complica as comparações entre eventos, e conseqüentemente, previsões (GLYNN, 1996). A intensidade de uma relação de causa (variabilidade de um ou mais fatores ambientais) e efeito (o branqueamento do coral e os efeitos sobre o ecossistema recifal) é o que irá determinar a capacidade de um sistema de prever um episódio de branqueamento. Para alcançar esse refinamento, entretanto, é necessário estabelecer as relações entre a variabilidade global, regional e local dos fatores ambientais responsáveis pelo branqueamento dos corais. A investigação de processos que integram fenômenos em diferentes escalas exige também a avaliação objetiva das diversas fontes de estocasticidade, não-linearidade e as incertezas que afetam o conteúdo de informação contido em uma previsão (CLARK et al., 2001; PIELKE E CONANT, 2003).

A NOAA (*National Oceanic & Atmospheric Administration*) desenvolveu um programa de alerta a branqueamento de corais que consiste em mapas de áreas com anomalias de TSM onde em cada local, a temperatura é comparada com a média climatológica do mês mais quente, o *Coral Bleaching HotSpot* (Figura 2.5 A) e o *Degree Heating Week* (DHW), que é um índice cumulativo do *Coral Bleaching HotSpot* sobre um período de 12 semanas ininterruptas (Figura 2.5 B) (NOAA, 2007b). Ambos possuem resolução espacial de 50 km e são bastante divulgados e utilizados pela comunidade científica. Na segunda quinzena de abril de 1998, por exemplo, LEÃO et al. (2003a) reportaram branqueamento de corais na plataforma continental leste do Brasil, conforme indicado pelo sistema de alerta da NOAA.

Entretanto, o padrão da ocorrência temporal e espacial do branqueamento é conseqüência conjunta de temperatura com outras forçantes ambientais já citadas. Os autores do sistema de alerta *Coral Bleaching HotSpot* ponderam a importância de agregar dados de satélite de parâmetros ambientais adicionais como ventos, correntes, cobertura de nuvens e radiação solar de modo a melhor relacionar as condições ambientais e previsões para a resposta biológica que causa o branqueamento dos corais.

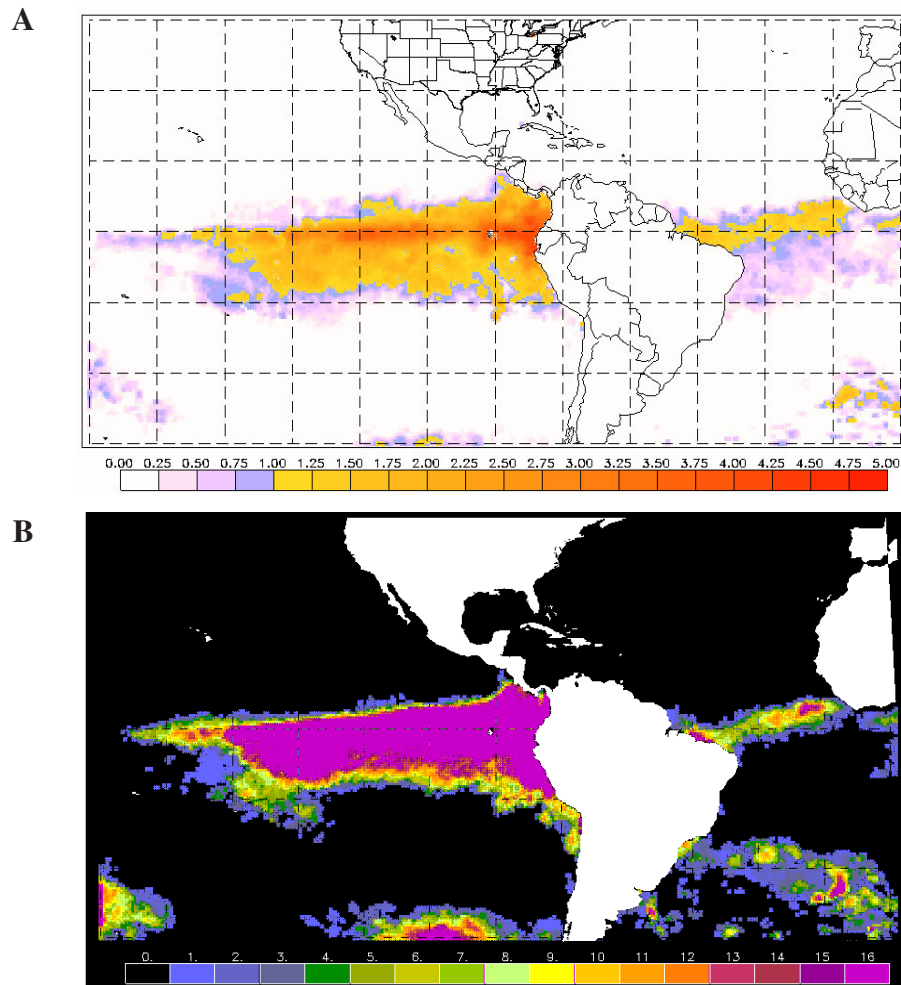


Figura 2.5 – A) Mapa do sistema de alerta *Coral Bleaching HotSpot* de 14/04/98 baseado na anomalia de TSM em relação a climatologia da máxima TSM mensal e B) *Degree Heating Week* de 30/04/98, índice cumulativo do *Coral Bleaching HotSpot* sobre um período de 12 semanas ininterruptas.
 Fonte: NOAA (2007b).

Uma outra estratégia de previsão de branqueamento, proposta por WOOLDRIDGE E DONE (2004), utiliza redes bayesianas (RB) para calcular probabilidades de ocorrência de branqueamento e mortalidade de corais em função de certas condições momentâneas nos recifes da Grande Barreira de Corais (GBC), Austrália. As RB utilizam a dependência causal probabilística observada entre um conjunto eclético de variáveis ambientais e indicadores (*proxies*) derivados destas com a ocorrência de branqueamento ou morte dos corais.

Como meio de refinar e atualizar o conhecimento já existente sobre a relação entre o estresse ambiental e o impacto ecológico causado pelo evento de branqueamento de 2002 na GBC, WOOLDRIDGE E DONE (2004) construíram um modelo gráfico que ilustra o impacto do estresse ambiental termal, do cenário geográfico e dos atributos ecológicos e topográficos da área de localização dos recifes durante fenômeno do branqueamento. Para caracterizar a influência da temperatura, os autores construíram, a partir de dados orbitais de TSM, dois indicadores: o primeiro sintetiza o ambiente termal prévio e foi obtido da primeira Componente Principal construída sobre imagens de máxima TSM anuais sobre a GBC para o período de 1990 a 2000. Este parâmetro é basicamente o padrão característico de variação da máxima TSM para o verão. O segundo parâmetro foi derivado de um estudo de BELKERMANS et al. (2004), que encontraram uma correlação entre a presença e ausência de branqueamento na GBC com a máxima TSM ocorrida em um período de três dias. Um outro indicador relativo ao ambiente termal trata da facilidade de transporte de águas frias oceânicas para os recifes. A proximidade da isóbata de 100 m ou da viabilidade de uma corrente carregar estas águas frias para perto do recife foi obtida por modelo hidrodinâmico. Os tipos de comunidades e de habitats dos recifes também foram utilizados no estudo.

Com os dados em mãos, os autores construíram as RB com as seguintes premissas: A facilidade de resfriamento dos recifes, a variabilidade termal característica de verão (primeira Componente Principal) e o tipo de habitat não são afetados por nada no sistema recifal, ou seja, podem influenciar outras variáveis, mas não são influenciáveis por nenhuma outra (são tidos como nós pais); o tipo de comunidade e o tipo de habitat são diretamente ligados; o branqueamento e a mortalidade podem estar ligados diretamente a qualquer outra variável da rede.

O modelo de melhor capacidade preditiva, avaliado a partir de taxas de acertos dos casos de branqueamento, resultou da combinação de variáveis relativas ao estresse termal (facilidade de resfriamento e máxima TSM em 3 dias), tipos de habitat e tipos de comunidade de coral (Figura 2.6). Quando compararam os dados com a realidade de campo de 2002, a RB foi capaz de prever corretamente presença (ou ausência) de branqueamento para 71% dos casos, demonstrando tratar-se de um bom método de previsão ecológica.

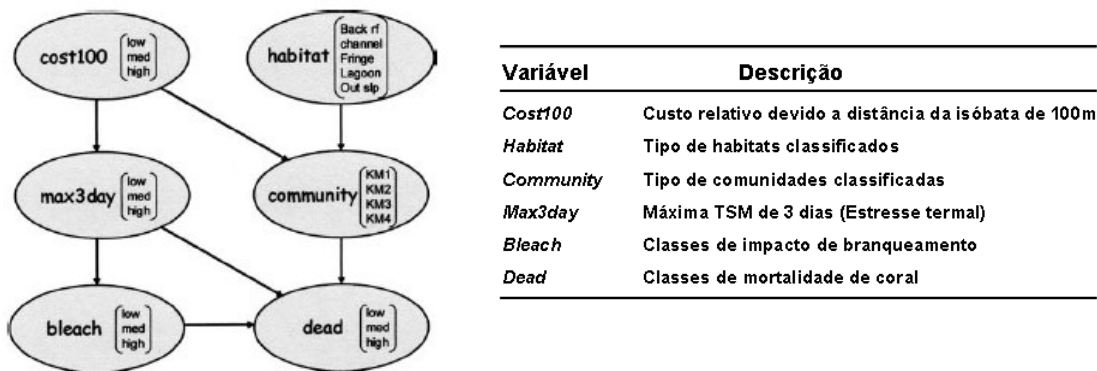


Figura 2.6 - Rede Bayesiana para estudo de branqueamento dos corais da Grande Barreira de Corais na Austrália.

Fonte: Adaptada de WOOLDRIDGE E DONE (2004)

2.2 Redes bayesianas

Apresentada de maneira simples, uma RB calcula a probabilidade condicional de um evento, dadas todas as evidências disponíveis, aplicando-se o teorema de Bayes. Em termos formais, uma RB é um diagrama de influência representado por $RB=(N,A,\Theta)$, onde (N,A) é um grafo acíclico (onde não há retroalimentação) orientado (GAO ou *DAG*, *Directed Acyclic Graph*) em que cada nó $n \in N$ representa o domínio da variável, e cada arco $a \in A$ entre nós representa a dependência probabilística entre os nós conectados (Figura 2.7). Associado a cada nó $n_i \in N$ há uma tabela de probabilidade condicional (TPC) representada por $\Theta=\{\theta_i\}$, que quantifica quanto um nó filho depende de seus pais (CHENG et al., 2002). As variáveis podem representar eventos, estados, objetos, proposições ou outras entidades e a orientação dos arcos que conectam dois nós é do nó pai para o nó filho. Estas dependências são indicativas das influências de causa e efeito cuja força é dada pelas probabilidades condicionais.

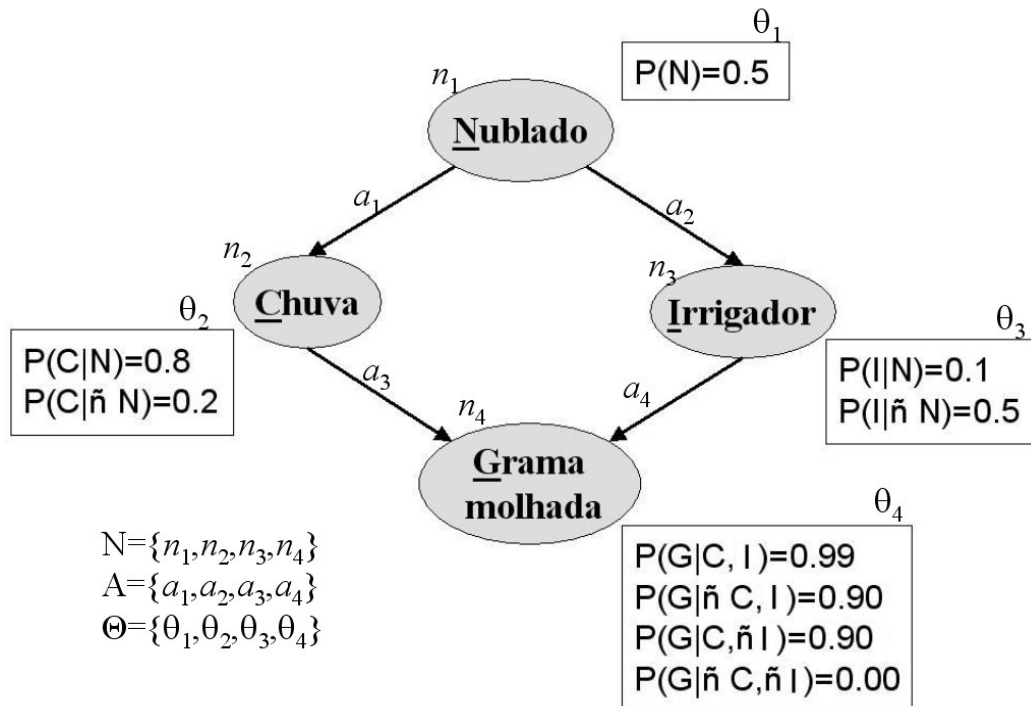


Figura 2.7 - Ilustração de um grafo de rede Bayesiana.

Cada nó possui um conjunto limitado de estados mutuamente exclusivos e para cada nó A que possui como pais os nós B e C , existe uma tabela $P(A|B,C)$, lê-se probabilidade de A dadas as evidências B e C . Caso o nó não tenha pais, sua tabela de probabilidade é reduzida para uma probabilidade incondicional $P(A)$. É importante esclarecer que o conceito de causalidade empregado em inteligência artificial se refere a qualquer ordenamento natural no qual o conhecimento de um nó pai influencia o conhecimento a respeito do nó filho (PEARL, 2000). Esta influência (daí o nome de diagrama de influência dado a algumas RBs) pode ser de caráter lógico, físico, temporal ou conceitual (LAURITZEN E SPIEGELHALTER, 1988).

A construção da RB envolve duas tarefas: o aprendizado da estrutura da rede (determinar a dependência entre as variáveis) e o aprendizado das probabilidades condicionais (a intensidade destas dependências) (CHENG et al., 2002). Uma vez definida a estrutura da rede, com todos os nós e arcos orientados, são especificadas as probabilidades dos estados dos nós que participam em dependências diretas, e utilizam-se estas para computar probabilidades indiretas.

2.2.1 – Construção da estrutura da rede

Uma das formas de se construir uma RB é a partir da utilização de algoritmos capazes de aprender a estrutura do modelo de rede a partir das observações disponíveis, organizadas em uma estrutura acíclica, de forma a respeitar as seguintes condições (PEARL, 2000): 1) ser um modelo Markoviano, onde cada variável X é condicionalmente independente de seus não-descendentes dados os seus pais; 2) obedecer ao critério de *d-separação* (d de direcional) onde, dado um nó filho Z , dois nós pais X, Y não apresentam nenhum arco unindo-os (X e Y são independentes dado Z); e 3) o modelo proposto é GAO-fiel (*DAG-faithful*) em que não só o critério de Markov é respeitado, mas também todas as dependências entre variáveis estão representadas por arcos. Finalmente, é preciso dispor de uma ferramenta estatística que permita a propagação de evidências entre os nós e a utilização do GAO como uma máquina de inferência para a tomada de decisão. Isto demanda uma teoria que permita a determinação de "graus de certeza" para regras do tipo "se a é verdade, então b é verdade (com certeza x)"; e uma regra "se b então c (com certeza y)" para haver a propagação de evidência do tipo se a é verdadeiro então c é verdadeiro (LAURITZEN E SPIEGELHALTER, 1988). Assim, pode-se inferir como o conhecimento de a pode influenciar o conhecimento sobre c . Apesar das dúvidas lançadas sobre a teoria inicial de propagação de evidências, devido à especificação incompleta das regras, atualmente há um conjunto formal e robusto de regras, definições e teoremas que une a teoria de grafos e de probabilidade (PEARL, 2000; NEAPOLITAN, 2004).

Os algoritmos de aprendizado de estrutura das RB procuram estabelecer, por meio de técnicas de inteligência artificial, uma estrutura que gere uma distribuição de probabilidade apropriada para o modelo, não considerando unicamente o princípio da indiferença (isto é, não se utiliza $p=1/n$ para a probabilidade de um resultado dentre n eventos). Estes algoritmos dividem-se em duas classes. Na primeira, geram a estrutura através de uma busca heurística em uma base de dados, denominados algoritmos de busca e pontuação (*search & scoring*). Na segunda classe estão os algoritmos que se baseiam na análise de dependência e buscam definir a direção e o sentido dos arcos através da identificação dos nós condicionalmente independentes no conjunto de variáveis do problema (HRUSCHKA, 2003).

2.2.2 – Aprendizado das probabilidades

Associada a cada nó da RB há uma tabela de probabilidade condicional (TPC), a qual quantifica quanto este nó depende de seus nós pais. A TPC especifica a probabilidade de um nó filho estar em um estado particular, dados os estados de todos os seus nós pais. As probabilidades utilizadas nas RB são modeladas a partir das informações fornecidas pelo usuário especialista, obtidas de modelos causais disponíveis na literatura ou pode ser aprendida diretamente a partir de dados históricos.

Um exemplo pode ser dado com a rede representada na Figura 2.7. Desconhecendo se choveu na noite anterior, deseja-se prever quais são as chances da grama estar molhada dado que ela pode ter sido molhada pela chuva ou pelo sistema de irrigação automática. O usuário definiu a estrutura da rede (por conhecimento próprio ou a obteve em *softwares* para este fim) e provê as relações iniciais entre as variáveis baseado no seu treinamento e/ou em casos anteriores. Estas relações são probabilidades condicionais (probabilidade de um evento ocorrer dadas certas condições). São baseadas no Teorema de Bayes que pode ser expresso em sua forma mais simples como:

$$P(A / B) = \frac{P(A).P(B / A)}{P(B)} \quad (2.1)$$

Ou seja, a probabilidade do evento A ocorrer dado que ocorra o evento B .

Daí em diante, a RB pode ser refinada atualizando-se as TPC com base em novos casos registrados. Assim, quando se tem uma forte crença em uma hipótese específica baseada em experiência passada (por exemplo, chove pouco nesta época do ano, então é mais provável que a grama tenha sido molhada pelo irrigador) e observam-se novos casos consistentes com esta hipótese, a confiança posterior nesta hipótese é fortalecida. Ou seja, à medida que a análise progride, é possível incorporar e atualizar as informações e crenças anteriores.

As RB, ao mesmo tempo que atendem a ciência e suas incertezas inerentes, podem ser utilizadas para tomadas de decisões baseadas em probabilidades e analisar quais aspectos do modelo possuem maior impacto sob as variáveis de consulta. Esta aproximação permite

o estudo conjunto de diferentes fontes de dados e a atualização de resultados incorporando informações durante a análise, reforçando ou descartando hipóteses sobre processos e eventos passados e futuros. Por sua capacidade de prover estruturas para modelos de alta dimensionalidade, o uso da RB é bastante difundido na área médica, geralmente em diagnósticos de doenças (KAHN et al., 1997; MASKERY et al., 2008), e também nas áreas de engenharias e robótica (LEBELTEL et al., 2004; TRUCCO et al., 2008).

Embora com alguns desafios ainda, como quanto à necessidade de tornar dados contínuos em discretos, a abordagem bayesiana está tomando força na área de estudos ecológicos (UUSITALO, 2007). SMITH et al. (2007) acoplaram a RB em um Sistema de Informação Geográfica para modelar espacialmente áreas mais propícias de habitat para o *Sminthopsis douglasi*, um marsupial ameaçado de extinção do noroeste da Austrália. PARK E STENSTROM (2006) utilizaram dados derivados de imagem de satélite para estruturar uma RB objetivando estimar a descarga de poluentes das águas pluviais e assim gerenciar a poluição causada por esta na baía de Santa Mônica. As RB também são utilizadas em estudos de estoque e dinâmica de peixes (McALLISTER E KIRKWOOD, 1998; VARIS E KUIKKA, 1997; LEE E RIEMAN, 1997; KUIKKA et al., 1999; LITTLE et al., 2004) e na área agrícola (MELLO et al., 2007). A tomada de decisão com base em previsões acuradas sobre o estado do alvo do estudo, agora e no futuro, também torna o método perfeitamente adaptável para o estudo da ligação entre as forçantes ambientais e o fenômeno de branqueamento (WOOLDRIDGE E DONE, 2004).

2.3 Sensoriamento Remoto, Análise e Reanálises

Dados de sensoriamento remoto, análise e reanálise são utilizados em estudos de recifes de corais para mapear a estrutura e composição do habitat dos recifes e para investigar o ambiente físico no qual eles ocorrem. Em se tratando de estudo e monitoramento do meio marinho, é essencial o uso de instrumentos que permitam identificar, quantificar e espacializar os processos físicos e ecológicos relevantes que ocorrem nas mais diversas escalas espaciais e temporais (GHERARDI E CARVALHO, 2005). A combinação de dados de sensoriamento remoto, análise e reanálise vem nesta direção, pois possui como principais vantagens coberturas espacial e temporal refinadas, além de longa série histórica.

Por definição, o sensoriamento remoto é a técnica na qual utilizam-se aparelhos receptores de energia refletida ou emitida por objetos e fenômenos para a aquisição de informações sobre os mesmos sem que haja contato físico. Geralmente estes sensores estão em plataformas orbitais ou aéreas. Alguns dos principais parâmetros oceanográficos e atmosféricos são coletados por satélites em caráter operacional. Na Oceanografia por satélite e Meteorologia, os parâmetros mais comumente analisados são vento, pressão, precipitação, altura da superfície do mar, temperatura do ar e da superfície do mar, clorofila e outros constituintes opticamente ativos da coluna d'água.

Os dados de análise e reanálises utilizados neste trabalho são dados atmosféricos, obtidos por projeções de sistemas de previsão, os quais utilizam como dados de entrada combinações de diferentes fontes como dados de satélite, *in situ* e de modelagem. Os dados de reanálise usam um sistema de previsão como entrada e realizam assimilação de dado usando dados passados. Este mesmo sistema de previsão é utilizado para continuar a assimilar dados no futuro. Mais informações podem ser obtidas em KALNAY et al. (1996) e XIE E ARKIN (1997).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo inclui todo o litoral do estado da Bahia, localizado entre as latitudes de 11°27' e 18°20' S e longitude 37°20' e 39°40' W, ao longo de 800 km de extensão (Figura 3.1). Segundo CASTRO E MIRANDA (1998), a plataforma continental no norte e centro da área de estudo é estreita (15 km de largura) e a profundidade da quebra da plataforma continental varia entre 50 a 60 m. Na região sul, por sua vez, a plataforma continental expande-se formando dois bancos, o Royal Charlotte com 110 km e o Banco dos Abrolhos com 190 km de largura, respectivamente. No setor sul da área de estudo, a profundidade da quebra da plataforma varia entre 60 a 100 m.

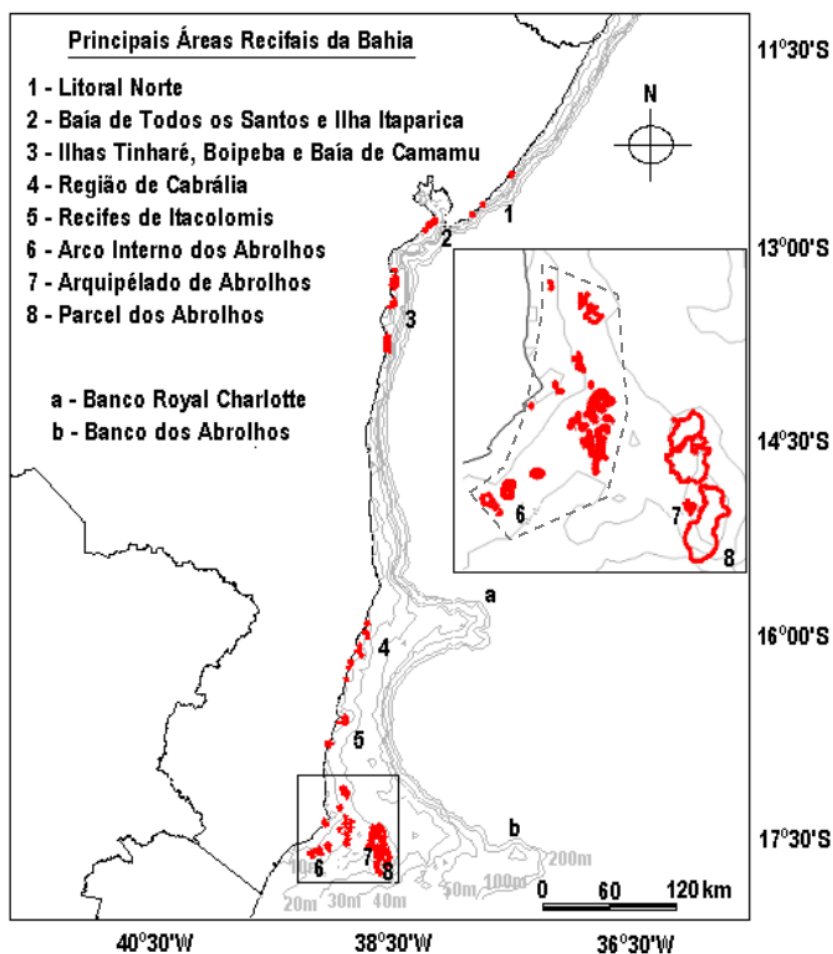


Figura 3.1 – As principais áreas de recifes da costa da Bahia e os bancos Royal Charlotte e Abrolhos. As áreas 6 a 8 estão destacadas no quadrado.

A área de estudo concentra 84% das espécies de corais e hidrocorais do Brasil, a mais alta diversidade de corais no Oceano Atlântico Sul (FERREIRA E MAIDA, 2006). Toda esta biodiversidade é mantida pela grande variedade de ecossistemas compreendida na área, como manguezais, praias, rios, recifes de corais e ilhas, o que atribui à região grande importância ambiental e sócio-econômica (ILHA, 2003). Grande parte dos corais na região é formada por espécies resistentes ao estresse provocado pela turbidez causada pelo aporte sedimentar (MAIDA E FERREIRA, 1997).

As construções recifais encontram-se ao longo de um gradiente de profundidade desde o litoral até 30 m de profundidade. Os recifes da Bahia localizam-se em seis regiões: a) Litoral Norte (LN), b) Baía de Todos os Santos (BTS), c) Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu (T/B), d) Região de Cabralia (CAB), e) Recifes de Itacolomis (ITA) e f) Complexo Recifal dos Abrolhos (CBA). A descrição das áreas a seguir é baseada em LEÃO et al. (2003a).

A área LN é composta de bancos recifais, que podem estar separados ou anexados à costa, apresentando tamanhos variados e em profundidades inferiores a 20 m. Na BTS, recifes bem desenvolvidos ocorrem no interior e na desembocadura da baía, recifes de franja margeiam a Ilha de Itaparica. Recifes de franja ocorrem no entorno das ilhas Tinharé e Boipeba e em algumas ilhas próximas à Baía de Camamu (T/B). Bancos recifais rasos de variadas formas e dimensões estão orientados paralelos à costa, entre Cabralia e Porto Seguro (CAB), em profundidades inferiores a 10 m. Em ITA inicia-se a ocorrência dos chapeirões, nome popular dado ao padrão de crescimento dos recifes semelhante a estruturas com forma de cogumelos. Também ocorrem bancos separados por canais irregulares onde a profundidade máxima é 20 m.

O Complexo Recifal dos Abrolhos está localizado sobre o Banco dos Abrolhos e possui dois arcos de recifes, o arco costeiro e o externo, este complexo possui a maior diversidade de corais do Atlântico Sul (LEÃO et al., 2003a). Este arco externo é composto pelo Parcel dos Abrolhos e pelos recifes de franja das ilhas do arquipélago dos Abrolhos, estes últimos desenvolvem-se em profundidade inferior a 5 m. No arco costeiro (ABC) desenvolvem-se bancos recifais em chapeirões coalescentes e chapeirões isolados, a uma profundidade

média de 10 m. No arco externo (PAB), o Parcel dos Abrolhos consiste em chapeirões isolados, circundados por profundidades maiores de 20 m.

3.2. Variabilidade ambiental

O regime de ventos na área de estudo depende da posição e da intensidade do sistema formado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que é um sistema semi-permanente de alta pressão localizado em torno de 25° S no oceano Atlântico Sul e caracterizado por alta temperatura e umidade (PEZZI E SOUZA, 2008). A ASAS apresenta uma variabilidade sazonal bem definida, no verão (inverno) austral há um enfraquecimento (intensificação) da ASAS (Figura 3.2) e um deslocamento meridional para sul (norte) (RAO et al.,1993; CASTRO et al., 2006). Os ventos de leste-nordeste predominam na primavera e no verão, e os de sudeste durante o outono e inverno (CASTRO E MIRANDA, 1998). As passagens de frente frias modulam a intensidade e direção do vento da área de estudo (STECH E LORENZZETTI, 1992).

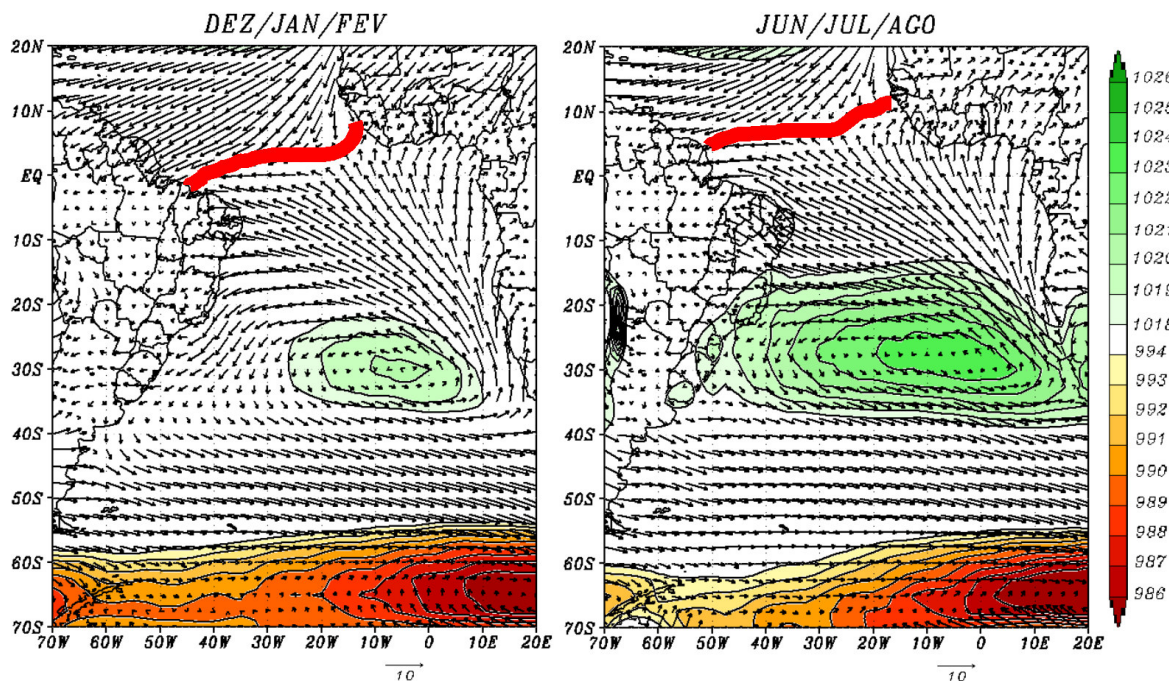


Figura 3.2 - Sistemas de alta (tons de verde) e baixa (tons de vermelho) pressão atmosférica ao nível médio do mar no Oceano Atlântico Sul. A linha vermelha representa a posição aproximada da Zona de Convergência Intertropical.

Fonte: Adaptada de PEZZI E SOUZA (2008).

Na componente zonal do vento, a direção predominante é leste durante o ano todo (SOPPA, 2007). O centro da área de estudo (13° a 17° S) é uma zona de divergência da componente meridional dos ventos e coincide com a região da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (PETERSON E STRAMMA, 1991; RODRIGUES et al., 2007). Ao sul da área de estudo, predominam ventos de direção norte, com maior intensidade no período de setembro a março. Já no setor norte da área de estudo, o vento é predominantemente de direção sul, com maior intensidade no período de fevereiro a outubro (SOPPA, 2007). Esta divergência da componente meridional dos ventos foi observada também por BAPTISTA (2000).

A posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), cinturão de atividades convectivas na região de fronteira entre os hemisférios, responsável pelo transporte de calor da superfície para a alta atmosfera é a principal forçante que regula a precipitação na área de estudo. Secundariamente, vórtices ciclônicos, passagens de sistemas frontais e as anomalias de TSM relacionadas com o ENOS podem também influenciar na quantidade de chuva (PEZZI E SOUZA, 2005; MISRA, 2006; PEZZI E SOUZA, 2008). Segundo SOPPA (2007) os máximos de precipitação para a região sul da área de estudo ocorrem nos meses de novembro e dezembro enquanto os mínimos ocorrem entre agosto e setembro. Já na área da BTS e LN, os máximos de precipitação ocorrem entre os meses de abril e junho. A média mensal da precipitação calculada em ambas as áreas é de 5,8 mm/dia (SOPPA, 2007).

Segundo CASTRO E MIRANDA (1998) a água sobre a plataforma continental do Nordeste do Brasil pode ser definida como bem-misturada, com gradientes verticais de temperatura fracos, menores que 1 °C por 50 m. A TSM apresenta decréscimo de norte para sul da área de estudo. Utilizando uma série de 20 anos de TSM fornecida pelo projeto *Pathfinder* da NOAA, SOPPA (2007) calculou os valores médios de TSM para o verão (janeiro a abril) que variam de 27,7 °C a 28,4 °C para o norte da área de estudo e 27,1 °C a 28,1 °C para o sul da área de estudo. Já os valores típicos de inverno variam entre 25,5 °C e 25,9 °C no norte e 24,5 °C a 25,1 °C no sul.

Na circulação oceânica da área de estudo destaca-se o fenômeno da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) entre 10° e 15° S, braço norte do giro subtropical do Atlântico Sul.

Desta bifurcação originam-se a Corrente do Brasil (CB) e a Corrente do Norte do Brasil (CNB) (CASTRO E MIRANDA, 1998; RODRIGUES et al., 2007) que influenciam toda a dinâmica da costa do Brasil, especialmente onde a plataforma continental é mais estreita. A CB flui para sul como uma corrente rasa e lenta, confinada na quebra da plataforma e transporta a Água Tropical (AT), uma massa d'água mais quente e salina. Na porção mais interna da plataforma, domina a presença da Água Costeira (AC), quente e menos salina, e na porção mais externa, abaixo da AT, a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), relativamente fria e salina (CASTRO E MIRANDA, 1998; PEZZI E SOUZA, 2008). Ao sul da área de estudo, durante o verão, a ACAS aflora em processos de ressurgência.

Ao sul do Banco dos Abrolhos ocorre o Vórtice de Vitória. Trata-se de um vórtice horário quase-permanente de centro frio e baixa salinidade com raio em torno de 40-50 km que é associado ao meandramento da CB (SCHMID et al., 1995). Este vórtice pode contribuir para a ocorrência de AT e ACAS sobre o Banco de Abrolhos. A ocorrência de manchas de água intercaladas frias (talvez associada a ACAS) e quentes (associada a AT) são freqüentes em imagens de TSM (SCHMID et al., 1995).

A presença de materiais em suspensão na coluna d'água reduz a penetração da luz na mesma, inibindo as funções fotossintéticas das zooxantelas e o mecanismo de alimentação do coral (LEÃO et al., 2003a). Na Bahia, os recifes estão sujeitos a altas taxas de turbidez devido à regressão do nível do mar, que aproximou os recifes da linha de costa no final do período Quaternário (LEÃO et al., 1997; LEÃO et al., 2003a). Atualmente, a turbidez tem influência do aporte continental e da ressuspensão de sedimentos finos de fundo. A descarga de sedimentos pelos rios vem aumentando ao longo dos anos devido ao desmatamento da mata nativa, cultivos de cana de açúcar, coco e, mais recentemente, eucaliptos para extração da madeira (LEÃO et al., 2003a). A ressuspensão de sedimentos é causada pela ação de ventos intensos ou correntes. A passagem de frentes frias, mais freqüentes durante o inverno, são responsáveis pelo aumento da turbidez sobre o Banco dos Abrolhos (EVANGELISTA et al., 2007). Segundo LEÃO et al. (2003) a turbidez elevada da Bahia é uma das razões da fauna coralínea ser distinta das demais áreas recifais do mundo, apresentando alta taxa de endemismo e poucas espécies ramificadas.

3.3 Materiais

Para caracterizar o fenômeno do branqueamento com base na variabilidade ambiental da costa do estado da Bahia, foram utilizadas variáveis obtidas por sensores remotos e por análises e reanálises para a área e período de estudo. O período de estudo compreende um total de 13 anos, entre 1993 e 2005, no qual foram registrados os eventos de branqueamento de corais na costa da Bahia. As variáveis estudadas foram a TSM, o coeficiente de atenuação da luz na coluna d'água como medida de turbidez, a precipitação e a intensidade do vento na superfície do mar e de suas componentes zonal e meridional.

3.3.1 Dados ambientais

Os dados ambientais detalhados abaixo foram utilizados nas redes bayesianas e encontram-se resumidos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características dos dados de sensoriamento remoto, análise e reanálises utilizados no estudo.

	TSM	K ₄₉₀	Precipitação	Ventos
Resolução temporal	Diária e 5 dias	8 dias	5 dias	Diária
Resolução espacial	4 km	9 km	2,5°	1,9°
Fonte dos dados	<i>Pathfinder</i> NOAA	GSFC NASA	CMAP/CPC NOAA	NCEP/NCAR NOAA
Período analisado	1993-2005	1998-2005	1993-2005	1993-2005

3.3.1.1 Temperatura da superfície do mar (TSM)

O *Advanced Very-High Resolution Radiometer* (AVHRR) a bordo dos satélites da série *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) é um radiômetro imageador utilizado primariamente para determinar cobertura de nuvens e TSM. Este radiômetro de varredura possui cinco canais, sendo três deles utilizados para a estimativa da TSM (canais centrados nos comprimentos de onda 3,7 µm, 10,8 µm e 12µm) (KILPATRICK et al., 2001; SOUZA et al., 2005). Operacionalmente, a NOAA utiliza dois satélites defasados em 90° em suas órbitas, o que resulta em uma passagem diurna e outra passagem noturna para cada satélite, ambos possuem resolução espacial de 1,1 km ao nadir e resolução temporal de um dia, o que cobre quatro visitas em 24 horas para qualquer local na Terra.

O *Pathfinder* consiste em uma base de dados com fins de estudos globais do clima onde a NOAA disponibiliza a série de dados do AVHRR. Atualmente está na quinta versão, a qual foi desenvolvida em conjunto pela *University of Miami's Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science* (RSMAS) e o *NOAA National Oceanographic Data Center* (NODC) (NODC, 2008).

Os dados de TSM do AVHRR são obtidos a partir do algoritmo *Non Linear Sea Surface Temperature* (NCSST) que utiliza dois canais do sensor para medir a TSM (VAZQUEZ 1998). Após uma série de testes, os pixels recebem uma marca de qualidade (*quality flag*) que possui uma escala crescente de 0 a 7 (KILPATRICK et al., 2001). Um dos produtos disponíveis no *Pathfinder* é a *Best Sea Surface Temperature* (BSST) que se baseia na interpolação ótima de Reynolds (OISST) para minimizar erros. Segundo VAZQUEZ et al. (1998), o BSST utiliza apenas pixels que recebem marca de qualidade iguais ou superiores a 4.

Com uma resolução espacial de 4 km, as imagens de BSST de 1985 até o presente estão disponibilizadas em composições diárias, cinco, sete e oito dias, mensais e anuais. Neste trabalho, foram utilizadas BSST de resolução temporal diária e médias de 5 dias (pêntadas) para os três meses de verão (fevereiro, março e abril) de 1993 a 2005. As imagens diurnas são adquiridas pelo sensor nesta área de estudo no início do dia, período no qual os ventos são geralmente mais fracos e o conteúdo de vapor d'água na atmosfera é menor, minimizando a interferência desta na imagem. Desta forma, optou-se por adquirir as imagens da passagem diurna disponíveis no endereço <<http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.0/>> (NOAA, 2007a).

3.3.1.2 Coeficiente de atenuação da luz difusa no comprimento de onda de 490 nm

Ao penetrar em um corpo d'água, a luz tem sua intensidade atenuada e sua composição espectral alterada pela absorção ou espalhamento dos elementos presentes na coluna. Esta atenuação da luz é indicativa de turbidez da coluna d'água e será maior quanto maior for a quantidade dos chamados constituintes ópticos: material particulado em suspensão, material dissolvido e fitoplâncton.

O *Sea-viewing Wide Field of View Sensor* (Sea-WiFS) é um sensor destinado a estudos da cor da água e está instalado a bordo do satélite Seastar (também chamado de OrbView-2). Seis das suas oito bandas operam na faixa do visível (KAMPEL E NOVO, 2005). Lançado em 1997, o sensor coleta informações com resolução temporal diária e resolução espacial de até 1,1 km (GSFC, 2008). O *Goddard Space Flight Center* (GSFC) da NASA disponibiliza produtos do SeaWiFS, entre eles o coeficiente de atenuação da luz difusa no comprimento de onda de 490 nm (K_{490}). O K_{490} é um indicativo da turbidez na coluna d'água, pois calcula o quanto a luz da região visível do espectro eletromagnético é atenuada quando penetra na camada d'água. Ele é resultado do algoritmo de MUELLER (2000) que utiliza a razão entre as radiâncias ascendentes dos comprimentos de onda do azul e do verde (Equação 3.1).

$$K_{490} = K_{490W} + 0,15645 \left[\frac{L_w(\lambda_1)}{L_w(\lambda_2)} \right]^{-1,5401} \quad (3.1)$$

Onde: K_{490W} é o coeficiente de atenuação da luz na água pura ($0,016 \text{ m}^{-1}$); $L_w(\lambda_1)$ é a radiância ascendente na faixa do azul (488 ou 490 nm) e $L_w(\lambda_2)$ a radiância ascendente na faixa do verde (551 ou 555 nm).

No GSFC é possível adquirir o produto em diferentes níveis de desenvolvimento. O nível zero fornece o produto bruto (*raw*), em valores binários. No nível um estão incluídos dados de efemérides (para georreferenciamento) e no nível dois são adicionadas máscaras para terra e nuvens. No nível três, além de todas estas feições, os mapas já estão em projeção adequada e prontos para o uso. Ainda há a escolha entre o nível três *binned* e o nível três *mapped*, nos quais opta-se por estatísticas da imagem, mas com valores pontuais (*binned*) ou então sem estatísticas de imagem, mas com valores interpolados (*mapped*).

Com uma resolução espacial de 9 km, as imagens de K_{490} de 1997 até o presente estão disponibilizadas em composições diárias, oito dias, mensais, sazonais e anuais. Neste trabalho, foram utilizadas imagens K_{490} de nível três versão *mapped* composição de oito dias para os três meses de verão (fevereiro, março e abril) de 1998 a 2005. Estas imagens encontram-se disponíveis no endereço <ftp://oceans.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/Mapped/8Day/K490/> (GSFC, 2006).

3.3.1.3 Precipitação

As análises *Merged Analysis of Precipitation* (CMAP) do *Climate Prediction Center* (CPC) compilam dados de precipitação de observações *in situ*, estimativas inferidas por satélites (infravermelho e microondas) e também de modelos numéricos (XIE E ARKIN, 1997). Os dados estão disponíveis para os anos de 1979 a 2006 com resoluções temporais de médias de 5 dias e mensais e cobrindo a região compreendida entre 88,75°N a 88,75°S de latitude e 1,25°W a 358,75°W. A resolução espacial da grade é de 2,5° lat /long (CPC, 2007). Foram adquiridas as composições de cinco dias para os três meses de verão (fevereiro, março e abril) de 1993 a 2005 da versão *Enhanced*. A série está disponível no endereço do *Climate Prediction Center* (CPC) em <<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.cmap.html>> .

3.3.1.4 Vento na Superfície do Mar

O projeto de reanálises do *National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR) usa um sistema de previsão e análise para realizar assimilação de dados de 1948 até o presente (CDC, 2007). Um grande conjunto de parâmetros atmosféricos está disponível em seu formato original de quatro medidas diárias e em medias diárias. Foram obtidas medias diárias de vento a 10 m da superfície do mar em suas componentes zonal (u) e meridional (v) para os três meses de verão (fevereiro, março e abril) de 1993 a 2005. A magnitude da velocidade do vento resultante para o mesmo período foi construída a partir da soma vetorial das suas componentes. Os dados estão em forma de grades quase-regulares globais, com resolução espacial de 1,875° lat/long e disponíveis no endereço do *Climate Diagnostics Center* (CDC) em <<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.Reanalysis.surfaceflux.html>>.

3.3.2 Índices de ENOS

Em períodos de curta duração ocorrem alterações atmosféricas e oceanográficas no Oceano Pacífico Equatorial que interferem no clima em diferentes partes do globo. As alterações na pressão atmosférica (El Niño) e na temperatura da água do mar (Oscilação Sul) são referidos como El Niño Oscilação Sul (ENOS). Existem várias séries de índices para medir e monitorar os eventos ENOS. Estes índices observam padrões anômalos nas variáveis

atmosféricas e oceanográficas em diferentes áreas do Oceano Pacífico Equatorial. Entre os índices mais utilizados foram selecionados: Índice Multivariado do ENOS (*Multivariate ENOS Index* – MEI), Índice Oceânico do *El Niño* (*Oceanic Nino Index* – ONI) e Índice de Oscilação Sul (*Southern Oscillation Index* – SOI).

O MEI é baseado em seis variáveis ambientais observadas sobre o Oceano Pacífico Tropical: pressão ao nível do mar; componentes zonal e meridional do vento na superfície do mar; temperatura da superfície do mar e do ar na superfície e fração da cobertura de nuvens no céu (WOLTER E TIMLIN, 1998). O índice, de valores positivos (negativos) associados ao fenômeno *El Niño* (*La Niña*), está disponível em valores bimestrais (janeiro/fevereiro, fevereiro/março, março/abril, etc) a partir de janeiro de 1950 até o presente no endereço do *Climate Diagnostics Center* (CDC) em < <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/> >.

O ONI é calculado sobre as anomalias de TSM na região do Oceano Pacífico Tropical denominada Niño 3.4 (latitudes 5°N – 5°S e longitudes 120°W – 170°W). Em valores trimensais, a permanência por cinco meses consecutivos de uma anomalia positiva (negativa) caracteriza um evento de *El Niño* (*La Nina*). O ONI está disponível em valores mensais a partir de janeiro de 1950 até o presente no endereço do *Climate Prediction Center* (CPC) em <http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>.

O SOI é um índice obtido a partir da diferença da anomalia na pressão atmosférica entre a ilha do Taiti e a cidade de Darwin (Austrália). Ao contrário do MEI e do ONI, valores continuamente negativos (positivos) de SOI indicam episódios de *El Niño* (*La Niña*). O SOI está disponível em valores mensais a partir de janeiro de 1951 até o presente no endereço do *Climate Prediction Center* (CDC) em < <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/> >.

SOPPA (2007) realizou análises de correlação cruzada entre os valores mensais destes três índices e variáveis ambientais em nove áreas de recifes de corais no Brasil, quatro destas localizadas no Estado da Bahia. As maiores correlações foram encontradas para a relação

entre as anomalias de TSM e os índices defasados em sete meses para o MEI ($R=0,31$) e oito meses para o ONI ($R=0,28$) e SOI ($R=-0,27$).

Desta forma, foram adquiridas as séries temporais com e sem defasagem para os três meses de verão (fevereiro, março e abril) de 1993 a 2005 para os três índices (Figura 3.3).

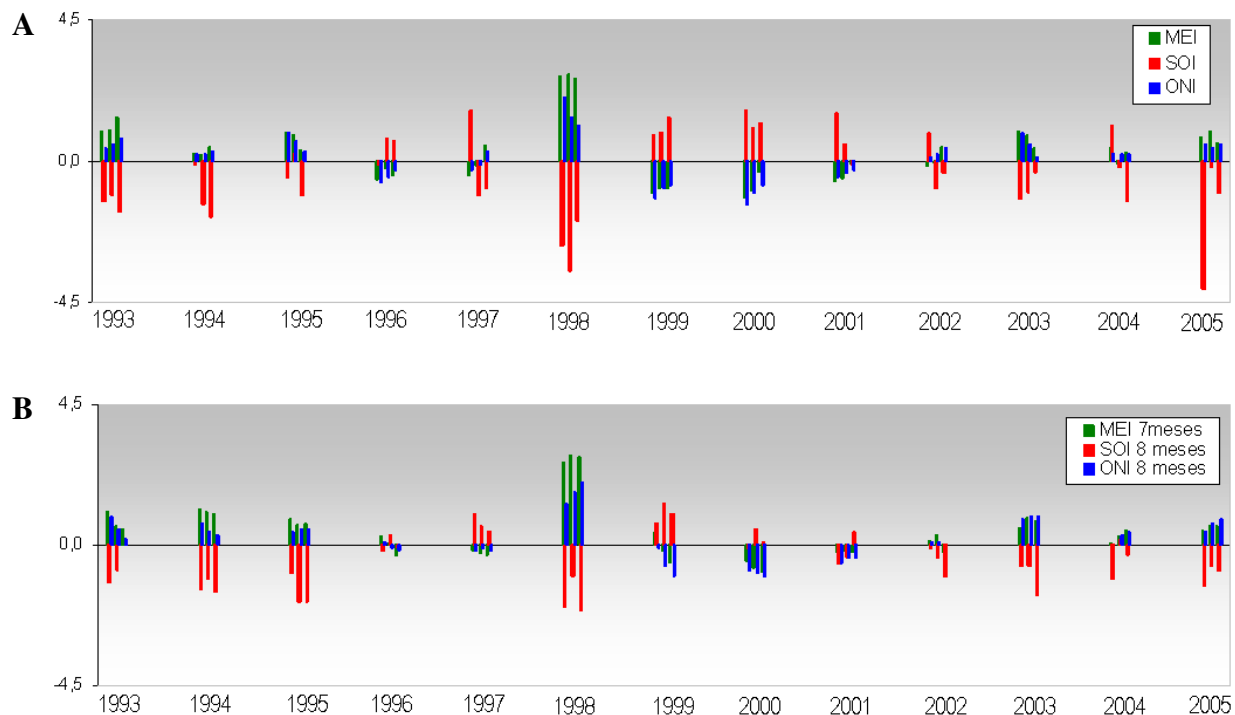


Figura 3.3 - Séries temporais dos índices de ENOS para os verões (fevereiro, março e abril) do período de 1993 a 2005. A) Sem defasagem e B) Com defasagem.

3.3.3 Dados de branqueamento

Os dados de branqueamento (Tabela 3.2) foram obtidos na literatura (CASTRO E PIRES, 1999; CEPEMAR, 2005; LEÃO et al., 2008). A maioria dos dados de branqueamento dos corais nos recifes da Bahia foram obtidos de LEÃO et al. (2008) usando um transecto linear de 10 m a partir da metodologia desenvolvida pelo AGGRA - *Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment* (GINSBURG et al., 1998). Outros dois casos de branqueamento nos recifes dos Abrolhos, ABC 1994 (CASTRO E PIRES, 1999) e 2005 (CEPEMAR, 2005), também foram registrados a partir de levantamentos realizados com transectos lineares, o primeiro empregou um transecto de 10 m enquanto o segundo um transecto de 50 m. O esforço amostral destes trabalhos é comparável e todos os resultados foram dados em percentagem

de superfície branqueada ao longo dos transectos. Constatou-se que os eventos foram registrados predominantemente no período de verão, entre fevereiro a abril. Assim, as análises descritas no presente trabalho se restringiram à variabilidade ambiental da série de verões e sua relação com os branqueamentos descritos. Os dados de branqueamento foram posteriormente classificados de acordo com a intensidade e a área onde foram registrados. As intensidades de branqueamento foram divididas em ausente, fraca e forte. Os eventos foram considerados forte quando o total de colônias branqueadas ficou acima de 20%. Abaixo deste valor, foram denominados os eventos fracos. Houve um único relato de ausência de branqueamento, na área recifal da Cabrália, em março de 2004 (LEÃO et al., 2008). Os dados da Baía de Todos os Santos referem-se exclusivamente à desembocadura, visto que os dados de sensoriamento remoto e reanálises não possuem resolução espacial adequada ao interior da Baía.

Tabela 3.2 - Dados dos casos de branqueamento utilizados no trabalho. LN = Litoral Norte, BTS = Desembocadura da Baía de Todos os Santos, T/B = Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu, CAB = Região da Cabrália, ITA = recifes de Itacolomis, ABC = Arco Costeiro dos Abrolhos e PAB = Parcel e Arquipélago dos Abrolhos.

Período	Área	Maior percentagem de branqueamento	Intensidade	Referência
27/02 a 06/03/1994	ABC	90%	Forte	CASTRO E PIRES (1999)
14,17 e 24/04/1998	LN	100%	Forte	LEÃO et al. (2008)
21 a 25/03/2000	PAB	4%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
06 a 11/03/2001	ABC	11%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
16 a 18/03/2001	PAB	5%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
Março/2002	T/B	17%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
4 a 27/03/2002	ABC	5%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
18 a 20/03/2002	PAB	8%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
14/03/2003	PAB	8%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
Abril/2003	BTS	75%	Forte	LEÃO et al. (2008)
15/03/2003	ABC	18%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
03/05/2003	T/B	39%	Forte	LEÃO et al. (2008)
Março/2004	CAB	0%	Ausente	LEÃO et al. (2008)
10 a 12/04/2005	T/B	20%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
29 e 30/04/2005	ITA	16%	Fraco	LEÃO et al. (2008)
16/03/2005	PAB	28%	Forte	LEÃO et al. (2008)
Março/2005	ABC	25%	Forte	CEPEMAR (2005)

A presença das principais espécies de corais e hidrocorais nas áreas recifais foi levantada por LEÃO et al. (2008) e encontram-se na Tabela 3.3.

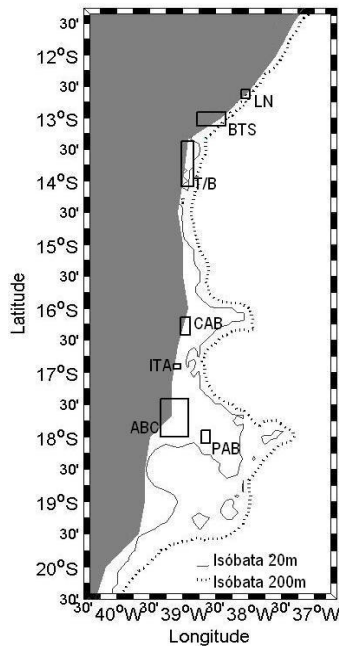
Tabela 3.3 - Ocorrência das principais espécies de corais e hidrocorais por área. LN = Litoral Norte, BTS = Desembocadura da Baía de Todos os Santos, T/B = Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu, CAB = Região da Cabrália, ITA = recifes de Itacolomis, ABC = Arco Costeiro dos Abrolhos e PAB = Parcel e Arquipélago dos Abrolhos. Fonte: LEÃO et al. (2008).

Espécie	LN	BTS	TB	CAB	ITA	ABC	PAB
<i>Mussismilia braziliensis</i>		X	X	X	X	X	X
<i>Mussismilia hispida</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Mussismilia harttii</i>		X	X	X	X	X	X
<i>Siderastrea spp</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Monstastrea cavernosa</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Porites astreoides</i>		X	X	X	X	X	X
<i>Porites branneri</i>	X	X	X	X		X	X
<i>Favia gravida</i>	X	X	X	X			
<i>Favia leptophylla</i>		X			X	X	X
<i>Agaricia agaricites</i>	X	X	X	X			
<i>Madracis decactis</i>		X	X				
<i>Millepora alcicornis</i>		X	X	X	X	X	X
<i>Millepora nitida</i>				X		X	
<i>Millepora braziliensis</i>		X					X

3.4 Métodos

3.4.1 Cálculo das variáveis ambientais

Delimitaram-se sete áreas que correspondem à ocorrência de construções recifais do Estado da Bahia para as quais foram calculados os valores das variáveis ambientais representativas de estresse para os corais (Figura 3.4). Para cada variável foram obtidos dois tipos de dados: mapas das médias de cada verão da série de tempo para toda a costa da Bahia e valores médios referentes ao mês de ocorrência do evento para as sete áreas de recifes de corais. Para a caracterização ambiental, foram utilizados ambos os dados enquanto que como dado de entrada nas redes Bayesianas de previsão, foram utilizados apenas os valores mensais. Todo o procedimento de construção das variáveis foi realizado com o auxílio do *software* Matlab (MATHWORKS, 2004).



Área (km ²)	Superior esquerdo	Inferior direito	
LN	236	Lat.: 12.5546 S Lon.: 38.1065 W	Lat.: 12.6907 S Lon.: 37.9721 W
BTS	1200	Lat.: 12.9198 S Lon.: 38.7799 W	Lat.: 13.1276 S Lon.: 38.3450 W
T/B	1190	Lat.: 13.3692 S Lon.: 39.0184 W	Lat.: 14.0943 S Lon.: 38.8359 W
CAB	438	Lat.: 16.1449 S Lon.: 39.0256 W	Lat.: 16.4198 S Lon.: 38.8766 W
ITA	94	Lat.: 16.8725 S Lon.: 39.1274 W	Lat.: 16.9517 S Lon.: 39.0311 W
ABC	2813	Lat.: 17.4171 S Lon.: 39.3317 W	Lat.: 18.0041 S Lon.: 38.6759 W
PAB	330	Lat.: 17.9041 S Lon.: 38.7170 W	Lat.: 18.0957 S Lon.: 38.5740 W

Figura 3.4 – Limites e características das áreas utilizadas no estudo. LN = Litoral Norte, BTS = Desembocadura da Baía de Todos os Santos, T/B = Ilhas de Tinharé, Boipeba e Baía de Camamu, CAB = Região da Cabrália, ITA = Recifes de Itacolomis, ABC = Arco Costeiro dos Abrolhos e PAB = Parcel e Arquipelágo dos Abrolhos.

Sabe-se hoje que a TSM é, provavelmente, o fator mais importante no processo de branqueamento dos corais e, por isso, foram construídas duas variáveis relativas ao estresse termal derivadas da TSM. Uma indica o valor máximo que atingiu a TSM em uma determinada área e a outra está ligada à persistência de altas temperaturas por um período de tempo determinado.

3.4.1.1 Máxima temperatura da superfície do mar

A máxima temperatura da superfície do mar (MaxTSM) é uma das representantes do estresse termal para os corais. Ela representa quão elevada foi a TSM no verão ou no mês de ocorrência do branqueamento. Para construir as imagens de MaxTSM representativas de cada verão (fevereiro, março e abril) da série, em cada pixel, foram extraídos os maiores valores das 18 pântadas de TSM que abrangem todo o verão (Figura 3.5). Os valores mensais de MaxTSM, foram construídos da mesma forma, porém sobre as imagens diárias de TSM que compreendem o mês do registro do branqueamento.

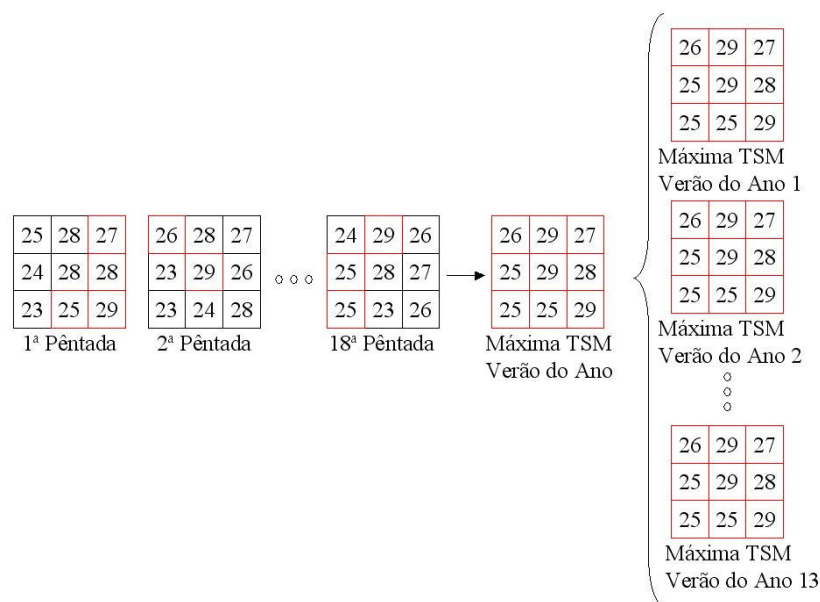


Figura 3.5 - Esquema de construção das imagens de verão da variável Máxima Temperatura da Superfície do Mar (MaxTSM).

3.4.1.2 Temperatura da superfície do mar acumulada em cinco dias

Segundo BELKERMANS et al. (2004), a persistência de máximos de TSM por períodos curtos é extremamente estressante aos corais e apresenta correlação significativa com o branqueamento. Estruturou-se neste trabalho um indicador que demonstra esta persistência de alta TSM. A temperatura da superfície do mar acumulada em cinco dias (TSMac5d) que foi calculada somando-se, para cada pixel, os valores de cinco imagens diárias sucessivas de TSM. Os 90 dias dos três meses de verão resultaram em 18 imagens para cada ano da série e destas foi construída uma matriz com o maior valor de TSMac5d encontrado para cada pixel (Figura 3.6), de forma semelhante a MaxTSM. Testou-se a soma da TSM de cinco dias de modo móvel, onde a TSMac5d de um dia era a soma de seu valor de TSM com os valores de TSM dos quatro dias anteriores, porém os resultados dos métodos não tiveram grandes diferenças, optando-se desta forma pelo primeiro.

Foram obtidos, assim, além dos mapas dos maiores valores de TSMac5d para cada verão da série, os valores máximos da TSM acumulada para o mês e área de ocorrência de branqueamento, observando-se apenas as imagens compreendidas no mês de registro.

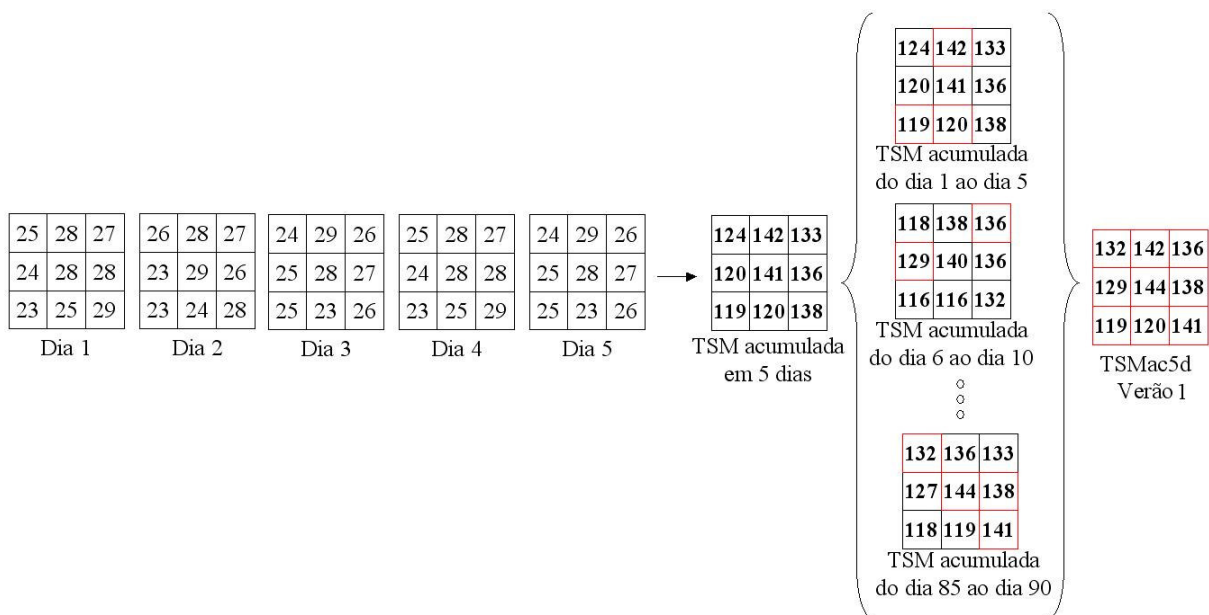


Figura 3.6 - Esquema de construção das imagens de verão da variável Temperatura da Superfície do Mar Acumulada em 5 dias (TSMac5d).

3.4.1.3 Média do coeficiente de atenuação da luz em 490 nm

O coeficiente de atenuação da luz em 490 nm (K_{490}) foi selecionado como variável indicativa de turbidez na coluna d'água, dada em m^{-1} . Pelo início da aquisição de K_{490} pelo sensor SeaWiFS ter ocorrido apenas no inverno de 1997, só obtiveram-se dados desta variável a partir do verão de 1998. A partir das composições de oito dias de K_{490} foram construídas imagens de médias para os oito verões da série e calculados valores médios para cada área e mês onde tenha sido registrado algum caso branqueamento.

3.4.1.4 Média da precipitação

Os mapas de média de precipitação (PPT, mm/dia) para os verões foram construídos a partir da composição da média de cinco dias do CMAP. Também foram obtidos valores médios para a área e mês onde fora registrado algum caso de branqueamento.

3.4.1.5 Médias da magnitude do vento e de suas componentes zonal e meridional

Para obter a resultante do vento foi realizada a soma vetorial de suas componentes. Os mapas das médias do vento $|W|$ e de suas componentes zonal (U) e meridional (V) para os

verões foram construídos a partir dos produtos diários da reanálise e sua unidade é m/s. Também foram obtidos valores médios para a área e mês onde foi registrado algum caso de branqueamento.

3.4.2 Análise por Componentes Principais

A identificação do padrão de variabilidade espaço-temporal do clima é essencial para entender suscetibilidade desse ecossistema ao branqueamento. A Análise por Componentes Principais (ACP) é uma técnica bastante utilizada em análises de séries temporais, dada a possibilidade de demonstrar, em duas dimensões, a variação conjunta no tempo e espaço de um conjunto de dados (WILKS, 2006). EASTMAN (1992) demonstra que, quando o conjunto de imagens consiste de uma série temporal de uma única variável ambiental, a primeira componente principal (1^aCP) de uma ACP padronizada indica o valor característico daquela variável. As novas variáveis, chamadas componentes principais, são combinações lineares das originais e representam uma grande fração da variabilidade contida nos dados originais, sendo a 1^aCP a que contém a maior parte desta.

Embora estejam distribuídos num espaço bi-dimensional, os elementos da matriz observados em um determinado tempo t foram arranjados em um vetor unidimensional \mathbf{x} que vai de I a K , sendo que há um vetor \mathbf{x} para cada amostra (n). Elabora-se assim uma matriz ($n \times K$), uma vez que os dados em K localidades no espaço foram amostrados em n diferentes tempos (CARVALHO, 2005). Ou seja, cada pixel da imagem é tratado como uma variável e cada imagem anual é uma amostra destas variáveis. São 13 o total de amostras para todas as variáveis, visto que a série vai de 1993 a 2005, excetuando-se o K_{490} , cuja série inicia-se em 1998, formando oito amostras.

A ferramenta de ACP do *software* Primer (*Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research*) constrói uma matriz de covariância desta matriz ($n \times K$) e a partir dela são gerados: a) o *loading*, que quantifica a influência da amostra em cada componente principal (CP); b) o autovalor quantifica a percentagem da variância total dos dados originais que é explicada pela CP e; c) as CPs, as quais são compostas pelo mesmo número de elementos dos dados originais, denominados autovetores. São os autovetores da 1^aCP que são usados para criar um mapa final do padrão espaço/temporal característico da variável. Tais mapas

mostram na área de estudo quais regiões têm maior ou menor amplitude de variação. Estes mapas geográficos dos autovetores são também interpretados como representantes de modos não-correlacionados de variabilidade do campo a partir do qual a CP foi extraída (CARVALHO, 2005).

3.4.3 Análises multivariadas de similaridade

Um dos objetivos da caracterização da área de estudo é avaliar se existem diferenças significativas entre as sete áreas de recifes de corais da Bahia de acordo com a amplitude de variação de variáveis ambientais e com a presença/ausência das principais espécies de corais e hidrocorais. Isso demandaria a criação de uma RB para cada área. Para isto foram utilizadas as técnicas de análises de similaridade descritas a seguir. As mesmas técnicas foram utilizadas para procurar por padrões de similaridade entre os casos de branqueamento registrados no período de estudo.

3.4.3.1 Escalonamento multidimensional não paramétrico (EMD)

A técnica de ordenamento não-paramétrico chamado de Escalonamento Multi-Dimensional (EMD) (do inglês *multi-dimensional scaling* – MDS) ordena as amostras de acordo com suas semelhanças por meio da matriz de similaridade e finaliza com a construção de um mapa. Este mapa indica o melhor agrupamento das amostras de acordo com suas semelhanças em um espaço bidimensional, assim quanto mais próximas estão duas amostras, mais similares elas são (CLARKE E WARWICK, 2001).

Procurou-se a similaridade das áreas pela presença e ausência de espécies (Tabela 3.3) e também quanto ao padrão de amplitude de variação das variáveis durante os verões de 1993 a 2005 (obtidos pela ACP). A partir da mesma técnica, procurou-se um padrão também entre os dados de branqueamento quanto às áreas, anos ou intensidade de branqueamento registrado. O EMD foi construído sobre os dados padronizados (valor da variável para cada área dividido pela soma dos valores em todas as áreas) em uma matriz cujas linhas eram as áreas de estudo e as colunas (amostras) as variáveis a serem testadas. A matriz triangular de similaridade resultante baseia-se em equações de medidas de similaridade de Bray-Curtis

feitas para cada par de elementos da matriz original (Equação 3.2) (CLARCKE E WARWICK, 2001),

$$S'_{ij} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right\} \quad (3.2)$$

Onde: y_{ij} representa a entrada na i -ésima linha ($i=1,2,\dots,p$) e j -ésima coluna ($j=1,2,\dots,n$) da matriz de dados originais. Igualmente, y_{ik} é a i -ésima área linha na l -ésima amostra. S'_{il} é igual a 0 se as áreas forem totalmente diferentes e S' é igual a 100 se as áreas forem idênticas.

3.4.3.2 Agrupamento hierárquico

Igualmente baseado na matriz triangular de similaridade, obtida pela medida de Bray-Curtis (Equação 3.2), a Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) é utilizada para encontrar “agrupamentos naturais” de amostras de modo que amostras dentro de um grupo são geralmente mais similares entre si que amostras de diferentes grupos (CLARCKE E WARWICK, 2001). A técnica de agrupamento mais utilizada é a de aglomeração hierárquica. A partir do maior valor de S'_{il} da matriz de similaridade, a aglomeração hierárquica agrupa o restante das amostras refazendo os valores de similaridade, considerando o par de amostras ou de grupo anterior como uma única amostra, sucessivamente. O resultado é apresentado em um diagrama em forma de árvore denominado dendrograma, onde o eixo x representa todo o conjunto de amostras e o eixo y define o nível de similaridade no qual duas amostras ou grupos são considerados como um único elemento.

3.4.3.3 Análise de Similaridade (ANOSIM)

Para analisar a semelhança entre grupos, foram realizadas Análises de Similaridade (do inglês *analysis of similarities* - ANOSIM) em agrupamentos diferentes. Estes agrupamentos foram definidos previamente por fatores como as áreas, reunidas de acordo com a proximidade geográfica, e, para a análise de similaridade dos casos de branqueamento, também pelo ano de ocorrência ou intensidade. As análises possuem um valor R global

para verificar o ajuste das amostras agrupadas por estes fatores e estes são testados par a par para verificar quão diferentes são entre si a partir da Equação 3.3 (CLARKE E WARWICK, 2001). As análises geram, para cada teste pareado, um valor R e um nível de significância, aqui transformado em p -valor.

$$R = \frac{(\bar{r}_B - \bar{r}_W)}{0,5 \binom{n(n-1)}{2}} \quad (3.3)$$

Onde: n é o número total de amostras, \bar{r}_W é a média das similaridades entre as áreas que compõem um grupo e \bar{r}_B é a média das similaridades entre todas as áreas que compõem diferentes grupos.

A estatística R , denominada de R global, pode variar entre -1 e 1 e é calculada com base na diferença entre todos os grupos, onde valores próximos a 0 indicam que não há diferenças significativas entre os grupos. Quando calculada entre dois subgrupos denomina-se simplesmente de R . A significância é determinada pelo teste de Monte Carlo (CLARKE E WARWICK, 2001).

3.4.4 Redes Bayesianas

A obtenção das RB foi realizada em duas etapas, a primeira envolveu a construção da estrutura e a segunda a aquisição das relações de dependência entre as variáveis selecionadas. As RB testadas tiveram como ponto de partida uma tabela com os casos de branqueamento, registrados nos verões de 1993 a 2005, e o valor médio (ou máximo, no caso das variáveis termais) para o mês e local onde cada evento foi registrado (Tabela A.1). Esta tabela foi utilizada tanto na construção das estruturas quanto das probabilidades das RB.

Dada a necessidade dos *softwares* trabalharem com dados discretos, cada variável foi classificada individual e automaticamente em uma ferramenta disponível no programa *Belief Network Power Constructor* (BNPC), a *Pre-Processor*. Os dados de cada variável foram transformados em valores discretos, de acordo com a frequência dos valores e o número de classes foi gerado automaticamente pelo programa. Estas mesmas classes foram utilizadas como os estados dos nós na etapa de construção das probabilidades.

3.4.4.1 Estrutura das redes

Para a obtenção das estruturas das RB foi utilizado o programa *Belief Network Power Constructor* (CHENG, 2001). O BNPC é um *software* que utiliza dois algoritmos (A e B) baseados em análises das dependências entre as variáveis para a aprendizagem da estrutura. Os algoritmos de análise de dependência realizam testes de independência condicional (IC) medindo o volume do fluxo de informação com base na expectativa de que o conhecimento do valor de um nó fornecerá alguma informação sobre outro nó.

Se dois nós X_i e X_j são dependentes, sabendo o valor do nó X_i pode-se obter informação a respeito do valor do nó X_j . Portanto, a informação mútua entre dois nós pode informar se dois nós são dependentes e quão próxima essa relação é. Os algoritmos do BNPC verificam o volume de fluxo desta informação mútua entre os nós e se algum conjunto de condições pode reduzir ou até mesmo bloquear este fluxo. Este fluxo de informação é medido entre dois nós X_i e X_j , e diz-se que X_i e X_j são *d-separated* dado C , um conjunto de nós, se e somente se não houver outro caminho onde a informação possa fluir entre X_i e X_j tal que todo nó que seja intermediário entre X_i e X_j esteja ou tenha um descendente em C .

A informação mútua de dois nós X_i, X_j é

$$I(X_i, X_j) = \sum_{x_i, x_j} P(x_i, x_j) \log \frac{P(x_i, x_j)}{P(x_i)P(x_j)}, \quad (3.4)$$

Onde: $P(x_i, x_j)$ é a probabilidade conjunta de x_i e x_j ; $P(x_i)$ é a probabilidade de x_i ; $P(x_j)$ é a probabilidade de x_j .

E a informação condicional mútua é

$$I(X_i, X_j | C) = \sum_{x_i, x_j, c} P(x_i, x_j, c) \log \frac{P(x_i, x_j | c)}{P(x_i | c)P(x_j | c)}, \quad (3.5)$$

Onde: $P(x_i, x_j | c)$ é a probabilidade conjunta de x_i e x_j dado os nós contidos em C ; $P(x_i | c)$ é a probabilidade de X_i dado os nós contidos em C ; $P(x_j | c)$ é a probabilidade de X_j dados os nós contidos em C .

Quando $I(X_i, X_j)$ é menor que um certo limiar ϵ , diz-se que X_i, X_j são marginalmente independentes e onde $I(X_i, X_j | C)$ é menor que ϵ , diz-se que X_i, X_j são condicionalmente independentes dado C (CHENG et al., 2002).

Os dois algoritmos do BNPC diferenciam-se na demanda de informações necessárias para seu funcionamento. O algoritmo A é utilizado quando o usuário insere informações a respeito das dependências (relações causais ou temporais) entre os nós, enquanto o algoritmo B é utilizado quando não há informações prévias a respeito da relação entre nós. Com as informações inseridas pelo usuário, o algoritmo A precisa de um número exponencial de testes de IC muito menor que o algoritmo B. Ambos os algoritmos utilizam um mecanismo de três fases denominadas *drafting*, *thickening* e *thinning* (CHENG et al., 2002). Na primeira fase, o algoritmo computa a informação mútua de cada par de nós como uma média de proximidade (*closeness*) e cria um esboço (*draft*) baseado nesta informação. Na segunda etapa, o algoritmo realiza os testes IC e adiciona arcos quando os pares de nós não são condicionalmente independentes sobre um certo conjunto de condições. Na última fase, cada arco da estrutura é re-examinado para verificar se há outros caminhos além deste entre os dois nós. Se sim, o arco é temporariamente removido, os testes de IC são realizados novamente e o arco será permanentemente removido se os dois nós do arco forem independentes condicionalmente. No caso do algoritmo B, é realizado na última fase um procedimento de orientação para construir a direção dos arcos. Ocasionalmente, este algoritmo pode gerar arcos que não têm seu sentido definido, e nestes casos é necessário que o usuário complete a rede.

A partir do momento que são inseridas informações de conhecimento do usuário (*domain knowledge*), o BNPC trabalha com o algoritmo A. É possível inserir as seguintes informações prévias:

- a) ordenamento completo ou parcial dos nós, isto é, pode-se indicar ao programa a relação entre todas ou apenas algumas das variáveis;
- b) causas e efeitos diretos;
- c) conexões proibidas;

d) nós raízes (*root nodes*, nós sem pais) e nós folhas (*leaf nodes*, nós sem filhos).

Da mesma forma que uma ordenação prévia dos nós pode melhorar os resultados e agilizar a geração da estrutura da RB, uma ordenação incorreta pode inserir erros no processo de aprendizagem (HRUSCHKA, 2003).

Os algoritmos do BNPC tomam como entrada uma tabela de dados comum, onde cada atributo (campo) da tabela é como um representante (*instantiation*) das variáveis no domínio. As probabilidades marginais e condicionais nas equações acima são estimadas usando a frequência relativa na planilha de dados (CHENG et al., 2002). As exigências dos algoritmos são que os atributos dos bancos de dados possuam valores discretos (classes ou estados) e completos, sem ausência de dados.

O procedimento utilizado foi primeiramente obter do programa uma estrutura que o próprio algoritmo realiza com todas as variáveis disponíveis, ou seja, não foi inserida nenhuma informação prévia, de modo a observar as relações. Posteriormente, procurou-se refinar a estrutura mantendo nós nos quais foram notadas maiores influências no nó de interesse (branqueamento) e eliminando nós distantes (com pouca influência no branqueamento). Também foram inseridas informações que melhorassem a RB, por exemplo, impedindo ligações entre nós ou informando que um certo nó não possuía nós pais (raiz) ou não possuía nós filhos (folha).

O processo foi realizado manualmente, gerando ao final, estruturas com todas as orientações necessárias para a construção das dependências.

3.4.4.2 Dependências das redes

Associada a cada nó há uma tabela de probabilidade condicional (TPC), que quantifica quanto este nó depende de seus nós pais. A TPC especifica a probabilidade de um nó filho estar em um estado particular, dados os estados de seus nós pais. O programa Netica (NORSYS, 2006) utiliza o algoritmo de inferência probabilística proposto por LAURITZEN E SPIEGELHALTER (1988) para aprender as probabilidades condicionais e propagar o efeito da probabilidade em um nó para o resto da RB.

A *Regra da Cadeia* (*Chain Rule* – PEARL, 2000) estabelece que em uma RB de n nós a probabilidade conjunta (X_1, X_2, \dots, X_n) pode ser escrita pelo produto de 2^n probabilidades condicionais

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = P(X_n | X_{n-1}, \dots, X_2, X_1) \dots P(X_2 | X_1) \cdot P(X_1) \quad (3.6)$$

Sabendo que um nó depende exclusivamente de seus nós pais, o algoritmo de inferência probabilística simplifica a Equação 3.6. Ao invés de especificar a probabilidade condicional de X_j a todas as outras possíveis realizações dos nós antecessores X_1, \dots, X_{j-1} , o algoritmo se preocupa apenas com as possibilidades do conjunto de nós pais de X_j , PA_j . O conjunto PA_j é suficiente para determinar a probabilidade de X_j

$$P(x_j | x_1, \dots, x_{j-1}) = P(x_j | pa_j) \quad (3.7)$$

A Figura 2.7 ilustra uma simples, porém típica RB. Ela descreve as relações entre as condições do céu, a ocorrência de chuva, o irrigador automático e o gramado molhado. Nesta RB, todas as variáveis são binárias (os nós possuem dois estados, sim ou não) e foi construída utilizando intuição causal como guia. A ausência de um arco conectando diretamente o nó *Nublado* com o nó *Gramado molhada*, por exemplo, captura a compreensão de que a influência do tempo nublado no gramado molhado é mediada por outras condições (por exemplo, choveu ou não choveu). Esta intuição coincide com a condição de independência, uma vez que conhecendo o estado do nó *Chuva* e do nó *Irrigador*, faz com que *Gramado molhada* seja independente de *Nublado*.

O algoritmo de LAURITZEN E SPIEGELHALTER (1988) decompõe então as probabilidades conjuntas da RB reduzindo as probabilidades conjuntas de 16 (2^4) da RB da seguinte maneira:

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4) = P(x_1) \cdot P(x_2 | x_1) \cdot P(x_3 | x_1) \cdot P(x_4 | x_2, x_3) \quad (3.8)$$

Onde x_1 é o nó *Nublado*, x_2 é o nó *Chuva*, x_3 , *Irrigador* e x_4 *Gramado molhada*.

O poder da RB como uma ferramenta de suporte a decisão é demonstrado quando se altera a probabilidade do estado dos nós pais. O efeito da evidência é propagado por toda a

estrutura de dependência da rede e as probabilidades dos diferentes estados nos nós filhos afetados são atualizadas. A habilidade da RB em realizar raciocínio bidimensional também é uma excelente ferramenta de diagnóstico para identificar o estado mais provável de um ou mais nós pais que leva a um particular estado do nó filho de interesse (NORSYS, 2006). Isto é, se o gramado não estiver molhado é possível saber a probabilidade do irrigador automático ter sido ligado na noite anterior.

O Netica baseia-se na experiência informada pelo usuário a partir de um arquivo de casos. Neste arquivo, a planilha é preenchida de forma que as colunas são os nós da RB e as linhas os casos. É possível inserir casos onde não se tenha a informação sobre o estado de todos os nós da rede (*missing data*), porém, apenas os casos que possuem valor para si e para todos os seus nós pais têm suas probabilidades condicionais modificadas. Os casos contêm os estados em que as variáveis estavam no período do branqueamento e os estados são as classes formadas pelo *Pre-Processor* na etapa anterior à estruturação das redes. O *software* aprende as probabilidades e preenche as tabelas de probabilidade condicional.

Após a finalização das RBs, como método de avaliar a acurácia das mesmas, observou-se os ‘acertos’ quanto aos 17 casos de branqueamento registrados no estado da Bahia para o período de estudo. O nó ‘Branqueamento’ era composto de três estados: ‘Forte’, ‘Fraco’ e ‘Ausente’. Julgou-se que a RB acertara quando o estado que de fato ocorreu foi apontado pela RB como o mais provável. Assim, dividindo-se o número de acertos de um estado pelo número de casos que este estado de fato ocorreu, foram compostas tabelas de taxas de acerto. Estas taxas de acerto foram utilizadas então para selecionar uma única RB final.

Finalmente, depois de selecionada a RB foi realizada uma análise de susceptibilidade sobre os estados do nó ‘Branqueamento’. O Netica fornece um relatório indicando a influência de todos os demais nós da rede sobre os estados do nó selecionado, ou seja, esta análise identifica quais nós da rede têm maior influência sobre a intensidade do branqueamento nos corais. Esta análise ajuda a refinar e atualizar o conhecimento de modo a melhorar a capacidade de prever o impacto do fenômeno sobre os recifes de corais da Bahia.

Por fim, o fluxograma na Figura 3.7 sintetiza como se desenvolveu o trabalho. A partir das variáveis construídas com os dados de sensoriamento remoto, análise e reanálise foi obtida

a caracterização da variabilidade ambiental, cujo padrão espacial é ilustrado no mapa construído com os autovetores da primeira componente principal. As variáveis foram utilizadas novamente, em conjunto com o resultado da análise de componente principal e com os dados biológicos, para a caracterização do padrão de branqueamento e para observar possíveis similaridades entre as áreas recifais. Todos estes resultados foram utilizados de alguma forma na construção das Redes Bayesianas.

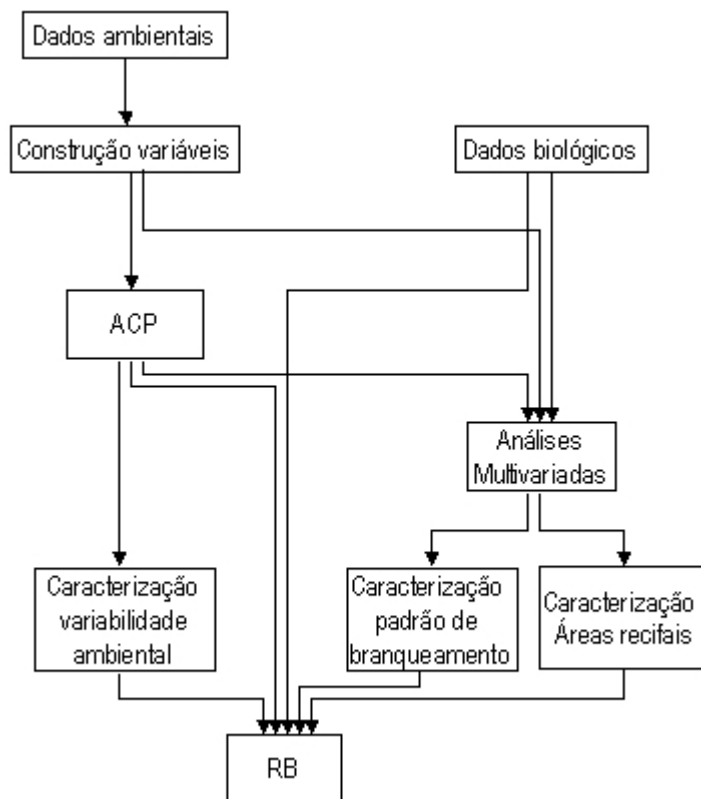


Figura 3.7 - Esquema de desenvolvimento do trabalho.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização ambiental

A determinação dos padrões espaços-temporais das variáveis ambientais é condição necessária para o entendimento das relações entre o ambiente e a suscetibilidade desse ecossistema ao branqueamento. É igualmente importante a identificação de padrões de branqueamento a partir da sua intensidade, localização e ano de ocorrência. Com o conhecimento destes padrões é possível criar e testar modelos de RB mais realistas para a previsão do branqueamento dos corais. Os resultados a seguir estão organizados de maneira a apresentar os padrões espaços-temporais das variáveis associadas ao branqueamento, seguido de uma análise das diferenças de ambiente entre os complexos recifais investigados e entre as condições ambientais durante os eventos conhecidos de branqueamento e, finalmente, os modelos de RB avaliados quanto à sua capacidade de previsão.

4.1.1 Variabilidade de verão dos parâmetros ambientais

As imagens anuais das variáveis ambientais (Apêndice B) foram utilizadas como o conjunto de dados de entrada da análise por componentes principais (ACP). Foram construídos os mapas das 1ª CPs (Figura 4.1), que mostram as amplitudes de variação, e os gráficos das principais componentes (*loadings*), que ilustram a contribuição de cada imagem de verão na construção da 1ª CP (Figura 4.2). Quanto maior o valor em módulo do autovetor no mapa da 1ªCP, maior a amplitude de variação do parâmetro no período. E quanto maior o valor em módulo de um determinado ano no gráfico de *loading*, maior sua contribuição nesta variação. O sinal indica se a covariância entre o ano e o mapa dos autovetores é positiva ou negativa. As características das CPs encontram-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Características das variáveis.

	TSM	K ₄₉₀	PPT	Vento
Padrão analisado	Extremo máximo	Médio	Médio	Médio
Período analisado	1993 - 2005	1998 - 2005	1993 - 2005	1993 - 2005
% variabilidade explicada pelo 1ªCP	92%	37%	76%	W = 49% (U)= 55% (V)= 54%

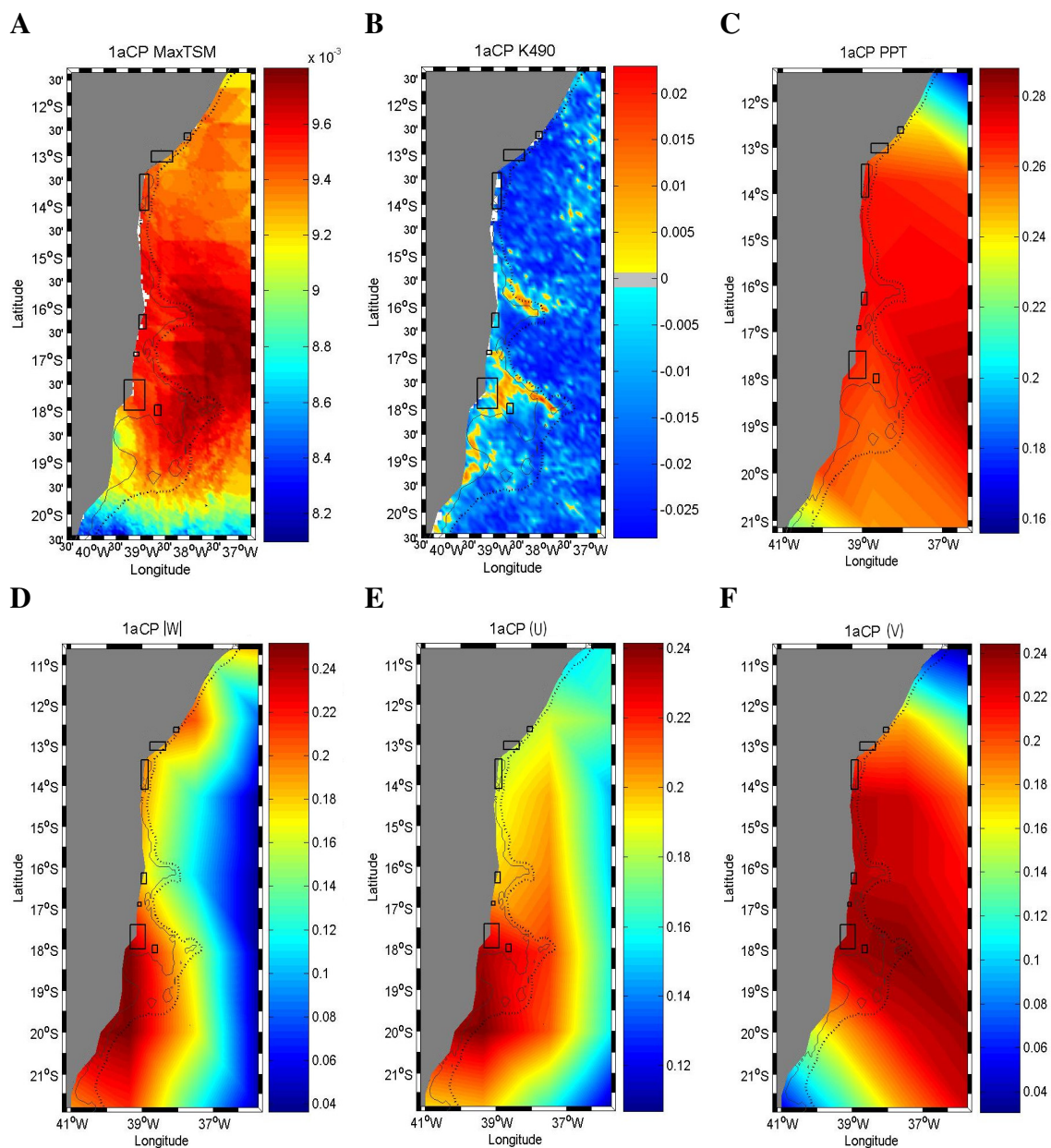


Figura 4.1 - Mapas das Primeiras Componentes Principais. A) Máxima Temperatura da Superfície do Mar; B) Coeficiente de Atenuação da luz a 490 nm; C) Precipitação; D) Vento; E) Componente zonal do vento; F) Componente meridional do vento.

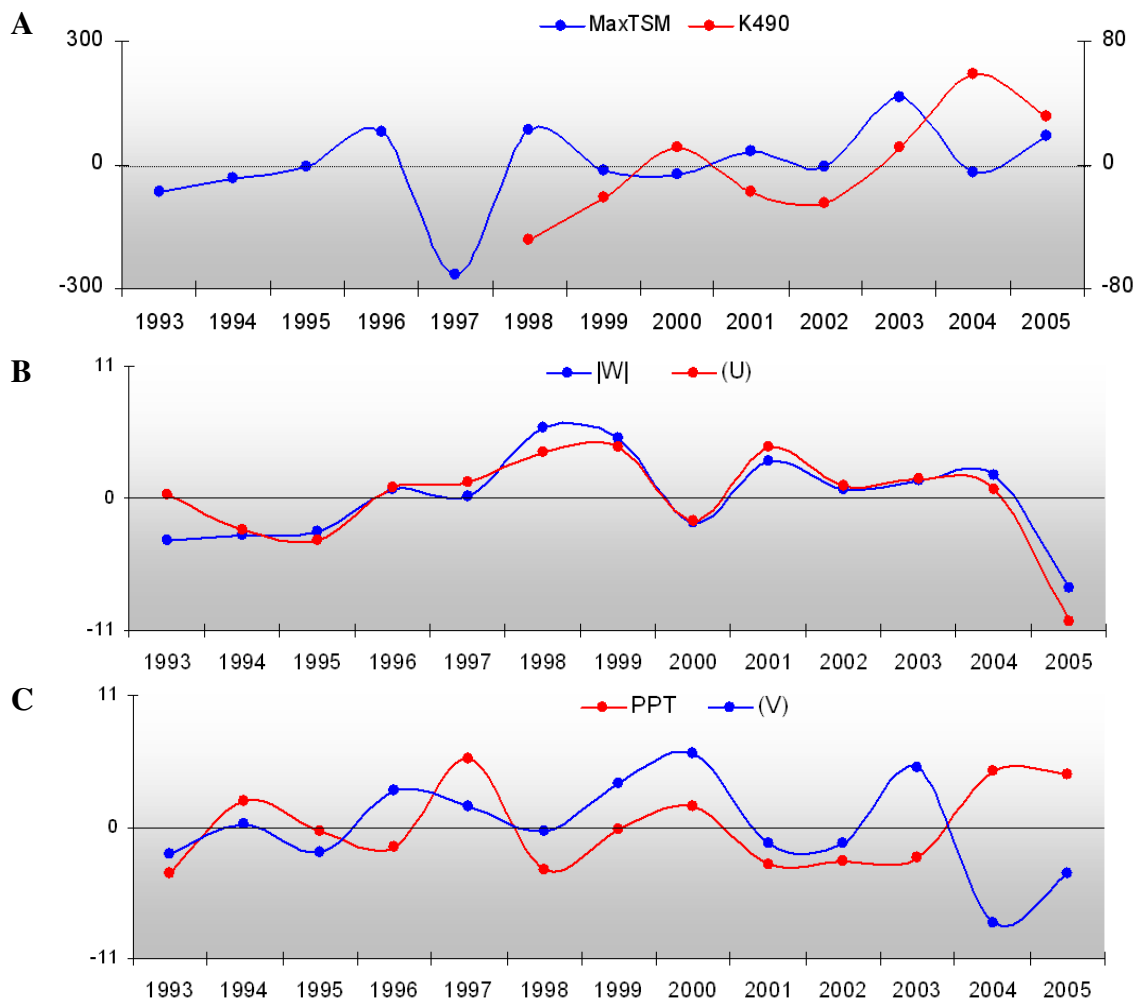


Figura 4.2 - *Loadings* das 1^ªCPs das variáveis A) Máxima temperatura da superfície do mar e coeficiente de atenuação da luz a 490 nm; B) Vento e sua componente zonal; C) precipitação e componente meridional do vento.

Observa-se de modo geral que os recifes estudados estão localizados em áreas de média a alta amplitude em todas as variáveis. Os mapas das 1^ªCPs da MaxTSM (Figura 4.1 A) e da precipitação (PPT) (Figura 4.1 C) mostram que as maiores variações ocorrem principalmente fora da plataforma continental, na zona central da área de estudo, diminuindo de amplitude à medida que se move para as áreas mais rasas e para os extremos norte e sul da área de estudo. A 1^ªCP da PPT guarda ainda uma certa relação com o mapa gerado a partir dos dados de componente meridional do vento (Figura 4.1 F), apresentando um padrão diagonal onde as maiores amplitudes concentram-se no centro e diminuem a medida que dirigem-se aos extremos. A região de maior amplitude de variação de V entre 13° e 17°S, coincide com a região de divergência da Corrente Sul Equatorial e dos ventos, apresentando as menores intensidades da componente meridional em todos os anos (Figura

B.3). O comportamento espacial da amplitude de variação do K_{490} é o mais peculiar (Figura 4.1 B). Enquanto a maior parte do mapa possui autovetores negativos, os flancos norte dos Bancos Royal Charlotte e Abrolhos têm autovetores positivos. Estas regiões com valores positivos indicam que são áreas mais propensas a coeficiente de atenuação da luz mais elevado, ao contrário das áreas negativas, que ocorrem em águas profundas, as quais possuem tipicamente valores baixos de K_{490} . As 1^{as}CPs do vento (Figura 4.1 D) e de sua componente zonal (Figura 4.1 E) apresentam padrão espacial semelhante, onde as áreas de maiores amplitudes de variação concentram-se aparentemente sobre a plataforma continental, paralelas à costa, e especialmente sobre o Banco dos Abrolhos.

De acordo com o gráfico dos *loadings*, o ano de 1997 registrou os menores valores de máxima TSM (Figura 4.2A) em toda a área do mapa seguido por 1993, enquanto os anos de 1996, 1998, 2003 e 2005 elevaram as TSMs da costa da Bahia. O ano de 2003, ano de *El Niño*, apresentou MaxTSM mais elevadas em toda a área de estudo e portanto teve seu sinal maior que os demais. Os anos de 1996 e 1998 apresentaram MaxTSM mais elevadas em regiões específicas da área de estudo e tiveram seus sinais menores. Para o K_{490} , no gráfico de *loadings* (Figura 4.2 A) os anos de 2000 e 2004 mostraram valores mais elevados de coeficiente, indício de períodos de maior turbidez. Estes anos foram também marcados como períodos de elevada precipitação, assim como 1997 (Figura 4.2 C), o que pode ter elevado o aporte de sedimento dos rios e interferido em um aumento na turbidez e conseqüentemente, em elevação do coeficiente de atenuação da luz na coluna d'água. Já os anos de 1993, 1998 e 2001 destacaram-se como os verões mais secos da série. Em 1998, ano de ocorrência de forte *El Niño*, o registro de precipitação foi o menor em todo o período estudado (Figura 4.2 C).

Os *loadings* de |W| e (U) são bastante semelhantes em toda a série temporal (Figura 4.2 B). Este padrão demonstra a maior influência desta componente sobre a resultante |W| em comparação a componente meridional. Para |W| e (U) o ano de 2005 registrou as menores intensidades enquanto 1998 e 1999 marcam as maiores intensidades da série. Para (V), 2000 e 2003 foram anos de ventos intensos e 2004 o que registrou a menor intensidade da série de tempo (Figura 4.2).

A 1ªCP do coeficiente de atenuação da luz apresentou a menor variância explicada dentre todas as variáveis (37%). A 2ªCP comporta 15% da variância restante e possui o padrão espacial apresentado na Figura 4.3. O padrão espacial apresenta uma grande área de autovetores negativos sobre os Bancos Royal Charlotte e Abrolhos e uma maior presença de autovetores positivos nas águas adjacentes à plataforma. A partir do gráfico de loading comparando as 1ªCP e 2ªCP, observa-se que a variância imposta pelo ano de 2004 não foi completamente explicada pela 1ªCP e ainda está presente na 2ªCP (Figura 4.4).

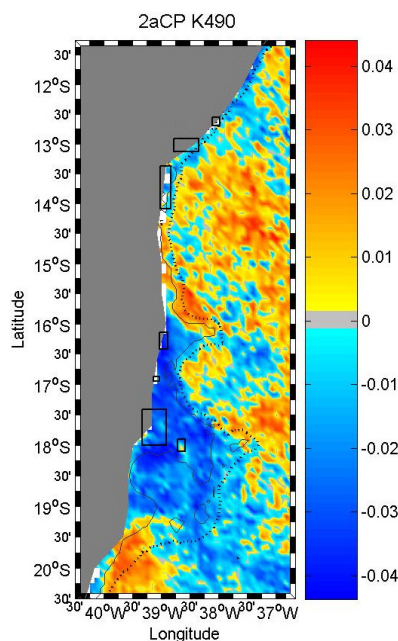


Figura 4.3 - Segunda Componente Principal da série de Coeficiente de atenuação da luz em 490 nm.

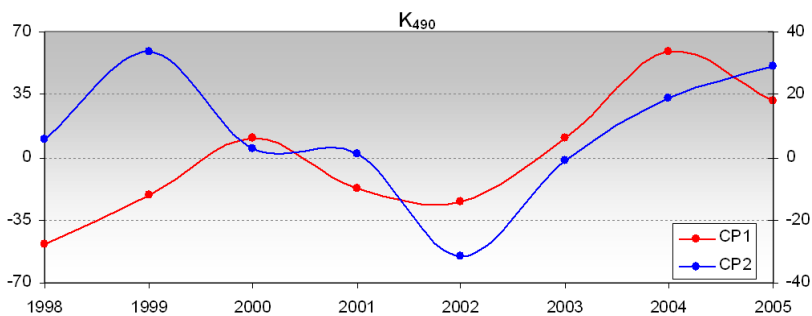


Figura 4.4 - Loading das Primeiras e Segundas Componentes Principais da série de Coeficiente de atenuação da luz em 490 nm.

4.1.2 Similaridade entre áreas recifais

Foram realizadas análises de Escalonamento Multi-Dimensional (EMD) para agrupar as áreas por similaridade em função das variáveis ambientais utilizando as 1^aCPs das variáveis MaxTSM e K₄₉₀. Para tanto, foram obtidas as médias dos valores dos autovetores para as sete áreas (Tabela 4.2), indicativas de quanto variam estas variáveis ao longo dos verões em cada área recifal. As variáveis relativas à atmosfera (vento, suas componentes e a precipitação) não foram utilizadas nesta análise porque a baixa resolução espacial introduz viés na análise pela necessidade de se repetir valores na matriz de entrada (Tabela A.2). O índice de similaridade de Bray-Curtis, aplicado aos dados padronizados, foi utilizado para o ordenamento por EMD e para a geração de dendrograma para a classificação das amostras (Figura 4.5).

Tabela 4.2 - Médias dos autovetores da 1^aCP da Máxima TSM e do Coeficiente de atenuação (K₄₉₀) para as sete áreas recifais.

	MaxTSM	K ₄₉₀
Maior amplitude de variação	0,0110	-0,028 e 0,023
Menor amplitude de variação	0,0033	0
Áreas		
LN	0,0094	-0,0185
BTS	0,0093	-0,0222
T/B	0,0095	-0,0126
CAB	0,0096	-0,0054
ITA	0,0095	-0,0029
ABC	0,0095	-0,0034
PAB	0,0096	-0,0067

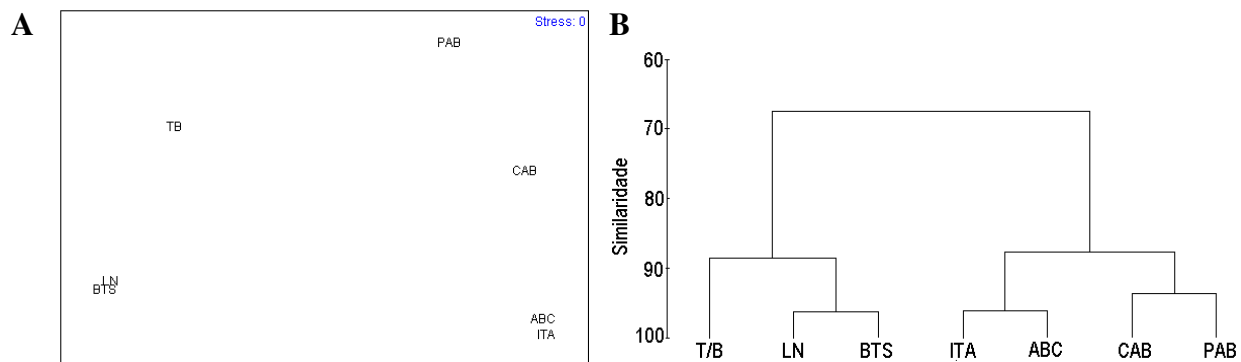


Figura 4.5 – A) Mapa de EMD e B) dendrograma de similaridade entre as áreas recifais de acordo com a variabilidade interanual de MaxTSM e K₄₉₀. Medida de Bray-Curtis.

Foram definidos três agrupamentos de áreas (Tabela 4.3), sobre quais foram realizadas as análises de similaridade (ANOSIM). Estas análises produzem um valor R global para verificar o ajustamento dos grupos e os subgrupos são testados par a par para verificar quão dissimilares são entre si. As análises geraram, para cada teste de subgrupos pareados, um valor R local e um nível de significância, aqui p-valor. Embora todos os testes dos grupos tenham gerado valores de R global satisfatórios, o baixo número de amostras dos testes dos subgrupos fez com que os níveis de significância destes resultassem insatisfatórios (Tabela 4.3). A exceção foi a separação das áreas LN, BTS das áreas CAB, PAB, ABC e ITA que pode ser considerada significativa ($p=0,07$). Este resultado confirma o resultado do teste 3 que permite separar as áreas de recifes de corais em dois grupos distintos, os recifes do norte da costa do estado (LN, BTS e T/B) e os recifes do sul (CAB, ITA, ABC e PAB).

Tabela 4.3 – Resultado dos testes de ANOSIM para agrupamento das áreas.

Teste	Grupos	R Global	p-valor	Subgrupos: R (p-valor)
1	1-LN, BTS	0,95	0,002	1 e 2: 1(0,33)
	2-T/B			1 e 3: 1(0,33)
	3-CAB e PAB			1 e 4: 1(0,33)
	4-ITA e ABC			2 e 3: 1(0,33)
				2 e 4: 1(0,33)
2	1-LN, BTS	0,88	0,001	3 e 4: 1(0,33)
	2-T/B			1 e 2: 1(0,33)
	3-CAB, PAB, ABC e ITA			1 e 3: 1(0,07)
3	1-LN, BTS e T/B	0,98	0,003	2 e 3: 0,92(0,2)
	2-CAB, PAB, ABC e ITA			

O teste de similaridade entre áreas em função da presença e ausência das principais espécies de corais e hidrocorais apresentou resultados não significativos de separação entre as áreas norte e sul ($R 0,23$ e $p=0,14$), LN e as demais ($R 1$ e $p=0,14$) ou de outros subgrupos (Figura 4.6).

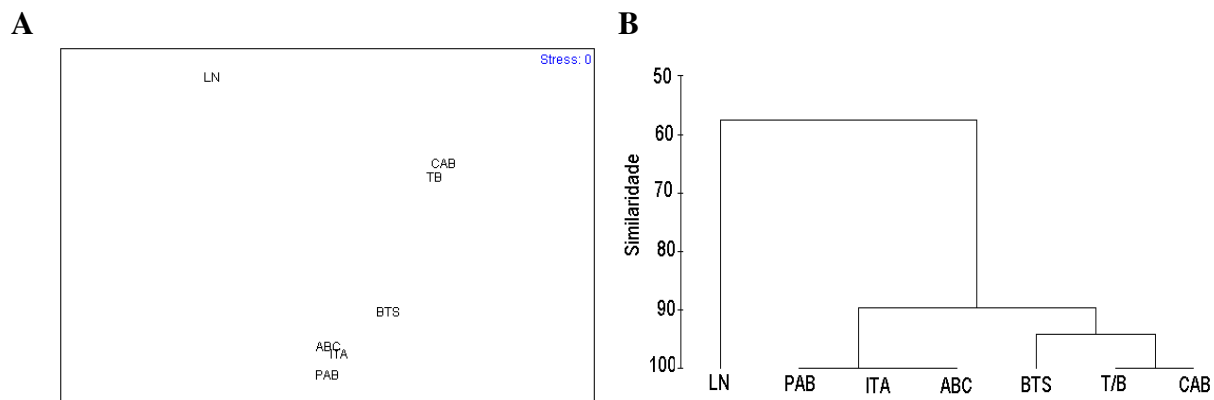


Figura 4.6 – A) Mapa de EMD e B) Dendrograma de similaridade entre as áreas recifais de acordo com a presença e ausência das principais espécies de corais e hidrocorais. Medida de Bray-Curtis.

4.1.3 Similaridade entre casos de branqueamento

Foram investigados os possíveis efeitos do local, ano e intensidade de branqueamento na ordenação e classificação dos eventos de branqueamento para procurar padrões de semelhança entre os mesmos. As análises de EMD, dendrograma e os testes ANOSIM foram realizados sobre uma matriz com as condições ambientais para cada período de branqueamento registrado (mês de ocorrência) (Tabela 4.4).

Sabe-se que o evento de *El Niño* tem influência, em escala global, no fenômeno de branqueamento (GOREAU et al., 2000; KELMO et al., 2003; BELKERMANS et al., 2004) e guarda relação com o aumento da TSM na costa da Bahia (LEÃO et al., 2003a; SOPPA et al., 2007). Desta forma, incluiu-se o índice MEI atrasado em sete meses (MEI_7m), que possui maior correlação com a TSM (R 0,3; SOPPA, 2007), para testar a similaridade entre os casos de branqueamento de acordo com os anos e com as intensidades. Por se tratar de um dado único para toda área de estudo, esta variável foi desconsiderada na análise de similaridade por áreas.

Tabela 4.4 – Dados de todos os casos de branqueamento registrados. As unidades das variáveis são: °C para MaxTSM e TSMac5d; m⁻¹ para K₄₉₀; m/s para |W|, (U) e (V); mm/dia para PPT.

Área	Mês/Ano	Intensidade	MaxTSM	TSMac5d	K ₄₉₀	W	(U)	(V)	PPT	MEI_7m
LN	abr/98	Forte	29,1	145,2	0,0521	7,33	-6,73	2,27	2,12	2,837
BTS	abr/03	Forte	29,4	147,0	0,0347	6,41	-5,82	2,04	6,38	0,795
T/B	mar/02	Fraco	28,9	144,4	0,0635	3,39	-3,17	0,36	3,27	0,301
T/B	abr/03	Forte	29,3	146,6	0,0943	3,18	-2,63	0,71	6,38	0,795
T/B	mar/04	Fraco	28,7	143,6	0,1396	2,97	-2,71	-0,43	7,93	0,276
CAB	mar/04	Ausente	28,4	141,8	0,0907	2,76	-2,10	-1,02	9,95	0,276
ITA	abr/05	Fraco	28,6	142,5	0,0705	2,03	-1,74	0,18	5,67	0,580
ABC	mar/94	Forte	28,1	140,6	0,1139*	5,20	-3,38	-2,47	5,49	1,064
ABC	mar/01	Fraco	28,4	141,5	0,1128	5,81	-4,96	-2,45	0,86	-0,162
ABC	mar/02	Fraco	28,3	141,4	0,1053	5,55	-4,50	-1,82	2,21	0,301
ABC	mar/03	Fraco	28,7	143,6	0,1226	5,84	-4,10	-1,47	1,25	0,864
ABC	mar/05	Forte	28,4	142,1	0,1148	4,53	-3,00	-2,19	5,55	0,611
PAB	mar/00	Fraco	28,0	140,3	0,0712	4,97	-3,82	-0,78	6,55	-0,723
PAB	mar/01	Fraco	28,4	141,5	0,0657	5,81	-4,96	-2,45	0,86	-0,162
PAB	mar/02	Fraco	28,2	141,0	0,0624	5,55	-4,50	-1,82	2,21	0,301
PAB	mar/03	Fraco	28,8	144,0	0,0627	5,84	-4,10	-1,47	1,25	0,864
PAB	abr/05	Forte	28,4	142,1	0,0728	3,58	-2,71	0,41	2,74	0,580

*Não há dados de K₄₉₀ anteriores a 1998, este valor corresponde à média dos valores para eventos na mesma área e mês.

O mapa de EMD (Fig. 4.7A) segregou os casos de branqueamento das áreas do norte LN e BTS (grupo I) e os casos de branqueamento de intensidade fraca dos recifes do sul (ABC e PAB - grupo II). As demais amostras foram agrupadas com presença de eventos fracos e fortes e uma mistura de recifes do norte (T/B) e sul (ABC, PAB e ITA). O agrupamento dos casos de branqueamento no dendrograma (Fig. 4.7B) realçou os limiares de similaridade para cada um destes grupos e produziu três agrupamentos distintos. O primeiro isola branqueamentos altamente similares, eventos de intensidade fraca que ocorreram entre 2001 e 2003 nos recifes das áreas ABC e PAB. Um grupo central foi formado, mas com intensidades e anos de ocorrência desordenadamente arranjados, tornando difícil sua interpretação. Por fim, ambientes de branqueamento de LN e TB foram agrupados com o mais baixo nível de similaridade. Apesar da similaridade geral alta, a classificação das amostras foi clara. Baixos valores de R global (abaixo de 0,5) computados nos testes ANOSIM (Tabela 4.5) ofereceram evidências adicionais de que a influência da localização do recife, ano e intensidade do branqueamento podem produzir um efeito combinado.

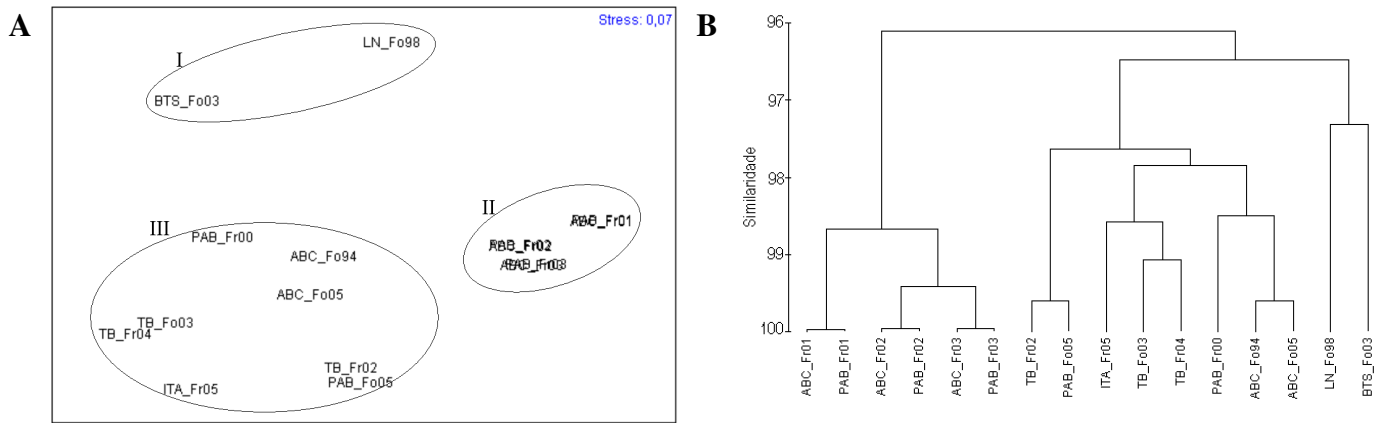


Figura 4.7 – A) Mapa de EMD e B) Dendrograma de similaridade dos casos de branqueamento registrados na Bahia. Medida de Bray-Curtis.

Tabela 4.5 – Resultados da ANOSIM para os casos de branqueamento.

Fator	R global	p-valor
Anos	0,46	0,01
Anos2		
1-2001,2002 e 2003	0,26	0,02
2-demais anos da série		
Áreas	0,34	0,02
Areas2		
1-Norte(LN,BTS e T/B)	0,49	<0,01
2-Sul (CAB,ITA, ABC e PAB)		
Intensidade	0,11	0,13
Áreas e Intensidade	0,64	<0,01

Baseado nos resultados acima, um teste alternativo de similaridades foi realizado para avaliar possíveis diferenças entre amostras. Neste teste, o efeito das intensidades de branqueamento e de localização das áreas onde estes ocorreram formaram uma variável combinada. Os resultados apresentados na Tabela 4.6 mostram que foi alcançado um melhor valor de R global (0,64, $p < 0,01$), seguido por diferenças significativas entre ambientes de branqueamento de intensidade forte separando os recifes do norte (LN e BTS), do centro (T/B e ITA) e do sul (ABC e PAB) do Estado da Bahia. Diferenças entre os ambientes de branqueamento de intensidade fraca não foram significativos exceto para os recifes do centro e do sul ($p < 0,01$).

Tabela 4.6 – Resultados da ANOSIM para o agrupamento dos registros de branqueamento de intensidade fraca (Fr) e intensidade forte (Fo) nas áreas recifais do norte (LB e BTS), centro (T/B e ITA) e sul (ABC e PAB).

	R Local	p-valor
Norte_Fo e Sul_Fo	1	0,01
Norte_Fo e Sul_Fr	0,83	0,03
Centro_Fr e Sul_Fr	0,81	<0,01
Centro_Fo e Sul_Fr	0,84	0,13
Centro_Fo e Sul_Fo	0,56	0,25
Sul_Fo e Sul_Fr	0,49	0,03

4.2 Previsão de branqueamento

Os padrões encontrados são dependentes de fatores conjuntos de intensidade e área de registro, porém, estes fatores isoladamente não são significativos, o que sugere que a construção de uma rede bayesiana única para todas as áreas é suficiente para se modelar o fenômeno na costa da Bahia.

Como citado anteriormente, a construção das RBs é dividida em duas etapas, a construção da estrutura e a obtenção das dependências entre os nós. Para a construção da estrutura, os algoritmos do BNPC tomam como entrada uma tabela de dados, onde cada atributo da tabela é um representante das variáveis (nós). As frequências relativas dos valores por variável são utilizadas nos cálculos das probabilidades e na construção da estrutura a partir de um entre dois algoritmos, A e B. A escolha do algoritmo pelo programa dependerá se o usuário informar qualquer conhecimento *a priori* sobre os dados, neste caso será utilizado o algoritmo A, menos oneroso computacionalmente. Ambos os algoritmos exigem que os campos da planilha de dados sejam discretos (classes ou estados) e completos.

Para atender à demanda dos algoritmos, foi construída uma tabela com todas as informações dos 17 casos de branqueamento registrados, onde se incluíram as médias mensais das variáveis, valores dos índices de ENOS com e sem defasagem, médias dos autovetores das Primeiras Componentes Principais para as áreas de registro e a intensidade do branqueamento (Tabela A.1). Para transformar os dados contínuos da tabela em dados discretos, a ferramenta *Pre-Processor* do BNPC gerou automaticamente classes baseadas na frequência de valores para cada variável. As classes geradas foram utilizadas na elaboração dos estados dos nós (variáveis) na segunda etapa da construção das RBs.

O próximo passo foi gerar uma estrutura inicial, contendo todos os nós e sem nenhuma informação inserida pelo usuário (Figura 4.8). A planilha foi enviada ao BNPC onde foram observadas as conexões a partir do algoritmo B, uma vez que não fora inserido o conhecimento do usuário. Foi observado que a componente meridional do vento (VentoV) conectava-se diretamente à primeira componente principal da máxima temperatura da superfície do mar (1PCMaxTSM) e esta conexão isolava as demais componentes principais. Da mesma forma, a precipitação (Precip) e sua conexão com o índice MEI sem defasagem (MEI) isolava a maioria dos demais índices de ENOS. De modo geral, a atuação direta dos parâmetros ambientais apresenta-se mais relacionada com o fenômeno do branqueamento que a atuação global do ENOS ou o padrão característico de variação destes parâmetros. O coeficiente de atenuação da luz (K490), porém, não apresentou uma relação de causa e efeito com o branqueamento mesmo que indireta.

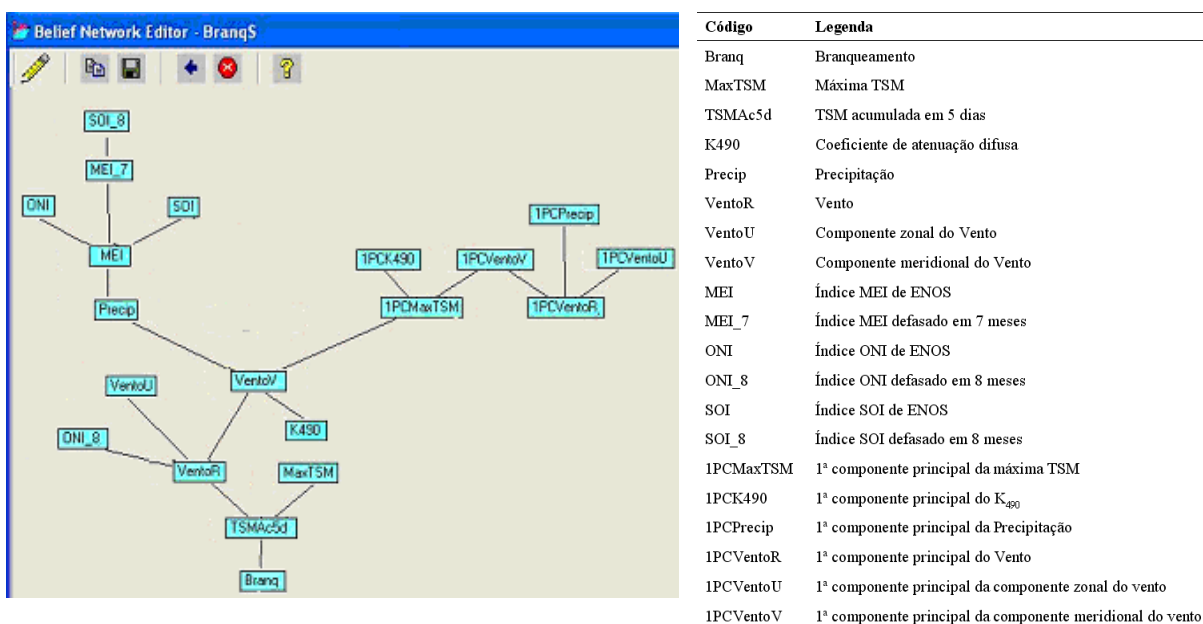


Figura 4.8 - Estrutura inicial da RB com todas as variáveis utilizadas a partir da tabela Branqueamento.

Foi construída uma planilha com as mesmas variáveis, porém com valores para os três meses de verão (fevereiro, março e abril) de todos os treze anos da série nas sete áreas recifais da Bahia (Apêndice C). Esta planilha não continha dados de branqueamento e K₄₉₀, pois estes não possuíam a série completa. A estrutura inicial para esta planilha (Figura 4.9) foi bastante similar e demonstrou que as relações entre as variáveis foram bem apresentadas

pela estrutura construída a partir dos dados dos períodos de registro de branqueamento (Figura 4.8).

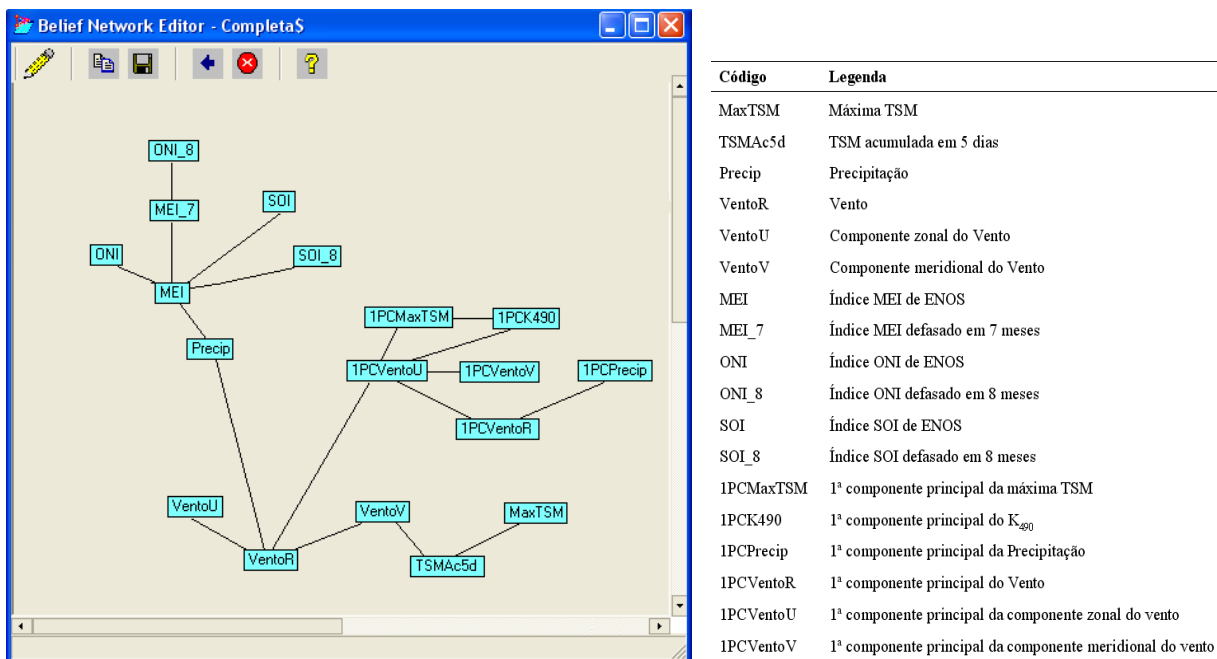


Figura 4.9 - Estrutura inicial da RB com todas as variáveis utilizadas a partir da tabela completa.

Optou-se então por eliminar o K_{490} , manter os índices MEI com e sem defasagem e eliminar os demais índices de ENSO, bem como manter apenas a CP da MaxTSM, por esta ter uma relação já conhecida com o branqueamento (WOODRIDGE E DONE, 2004). Passando a utilizar o algoritmo A, a esta estrutura reduzida foram inseridas informações de conhecimento sobre as relações entre as variáveis e derivadas redes candidatas para prever o fenômeno do branqueamento.

As informações adicionadas foram as seguintes:

- Os índices MEI não têm nós pais, pois é um fenômeno de origem remota e não pode sofrer influência das demais variáveis locais utilizadas;
- O branqueamento é um nó filho e não pode influenciar os demais nós da rede, mas pode ser influenciado por qualquer outro;
- A 1ª CP MaxTSM, que representa o ambiente termal prévio guarda relação indireta com a TSMac5d e da MaxTSM;

- O vento pode exercer influência sobre a variável TSMac5d;
- TSMac5d e MaxTSM exercem influência direta sobre o branqueamento.

Procuraram-se as seguintes características com as redes: Rede 1) compreender exclusivamente o ambiente termal (Figura 4.10 A); Rede 2) integrar variáveis atmosféricas (vento e precipitação) e do ambiente termal (Figura 4.11 A); Rede 3) incluir, além de variáveis termais, apenas a intensidade do vento (Figura 4.12 A); e Rede 4) substituir a intensidade do vento da Rede 3 pela sua componente meridional (Figura 4.13 A).

Com as estruturas das quatro redes e a tabela de dados discretos em estados pelo *Pré-Processor* (Tabela 4.6) foram construídas as tabelas de probabilidades condicionais das redes no Netica. (Figuras 4.10 B, 4.11 B, 4.12 B e 4.13 B).

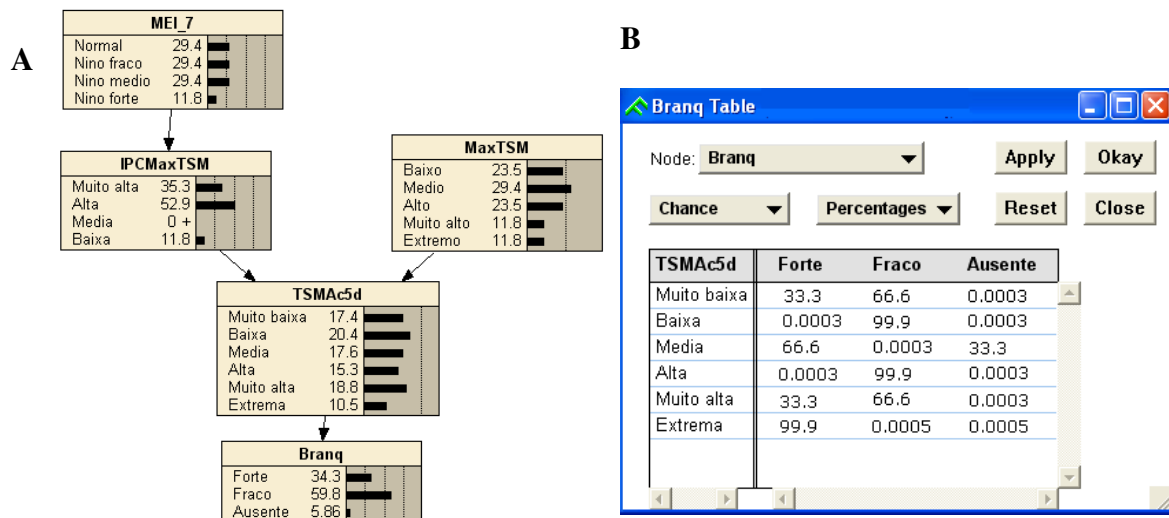
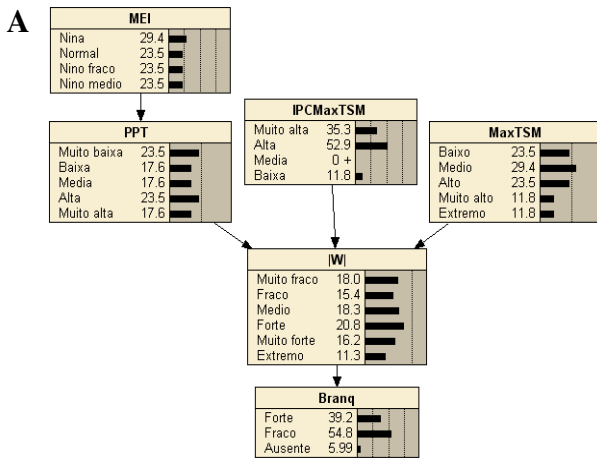


Figura 4.10 - A) Rede Bayesiana 1 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.



B

Branq Table

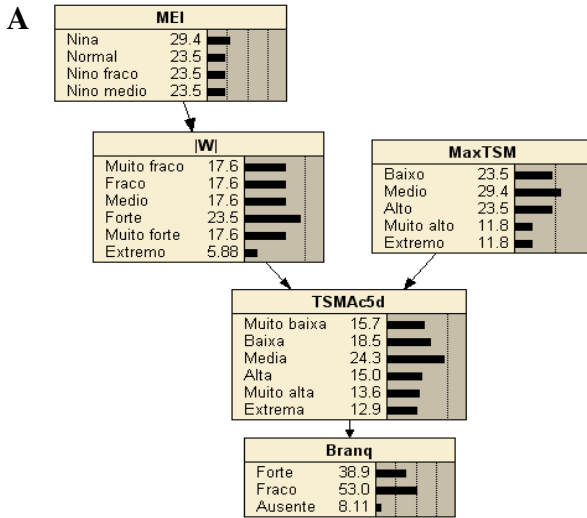
Node: Branq

Apply Okay

Chance Percentages Reset Close

IWJ	Forte	Fraco	Ausente
Muito fraco	0.0003	66.6	33.3
Fraco	66.6	33.3	0.0003
Medio	66.6	33.3	0.0003
Forte	0.0002	99.9	0.0002
Muito forte	33.3	66.6	0.0003
Extremo	99.9	0.0001	0.0001

Figura 4.11 - A) Rede Bayesiana 2 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.



B

Branq Table

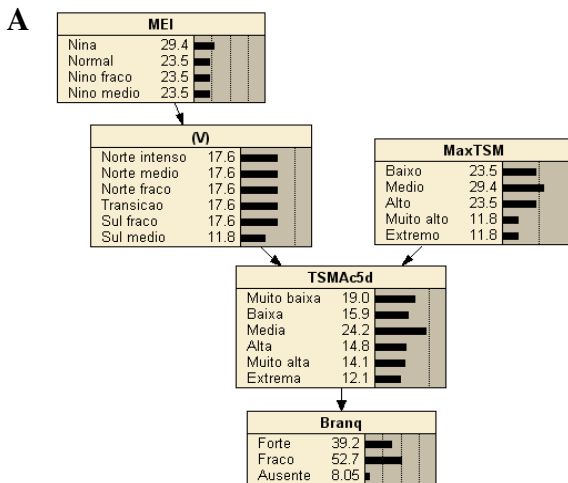
Node: Branq

Apply Okay

Chance Percentages Reset Close

TSMAC5d	Forte	Fraco	Ausente
Muito baixa	33.3	66.6	0.0003
Baixa	0.0003	99.9	0.0003
Media	66.6	0.0003	33.3
Alta	0.0003	99.9	0.0003
Muito alta	33.3	66.6	0.0003
Extrema	99.9	0.0005	0.0005

Figura 4.12 - A) Rede Bayesiana 3 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.



B

Branq Table

Node: Branq

Apply Okay

Chance Percentages Reset Close

TSMAC5d	Forte	Fraco	Ausente
Muito baixa	33.3	66.6	0.0003
Baixa	0.0003	99.9	0.0003
Media	66.6	0.0003	33.3
Alta	0.0003	99.9	0.0003
Muito alta	33.3	66.6	0.0003
Extrema	99.9	0.0005	0.0005

Figura 4.13 - A) Rede Bayesiana 4 e B) tabela de probabilidade condicional do nó branqueamento.

Devido à maioria dos casos de branqueamento registrados terem sido de intensidade fraca, esse estado do nó branqueamento é tido como o mais provável de ocorrer em todas as quatro redes (entre 50 a 60%). Da mesma forma, só foi registrado um único caso de ausência de branqueamento e, portanto, a probabilidade de ocorrência de ausência de branqueamento para as redes é de apenas 5 a 8%. A rede assume como sendo um evento de ocorrência rara.

As tabelas de probabilidades condicionais (TPC) do nó branqueamento nas quatro RB fornecem as probabilidades dos estados do nó dado os estados do nó pai (*TSMAC5d* ou *IWI*). Eventos de branqueamento *forte* tendem a ser decorrentes de eventos *extremos* tanto de *TSMAC5d* (RBs 1, 3 e 4) quanto de *IWI* (RB 2). Estas altas probabilidades condicionais (quase 100%) ocorrem porque os únicos eventos *extremos* destas variáveis foram observados quando foram registrados os casos de branqueamento forte. O mesmo ocorre com eventos *fortes* de *IWI* (RB 2) e *alto* e *baixo* de *TSMAC5d* (RBs 1, 3 e 4). Estes estados foram observados apenas quando foram registrados branqueamentos de intensidade fraca. Já no único registro de ausência de branqueamento ocorreu uma *TSMAC5d* classificada como média (141,8 °C) e *IWI* classificado como *muito fraco* (2,76 m/s). Isto fez com que a probabilidade condicional de um evento *fraco* de branqueamento aumentasse para 33% quando os nós pais encontram-se nestes estados.

Os estados para cada nó e os nomes atribuídos aos estados dizem respeito apenas aos valores observados e não ao fenômeno em si (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Estados dos nós utilizados nas Redes Bayesianas.

Máxima TSM (MaxTSM) (°C)		TSM Acumulada em 5 dias (TSMAc5d) (°C)	
Baixo	$x < 28,3$	Muito Baixa	$x < 141,2$
Médio	$28,3 \leq x < 28,5$	Baixa	$141,2 \leq x < 141,7$
Alto	$28,5 \leq x < 28,8$	Média	$141,7 \leq x < 142,3$
Muito Alto	$28,8 \leq x < 29,2$	Alta	$142,3 \leq x < 143,8$
Extremo	$x \geq 29,2$	Muito Alta	$143,8 \leq x < 145,9$
		Extrema	$x \geq 145,9$

Amplitude 1°CP da MaxTSM (1PCMaxTSM)		Precipitação (PPT) (mm/dia)	
Baixa	$x > -0,00944$	Muito baixa	$x < 1,68$
Média	$-0,00949 < x \leq -0,00944$	Baixa	$1,68 \leq x < 2,47$
Alta	$-0,00957 < x \leq -0,00949$	Média	$2,47 \leq x < 5,52$
Muito Alta	$x \leq -0,00957$	Alta	$5,52 \leq x < 6,46$
		Muito Alta	$x \geq 6,46$

Vento W (m/s)		Vento meridional (V) (m/s)	
Muito fraco	$x < 3,08$	Norte intenso	$x < -2,32$
Fraco	$3,08 \leq x < 4,06$	Norte médio	$-2,32 \leq x < -1,65$
Médio	$4,06 \leq x < 5,38$	Norte fraco	$-1,65 \leq x < -0,9$
Forte	$5,38 \leq x < 5,83$	Transição	$-0,9 \leq x < 0,27$
Muito forte	$5,83 \leq x < 6,87$	Sul fraco	$0,27 \leq x < 1,38$
Extremo	$x \geq 6,87$	Sul médio	$x \geq 1,38$

Índice MEI de ENSO (MEI)		Índice MEI de ENSO defasado em sete meses (MEI_7)	
La Niña	$x \leq -0,082$	Normal	$x < 0,289$
Normal	$-0,082 < x \leq 0,261$	El Niño fraco	$0,289 \leq x < 0,596$
El Niño fraco	$0,261 < x \leq 0,684$	El Niño médio	$0,596 \leq x < 0,964$
El Niño médio	$x > 0,684$	El Niño intenso	$x \geq 0,964$

Foram calculadas taxas de acerto para selecionar dentre as quatro RBs a mais acurada. Para cada um dos 17 registros de branqueamento, foram fixados nas RBs (isto é, alterado suas probabilidades para 100%) os estados encontrados para os nós pais e pesquisado se o estado do nó *Branqueamento* apontado como o mais provável coincidia com a intensidade que ocorreu de fato. As taxas de acerto correspondem à razão entre os casos apontados corretamente e os casos registrados (Tabelas 4.7 a 4.10).

Tabela 4.8 - Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 1.

Intensidade mais provável			Observado	Taxa de acerto
Forte	Fraco	Ausente		
4	2	0	Forte	4/6 = 67%
0	10	0	Fraco	10/10 = 100%
1	0	0	Ausente	0/1 = 0%

Tabela 4.9 - Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 2.

Intensidade mais provável			Observado	Taxa de acerto
Forte	Fraco	Ausente		
5	1	0	Forte	5/6 = 83%
2	8	0	Fraco	8/10 = 80%
0	1	0	Ausente	0/1 = 0%

Tabela 4.10 - Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 3.

Intensidade mais provável			Observado	Taxa de acerto
Forte	Fraco	Ausente		
4	2	0	Forte	4/6 = 67%
0	10	0	Fraco	10/10 = 100%
1	0	0	Ausente	0/1 = 0%

Tabela 4.11 - Intensidade de branqueamento observado e previsto pela RB 4.

Intensidade mais provável			Observado	Taxa de acerto
Forte	Fraco	Ausente		
4	2	0	Forte	4/6 = 67%
0	10	0	Fraco	10/10 = 100%
1	0	0	Ausente	0/1 = 0%

Para os 17 casos de branqueamento registrados na costa do Estado da Bahia, as RB 1, 3 e 4 assinalaram corretamente 14 casos (0,83%) enquanto a RB 2 acertou 13 casos (0,77%). Estas redes, cujo nó pai do *Branqueamento* foi *TSMAC5d*, assinalaram corretamente todos os 10 casos registrados de branqueamento de intensidade fraca e 4 dos 6 casos de branqueamento classificados como fortes (67%). Para a RB 2, que reflete a influência direta da intensidade do vento sobre o fenômeno, 83% dos casos de branqueamento forte foram corretamente previstos (5 dos 6 casos), porém os acertos de casos de intensidade fraca reduziram para 80%. Como esperado, dada a escassez de registros de ausência de

branqueamento, nenhuma das redes testadas foi capaz de apontar corretamente o único caso registrado nos corais da Bahia.

Quando o nó de interesse (*Branqueamento*) possui um único nó pai, a probabilidade de ocorrência de um determinado estado está ligada apenas à fixação dos estados deste nó pai. Então, simulando uma ausência de dados relativos às variáveis conectadas diretamente ao branqueamento, os estados dos demais nós foram manipulados e as probabilidades das intensidades de branqueamento foram observadas novamente. As RB 1, 3 e 4 mantiveram as mesmas taxas de acerto, porém a RB 2 apresentou uma perda de capacidade preditiva para eventos de branqueamento fortes de 83% para no máximo 33%.

As RB foram obtidas a partir da planilha de casos de branqueamento (Figura A.1), contudo o Netica permite incluir casos mesmo quando há uma ou mais informações faltando. Assim, foi possível inserir os dados mensais para os outros nós da rede mesmo quando não havia dados sobre o branqueamento (Apêndice C). Observou-se que, geralmente, as redes mantiveram inalteradas suas previsões finais e quando são fixados os estados de um ou dois nós indiretamente conectados ao branqueamento (propagando a alteração da probabilidade até este nó) as RB 3 e 4 têm uma média de acerto pouco acima das demais. Por objetivar obter uma RB que tenha variáveis que possam ser medidas facilmente em campo, o que facilita o uso da rede como ferramenta de decisão e pela diferença entre ambas ser a inclusão de um nó relativo ao vento $|W|$ ou de um nó relativo à componente meridional do mesmo (V), foi selecionada a RB 3, que utiliza $|W|$.

A análise de sensibilidade (*sensitivity analysis*) foi realizada como avaliação final em relação à RB selecionada. Esta análise, gerada pelo Netica, demonstra o quanto cada estado de um determinado nó pode ser influenciado por variações em cada um dos demais nós da rede. Ou seja, é possível identificar os componentes da RB que têm maior influência sobre o nó *Branqueamento*. Nos gráficos construídos a partir do resultado da análise, as barras representam os limites da variação observada no estado do nó investigado quando os valores para os estados de cada nó do eixo y são alterados e os demais nós da RB são mantidos em seus estados mais prováveis (Figura 4.14).

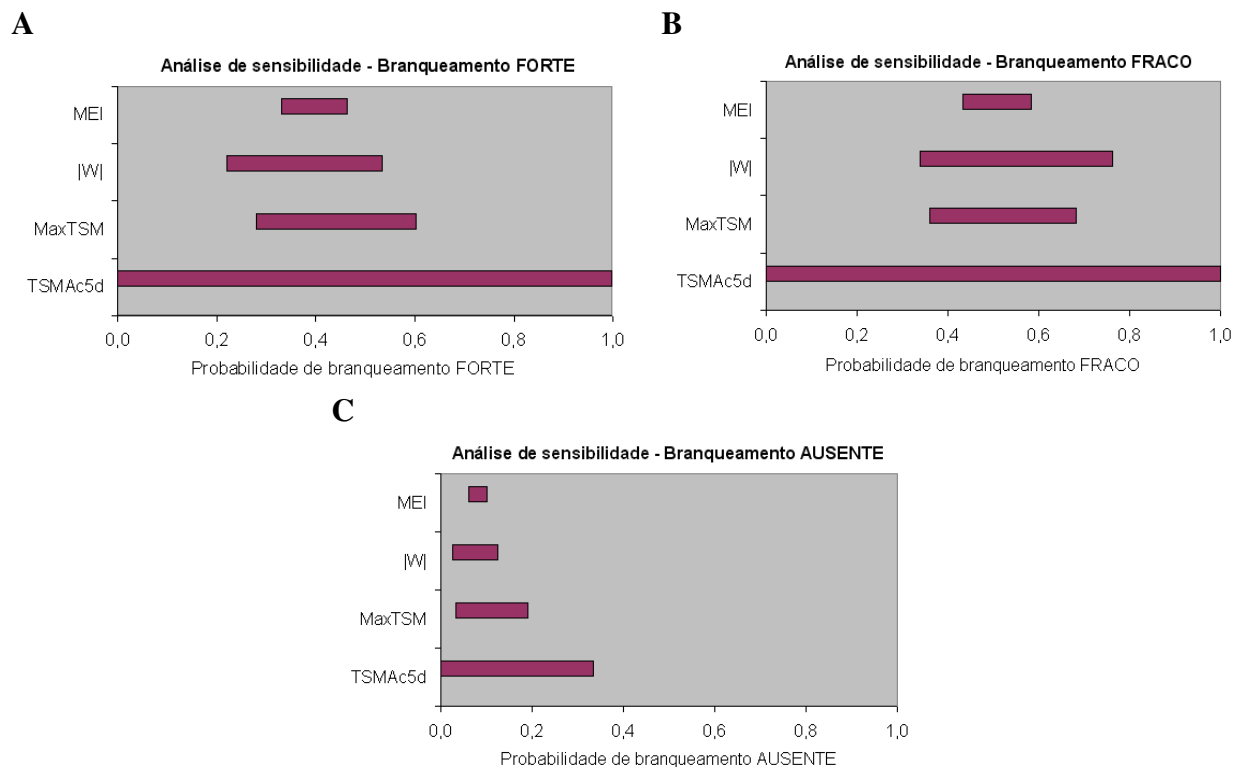


Figura 4.14 - Sensibilidade de branqueamento A) forte, B) fraco e C) ausente a alterações individuais nos nós da RB 3.

O único nó pai do *Branqueamento*, *TSMac5d*, foi a componente mais influente de toda a RB em todos os estados, seguido de *MaxTSM* e *|W|*, os próximos na linha de ascendência. O nó *Branqueamento* é relativamente insensível ao nó *MEI*, pois sua influência é propagada e refletida até o *Branqueamento* através dos efeitos causados nos nós intermediários, descendentes de *MEI*. A variação entre 0 e 1 na probabilidade dos estados *forte* e *fraco* em relação a *TSMac5d* indicam que, para este modelo, a ocorrência ou não de um branqueamento de qualquer intensidade depende fortemente do ambiente termal. Em segundo plano, os estados *forte* e *ausente* foram mais sensíveis à variação de *MaxTSM* enquanto que com *|W|* a probabilidade de ocorrência de branqueamento de intensidade fraca tende a ser levemente maior.

Para a RB, a probabilidade de ocorrência de ausência de branqueamento é muito baixa, visto que ela foi ‘ensinada’ que apenas uma entre dezessete ocorrências de branqueamento enquadra-se neste estado. Isto é refletido na análise de sensibilidade de *ausência* (Figura

4.14 C), cujas influências de todos os nós da rede são menores que para os estados *forte* e *fraco* (Figura 4.14 A e 4.14 B, respectivamente).

5 DISCUSSÃO

Para obter um modelo que reproduza as relações entre o ambiente e o fenômeno do branqueamento, é preciso diagnosticar a variabilidade ambiental nos diferentes recifes do litoral da Bahia. O motivo é que não se sabe se os diferentes recifes estão submetidos a condições ambientais diferentes ou mesmo se, durante os eventos de branqueamento registrados, estas condições diferem de alguma forma. Os mapas obtidos por Análise por Componentes Principais (ACP) apresentam a variação conjunta no tempo e espaço de um conjunto de dados. Os mapas dos autovetores da Primeira Componente Principal (1ªCP) e os gráficos de *loadings* de cada variável selecionada para o estudo foram produzidos a partir da ACP. A análise dos mapas da 1ªCP permite a avaliação da amplitude de variação a que uma área está sujeita. Porém, para saber a magnitude destes valores deve-se recorrer às imagens que originaram a análise. Por sua vez, o gráfico de *loadings* indica: i) pelo valor, a contribuição da imagem anual à construção da componente e ii) pelo sinal, a concordância com o padrão apresentado no mapa dos autovetores. A seguir serão discutidos os resultados para cada variável utilizada no estudo.

O mapa da componente principal referente ao extremo da TSM mostra uma concentração das maiores amplitudes de variação no centro do mapa, na região *offshore*. A amplitude diminui à medida que aproxima dos extremos (Figura 4.1 A). Esta região de maior amplitude experimenta variações bruscas ao longo dos verões da série, enquanto a parte norte (sul) da área de estudo mantém-se geralmente com altos (baixos) valores de TSM ao longo dos 13 anos (Figura B.1). SOUZA et al. (2007) e SOPPA (2007) também observaram na região de Abrolhos a presença de águas costeiras com TSM inferior à região oceânica adjacente durante o verão. Os autores atribuem à topografia uma possível influência, visto que ao norte as TSM são mais elevadas e que a plataforma tem largura reduzida dando oportunidade do núcleo da Corrente do Brasil aproximar mais da costa. O sul da imagem mostra pouca variação de baixos valores de TSM máxima. Nesta região pode haver influência das águas frias trazidas pelo Vórtice de Vitória (SCHIMID et al., 1995) e da ressurgência de Cabo Frio e Cabo de São Tomé (entre as latitudes 21° e 24° S) (SOUZA et al., 2007). Ao norte da área de estudo, a presença de uma zona de água de

MaxTSM elevada (acima de 28,5 °C) somente é quebrada nos verões de 1993 a 1995 e no verão de 1997, quando a MaxTSM é menor que 27,5 °C (Figura B.1).

O mapa da 1ªCP para o coeficiente de atenuação da luz em 490 nm (K_{490}) apresenta valores negativos de autovetores para quase toda a área de estudo (Figura 4.1 B). Nos limites norte dos bancos Royal Charlotte e Abrolhos ocorrem valores positivos. Os mapas anuais (Figura B.3) indicam que estas áreas têm valores tipicamente elevados de K_{490} e, ocasionalmente, apresentaram valores abaixo da média. Como o contrário ocorre com o restante da área de estudo, estas áreas em particular têm autovetores de sinais opostos. Nas regiões mais rasas ocorrem os maiores valores de K_{490} , que acompanham o aumento da extensão da plataforma sobre os bancos (Figura B.3) indicando uma possível influência da batimetria. A turbidez na coluna d'água está relacionada com a ressuspensão de sedimentos e com a precipitação, a qual contribui para um aumento da descarga de sedimentos pelos rios. De acordo com EVANGELISTA et al. (2007), durante o inverno as regiões com maiores valores de K_{490} ($>0,1 \text{ m}^{-1}$), associadas com águas de elevada turbidez, são mais extensas. Embora o verão seja uma estação com taxa maior de precipitação, a ocorrência de frentes frias é menor, e estes sistemas frontais são responsáveis pela intensificação dos ventos o que aumenta a ressuspensão de sedimentos de fundo sobre o Banco dos Abrolhos, sul da área de estudo (EVANGELISTA et al., 2007; SEGAL et al., 2008).

O padrão espacial das amplitudes de variação da (V) apresenta direção diagonal (SE – NO) onde os maiores valores estão no centro e diminuem em direção aos limites (Figura 4.1 F). Os campos médios de vento durante o verão mostram que a região de maior amplitude de variação (entre 13° e 17°S) coincide com a região da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (PETERSON E STRAMMA, 1991; RODRIGUES et al., 2007) e também foi observada por BAPTISTA (2000) e SOPPA (2007). Esta região apresenta a maior amplitude de variação provavelmente devido à migração da zona de divergência, identificada pelas menores intensidades do (V) (faixa de 0 m/s) em todos os anos (Figura B.7). O padrão espacial das amplitudes de variação da PPT (Figura 4.1 C) é similar ao de (V), porém seus mapas anuais são bastante distintos uns dos outros, com alguns anos apresentando baixos valores de precipitação em toda a área (1993, 1998, 2001), valores

médios (1996, 1999, 2002, 2003) e anos com valores mais altos de PPT (1994, 1995, 1997, 2000, 2004 e 2005) (Figura B.4).

Os mapas das 1^aCPs do vento |W| e de sua componente zonal (U) têm em comum uma área de autovetores de maior valor sobre o Banco dos Abrolhos e em *offshore* ocorrem as menores amplitudes de variação (Figuras 4.1 D e 4.1 E). SOPPA (2007) verificou que o vento resultante e sua componente zonal comportam-se da mesma forma quanto às anomalias dentro de uma série de 20 anos. Nos mapas anuais é possível notar em ambas as variáveis uma região na costa (entre 13° e 17°S), caracterizada por ventos constantes de baixa intensidade (< 4 m/s). No restante da área as intensidades são maiores (> 5 m/s) e ao norte da área de estudo encontram-se intensidades constantes e elevadas de |W| e (U) (Figuras B.5 e B.6). SOUZA et al. (2007) também encontraram um padrão de intensificação do vento (5 a 6 m/s) à medida que este se aproxima da costa da região de Abrolhos. Segundo SOPPA (2007) é durante o verão que ocorrem as maiores intensidades do vento, com predominância de ventos nordeste, leste e sudeste na região do nordeste brasileiro. Esta predominância do quadrante leste sobre os ventos justifica a maior semelhança entre a resultante do vento e sua componente zonal.

De modo geral, os resultados dos mapas das 1^aCP mostram que os recifes estudados estão localizados em áreas de média a alta amplitude de variação em todas as variáveis quando comparados ao restante do mapa. Por tratar-se da máxima TSM, uma maior amplitude de variação indica que podem ocorrer tanto valores elevados quanto valores mais baixos de MaxTSM durante os verões. Por outro lado, uma área que possui valores tipicamente elevados de MaxTSM (como o norte da área de estudo, por exemplo) com uma baixa amplitude de variação, ou seja, uma maior persistência de uma mesma TSM ao longo dos verões, poderia estar mais sujeita a estresse e, conseqüentemente, ao branqueamento. Observando a média dos autovetores para as áreas (Tabela 4.2) nota-se que a diferença de valores entre as sete áreas recifais é bem pequena e todos encontram-se mais próximo do máximo de amplitude que do mínimo. Quanto às variáveis relativas ao vento, a característica de alta amplitude pode ser considerada favorável aos corais visto que nestas áreas podem ocorrer ventos de baixa intensidade, permitindo a passagem de luz e maior aquecimento da água (favorecendo o crescimento do coral), e ventos fortes, onde a alta

energia favorece a remoção de resíduos e inibe a fixação de outras espécies competidoras. Para a PPT, todas as sete áreas recifais estão localizadas em uma área de alta amplitude de variação, indicando que todas estão sujeitas tanto a períodos de alta precipitação (dias nublados) quanto de baixa precipitação (sem cobertura de nuvens). A média dos autovetores de K_{490} (Tabela 4.2) mostra que a amplitude de variação deste parâmetro é maior para os recifes do norte da Bahia (LN, BTS e T/B) que para os demais recifes (CAB, ITA, ABC e PAB). Estes estão sujeitos a maiores e mais constantes valores de K_{490} , e conseqüentemente um maior grau de turbidez. Porém, a variância explicada pela 1ªCP do K_{490} é de apenas 37% e, portanto ela pode não ser muito representativa do padrão característico da variável durante a série de tempo.

Os gráficos de *loadings* ilustram a influência das amostras (imagens anuais) na composição da 1ªCP. Estas séries temporais concordam com períodos de eventos ENOS e os anos onde os recifes de corais estavam mais sujeitos a estresse em função dos estados das variáveis que facilitam o desenvolvimento do fenômeno de branqueamento. A relação entre eventos ENOS e os parâmetros aparece nos *loadings* da MaxTSM e da PPT (Figura 4.2 A e 4.2 C), particularmente em períodos de *El Niño* como 1998 e 2003 onde ocorreram máximos de MaxTSM e mínimos de precipitação. Este padrão é também evidenciado nos mapas anuais (Figuras B.1 e B.4). Os anos de 1998 e 2003 apresentaram MaxTSM mais elevadas em toda a área de estudo. O ano de 1997 registrou a maior precipitação, seguido por 2000, 2004 e 2005, enquanto os anos de 1993, 1998 e 2001 destacaram-se como os verões mais secos. Quanto aos valores de MaxTSM das sete principais áreas recifais do estado, a série temporal mostra uma tendência de elevação (Figura A.1) de 0,07 °C/ano para os recifes do norte ($y = 0,0699x - 111,1$; $R^2 = 0,35$) e de 0,04 °C/ano para os recifes do sul ($y = 0,0388x - 49,394$; $R^2 = 0,15$).

As médias de verão nas áreas recifais mostram que as áreas costeiras de Itacolomis (ITA) e Arco Costeiro dos Abrolhos (ABC) apresentam médias de K_{490} elevadas em toda a série (Figura A.3). Os recifes da desembocadura sul da Baía de Todos os Santos (BTS) obtiveram os menores valores de K_{490} em toda a série, a área de Tinharé e Boipeba (T/B) teve picos em 1999 e 2004 enquanto Cabralia (CAB) teve picos em 2000 e 2004. Os *loadings* de PPT e K_{490} são similares (Figura 4.2 C e 4.2 A), assim como as séries das áreas

recifais (Figuras A.3 e A.4) evidenciando uma correlação positiva entre as mesmas. As variáveis relativas ao vento |W| e (U) registraram 2005 como o ano de ventos menos intensos enquanto 1998 e 1999 apresentaram os maiores valores da série (Figura 4.2 B). Porém, estas variações são pequenas como pode ser constatado nas séries temporais das áreas recifais (Figuras A.5 e A.6). Para (V), no entanto, os anos de menor intensidade foram 2000 e 2003 enquanto 2004 foi um ano de ventos mais intensos (Figura 4.2 C). Apesar do gráfico de *loading* de PPT e (V) guardar semelhanças em alguns anos, a análise das séries temporais (Figuras A.4 e A.7) mostra que as variáveis têm comportamento similar apenas para os recifes do sul da área de estudo (ABC e PAB).

Segundo BROWN (1997), um ambiente altamente propício a branqueamentos ocorre em períodos de ventos fracos, céu limpo, mar calmo e pouca turbidez. Buscando estas características nas séries apresentadas nos *loadings*, os anos de 1993, 1996, 1998, 2000 a 2003 e 2005 possuíam em ao menos uma das variáveis condições favoráveis à ocorrência do fenômeno. Considerando que a elevação da TSM é apontada pela literatura como o fator mais relevante, os anos de 1996, 1998, 2003 e 2005 são os anos com maiores tendências ao branqueamento em toda a série. Em 1998 e 2003 ocorreu um forte *El Niño*, registrado adequadamente pelas maiores MaxTSMs em toda a série temporal. Os registros de ocorrência de branqueamento parecem confirmar esta relação visto que estes foram mais evidentes nos anos 1998 e de 2000 a 2005. Porém, deve ser considerado que as visitas aos recifes com caráter de monitoramento iniciaram-se a partir de 2000 (LEÃO et al., 2008).

Os recifes da costa do Estado da Bahia podem ser separados entre as áreas ao norte (LN, BTS, T/B) e ao sul (CAB, ITA, ABC, PAB) baseando-se na variabilidade interanual da TSM e do K_{490} (Figura 4.5). Porém, a distância geográfica entre estes não impediu que a região fosse colonizada pelas mesmas espécies de coral e hidrocorais, como é evidenciado nos testes de similaridade por presença e ausência (Figura 4.6). Quando analisados os casos de branqueamento verificou-se que fatores como área, intensidade ou ano de registro isoladamente, não mostraram um padrão de ocorrência que justificasse a construção de redes distintas. Porém, quando os eventos foram agrupados de modo a observar a influência de eventos de intensidades distintas em regiões da costa, observou-se que os episódios de branqueamento forte dos recifes mais ao norte do Estado (LN e BTS) foram

significativamente distintos dos eventos que ocorreram sobre o Banco dos Abrolhos (áreas ABC e PAB – Tabela 4.6). Isto mostra que as condições ambientais que dispararam o fenômeno de intensidade forte são distintas para estas duas áreas. A análise da variabilidade mostra que as condições de MaxTSM e K_{490} em LN e BTS foram significativamente diferentes de CAB, ABC e PAB, deixando T/B em uma condição intermediária.

A falta de um padrão claramente distinto nos resultados apresentados aqui não deve ser tido como um impedimento à procura da relação de causa e efeito plausível que possa explicar o branqueamento do coral. Pelo contrário, ele realça o fato de que os ambientes de ocorrência de branqueamento são um sistema altamente complexo que pode estar respondendo simultaneamente a forçantes globais e regionais. A construção da rede bayesiana para modelar o fenômeno na costa da Bahia pôde explorar as incertezas que acompanham esta complexidade. A partir dos algoritmos de estruturação de redes bayesianas e posteriormente da restrição aplicada (dado o conhecimento do usuário), foram delineados quatro modelos de redes bayesianas. Estas redes utilizam as relações entre variáveis termais, como o padrão característico de verão do extremo máximo de TSM (1ªCPMaxTSM), máxima TSM e TSM acumulada em cinco dias, além do vento, precipitação e ENOS com o fenômeno do branqueamento.

Os algoritmos de estruturação de RBs relacionaram as variáveis do ambiente termal com o branqueamento em todos os testes, inclusive naqueles sem interferência do usuário. Uma vez que a temperatura da água do mar é tida como a principal responsável pelo branqueamento, este comportamento já era esperado. O impacto do ENOS sobre os corais foi indicado pelo Índice Multivariado do ENOS (*Multivariate ENOS Index* – MEI) de duas formas, com ou sem defasagem de sete meses (MEI e MEI_7). Foi observado que os algoritmos de aprendizado conectaram o MEI_7 diretamente a uma variável relacionada ao ambiente termal (PCA, na rede de ambiente termal) enquanto o MEI era conectado com nós relativos a variáveis atmosféricas. Isto confirma os resultados de SOPPA (2007) que relacionou MEI com variáveis ambientais e encontrou para a TSM maiores correlações com o índice defasado em sete meses enquanto as demais variáveis têm menor correlação, estas com o índice sem nenhuma defasagem. Como os outros modelos de previsão apontam, as variáveis atmosféricas mostraram-se relevantes nos estudos do fenômeno do

branqueamento. A precipitação e o vento entraram em uma e três das quatro RBs construídas, respectivamente.

O K_{490} , aqui utilizado como indicativo da turbidez, não foi relacionado direta ou indiretamente ao branqueamento pelos algoritmos de aprendizado e foi eliminado das redes. Segundo LEÃO et al. (1997) as espécies de corais brasileiras vivem em um ambiente de turbidez elevada por vários milhares de anos e provavelmente estão bem adaptadas à luz escassa devido à sedimentação (LEÃO E KIKUCHI, 2001). Por outro lado, ambientes de muita luz, ou seja, baixa turbidez - como os observados em períodos de *El Niño* (EVANGELISTA et al., 2007) - contribuíram para o crescimento dos corais da espécie *Favia leptophylla* nos recifes da região de Abrolhos (EVANGELISTA et al., 2007). De qualquer modo, nem valores altos nem valores baixos de K_{490} pareceram ser relevantes para os casos utilizados neste estudo. A análise das séries temporais de K_{490} não indicou que os eventos de branqueamentos tenham ocorrido em períodos de valores extremos desta variável em nenhuma das áreas recifais da Bahia (Figura A.3).

Estes estruturas de redes finais foram inseridas no *software* de aprendizado das dependências das redes para a construção das tabelas de probabilidades condicionais e seus resultados foram confrontados com os casos de branqueamento para verificar sua taxa de acerto. Todas as RBs apresentaram resultados satisfatórios de aprendizado com três das quatro RB apontando corretamente como mais prováveis as intensidades de branqueamento de 14 de 17 casos, gerando um acerto de 83% enquanto a quarta RB apresentou um acerto superior a 75%. As redes também foram testadas sem a informação da variável que afeta diretamente o branqueamento e, desta vez, as RBs 3 e 4 foram as únicas a manterem a mesma taxa de acerto. Uma vez que o objetivo do trabalho é a obtenção de uma RB que tenha variáveis que possam ser medidas facilmente, o que facilita o uso da rede como ferramenta de decisão, e pela diferença entre ambas ser a inclusão de um nó relativo ao vento |W| ou de um nó relativo à componente meridional do mesmo (V), foi selecionada a RB 3 (Figura 4.12 A), que utiliza |W|, por se julgar ser este um parâmetro mais fácil de ser adquirido.

Atentando-se para as intensidades dos branqueamentos nos casos registrados, os branqueamentos classificados como fracos (abaixo de 20% de colônias branqueadas) foram

os que as redes mais acertaram, devido ao maior número de ocorrências desta intensidade. A probabilidade de ausência de branqueamento não foi maior em nenhuma rede. Por se tratar de um dado único, o aprendizado da rede o considera o menos provável, indiferente às circunstâncias. A partir da análise de sensibilidade foi possível notar que as variáveis relacionadas ao ambiente termal de fato possuem maior influência no fenômeno do branqueamento. A máxima temperatura da superfície do mar acumulada em cinco dias, por ser a única variável diretamente conectada, foi a componente mais influente no branqueamento em todas as suas intensidades, seguido de MaxTSM e |W|. Já o índice MEI possui influência indireta no branqueamento. Estes resultados concordam com a literatura que aponta o ambiente termal como o principal desencadeador do fenômeno do branqueamento e que a exposição prolongada a altas temperaturas eleva a probabilidade de sua ocorrência (GLYNN, 1993 e 1996; GOREAU E HAYES, 1994 e 2005; BROWN, 1997; CASTRO E PIRES, 1999; GOREAU et al., 2000; FITT et al., 2001; LEÃO et al., 2003a; BELKERMAN et al., 2004).

A TSMac5d foi uma variável construída à semelhança da Máxima TSM acumulada em 3 dias (*Max3day*) de BELKERMAN et al. (2004) que encontraram neste parâmetro a maior correlação com a presença/ausência de branqueamento nos recifes da Grande Barreira de Corais. WOODRIDGE E DONE (2004) utilizaram esta variável em suas redes bayesianas, as quais objetivavam a previsão do branqueamento e da mortalidade de corais em decorrência do fenômeno. Na RB analisada pelos autores a *Max3day* foi conectada pelos algoritmos de aprendizado diretamente ao nó *Bleach* (branqueamento) e ao nó *Death* (mortalidade), o que indica sua influência direta em ambos. Além disso, na análise de sensibilidade do nó referente à mortalidade, *Max3day* só não foi mais influente que o próprio branqueamento. Tanto no trabalho apresentado aqui quanto no trabalho de WOODRIDGE E DONE (2004) a variável representante de estresse termal cumulativo é a que possuiu o papel mais importante na força preditiva das RBs (Figuras 4.14 A a C). No caso de WOODRIDGE E DONE (2004), sua influência superou inclusive fatores característicos dos recifes como habitat e a comunidade coralínea.

O primeiro passo para o sucesso de um modelo é que ele seja capaz de reproduzir corretamente os casos em que fora baseado. Isto é particularmente importante em modelos

não determinísticos, que possuem incertezas incluídas. A flexibilidade da RB permite inserir novas informações e a partir do momento que mais eventos forem registrados, os mesmos serão incorporados na rede, reavaliando-se apenas as probabilidades condicionais das variáveis afetadas. Até então é possível concluir que as redes estão de acordo com a realidade, uma vez que apontam corretamente a intensidade de branqueamento em mais de 80% dos casos. Dada a reduzida quantidade de casos de branqueamento optou-se por não separar casos para a validação, porém, pretende-se no futuro realizar alguma técnica de validação utilizadas em estudos com poucos dados. Na técnica de validação cruzada amostras escolhidas randomicamente são reservadas para validação enquanto o restante é usado na construção do modelo. O processo é repetido testando várias vezes com amostras diferentes. A taxa de erro final é uma média das taxas de erro das diferentes interações.

O principal objetivo deste estudo foi construir um modelo que compreendesse as relações do fenômeno do branqueamento com as variáveis que o causam, incluindo todas as incertezas que estão incorporadas a fenômenos naturais. Acredita-se que este acréscimo de informações a respeito dos recifes de corais e a ameaça à qual estão sujeitos contribuam para a compreensão deste sistema ecológico e pode ser útil aos tomadores de decisão em relação ao manejo, monitoramento e conservação do mesmo. Um exemplo prático que pode ser dado é a aplicação de um maior esforço de coleta de dados de branqueamento em áreas que sejam apontadas na RB como mais prováveis a ocorrência do fenômeno, uma vez que o pesquisador/gestor ajuste os estados em que estejam os demais elementos da rede nestas áreas. Da mesma forma, ações prioritárias de preservação podem ser direcionadas a recifes que sejam apontados como de maior risco de branqueamento. De sobreaviso, autoridades competentes podem tomar medidas de prevenção a impactos como a sobrepesca e o turismo descontrolado, impactos estes que podem adicionar estresse aos corais, além daqueles ao qual já estarão sujeitos.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados e discussões apresentam-se as seguintes conclusões:

- A caracterização ambiental mostrou que os recifes do norte e do sul da região de estudo são distintos de acordo com o padrão de amplitude de variação da máxima temperatura da superfície do mar e do coeficiente de atenuação da luz em 490 nm, porém essa variação não é suficiente para restringir a presença das principais espécies de corais e hidrocorais em um ou outro setor da costa da Bahia;
- As análises multivariadas mostraram que os branqueamentos fortes que ocorreram nos recifes do norte do Estado são significativamente distintos dos eventos de intensidade forte registrados sobre o Banco dos Abrolhos.
- As principais variáveis que implicam em branqueamento nos corais da Bahia foram aquelas representativas do ambiente termal, da intensidade do vento e do ENOS;
- A variável representativa de persistência de elevada temperatura da superfície do mar foi a que possuiu maior e direta influência no branqueamento de qualquer intensidade.
- A técnica de redes Bayesianas apresentou-se adequada e o modelo respondeu bem ao propósito, conseguindo reproduzir satisfatoriamente os casos de branqueamento com os quais foi ensinado, em uma taxa de acerto superior a 80%.

O presente trabalho deixa clara a necessidade de investir em um monitoramento continuado dos recifes onde ocorreram eventos de branqueamento. O monitoramento é fundamental para que seja possível a distinção acurada entre as condições ambientais em que se desenvolve o branqueamento e aquelas onde o fenômeno não se desenvolve. Aumentando-se a quantidade de registros de presença e ausência de branqueamento é possível incorporar estes casos na RB de modo a aumentar a acurácia e, conseqüentemente, a confiabilidade da rede.

Estudos futuros deverão concentrar esforços na construção de novas variáveis e na inclusão das mesmas na RB. Planeja-se a inclusão de variáveis representativas da influência de períodos de ventos de baixa intensidade, a exemplo da TSMAc5d, e também de variáveis representativas da hidrodinâmica local. Serão também realizadas análises de validação dos resultados da RB por meio de métodos estatísticos apropriados como a validação cruzada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, S.; ZEPP, R.; MACHULA, J.; SANTAVY, D.; HANSEN, L.; MUELLE, E. Indicators of UV exposure in corals and their relevance to global climate change and coral bleaching. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 7, n. 5, p. 1271-1282, 2001.

BACHELET, D.; BARNES, P.W.; BROWN, D.; BROWN, M. Latitudinal and seasonal variation in calculated ultraviolet-B irradiance for rice growing regions of Asia. **Photochemistry and Photobiology**, v. 54, n. 3, p. 411– 422, 1991.

BAPTISTA, M. C. **Uma análise do campo de vento de superfície sobre o Oceano Atlântico Tropical e Sul usando dados do escaterômetro do ERS**. 2000-06-20. 131 p. (INPE-9607-TDI/840). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/04.10.08.37>>. Acesso em: 30 maio 2008.

BARBER, R. T.; HILTING, A. K.; HAYES, M. L. The changing health of coral reefs. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 7, n. 5, p. 1255-1270, 2001.

BELKERMANS, R.; DE'ATH, G.; KININMONTH, S.; SKIRVING, W. J. A comparison of the 1998 and 2002 coral bleaching events on the Great Barrier Reef: spatial correlation, patterns, and predictions. **Coral Reefs**, v. 23, n.1, p. 74-83, 2004.

BROWN, B. E. Coral bleaching: causes and consequences. **Coral Reefs**, v.16, n. 1, p. 129-138, 1997.

BUCHHEIM, J. **Coral reef bleaching**. Odyssey Expeditions- Marine Biology Learning Center Publications. 1998. Disponível em: <<http://www.marinebiology.org/coralbleaching.htm>>. Acesso em: 21 fev. 2007.

CARVALHO, L. M. V. **Métodos observacionais em climatologia e meteorologia de mesoescala – componentes principais ou funções ortogonais empíricas**. Grupo de Estudos em Multi-escalas. 2005. Disponível em: <<http://www.icess.ucsb.edu/gem/eof-campos.htm>> Acesso em: 24 mar 2008.

CASTRO, B. M.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tome (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B.; MADUREIRA, L. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. 1ªEd. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006. 466 p. ISBN: 85-3140-948-9.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. Physical oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4° N and 34° S. In: ROBINSON, A.R.; BRINK, K.H. **The sea - The global coastal ocean-regional studies and synthesis**. New York: John Wiley & Sons, 1998, v.11. p. 209-251. ISBN: 0-471-11545-2

CASTRO, C. B.; PIRES, D. O. A bleaching event on a brazilian coral reef. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 47, n.1, p. 87-90, 1999.

CDC - CLIMATE DIAGNOSTICS CENTER. **NCEP/NCAR Reanalysis**. Disponível em: <<http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.surfaceflux.html>>. Acesso em: 17 fev. 2007.

CEPEMAR - SERVIÇOS DE CONSULTORIA EM MEIO AMBIENTE LTDA. **Terminal de barcaças de Caravelas – Monitoramento dos recifes de corais**. Relatório Consolidado Período 2001-2005. Relatório Técnico. 44 p., 2005.

CHENG, J. **Belief Network PowerConstructor 2.2 Beta**. Alberta: 2001. Disponível em: <<http://www.cs.ualberta.ca/~jcheng/bnpp.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2007.

CHENG, J.; GRIENER, R.; KELLY, J.; BELL, D.; LIU, W. Learning bayesian networks from data: an information-theory based approach. **Artificial Intelligence**, v. 137, n. 3, p. 43-90, 2002.

CLARK, J.S.; CARPENTER, S.R.; BARBER, M.; COLLINS, S.; SOBSON, A.; FOLEY, J.A.; LODGE, D.M.; PASCUAL, M.; PIELKE JR., R.; PIZER, W.; PRINGLE, C.; REID, W.V.; ROSE, K.A.; SALA, O.; SCHLESINGER, W.H.; WALL, D.H.; WEAR, D. Ecological forecast: an emerging imperative. **Science**, v. 293, n. 5530, p.657-660, 2001.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**. 2 ed. Plymouth: Natural Environment Research Council, 2001. 172 p.

CoRIS - CORAL REEFS INFORMATION SYSTEM. **About coral reefs**. Disponível em: <<http://www.coris.noaa.gov/>>. Acesso em: 15 Fev. 2007.

CPC - CLIMATE PREDICTION CENTER. **CMAP**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/global_precip/html/wpage.cmap.html> Acesso em: 17 fev. 2007.

DUNNE, R. P; BROWN, B. E. Penetration of solar UVB radiation in shallow tropical waters and its potential biological effects on coral reefs: results from the central Indian Ocean and Andaman Sea, **Marine Ecology Progress Series**, v. 144, p. 109–118, 1996.

DUTRA, L. X. C. **O branqueamento de corais hermatípicos no litoral norte da Bahia associado ao evento El Niño, 1998**. 2000. 78 p. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000.

Eastman, R. J. Time series map analysis using standardized principal components. In: **ASPRS/ACSM/RT 92 Technical Papers**. Global Change and Education, v.1, p. 195-204, 1992.

EDINGER, E.N.; JOMPA, J.; LIMMON, G.V.; WIDJATMOKO, W.; RISK, M.J. Reef degradation and coral biodiversity in Indonesia: Effects of land-based pollution, destructive fishing practices and changes over time. **Marine Pollution Bulletin**, v. 36, n. 8, p. 617-630, 1998.

EVANGELISTA, H.; GODIVA, D.; SIFEDDINE, A.; LEÃO, Z. M. A. N.; RIGOZO, N. R.; SEGAL, B.; AMBRIZZI, T.; KAMPEL, M.; KIKUCHI, R. K. P.; LE CORNEC, F. Evidences linking ENSO and coral growth in the Southwestern-South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 29, n. 7-8, p. 869-880, 2007.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: Situação Atual e Perspectivas**. 1ª Ed. Brasília: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2006. 120 p. ISBN: 8-587-16686-7.

FITT, W.K.; BROWN, B.E.; WARNER, M.E.; DUNNE, R.P. Coral bleaching: interpretation of thermal tolerance limits and thermal thresholds in tropical corals. **Coral Reefs** v.20, n.1 , p. 51-65, 2001.

GHERARDI, D. F. M.; CARVALHO, M. A utilização de imagens orbitais para a conservação e gestão ambiental da zona costeira. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. 1ªEd. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 336 p.

GINSBURG, R.N.; KRAMER, P.A.; LANG, J.C.; SALE, P. **AGRRA, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment**. Disponível em: <<http://agrra.org>>. Acesso em: 03 mai. 2008.

GLEASON, M.G. Effects of disturbance on coral communities: bleaching in Moorea, French Polynesia. **Coral Reefs**, v.12, n. 3-4, p.193-201, 1993.

GLEASON, D. F.; WELLINGTON, G. M. Ultraviolet radiation and coral bleaching. **Nature**. v. 365, n. 6449, p. 836 – 838, 1993.

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

GLYNN, P.W. Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. **Global Change Biology**, v. 2, n. 6, p. 495-509, 1996.

GOREAU, T. J. Control of Atmospheric Carbon Dioxide. **Global Environmental Change**, v.2, n. 1, p. 5-11, 1992.

GOREAU, T. J.; MCCLANAHAN, T.; HAYES, R.L. ; STRONG, A. Conservation of Coral Reefs after the 1998 Global Bleaching Event. **Conservation Biology**, v. 14, n. 1, p. 5-15, 2000.

GOREAU, T. J.; HAYES, R. L. Coral bleaching and ocean "hot spots". **Ambio**, v. 23, n. 3, p. 176-180, 1994.

GOREAU, T. J.; HAYES, R. L. Monitoring and calibrating sea surface temperature anomalies with satellite and in-situ data to study effects of weather extremes and climate changes on coral reefs. **World Resource Review**, v. 17, n. 2, p. 242 – 252, 2005.

GSFC - GODDARD SPACE FLIGHT CENTER. **Ocean color products**. Disponível em: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/PRODUCTS/SW_k490.html>. Acesso em: 03 set. 2006.

GSFC - GODDARD SPACE FLIGHT CENTER. **An Overview of SeaWiFS and the SeaStar Spacecraft**. Disponível em: <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/SeaWiFS/SEASTAR/SPACECRAFT.html>>. Acesso em: 28 abr 2008.

HRUSCHKA, E. R. **Imputação bayesiana no contexto da mineração de dados**. 2003. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=309&mosmsg=You+are+trying+to+access+from+a+non-authorized+domain.+%28www.google.com.br%29>. Acesso em: 30 Mar. 2008.

ILHA, H. H. Parque Nacional Marinho dos Abrolhos. In: PRATES, A. P. L. **Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação brasileiras**. 1ª Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. p. 142-153.

IYOR. **International Year of Reefs**. Disponível em: <<http://www.iyor.org/reefs/>>. Acesso em 15 jan 2008.

JOKIEL, P. L.; COLES, S. L. Response of Hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperature. **Coral Reefs**, v. 8 , p. 155-162. 1990.

KAHN, C.E.; ROBERTS, L.M.; SHAFFER, K.A.; HADDAWY, P. Construction of a Bayesian network for mammographic diagnosis of breast cancer. **Computers in Biology and Medicine**, v. 27, n. 1, p. 19–29, 1997.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 437-471, 1996.

KAMPEL, M.; NOVO, E. M. L. M. O sensoriamento remoto da cor da água. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. 1ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 336 p.

KELMO, F.; ATTRILL, M. J.; JONES, M. B. Effects of the 1997-1998 El Niño on the cnidarian community of a high turbidity coral reef system (Northern Bahia, Brazil). **Coral Reefs**, v. 22, n.4, p. 542-550, 2003.

KELMO, F.; ATTRILL, M.J.; GOMES, R.C.T.; JONES, M.B. El Niño induced local extinction of coral reef bryozoan species from Northern Bahia, Brazil. **Biological Conservation**, v.118, n. 5, p. 609-617, 2004.

KELMO, F.; ATTRILL, M. J.; JONES, M. B. Mass mortality of coral reef ascidians following the 1997/1998 El Niño event. **Hydrobiologia**, v. 555, n. 1, p. 231-240, 2006.

KILPATRICK, K. A.; PODESTÁ, G. P.; EVANS, R. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated match up database. **Journal of Geophysical Research**, v. 16, n. C5, p. 9179-9197, 2001.

KLEYPAS, J. A.; MCMANUS, J. W.; MEÑEZ, L. A. B. Environmental Limits to Coral Reef Development: Where do we draw the line? **American Zoologist**, v. 39, n.1, p. 146-159, 1999.

KUIKKA, S.; HILDEN, M.; GISLASON, H.; HANSSON, S.; SPARHOLT, H.; VARIS, O. Modeling environmentally driven uncertainties in Baltic cod (*Gadus morhua*) management by Bayesian influence diagrams. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 56, n. 4, p. 629–641, 1999.

LAURITZEN, S.L.; SPIEGELHALTER, D.J. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems. **Journal of the Royal Statistical Society B**, v. 50, p.157-224, 1988.

LEÃO, Z.M.A.N. Abrolhos - O complexo recifal mais extenso do Oceano Atlântico Sul. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos, 1999. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio090/sitio090.htm>>. Acesso em: 05 fev. 2007.

LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R. K. P. The Abrolhos Reefs of Brazil. In: Seeliger, U.; Lacerda, L. D.; Kjerfve, B. **Coastal Marine Ecosystem of Latin America**. Berlin: Springer-Verlag, 2001, v. 144, p. 83-96.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M. D. M.; DUTRA, L. X. C.; SPANÓ, S.; OKADA, F.; CRUZ, I. C. **Primeiros resultados do Monitoramento da ocorrência de branqueamento de corais na costa do Estado da Bahia**. Relatório técnico convênio MCT/UFBA/CPGG/FAPEX. Salvador: UFBA, 2003b. 27 p.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; OLIVEIRA, M. D. M. O branqueamento de coral nos recifes da Bahia e sua relação com o aquecimento global. **Biota Neotropica**, *No prelo*.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; TESTA, V. Corals and coral reefs of Brazil. In: CORTEZ, J. **Latin American Coral Reefs**. New York: Elsevier, 2003a. p. 9-52.

LEÃO, Z. M. A. N. ; KIKUCHI, R. K. P. ; MAIA, M. P. ; LAGO, R. L. . A catastrophic coral cover decline since 3,000 years B.P., Northern Bahia, Brazil. In: INTERNATIONAL CORAL REEF SYMPOSIUM, 8., 1997, Panamá. **Proceedings...**, Panamá: Lessios, H.A.; Macintyre, I.G. (eds.), 1997. p. 583-588.

LEBELTEL, O.; BESSIÈRE, P.; DIARD, J.; MAZER, E. Bayesian Robot Programming. **Autonomous Robots**, v. 16, n. 1, p. 49-79, 2004.

LEE, D.C.; RIEMAN, B.E. Population viability assessment of salmonids by using probabilistic networks. **North American journal of fisheries management**, v.17, n. 4, p. 1144–1157, 1997.

LITTLE, L.R.; KUIKKA, S.; PUNT, A.E.; PANTUS, F.; DAVIES, C.R.; MAPSTONE, B.D. Information flow among fishing vessels modelled using a Bayesian network. **Environmental Modelling and Software**, v. 19, n.1, p. 27–34, 2004.

LOYA, Y.; SAKAI, K.; YAMAZATO, K.; NAKANO, Y. SAMBALI, H.; WOESIK, R. Coral bleaching: The winners and the losers. **Ecology Letters**, v. 4, n. 2, p. 122-131, 2001.

MAIDA, M.; FERREIRA, B. P. Coral Reefs of Brazil: An Overview. In:INTERNATIONAL CORAL REEF SYMPOSIUM, 8., 1997, Panamá. **Proceedings ...**, Panamá: H.A. Lessios and I.G. Macintyre (eds.), 1997. p. 263-274.

MASKERY, S. M.; HU, H.; HOOKE, J.; SHRIVER, C. D.; LIEBMAN, M. N. A Bayesian derived network of breast pathology co-occurrence. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 41, n. 2, p. 242-250, 2008.

MATHWORKS. **Matlab** 7.0. Natick: Mathworks, Inc., 2004. 1 CD-ROM.

McALLISTER, M. K.; KIRKWOOD, G. P. Bayesian stock assessment: a review and example application using the logistic model. **Journal of Marine Science**, v. 55, p. 1031 – 1060, 1998.

MELLO, M. P.; VIEIRA, C. A. O.; PETERNELLI, L. A.; RUDORFF, B. F. T.; DA SILVA, G. B. S. Redes bayesianas no delineamento de culturas agrícolas usando informações contextuais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 23., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2007.p. 1289-1295.

MIGOTTO, A. E. Anthozoan bleaching on the southeastern coast of Brazil in the summer of 1994. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COELENTERATE BIOLOGY, 6., Leiden.**Proceedings** Leiden: Den Hartog, J. C. (Ed.), 1997. p. 329-335.

MIGOTTO, A. E. **Recifes de coral e “branqueamento”**. Divulgação de atividades científicas do CEBIMar – USP. Disponível em: <<http://www.usp.br/cebimar/>>. Acesso em: 02 fev. 2007.

MISRA, V. Understanding the predictability of seasonal precipitation over northeast Brazil. **Tellus A**, v. 58, n. 3, p. 307–319, 2006.

MUELLER, J. L. SeaWiFS algorithm for the diffuse attenuation coefficient, K(490), using water-leaving radiances at 490 and 555 nm. In **SeaWiFS Post-launch Calibration and Validation Analyses**, Part 3. HOOKER, S.B. (ed). Maryland: NASA Goddard Space Flight Center, pp. 24-27, 2000.

NEAPOLITAN, R.E. **Learning Bayesian Networks**. 1ªEd. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004. 674 p. ISBN: 0-13-012534-2.

NEVES, E. G.; ANDRADE, S. C. S.; SILVEIRA, F. L.; SOLFERINI, V. N. Genetic variation and population structuring in two brooding coral species (*Siderastrea stellata* and *Siderastrea radians*) from Brazil. **Genetica**, v. 132, n. 3, p. 243-254, 2008.

NEVES, E.; JOHNSON, R.; SAMPAIO, C.; PICHON, M. The occurrence of *Scolymia cubensis* in Brazil: revising the problem of the Caribbean solitary mussids. **Zootaxa**, v. 1366, p. 45-54, 2006.

NOAA - NATIONAL OCEANOGRAPHIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION
Index of Pathfinder/Version5.0. Disponível em: <
<http://data.nodc.noaa.gov/pathfinder/Version5.0/>> Acesso em: 10 fev. 2007a.

NOAA - NATIONAL OCEANOGRAPHIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION.
Coral Reef Watch. Disponível em: <<http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/>>. Acesso em: Fev. 2007b.

NOAA - NATIONAL OCEANOGRAPHIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION.
Ocean Serve Education. Disponível em:
<http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/media/supp_coral05a.html>. Acesso em: 09 mai 2008.

NODC – NATIONAL OCEANOGRAPHIC DATA CENTER. **4 km Pathfinder Version 5.0 User Guide**. Disponível em:
<<http://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/pathfinder4km/userguide.html>>. Acesso em: 13 mar 2008.

NORSYS. **Netica 3.17**. Vancouver: Norsys Software Corp. 2006. Disponível em: <
www.norsys.com>. Acesso em: 03 dez. 2006.

NUGUES, M.M.; ROBERTS, C.M. Partial mortality in massive reef corals as an indicator of sediment stress on coral reefs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, n. 3, p. 314-323, 2002.

NYSTROM, M.; FOLKE, C.; MOBERG, F. Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 15, n. 10, p. 413-417, 2000.

- OBURA, D. O. Can differential bleaching and mortality among coral species offer useful indicators for assessment and management of reefs under stress? **Bulletin of Marine Science**, v. 69, n. 2, p. 421-442, 2001.
- PARK, M; STENSTROM, M.K. Spatial Estimates of Stormwater-Pollutant Loading Using Bayesian Networks and Geographic Information Systems. **Water Environment Research**, v. 78, n. 4, p. 421-429, 2006.
- PEARL, J. **Causality: Models, Reasoning, and Inference**. Cambridge: Cambridge University Press. 2000. 384 p. ISBN: 0-521-77362-8
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, n.1, p. 1-73, 1991.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, E. B. O uso da temperatura da superfície do mar em estudos climáticos. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 336 p.
- PEZZI, L. P; SOUZA, R. P. Variabilidade de meso-escala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N.; SILVADIAS, M. A. F. **Tempo e Clima no Brasil**. *No prelo*.
- PHILIPP, E.; FABRICIUS, K. Photophysiological stress in scleractinian corals in response to short-term sedimentation, **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 287, n. 1, p. 57-78, 2003.
- PIELKE, R. A.; CONANT, R. T. Best practices in prediction for decision-making: Lessons from the atmospheric and earth sciences : Ecological uncertainty and forecasting. **Ecology**, v. 84, n. 6, p. 1351-1358, 2003.
- PRATES, A. P. L. **Atlas dos recifes de coral nas unidades de conservação brasileiras**. 1ª Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. 180 p.
- RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, 1993.
- REIGL, B.; BRANCH, G.M. Effects of sediment on the energy budgets of four scleractinian (Bourne 1900) and five alcyonacean (Lamouroux 1816) corals. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 186, n. 2, p. 259-275, 1995.
- RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L. M.; WIMBUSH, M. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, n. 1, p. 16-30, 2007.
- RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados**. 6ª Ed. São Paulo: Ed. Roca. 1996. 1029 p.

SCHMID, C.; SCHÄFER, H.; PODESTÁ, G.; ZENK, W. The Vitória Eddy and its relation to the Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 25, n. 11, p. 2532-2546, 1995.

SEGAL, B.; EVANGELISTA, H.; KAMPEL, M.; GONÇALVES, A. C.; POLITO, P. S., SANTOS, E. A. Potential impacts of polar fronts on sedimentation processes at Abrolhos coral reef (South-West Atlantic Ocean/Brazil). **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 4-5, p. 533-544, 2008.

SMITH, N. P. Weather and hydrographic conditions associated with coral bleaching: Lee Stocking Island, Bahamas. **Coral Reefs**, v. 20, n. 4, p. 415-422, 2001.

SMITH, C. S.; HOWES, A. L.; PRICE, B. McALPINE, C. A. Using a Bayesian belief network to predict suitable habitat of an endangered mammal – The Julia Creek dunnart (*Sminthopsis douglasi*). **Biological Conservation**, v. 139, n. 3-4, p. 333-347, 2007.

SOPPA, M. A. **Caracterização da variabilidade climática nos ecossistemas recifais brasileiros e sua relação com a biodiversidade de corais**. 2007-02-04. 209 p. (INPE-15147-TDI/1279). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.07.11.55>>. Acesso em: 06 maio 2008.

SOPPA, M. A.; GHERARDI, D. F. M.; SOUZA, R. B.; PEZZI, L. P. Variabilidade temporal da temperatura superficial do mar e vento estimados por satélites e reanálises em áreas de recife de coral no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4715-4722. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.58>>. Acesso em: 06 maio 2008.

SOUZA, R. B.; LORENZZETTI, J. A.; LUCCA, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: SOUZA, R. B. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 336 p.

SOUZA, R. B.; GHERARDI, D. F. M.; SATO, O. T.; POLITO, P. S.; KAMPEL, M.; LENTINI, C. A. D. Climatologia e variabilidade ambiental marinha na região do Banco dos Abrolhos determinada por satélites: resultados preliminares do projeto Pro-Abrolhos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4735-4742. CD-ROM; On-line.

STECH, J. L. ; LORENZZETTI, J. L. Response of the South Brasil Bight to the Passage Of Wintertime Cold Fronts. **Journal of Geophysics Research**, v. 97, n. C6, p. 9507-9520, 1992.

TANAKA, Y.; MIYAJIMA, T.; KOIKE, I; HAYASHIBARA; OGAWA, H. Translocation and conservation of organic nitrogen within the coral-zooxanthella symbiotic system of *Acropora pulchra*, as demonstrated by dual isotope-labeling techniques. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 336, n. 1, p. 110-119, 2006.

TRUCCO, P.; CAGNO, E.; RUGGERI, F.; GRANDE, O. A Bayesian Belief Network modelling of organizational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 93, n. 6, p. 823 – 834, 2008.

UUSITALO, L. Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling. **Ecological Modeling**, v. 203, n. 3-4, p. 312 –318, 2007.

VARIS, O.; KUIKKA, S. Joint use of multiple environmental assessment models by a Bayesian meta-model: the Baltic salmon case. **Ecological Modeling**, v. 102, n. 2, p. 341–351, 1997.

VAZQUEZ, J.; PERRY, K.; KILPATRICK, K. **NOAA/NASA AVHRR oceans pathfinder sea surface temperature data set user's reference manual Version 4.0**. Silver Spring: Armstrong, 1998. Disponível em: < http://podaac-www.jpl.nasa.gov/pub/sea_surface_temperature/avhrr/pathfinder/doc/usr_gde4_0_toc.html >. Acesso em: 11 Mar. 2008.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2^a Ed. Londres: Academic Press. 2006. 648 p.

WOESIK, R. Coral bleaching: transcending spatial and temporal scales. **Trends in Ecology and Evolution**, n. 16, n. 3, p. 119-121, 2001.

WOLTER, K.; TIMLIN, M.S. Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? **Weather**, v. 53, n. 9, p. 315-324, 1998.

WOOD, E. M. **Corals of the world**. Neptune City: T. F. H. Publications, 1983. 256 p.

WOOLDRIDGE, S.; DONE, T. Learning to predict large-scale coral bleaching from past events: a bayesian approach using remotely sensed data, in-situ data, and environmental proxies. **Coral Reefs**, v. 23, n. 1, p. 96-108, 2004.

XIE, P.; ARKIN, P. A. Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 11, p. 2539-2558, 1997.

Apêndice A

Tabela A.1 - Todas as variáveis referentes aos meses nos quais foram registrados branqueamentos de corais no Estado da Bahia.

	Casos																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Área	LN	BTS	TB	TB	TB	CAB	ITA	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	PAB	PAB	PAB	PAB	PAB
Mês	abr/98	abr/03	mar/02	abr/03	mar/04	mar/04	abr/05	mar/94	mar/01	mar/02	mar/03	mar/05	mar/00	mar/01	mar/02	mar/03	abr/05
MaxTSM	29,1	29,4	28,9	29,3	28,7	28,4	28,6	28,1	28,4	28,3	28,7	28,4	28	28,4	28,2	28,8	28,4
TSMac5d	145,2	147	144,4	146,6	143,6	141,8	142,5	140,6	141,5	141,4	143,6	142,1	140,3	141,5	141	144	142,1
PPT	2,12	6,38	3,27	6,38	7,93	9,95	5,67	5,49	0,86	2,21	1,25	5,55	6,55	0,86	2,21	1,25	2,74
K490	0,0521	0,0347	0,0635	0,0943	0,1396	0,0907	0,0705	0,1139*	0,1128	0,1053	0,1226	0,1148	0,0712	0,0657	0,0624	0,0627	0,0728
IWI	7,33	6,41	3,39	3,18	2,97	2,76	2,03	5,2	5,81	5,55	5,84	4,53	4,97	5,81	5,55	5,84	3,58
(U)	-6,73	-5,82	-3,17	-2,63	-2,71	-2,1	-1,74	-3,38	-4,96	-4,5	-4,1	-3	-3,82	-4,96	-4,5	-4,1	-2,71
(V)	2,27	2,04	0,36	0,71	-0,43	-1,02	0,18	-2,47	-2,45	-1,82	-1,47	-2,19	-0,78	-2,45	-1,82	-1,47	0,41
MEI	2,613	0,385	-0,081	0,385	-0,083	-0,083	0,555	0,137	-0,552	-0,081	0,812	0,929	-0,927	-0,552	-0,081	0,812	0,555
MEI_7	2,837	0,795	0,301	0,795	0,276	0,276	0,58	1,064	-0,162	0,301	0,864	0,611	-0,723	-0,162	0,301	0,864	0,58
SOI	-1,9	-0,4	-0,9	-0,4	-0,2	-0,2	-1	-1,4	0,5	-0,9	-1	-0,2	1	0,5	-0,9	-1	-1
SOI_8	-2,1	-1,6	-0,4	-1,6	0,2	0,2	-0,8	-1,1	-0,4	-0,4	-0,7	-0,7	0,5	-0,4	-0,4	-0,7	-0,8
ONI	1,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	-0,4	0,2	0,5	0,4	-1	-0,4	0,2	0,5	0,5
ONI_8	2	0,9	0,1	0,9	0,3	0,3	0,8	0,4	-0,4	0,1	0,9	0,7	-0,9	-0,4	0,1	0,9	0,8
1 ^a CPMaxTSM	0,0094	0,009	0,01	0,01	0,01	0,0096	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
1 ^a CPK ₄₉₀	0,019	0,022	0,013	0,013	0,013	0,0054	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
1 ^a CPPPT	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
1 ^a CP WI	0,215	0,215	0,216	0,216	0,216	0,206	0,206	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252	0,252
1 ^a CP(U)	0,187	0,187	0,186	0,186	0,186	0,195	0,195	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237	0,237
1 ^o CP(V)	0,182	0,182	0,233	0,233	0,233	0,232	0,232	0,234	0,234	0,234	0,234	0,234	0,234	0,234	0,234	0,234	0,234
Branq	Forte	Forte	Fraco	Forte	Fraco	Ausente	Fraco	Forte	Fraco	Fraco	Fraco	Forte	Fraco	Fraco	Fraco	Fraco	Forte

*Não há dados de K₄₉₀ anteriores a 1997, este valor corresponde à média dos valores para eventos na mesma área e mês.

Tabela A.2 - Média dos autovetores das Primeiras Componentes Principais para as sete áreas de recifes de corais do Estado da Bahia. MaxTSM = Máxima TSM; TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias; PPT = precipitação média; K490 = média do coeficiente de atenuação da luz em 490 nm; |W| = média da intensidade da resultante do vento; (U) = média da intensidade da componente zonal do vento; (V) = média da intensidade da componente meridional do vento.

Áreas	MaxTSM	K ₄₉₀	PPT	W	(U)	(V)
Litoral Norte	0,0094	-0,0185	0,27	0,215	0,187	0,182
Baía de Todos os Santos (desembocadura)	0,0093	-0,0222	0,27	0,215	0,187	0,182
Ilhas de Tinharé e Boipeba, Baía de Camamu	0,0095	-0,0126	0,27	0,216	0,186	0,233
Cabrália	0,0096	-0,0054	0,27	0,206	0,195	0,232
Itacolomis	0,0095	-0,0029	0,27	0,206	0,195	0,232
Arco costeiro dos Abrolhos	0,0095	-0,0034	0,26	0,252	0,237	0,234
Parcel e Arquipélago de Abrolhos	0,0096	-0,0067	0,26	0,252	0,237	0,234
Maior amplitude de variação	0,0110	-0,028 e 0,023	0,29	0,252	0,242	0,244
Menor amplitude de variação	0,0033	0	0,16	0,036	0,107	0,031

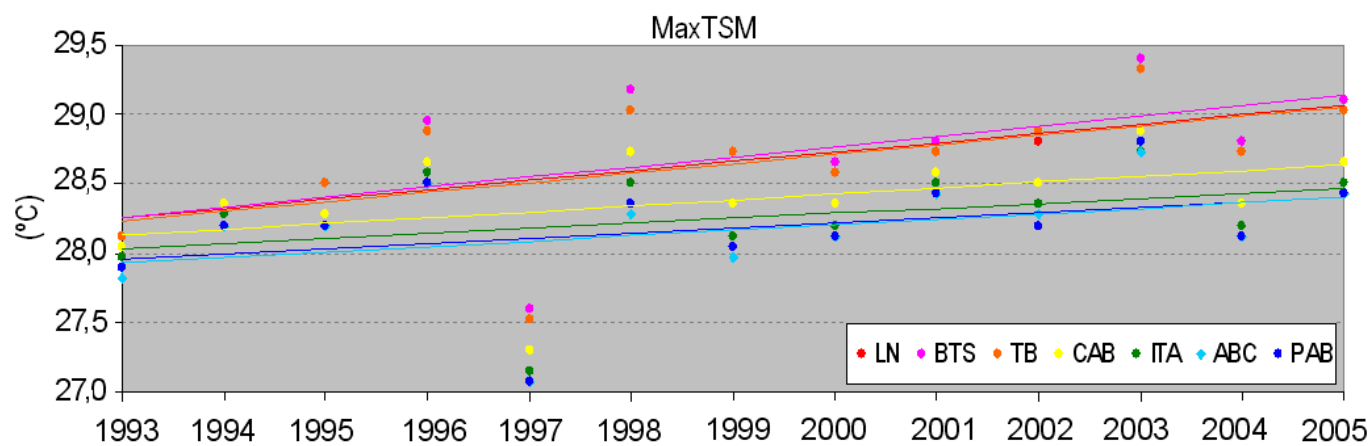


Figura A.1 - Valores máximos de MaxTSM para os verões de 1993 a 2005 nas áreas recifais da Bahia e suas linhas de tendência.

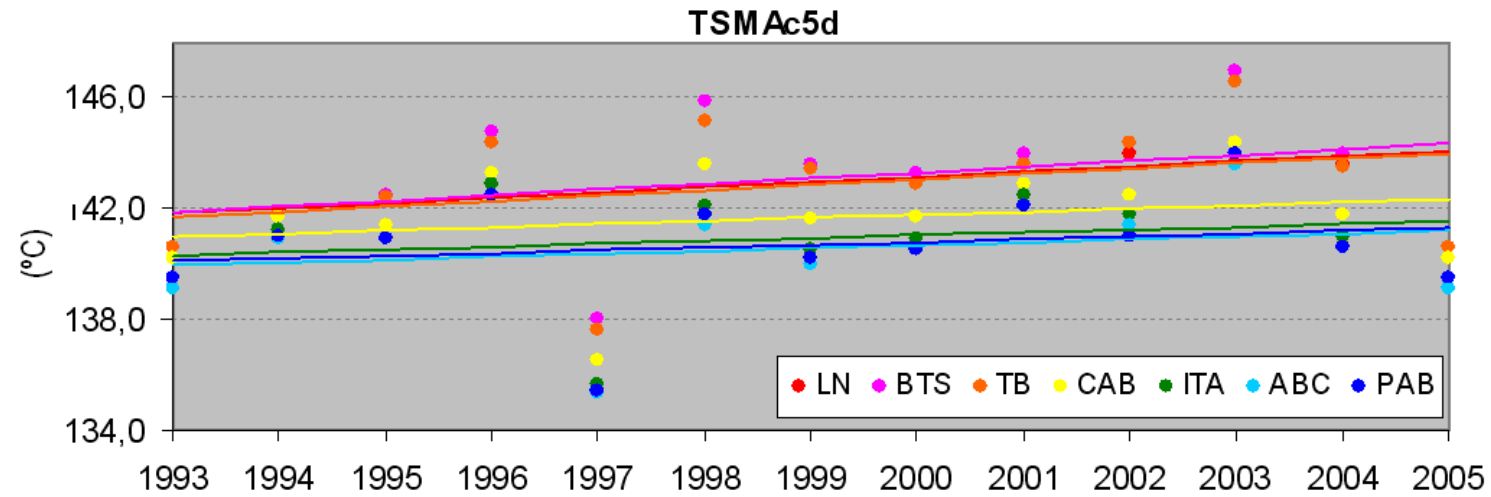


Figura A.2 - Valores máximos de TSMac5d para os verões de 1993 a 2005 nas áreas recifais da Bahia e suas linhas de tendência.

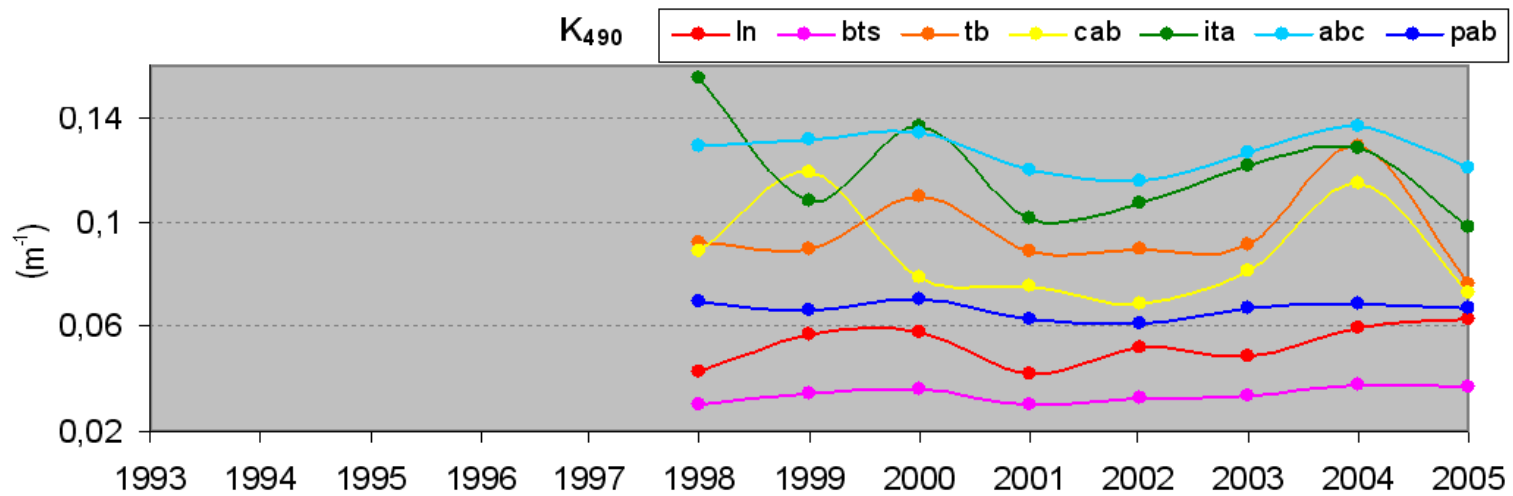


Figura A.3 - Valores médios de K₄₉₀ para os verões de 1993 a 2005 nas áreas recifais da Bahia.

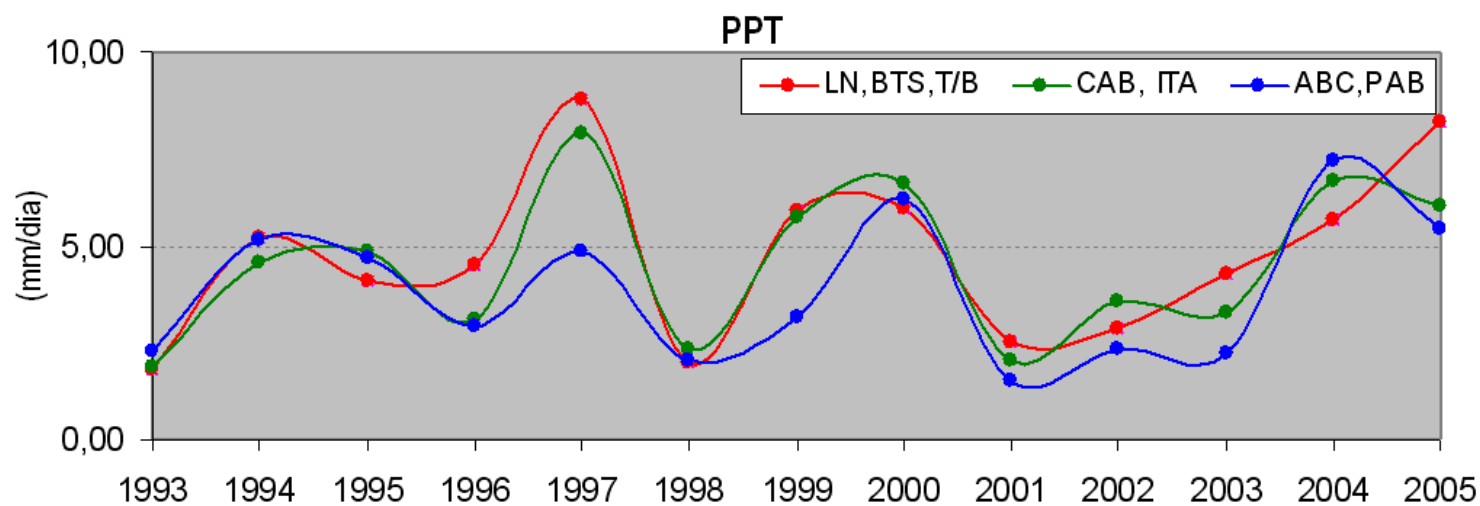


Figura A.4 - Valores médios de precipitação para os verões de 1993 a 2005 nas áreas recifais da Bahia.

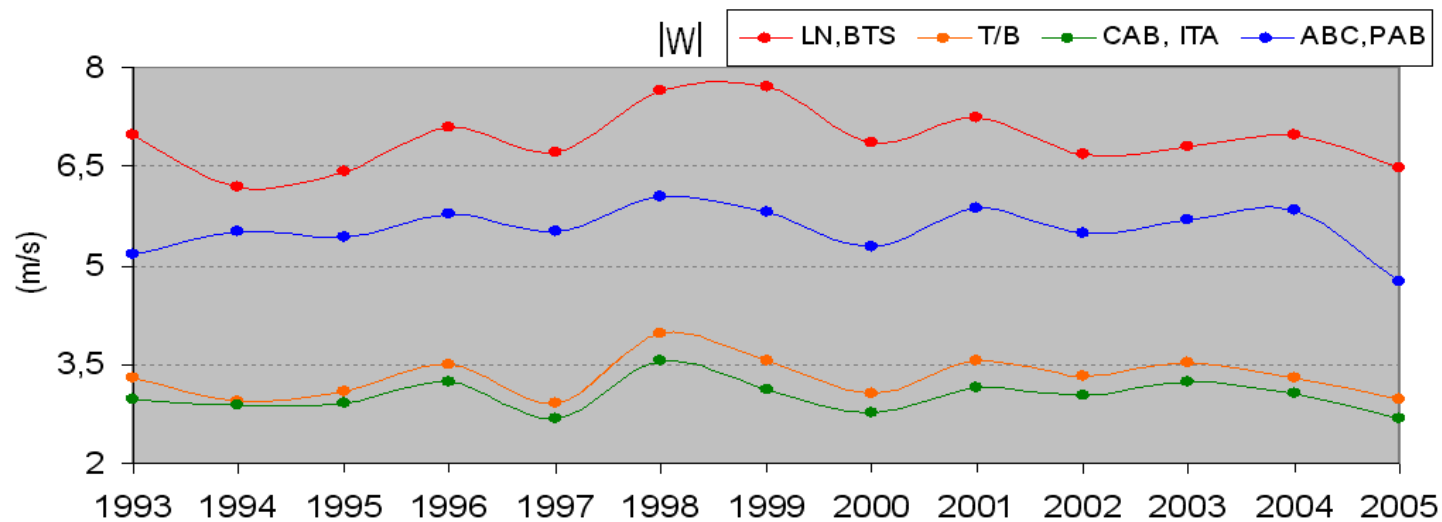


Figura A.5 - Intensidades médias do vento para os verões de 1993 a 2005 nas áreas recifais da Bahia.

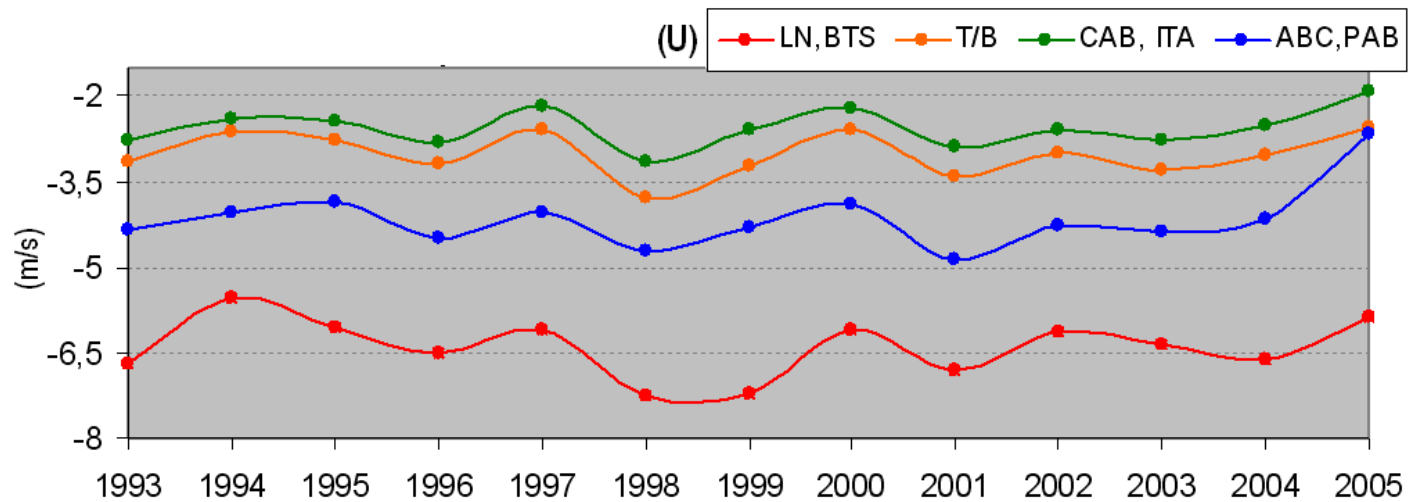


Figura A.6 - Intensidades médias da componente zonal do vento para os verões de 1993 a 2005 nas áreas recifais da Bahia.

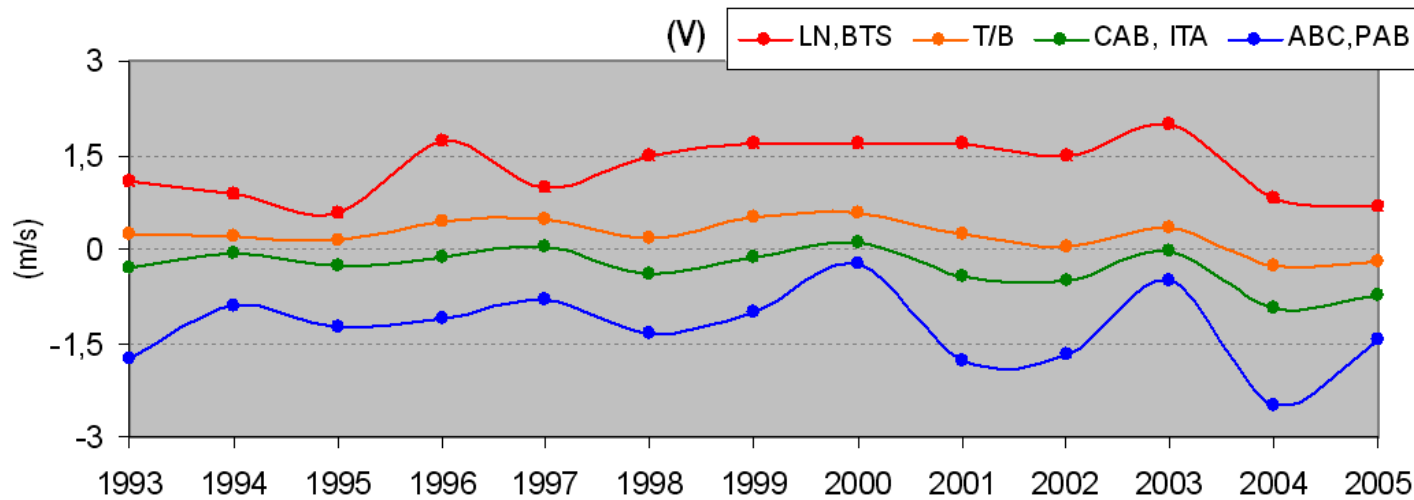


Figura A.7 - Intensidades médias da componente meridional do vento para os verões de 1993 a 2005 nas áreas recifais da Bahia.

APÊNDICE B

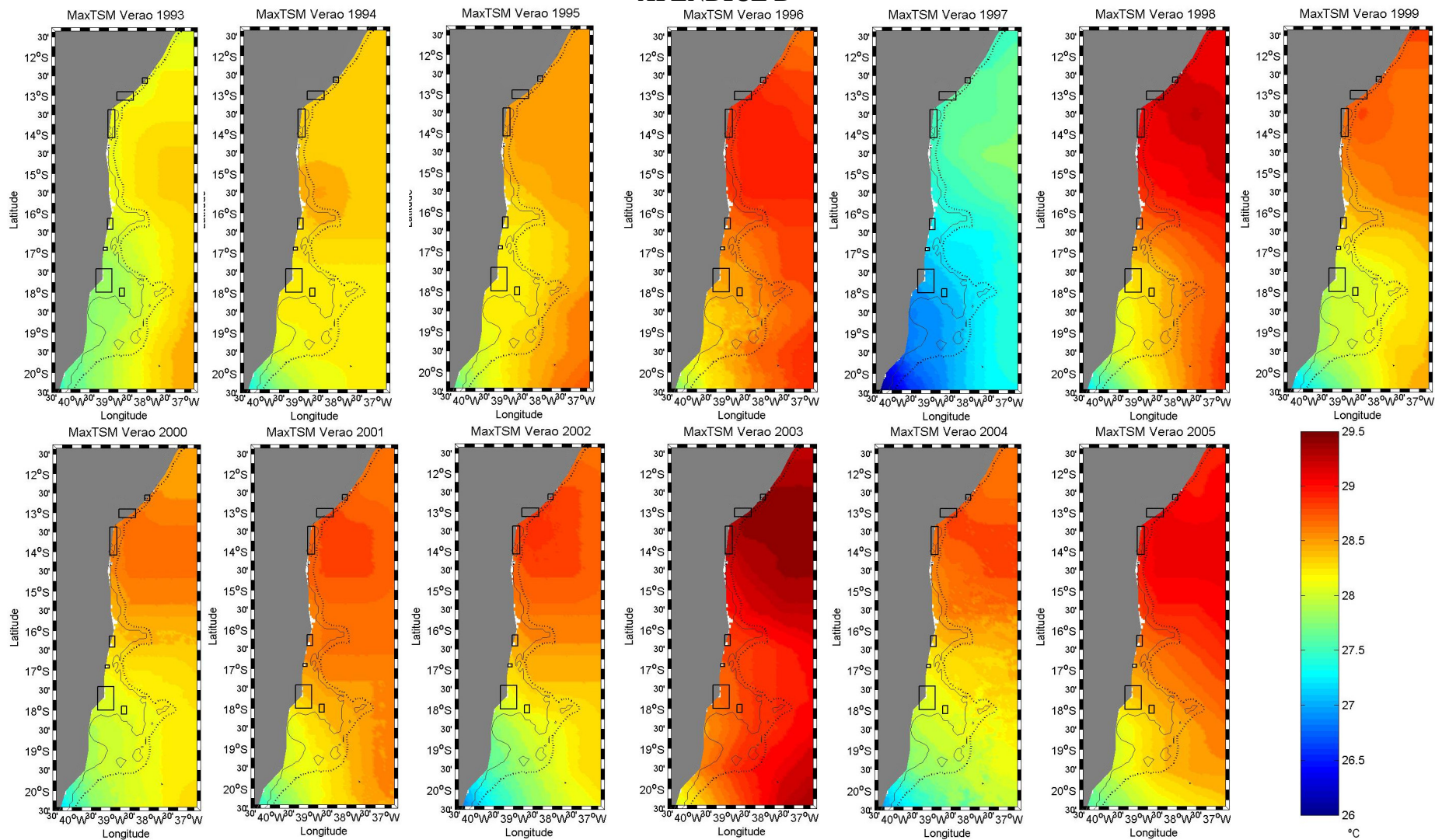


Figura B.1 - Imagens representativas das maiores TSM para cada verão da série de 1993 a 2005.

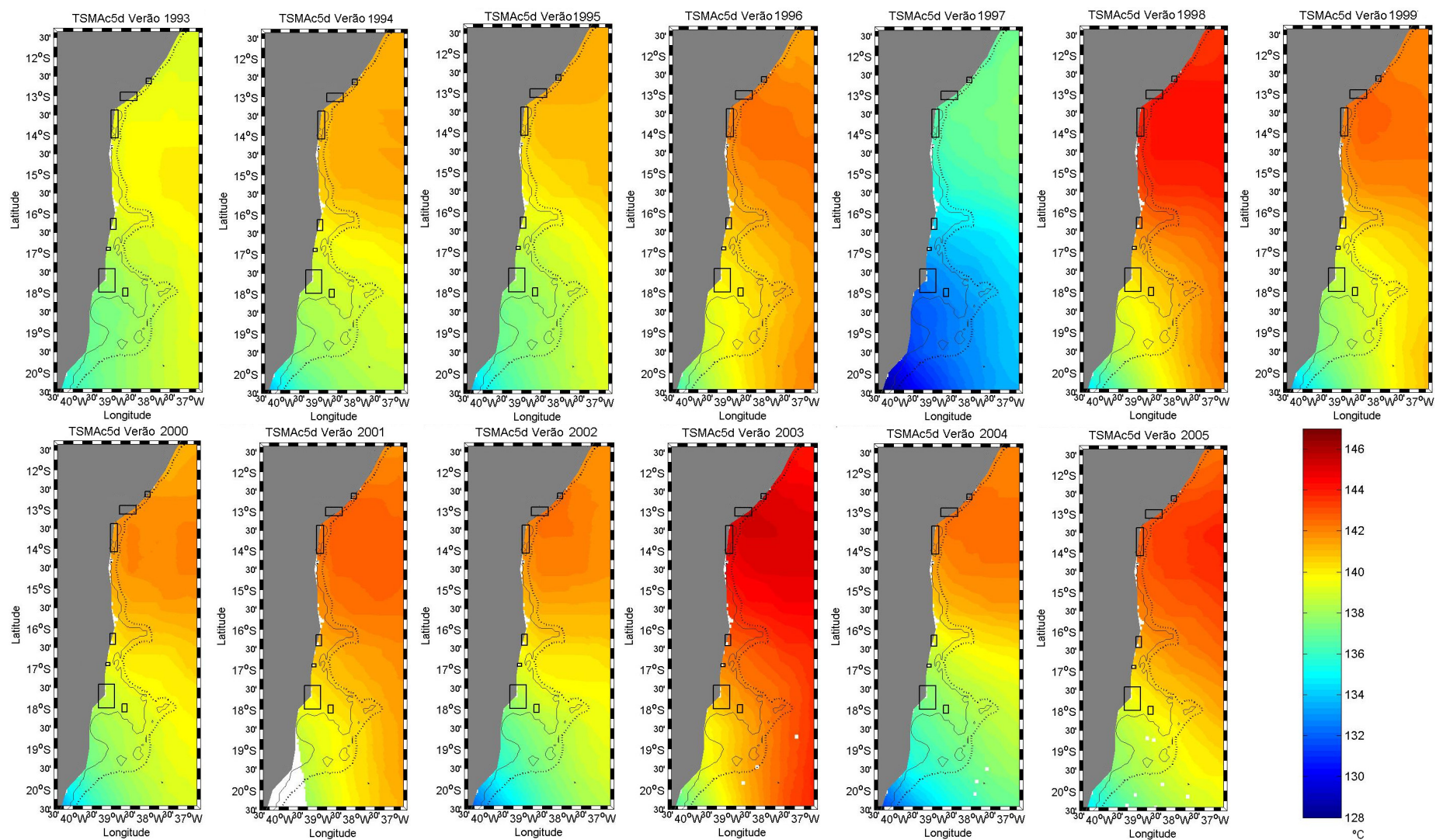


Figura B.2 - Imagens representativas das médias das TSM acumuladas em 5 dias para cada verão da série de 1993 a 2005.

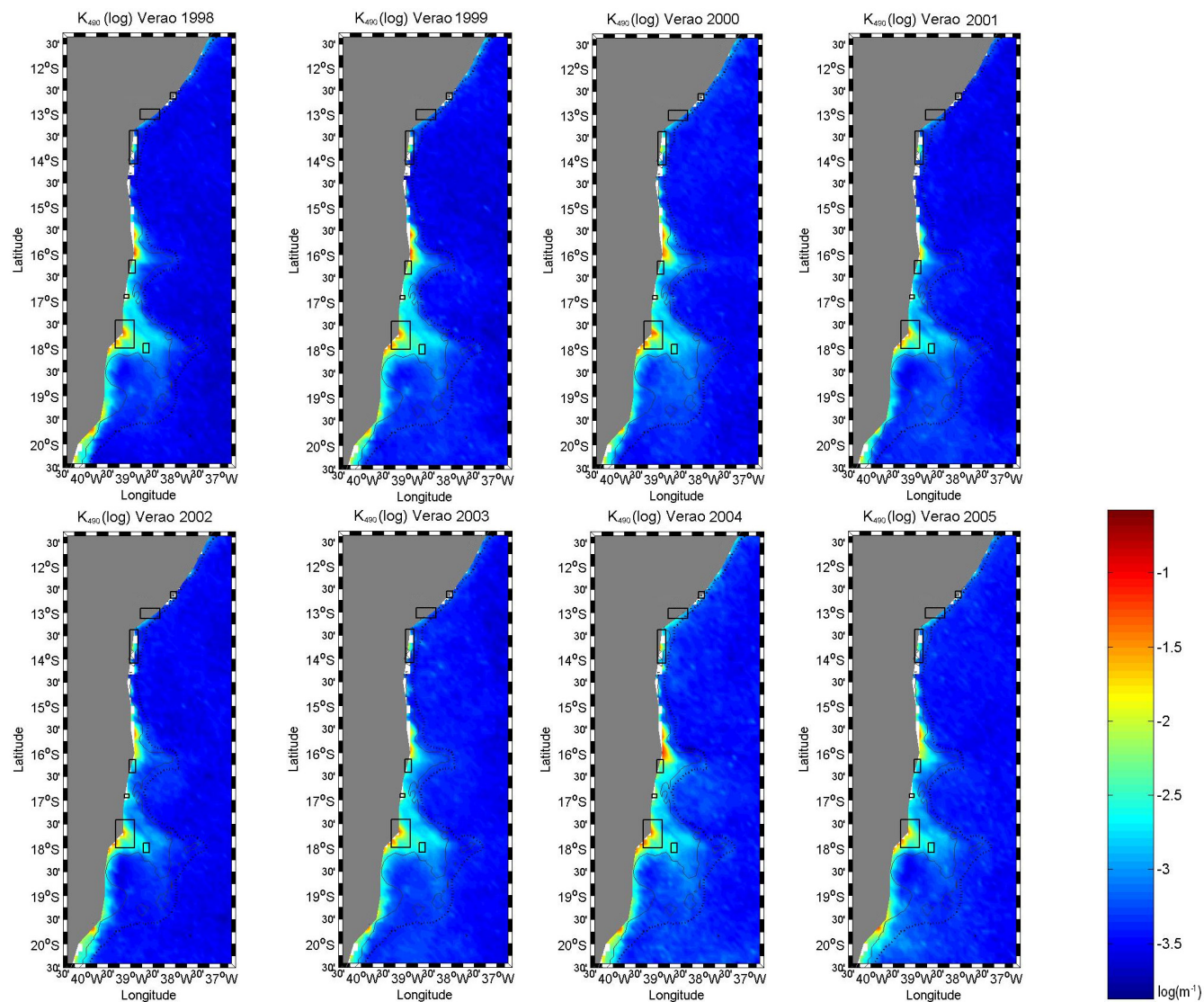


Figura B.3 - Imagens representativas das médias de K_{490} para cada verão da série de 1998 a 2005.

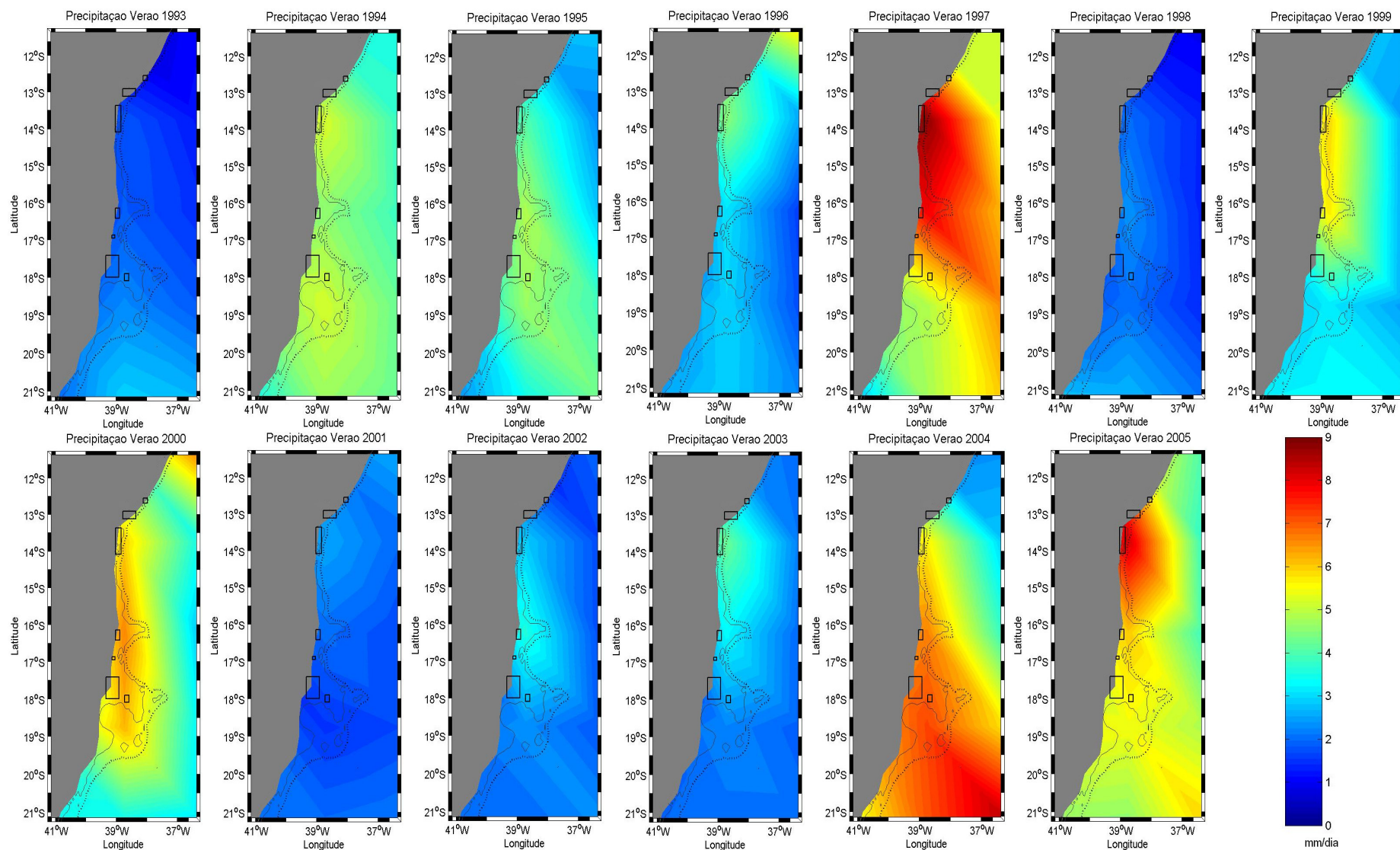


Figura B.4 - Imagens representativas das médias da precipitação para cada verão da série de 1993 a 2005.

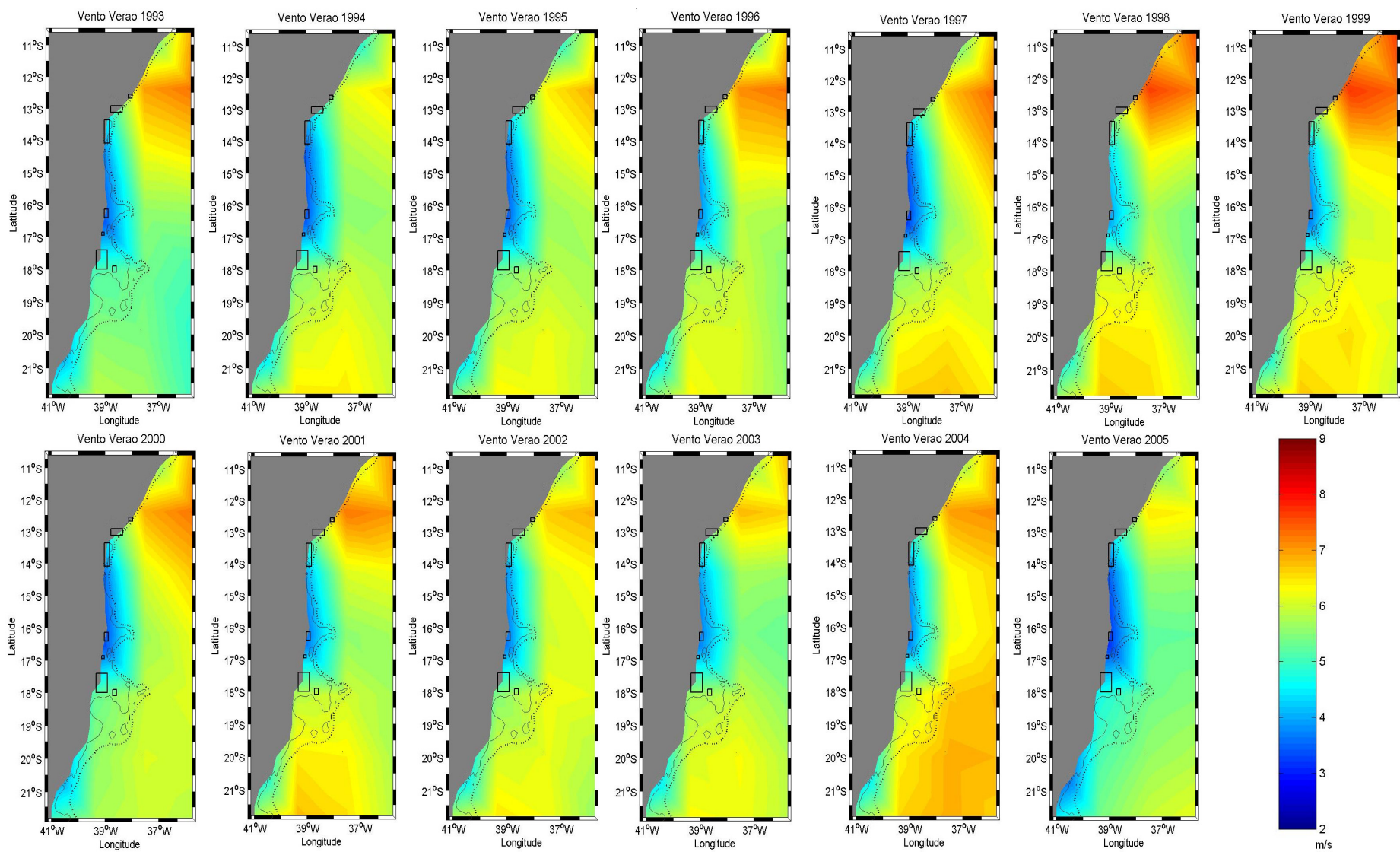


Figura B.5 - Imagens representativas das médias das intensidades do vento resultante para cada verão da série de 1993 a 2005.

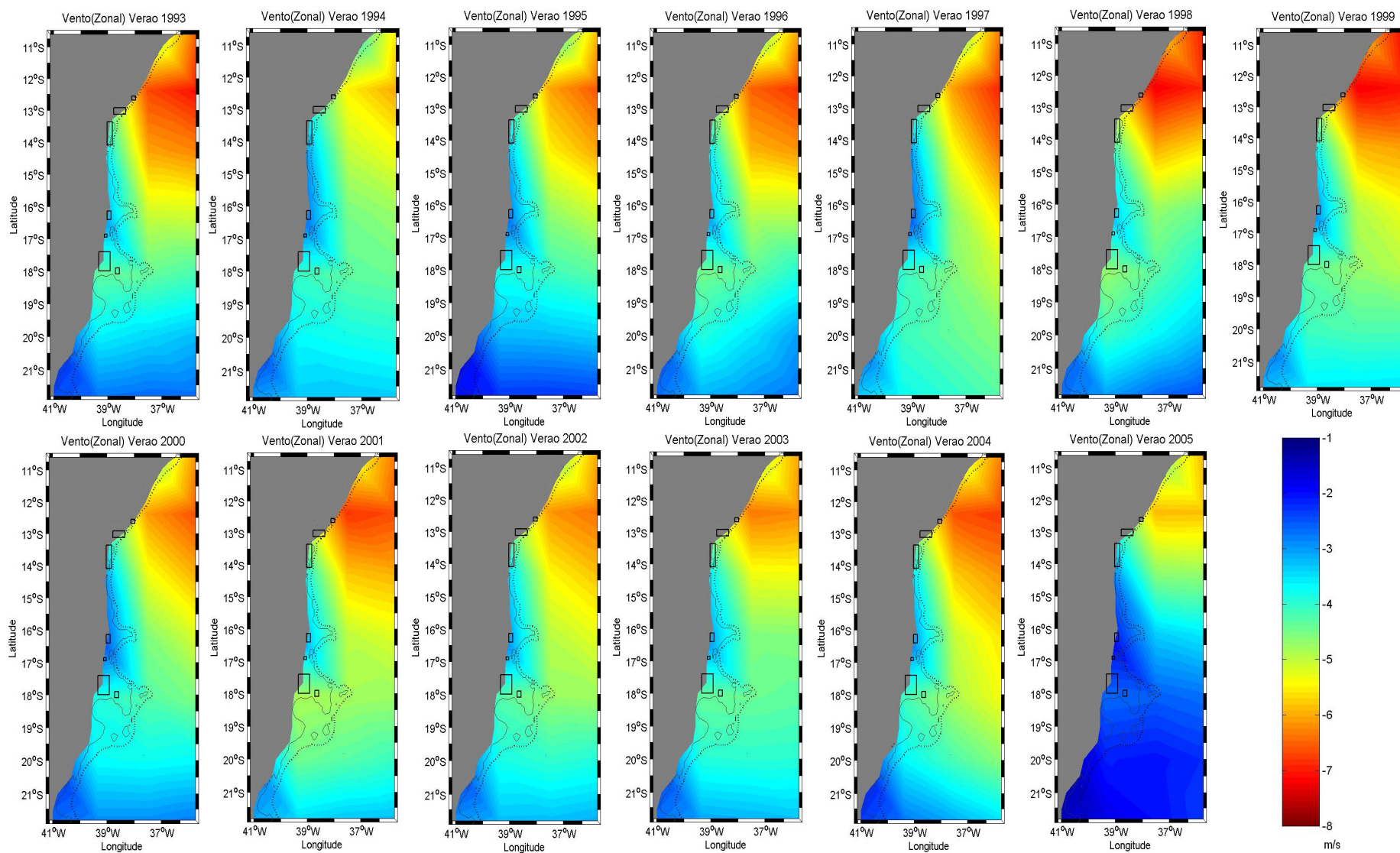


Figura B.6 - Imagens representativas das médias da componente zonal do vento para cada verão da série de 1993 a 2005.

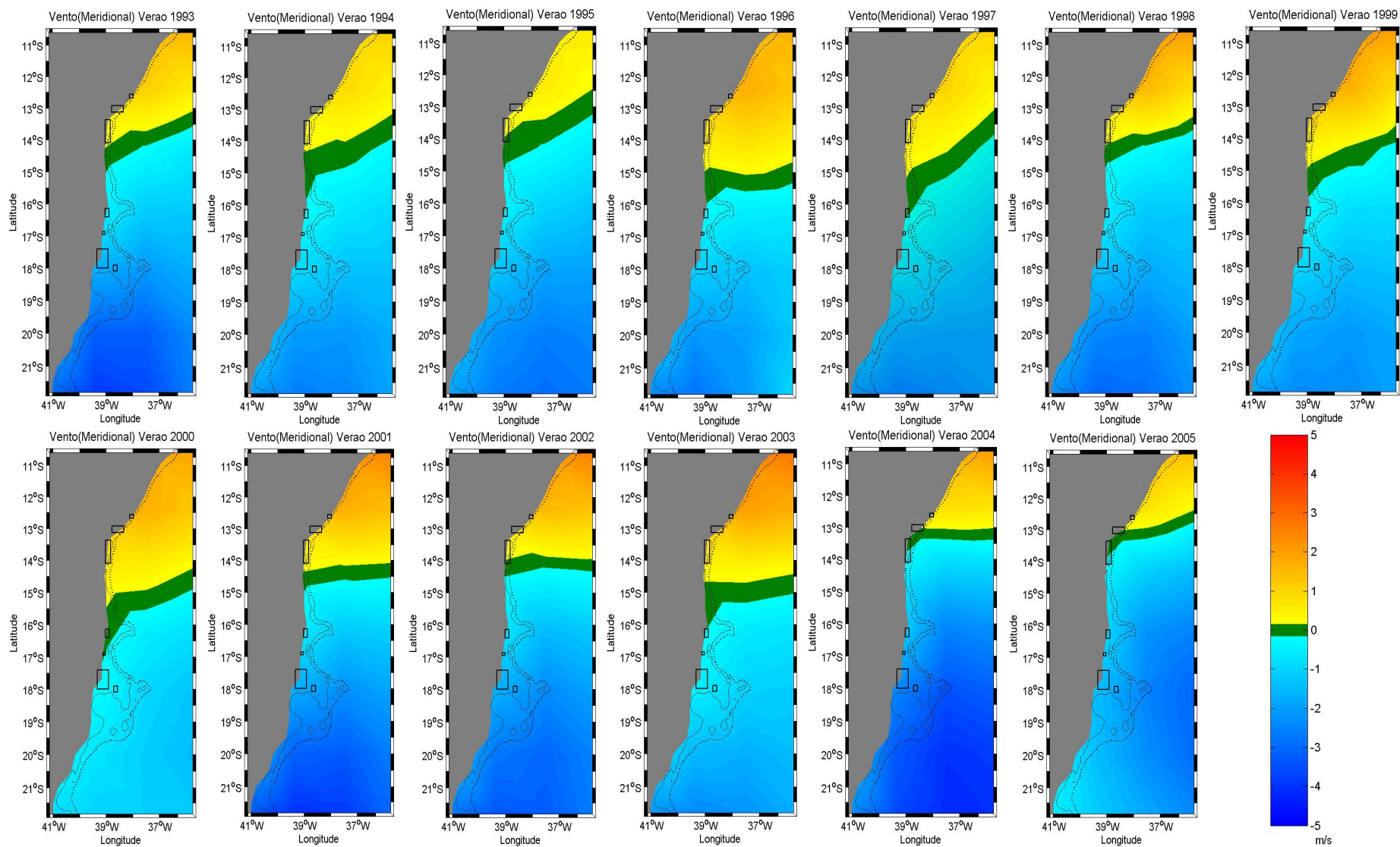


Figura B.7 - Imagens representativas das médias da componente meridional do vento para cada verão da série de 1993 a 2005.

APÊNDICE C

Tabela C.1 - Valores mensais para a área Litoral Norte. MaxTSM = Máxima TSM do mês (°C); TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias durante o mês (°C); PPT = precipitação mensal média (mm/dia); K_{490} = média mensal do coeficiente de atenuação da luz difusa em 490 nm (m^{-1}); |W| = média mensal da intensidade da resultante do vento (m/s); (U) = média mensal da intensidade da componente zonal do vento (m/s); (V) = média mensal da intensidade da componente meridional do vento (m/s); MEI = Índice MEI de ENOS; MEI_7 = Índice MEI de ENOS defasado em 7 meses; SOI = Índice SOI de ENOS; SOI_8 = Índice SOI de ENOS defasado em 8 meses; ONI = Índice ONI de ENOS; ONI_8 = Índice ONI de ENOS defasado em 8 meses.

mês	MaxTSM	TSMac5d	PPT	K_{490}	W	(U)	(V)	MEI	MEI_7	SOI	SOI_8	ONI	ONI_8	Branq
fev/93	28,1	140,1	1,79	-	6,87	-6,69	1,22	0,926	1,025	-1,30	-1,20	0,40	0,90	-
mar/93	28,1	140,6	0,83	-	7,18	-6,97	1,21	0,954	0,605	-1,10	-0,80	0,50	0,50	-
abr/93	28,1	139,8	2,74	-	6,84	-6,41	0,81	1,377	0,492	-1,60	0,00	0,70	0,20	-
fev/94	28,4	141,8	3,73	-	6,67	-6,49	0,66	0,198	1,136	-0,10	-1,40	0,20	0,70	-
mar/94	28,4	141,8	5,91	-	5,70	-5,04	-0,50	0,137	1,064	-1,40	-1,10	0,20	0,40	-
abr/94	28,3	141,4	5,90	-	6,23	-5,11	2,49	0,445	1,011	-1,80	-1,50	0,30	0,30	-
fev/95	28,4	141,8	1,28	-	6,53	-6,31	0,17	0,874	0,838	-0,50	-0,90	0,90	0,40	-
mar/95	28,5	142,5	3,87	-	6,67	-6,27	0,17	0,783	0,632	0,20	-1,80	0,60	0,50	-
abr/95	28,5	142,5	6,97	-	6,03	-5,58	1,35	0,319	0,663	-1,10	-1,80	0,30	0,50	-
fev/96	28,4	142,1	1,90	-	7,44	-7,18	1,13	-0,620	0,291	-0,10	-0,20	-0,70	0,10	-
mar/96	28,9	144,4	3,34	-	6,60	-6,42	0,83	-0,265	0,067	0,70	0,30	-0,50	-0,10	-
abr/96	28,8	144,0	8,27	-	7,30	-6,00	3,21	-0,486	-0,334	0,60	-0,10	-0,30	-0,20	-
fev/97	27,6	138,0	10,07	-	7,70	-7,21	1,71	-0,483	-0,162	1,60	1,00	-0,30	-0,20	-
mar/97	27,5	137,6	9,11	-	6,48	-5,84	-0,13	-0,175	-0,253	-1,10	0,60	-0,10	-0,10	-
abr/97	28,7	137,1	7,35	-	5,98	-5,32	1,48	0,468	-0,309	-0,90	0,40	0,30	-0,20	-
fev/98	28,7	143,3	1,63	0,0408	8,00	-7,84	0,30	2,696	2,652	-2,70	-2,00	2,00	1,30	-
mar/98	29,2	145,9	2,32	0,0402	7,64	-7,20	1,82	2,720	2,876	-3,50	-1,00	1,40	1,70	-
abr/98	29,1	145,2	2,12	0,0521	7,33	-6,73	2,27	2,613	2,837	-1,90	-2,10	1,10	2,00	Forte
fev/99	28,4	142,1	5,18	0,0470	8,23	-8,06	1,10	-1,040	0,361	0,80	0,70	-1,20	-0,10	-
mar/99	28,7	143,3	5,10	0,0412	7,67	-7,41	0,81	-0,898	-0,170	0,90	1,30	-0,90	-0,70	-
abr/99	28,7	143,6	7,55	0,0763	7,27	-6,25	3,15	-0,879	-0,554	1,40	1,00	-0,80	-1,00	-
fev/00	28,6	142,7	4,17	0,0481	6,74	-5,97	0,95	-1,141	-0,521	1,60	-0,10	-1,40	-0,80	-
mar/00	28,6	142,9	7,59	0,0456	7,15	-6,51	1,66	-0,927	-0,723	1,00	0,50	-1,00	-0,90	-
abr/00	28,6	142,9	6,29	0,0684	6,71	-5,82	2,41	-0,339	-0,872	1,20	0,10	-0,80	-1,00	-
fev/01	28,4	142,1	1,22	0,0313	7,26	-6,94	0,98	-0,641	-0,211	1,50	-0,60	-0,50	-0,60	-
mar/01	28,7	143,3	3,39	0,0439	7,15	-6,92	1,21	-0,552	-0,162	0,50	-0,40	-0,40	-0,40	-
abr/01	28,7	143,6	3,15	0,0366	7,33	-6,61	2,85	-0,080	-0,224	-0,10	0,40	-0,30	-0,40	-
fev/02	28,7	143,3	2,75	0,0594	6,95	-6,41	0,18	-0,147	0,157	0,90	-0,10	0,10	0,10	-
mar/02	28,8	144,0	3,27	0,0436	6,79	-6,35	1,78	-0,081	0,301	-0,90	-0,40	0,20	0,10	-
abr/02	28,6	142,9	2,02	0,0517	6,30	-5,70	2,35	0,414	-0,210	-0,40	-1,00	0,40	0,00	-
fev/03	29,0	145,1	2,27	0,0464	7,41	-7,01	2,20	0,907	0,567	-1,20	-0,70	0,90	0,80	-
mar/03	29,4	146,7	4,26	0,0483	6,61	-6,27	1,75	0,812	0,864	-1,00	-0,70	0,50	0,90	-
abr/03	29,4	147,0	6,38	0,0491	6,41	-5,82	2,04	0,385	0,795	-0,40	-1,60	0,10	0,90	-
fev/04	28,6	142,4	3,58	0,0749	7,02	-6,66	0,51	0,369	0,050	1,10	-1,10	0,20	0,00	-
mar/04	28,7	143,6	7,93	0,0483	7,01	-6,71	0,08	-0,083	0,276	-0,20	0,20	0,20	0,30	-
abr/04	28,5	143,0	4,92	0,0621	6,88	-6,49	1,81	0,271	0,473	-1,30	-0,30	0,20	0,40	-
fev/05	28,5	142,2	8,14	0,0660	6,88	-5,92	-0,73	0,739	0,470	-4,10	-1,30	0,50	0,40	-
mar/05	29,0	145,1	8,67	0,0439	6,50	-6,35	0,13	0,929	0,611	-0,20	-0,70	0,40	0,70	-
abr/05	29,0	144,8	7,92	0,0609	6,08	-5,36	2,56	0,555	0,580	-1,00	-0,80	0,50	0,80	-

Tabela C.2 - Valores mensais para a área Baía de Todos os Santos. MaxTSM = Máxima TSM do mês (°C); TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias durante o mês (°C); PPT = precipitação mensal média (mm/dia); K₄₉₀ = média mensal do coeficiente de atenuação da luz difusa em 490 nm (m⁻¹); |W| = média mensal da intensidade da resultante do vento (m/s); (U) = média mensal da intensidade da componente zonal do vento (m/s); (V) = média mensal da intensidade da componente meridional do vento (m/s); MEI = Índice MEI de ENOS; MEI_7 = Índice MEI de ENOS defasado em 7 meses; SOI = Índice SOI de ENOS; SOI_8 = Índice SOI de ENOS defasado em 8 meses; ONI = Índice ONI de ENOS; ONI_8 = Índice ONI de ENOS defasado em 8 meses; Branq = Intensidade do branqueamento registrado.

mês	MaxTSM	TSMac5d	PPT	K ₄₉₀	W	(U)	(V)	MEI	MEI_7	SOI	SOI_8	ONI	ONI_8	Branq
fev/93	28,1	140,1	1,79	-	6,87	-6,69	1,22	0,926	1,025	-1,30	-1,20	0,40	0,90	-
mar/93	28,1	140,6	0,83	-	7,18	-6,97	1,21	0,954	0,605	-1,10	-0,80	0,50	0,50	-
abr/93	28,1	140,0	2,74	-	6,84	-6,41	0,81	1,377	0,492	-1,60	0,00	0,70	0,20	-
fev/94	28,4	141,8	3,73	-	6,67	-6,49	0,66	0,198	1,136	-0,10	-1,40	0,20	0,70	-
mar/94	28,4	141,8	5,91	-	5,70	-5,04	-0,50	0,137	1,064	-1,40	-1,10	0,20	0,40	-
abr/94	28,3	141,4	5,90	-	6,23	-5,11	2,49	0,445	1,011	-1,80	-1,50	0,30	0,30	-
fev/95	28,4	141,8	1,28	-	6,53	-6,31	0,17	0,874	0,838	-0,50	-0,90	0,90	0,40	-
mar/95	28,5	142,5	3,87	-	6,67	-6,27	0,17	0,783	0,632	0,20	-1,80	0,60	0,50	-
abr/95	28,4	142,1	6,97	-	6,03	-5,58	1,35	0,319	0,663	-1,10	-1,80	0,30	0,50	-
fev/96	28,5	142,5	1,90	-	7,44	-7,18	1,13	-0,620	0,291	-0,10	-0,20	-0,70	0,10	-
mar/96	29,0	144,8	3,34	-	6,60	-6,42	0,83	-0,265	0,067	0,70	0,30	-0,50	-0,10	-
abr/96	28,8	144,0	8,27	-	7,30	-6,00	3,21	-0,486	-0,334	0,60	-0,10	-0,30	-0,20	-
fev/97	27,6	138,0	10,07	-	7,70	-7,21	1,71	-0,483	-0,162	1,60	1,00	-0,30	-0,20	-
mar/97	27,5	137,6	9,11	-	6,48	-5,84	-0,13	-0,175	-0,253	-1,10	0,60	-0,10	-0,10	-
abr/97	28,7	137,0	7,35	-	5,98	-5,32	1,48	0,468	-0,309	-0,90	0,40	0,30	-0,20	-
fev/98	28,7	143,3	1,63	0,0333	8,00	-7,84	0,30	2,696	2,652	-2,70	-2,00	2,00	1,30	-
mar/98	29,2	145,9	2,32	0,0302	7,64	-7,20	1,82	2,720	2,876	-3,50	-1,00	1,40	1,70	-
abr/98	29,1	145,2	2,12	0,0285	7,33	-6,73	2,27	2,613	2,837	-1,90	-2,10	1,10	2,00	-
fev/99	28,5	142,5	5,18	0,0349	8,23	-8,06	1,10	-1,040	0,361	0,80	0,70	-1,20	-0,10	-
mar/99	28,7	143,3	5,10	0,0335	7,67	-7,41	0,81	-0,898	-0,170	0,90	1,30	-0,90	-0,70	-
abr/99	28,7	143,6	7,55	0,0362	7,27	-6,25	3,15	-0,879	-0,554	1,40	1,00	-0,80	-1,00	-
fev/00	28,7	143,0	4,17	0,0383	6,74	-5,97	0,95	-1,141	-0,521	1,60	-0,10	-1,40	-0,80	-
mar/00	28,7	143,3	7,59	0,0341	7,15	-6,51	1,66	-0,927	-0,723	1,00	0,50	-1,00	-0,90	-
abr/00	28,6	142,9	6,29	0,0383	6,71	-5,82	2,41	-0,339	-0,872	1,20	0,10	-0,80	-1,00	-
fev/01	28,4	142,1	1,22	0,0307	7,26	-6,94	0,98	-0,641	-0,211	1,50	-0,60	-0,50	-0,60	-
mar/01	28,8	143,4	3,39	0,0314	7,15	-6,92	1,21	-0,552	-0,162	0,50	-0,40	-0,40	-0,40	-
abr/01	28,8	144,0	3,15	0,0286	7,33	-6,61	2,85	-0,080	-0,224	-0,10	0,40	-0,30	-0,40	-
fev/02	28,7	143,6	2,75	0,0365	6,95	-6,41	0,18	-0,147	0,157	0,90	-0,10	0,10	0,10	-
mar/02	28,9	144,4	3,27	0,0310	6,79	-6,35	1,78	-0,081	0,301	-0,90	-0,40	0,20	0,10	-
abr/02	28,7	143,2	2,02	0,0317	6,30	-5,70	2,35	0,414	-0,210	-0,40	-1,00	0,40	0,00	-
fev/03	29,2	145,7	2,27	0,0338	7,41	-7,01	2,20	0,907	0,567	-1,20	-0,70	0,90	0,80	-
mar/03	29,4	146,7	4,26	0,0319	6,61	-6,27	1,75	0,812	0,864	-1,00	-0,70	0,50	0,90	-
abr/03	29,4	147,0	6,38	0,0347	6,41	-5,82	2,04	0,385	0,795	-0,40	-1,60	0,10	0,90	Forte
fev/04	28,7	142,6	3,58	0,0525	7,02	-6,66	0,51	0,369	0,050	1,10	-1,10	0,20	0,00	-
mar/04	28,8	144,0	7,93	0,0330	7,01	-6,71	0,08	-0,083	0,276	-0,20	0,20	0,20	0,30	-
abr/04	28,5	143,0	4,92	0,0330	6,88	-6,49	1,81	0,271	0,473	-1,30	-0,30	0,20	0,40	-
fev/05	28,5	142,4	8,14	0,0420	6,88	-5,92	-0,73	0,739	0,470	-4,10	-1,30	0,50	0,40	-
mar/05	29,1	145,5	8,67	0,0330	6,50	-6,35	0,13	0,929	0,611	-0,20	-0,70	0,40	0,70	-
abr/05	29,0	145,2	7,92	0,0356	6,08	-5,36	2,56	0,555	0,580	-1,00	-0,80	0,50	0,80	-

Tabela C.3 - Valores mensais para a área Ilhas Tinhare e Boipeba, Baía de Camamu. MaxTSM = Máxima TSM do mês (°C); TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias durante o mês (°C); PPT = precipitação mensal média (mm/dia); K₄₉₀ = média mensal do coeficiente de atenuação da luz difusa em 490 nm (m⁻¹); |W| = média mensal da intensidade da resultante do vento (m/s); (U) = média mensal da intensidade da componente zonal do vento (m/s); (V) = média mensal da intensidade da componente meridional do vento (m/s); MEI = Índice MEI de ENOS; MEI_7 = Índice MEI de ENOS defasado em 7 meses; SOI = Índice SOI de ENOS; SOI_8 = Índice SOI de ENOS defasado em 8 meses; ONI = Índice ONI de ENOS; ONI_8 = Índice ONI de ENOS defasado em 8 meses; Branq = Intensidade do branqueamento registrado.

mês	MaxTSM	TSMac5d	PPT	K ₄₉₀	W	(U)	(V)	MEI	MEI_7	SOI	SOI_8	ONI	ONI_8	Branq
fev/93	28,0	139,9	1,79	-	3,33	-3,28	0,22	0,926	1,025	-1,30	-1,20	0,40	0,90	-
mar/93	28,1	140,6	0,83	-	3,55	-3,47	0,15	0,954	0,605	-1,10	-0,80	0,50	0,50	-
abr/93	28,1	140,0	2,74	-	2,98	-2,67	0,30	1,377	0,492	-1,60	0,00	0,70	0,20	-
fev/94	28,4	141,8	3,73	-	3,61	-3,51	-0,07	0,198	1,136	-0,10	-1,40	0,20	0,70	-
mar/94	28,4	141,6	5,91	-	2,63	-2,31	-0,45	0,137	1,064	-1,40	-1,10	0,20	0,40	-
abr/94	28,2	141,1	5,90	-	2,66	-2,12	1,15	0,445	1,011	-1,80	-1,50	0,30	0,30	-
fev/95	28,4	141,8	1,28	-	3,67	-3,51	-0,54	0,874	0,838	-0,50	-0,90	0,90	0,40	-
mar/95	28,5	142,4	3,87	-	2,89	-2,70	0,09	0,783	0,632	0,20	-1,80	0,60	0,50	-
abr/95	28,3	141,4	6,97	-	2,73	-2,21	0,81	0,319	0,663	-1,10	-1,80	0,30	0,50	-
fev/96	28,4	142,1	1,90	-	3,66	-3,52	-0,18	-0,620	0,291	-0,10	-0,20	-0,70	0,10	-
mar/96	28,9	144,4	3,34	-	3,46	-3,38	0,04	-0,265	0,067	0,70	0,30	-0,50	-0,10	-
abr/96	28,7	143,6	8,27	-	3,33	-2,63	1,42	-0,486	-0,334	0,60	-0,10	-0,30	-0,20	-
fev/97	27,5	137,6	10,07	-	3,60	-3,32	0,88	-0,483	-0,162	1,60	1,00	-0,30	-0,20	-
mar/97	27,5	137,6	9,11	-	2,83	-2,52	-0,01	-0,175	-0,253	-1,10	0,60	-0,10	-0,10	-
abr/97	28,6	136,6	7,35	-	2,37	-1,94	0,63	0,468	-0,309	-0,90	0,40	0,30	-0,20	-
fev/98	28,7	142,9	1,63	0,0611	4,04	-3,95	-0,50	2,696	2,652	-2,70	-2,00	2,00	1,30	-
mar/98	29,0	145,1	2,32	0,0833	3,99	-3,83	0,20	2,720	2,876	-3,50	-1,00	1,40	1,70	-
abr/98	29,0	144,8	2,12	0,0716	3,89	-3,52	0,74	2,613	2,837	-1,90	-2,10	1,10	2,00	-
fev/99	28,4	142,0	5,18	0,0450	4,01	-3,96	0,11	-1,040	0,361	0,80	0,70	-1,20	-0,10	-
mar/99	28,6	142,9	5,10	0,0772	3,28	-3,08	-0,09	-0,898	-0,170	0,90	1,30	-0,90	-0,70	-
abr/99	28,7	143,5	7,55	0,0640	3,42	-2,73	1,50	-0,879	-0,554	1,40	1,00	-0,80	-1,00	-
fev/00	28,6	142,7	4,17	0,0703	3,16	-2,67	0,15	-1,141	-0,521	1,60	-0,10	-1,40	-0,80	-
mar/00	28,6	142,9	7,59	0,1006	3,08	-2,75	0,28	-0,927	-0,723	1,00	0,50	-1,00	-0,90	-
abr/00	28,6	142,9	6,29	0,1233	2,92	-2,36	1,23	-0,339	-0,872	1,20	0,10	-0,80	-1,00	-
fev/01	28,4	142,1	1,22	0,0645	3,90	-3,71	-0,27	-0,641	-0,211	1,50	-0,60	-0,50	-0,60	-
mar/01	28,7	143,3	3,39	0,0954	3,52	-3,43	0,07	-0,552	-0,162	0,50	-0,40	-0,40	-0,40	-
abr/01	28,7	143,6	3,15	0,0751	3,30	-3,05	0,87	-0,080	-0,224	-0,10	0,40	-0,30	-0,40	-
fev/02	28,7	143,6	2,75	0,1014	3,72	-3,23	-1,11	-0,147	0,157	0,90	-0,10	0,10	0,10	-
mar/02	28,9	144,4	3,27	0,0635	3,39	-3,17	0,36	-0,081	0,301	-0,90	-0,40	0,20	0,10	Fraco
abr/02	28,6	142,9	2,02	0,0849	2,86	-2,60	0,74	0,414	-0,210	-0,40	-1,00	0,40	0,00	-
fev/03	29,2	145,7	2,27	0,0596	3,96	-3,86	0,22	0,907	0,567	-1,20	-0,70	0,90	0,80	-
mar/03	29,3	146,3	4,26	0,0672	3,50	-3,38	0,09	0,812	0,864	-1,00	-0,70	0,50	0,90	-
abr/03	29,3	146,6	6,38	0,0943	3,18	-2,63	0,71	0,385	0,795	-0,40	-1,60	0,10	0,90	Forte
fev/04	28,6	142,4	3,58	0,0837	3,63	-3,39	-0,64	0,369	0,050	1,10	-1,10	0,20	0,00	-
mar/04	28,7	143,6	7,93	0,1396	2,97	-2,71	-0,43	-0,083	0,276	-0,20	0,20	0,20	0,30	Fraco
abr/04	28,4	142,6	4,92	0,1553	3,28	-3,05	0,21	0,271	0,473	-1,30	-0,30	0,20	0,40	-
fev/05	28,4	142,1	8,14	0,0743	3,33	-2,43	-0,72	0,739	0,470	-4,10	-1,30	0,50	0,40	-
mar/05	29,0	145,1	8,67	0,0684	3,15	-3,01	-0,48	0,929	0,611	-0,20	-0,70	0,40	0,70	-
abr/05	28,9	144,5	7,92	0,0860	2,46	-2,21	0,56	0,555	0,580	-1,00	-0,80	0,50	0,80	-

Tabela C.4 - Valores mensais para a área Cabralia. MaxTSM = Máxima TSM do mês (°C); TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias durante o mês (°C); PPT = precipitação mensal média (mm/dia); K₄₉₀ = média mensal do coeficiente de atenuação da luz difusa em 490 nm (m⁻¹); |W| = média mensal da intensidade da resultante do vento (m/s); (U) = média mensal da intensidade da componente zonal do vento (m/s); (V) = média mensal da intensidade da componente meridional do vento (m/s); MEI = Índice MEI de ENOS; MEI_7 = Índice MEI de ENOS defasado em 7 meses; SOI = Índice SOI de ENOS; SOI_8 = Índice SOI de ENOS defasado em 8 meses; ONI = Índice ONI de ENOS; ONI_8 = Índice ONI de ENOS defasado em 8 meses; Branq = Intensidade do branqueamento registrado.

mês	MaxTSM	TSMac5d	PPT	K ₄₉₀	W	(U)	(V)	MEI	MEI_7	SOI	SOI_8	ONI	ONI_8	Branq
fev/93	28,0	139,9	1,91	-	3,09	-3,03	-0,25	0,926	1,025	-1,30	-1,20	0,40	0,90	-
mar/93	28,1	140,3	1,04	-	3,16	-2,97	-0,56	0,954	0,605	-1,10	-0,80	0,50	0,50	-
abr/93	27,9	139,1	2,59	-	2,69	-2,36	-0,13	1,377	0,492	-1,60	0,00	0,70	0,20	-
fev/94	28,4	141,7	3,75	-	3,44	-3,30	-0,33	0,198	1,136	-0,10	-1,40	0,20	0,70	-
mar/94	28,3	141,2	4,59	-	2,64	-2,15	-0,82	0,137	1,064	-1,40	-1,10	0,20	0,40	-
abr/94	27,9	139,7	5,11	-	2,56	-1,83	0,92	0,445	1,011	-1,80	-1,50	0,30	0,30	-
fev/95	28,1	140,6	0,96	-	3,47	-3,16	-1,06	0,874	0,838	-0,50	-0,90	0,90	0,40	-
mar/95	28,3	141,4	4,35	-	2,68	-2,30	-0,42	0,783	0,632	0,20	-1,80	0,60	0,50	-
abr/95	28,0	139,9	9,16	-	2,62	-1,86	0,63	0,319	0,663	-1,10	-1,80	0,30	0,50	-
fev/96	28,3	141,4	0,98	-	3,55	-3,19	-1,00	-0,620	0,291	-0,10	-0,20	-0,70	0,10	-
mar/96	28,7	143,3	3,69	-	3,14	-2,95	-0,56	-0,265	0,067	0,70	0,30	-0,50	-0,10	-
abr/96	28,5	142,5	4,47	-	3,05	-2,32	1,11	-0,486	-0,334	0,60	-0,10	-0,30	-0,20	-
fev/97	27,3	136,2	8,62	-	3,26	-2,97	0,09	-0,483	-0,162	1,60	1,00	-0,30	-0,20	-
mar/97	27,3	136,5	8,57	-	2,71	-2,15	-0,15	-0,175	-0,253	-1,10	0,60	-0,10	-0,10	-
abr/97	28,4	134,3	6,56	-	2,05	-1,47	0,17	0,468	-0,309	-0,90	0,40	0,30	-0,20	-
fev/98	28,4	141,8	1,22	0,0957	3,72	-3,43	-1,27	2,696	2,652	-2,70	-2,00	2,00	1,30	-
mar/98	28,7	143,6	3,91	0,0743	3,39	-3,04	-0,40	2,720	2,876	-3,50	-1,00	1,40	1,70	-
abr/98	28,7	143,3	1,83	0,0901	3,52	-2,94	0,43	2,613	2,837	-1,90	-2,10	1,10	2,00	-
fev/99	28,2	141,0	5,26	0,1375	3,52	-3,36	-0,67	-1,040	0,361	0,80	0,70	-1,20	-0,10	-
mar/99	28,3	141,1	3,66	0,1149	2,94	-2,30	-0,94	-0,898	-0,170	0,90	1,30	-0,90	-0,70	-
abr/99	28,4	141,6	8,40	0,1192	2,90	-2,15	1,23	-0,879	-0,554	1,40	1,00	-0,80	-1,00	-
fev/00	28,4	141,7	6,19	0,0595	3,02	-2,33	-0,47	-1,141	-0,521	1,60	-0,10	-1,40	-0,80	-
mar/00	28,2	141,5	6,95	0,0938	2,66	-2,19	-0,27	-0,927	-0,723	1,00	0,50	-1,00	-0,90	-
abr/00	28,3	141,3	7,02	0,0760	2,65	-2,07	0,99	-0,339	-0,872	1,20	0,10	-0,80	-1,00	-
fev/01	28,4	141,6	2,44	0,0939	3,49	-3,16	-0,96	-0,641	-0,211	1,50	-0,60	-0,50	-0,60	-
mar/01	28,6	142,6	1,61	0,0727	3,10	-2,93	-0,65	-0,552	-0,162	0,50	-0,40	-0,40	-0,40	-
abr/01	28,6	142,9	2,21	0,0577	2,87	-2,56	0,31	-0,080	-0,224	-0,10	0,40	-0,30	-0,40	-
fev/02	28,4	141,8	3,60	0,0997	3,58	-2,75	-1,78	-0,147	0,157	0,90	-0,10	0,10	0,10	-
mar/02	28,5	142,5	3,53	0,0576	2,98	-2,72	-0,31	-0,081	0,301	-0,90	-0,40	0,20	0,10	-
abr/02	28,3	141,4	3,32	0,0589	2,56	-2,32	0,43	0,414	-0,210	-0,40	-1,00	0,40	0,00	-
fev/03	28,8	144,1	1,90	0,0754	3,53	-3,33	-0,36	0,907	0,567	-1,20	-0,70	0,90	0,80	-
mar/03	28,9	144,4	2,58	0,0766	3,20	-2,77	-0,46	0,812	0,864	-1,00	-0,70	0,50	0,90	-
abr/03	28,8	143,9	5,05	0,0872	2,94	-2,22	0,69	0,385	0,795	-0,40	-1,60	0,10	0,90	-
fev/04	28,3	140,7	5,11	0,0981	3,51	-3,03	-1,38	0,369	0,050	1,10	-1,10	0,20	0,00	-
mar/04	28,4	141,8	9,95	0,0907	2,76	-2,10	-1,02	-0,083	0,276	-0,20	0,20	0,20	0,30	Ausente
abr/04	27,8	139,1	4,34	0,1299	2,88	-2,46	-0,49	0,271	0,473	-1,30	-0,30	0,20	0,40	-
fev/05	28,4	141,5	6,20	0,0908	3,34	-1,70	-1,30	0,739	0,470	-4,10	-1,30	0,50	0,40	-
mar/05	28,7	143,3	6,37	0,0720	2,69	-2,22	-1,09	0,929	0,611	-0,20	-0,70	0,40	0,70	-
abr/05	28,7	143,3	5,67	0,0557	2,03	-1,74	0,18	0,555	0,580	-1,00	-0,80	0,50	0,80	-

Tabela C.5 - Valores mensais para a área Itacolomis. MaxTSM = Máxima TSM do mês (°C); TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias durante o mês (°C); PPT = precipitação mensal média (mm/dia); K₄₉₀ = média mensal do coeficiente de atenuação da luz difusa em 490 nm (m⁻¹); |W| = média mensal da intensidade da resultante do vento (m/s); (U) = média mensal da intensidade da componente zonal do vento (m/s); (V) = média mensal da intensidade da componente meridional do vento (m/s); MEI = Índice MEI de ENOS; MEI_7 = Índice MEI de ENOS defasado em 7 meses; SOI = Índice SOI de ENOS; SOI_8 = Índice SOI de ENOS defasado em 8 meses; ONI = Índice ONI de ENOS; ONI_8 = Índice ONI de ENOS defasado em 8 meses; Branq = Intensidade do branqueamento registrado.

mês	MaxTSM	TSMac5d	PPT	K ₄₉₀	W	(U)	(V)	MEI	MEI_7	SOI	SOI_8	ONI	ONI_8	Branq
fev/93	27,9	139,4	1,91	-	3,09	-3,03	-0,25	0,926	1,025	-1,30	-1,20	0,40	0,90	-
mar/93	28,0	139,6	1,04	-	3,16	-2,97	-0,56	0,954	0,605	-1,10	-0,80	0,50	0,50	-
abr/93	27,8	138,4	2,59	-	2,69	-2,36	-0,13	1,377	0,492	-1,60	0,00	0,70	0,20	-
fev/94	28,3	141,2	3,75	-	3,44	-3,30	-0,33	0,198	1,136	-0,10	-1,40	0,20	0,70	-
mar/94	28,1	140,7	4,59	-	2,64	-2,15	-0,82	0,137	1,064	-1,40	-1,10	0,20	0,40	-
abr/94	27,8	139,1	5,11	-	2,56	-1,83	0,92	0,445	1,011	-1,80	-1,50	0,30	0,30	-
fev/95	28,1	140,0	0,96	-	3,47	-3,16	-1,06	0,874	0,838	-0,50	-0,90	0,90	0,40	-
mar/95	28,2	140,9	4,35	-	2,68	-2,30	-0,42	0,783	0,632	0,20	-1,80	0,60	0,50	-
abr/95	27,8	139,1	9,16	-	2,62	-1,86	0,63	0,319	0,663	-1,10	-1,80	0,30	0,50	-
fev/96	28,3	141,3	0,98	-	3,55	-3,19	-1,00	-0,620	0,291	-0,10	-0,20	-0,70	0,10	-
mar/96	28,6	142,9	3,69	-	3,14	-2,95	-0,56	-0,265	0,067	0,70	0,30	-0,50	-0,10	-
abr/96	28,4	142,1	4,47	-	3,05	-2,32	1,11	-0,486	-0,334	0,60	-0,10	-0,30	-0,20	-
fev/97	27,2	135,7	8,62	-	3,26	-2,97	0,09	-0,483	-0,162	1,60	1,00	-0,30	-0,20	-
mar/97	27,2	135,8	8,57	-	2,71	-2,15	-0,15	-0,175	-0,253	-1,10	0,60	-0,10	-0,10	-
abr/97	28,2	133,1	6,56	-	2,05	-1,47	0,17	0,468	-0,309	-0,90	0,40	0,30	-0,20	-
fev/98	28,2	141,0	1,22	0,0918	3,72	-3,43	-1,27	2,696	2,652	-2,70	-2,00	2,00	1,30	-
mar/98	28,5	142,3	3,91	0,0940	3,39	-3,04	-0,40	2,720	2,876	-3,50	-1,00	1,40	1,70	-
abr/98	28,5	142,1	1,83	0,0982	3,52	-2,94	0,43	2,613	2,837	-1,90	-2,10	1,10	2,00	-
fev/99	28,1	140,3	5,26	0,0706	3,52	-3,36	-0,67	-1,040	0,361	0,80	0,70	-1,20	-0,10	-
mar/99	28,1	140,3	3,66	0,0866	2,94	-2,30	-0,94	-0,898	-0,170	0,90	1,30	-0,90	-0,70	-
abr/99	28,2	140,6	8,40	0,0948	2,90	-2,15	1,23	-0,879	-0,554	1,40	1,00	-0,80	-1,00	-
fev/00	28,2	140,9	6,19	0,0823	3,02	-2,33	-0,47	-1,141	-0,521	1,60	-0,10	-1,40	-0,80	-
mar/00	28,1	140,7	6,95	0,0864	2,66	-2,19	-0,27	-0,927	-0,723	1,00	0,50	-1,00	-0,90	-
abr/00	28,1	140,6	7,02	0,0984	2,65	-2,07	0,99	-0,339	-0,872	1,20	0,10	-0,80	-1,00	-
fev/01	28,3	140,9	2,44	0,0757	3,49	-3,16	-0,96	-0,641	-0,211	1,50	-0,60	-0,50	-0,60	-
mar/01	28,5	141,9	1,61	0,0858	3,10	-2,93	-0,65	-0,552	-0,162	0,50	-0,40	-0,40	-0,40	-
abr/01	28,5	142,5	2,21	0,0769	2,87	-2,56	0,31	-0,080	-0,224	-0,10	0,40	-0,30	-0,40	-
fev/02	28,2	141,0	3,60	0,0682	3,58	-2,75	-1,78	-0,147	0,157	0,90	-0,10	0,10	0,10	-
mar/02	28,4	141,8	3,53	0,0787	2,98	-2,72	-0,31	-0,081	0,301	-0,90	-0,40	0,20	0,10	-
abr/02	28,1	140,7	3,32	0,0764	2,56	-2,32	0,43	0,414	-0,210	-0,40	-1,00	0,40	0,00	-
fev/03	28,7	143,3	1,90	0,0674	3,53	-3,33	-0,36	0,907	0,567	-1,20	-0,70	0,90	0,80	-
mar/03	28,8	143,8	2,58	0,0787	3,20	-2,77	-0,46	0,812	0,864	-1,00	-0,70	0,50	0,90	-
abr/03	28,7	143,1	5,05	0,0764	2,94	-2,22	0,69	0,385	0,795	-0,40	-1,60	0,10	0,90	-
fev/04	28,1	139,8	5,11	0,0907	3,51	-3,03	-1,38	0,369	0,050	1,10	-1,10	0,20	0,00	-
mar/04	28,3	141,1	9,95	0,0938	2,76	-2,10	-1,02	-0,083	0,276	-0,20	0,20	0,20	0,30	-
abr/04	27,7	137,7	4,34	0,1131	2,88	-2,46	-0,49	0,271	0,473	-1,30	-0,30	0,20	0,40	-
fev/05	28,2	140,5	6,20	0,0825	3,34	-1,70	-1,30	0,739	0,470	-4,10	-1,30	0,50	0,40	-
mar/05	28,5	142,5	6,37	0,0788	2,69	-2,22	-1,09	0,929	0,611	-0,20	-0,70	0,40	0,70	-
abr/05	28,6	142,5	5,67	0,0705	2,03	-1,74	0,18	0,555	0,580	-1,00	-0,80	0,50	0,80	Fraco

Tabela C.6 - Valores mensais para a área Arco Costeiro dos Abrolhos. MaxTSM = Máxima TSM do mês (°C); TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias durante o mês (°C); PPT = precipitação mensal média (mm/dia); K₄₉₀ = média mensal do coeficiente de atenuação da luz difusa em 490 nm (m⁻¹); |W| = média mensal da intensidade da resultante do vento (m/s); (U) = média mensal da intensidade da componente zonal do vento (m/s); (V) = média mensal da intensidade da componente meridional do vento (m/s); MEI = Índice MEI de ENOS; MEI_7 = Índice MEI de ENOS defasado em 7 meses; SOI = Índice SOI de ENOS; SOI_8 = Índice SOI de ENOS defasado em 8 meses; ONI = Índice ONI de ENOS; ONI_8 = Índice ONI de ENOS defasado em 8 meses; Branq = Intensidade do branqueamento registrado.

mês	MaxTSM	TSMac5d	PPT	K ₄₉₀	W	(U)	(V)	MEI	MEI_7	SOI	SOI_8	ONI	ONI_8	Branq
fev/93	27,8	139,1	1,81	-	5,44	-5,03	-1,66	0,926	1,025	-1,30	-1,20	0,40	0,90	-
mar/93	27,8	139,1	1,37	-	5,15	-4,18	-2,50	0,954	0,605	-1,10	-0,80	0,50	0,50	-
abr/93	27,7	137,9	3,66	-	4,87	-3,85	-1,02	1,377	0,492	-1,60	0,00	0,70	0,20	-
fev/94	28,2	140,9	1,78	-	6,10	-5,58	-1,74	0,198	1,136	-0,10	-1,40	0,20	0,70	-
mar/94	28,1	140,6	5,49	-	5,20	-3,38	-2,47	0,137	1,064	-1,40	-1,10	0,20	0,40	Forte
abr/94	27,7	138,5	7,58	-	5,28	-3,34	1,46	0,445	1,011	-1,80	-1,50	0,30	0,30	-
fev/95	28,0	139,9	0,38	-	6,09	-4,65	-3,35	0,874	0,838	-0,50	-0,90	0,90	0,40	-
mar/95	28,2	140,9	5,35	-	5,21	-3,88	-1,54	0,783	0,632	0,20	-1,80	0,60	0,50	-
abr/95	27,7	138,4	8,07	-	4,99	-3,07	0,99	0,319	0,663	-1,10	-1,80	0,30	0,50	-
fev/96	28,2	140,9	0,62	-	6,64	-5,32	-3,02	-0,620	0,291	-0,10	-0,20	-0,70	0,10	-
mar/96	28,5	142,5	3,39	-	5,07	-4,15	-1,91	-0,265	0,067	0,70	0,30	-0,50	-0,10	-
abr/96	28,4	141,8	4,75	-	5,66	-4,09	1,48	-0,486	-0,334	0,60	-0,10	-0,30	-0,20	-
fev/97	27,1	135,3	3,08	-	6,17	-5,44	-1,28	-0,483	-0,162	1,60	1,00	-0,30	-0,20	-
mar/97	27,1	135,3	6,49	-	5,92	-4,09	-0,56	-0,175	-0,253	-1,10	0,60	-0,10	-0,10	-
abr/97	28,1	132,1	4,99	-	4,48	-2,68	-0,59	0,468	-0,309	-0,90	0,40	0,30	-0,20	-
fev/98	28,1	140,6	1,20	0,0970	6,52	-5,22	-3,62	2,696	2,652	-2,70	-2,00	2,00	1,30	-
mar/98	28,3	141,4	2,10	0,1136	5,66	-4,54	-0,99	2,720	2,876	-3,50	-1,00	1,40	1,70	-
abr/98	28,3	141,2	2,90	0,1525	5,96	-4,47	0,39	2,613	2,837	-1,90	-2,10	1,10	2,00	-
fev/99	28,0	139,9	2,40	0,0934	6,42	-5,65	-2,53	-1,040	0,361	0,80	0,70	-1,20	-0,10	-
mar/99	28,0	139,8	3,22	0,1331	5,79	-3,60	-2,60	-0,898	-0,170	0,90	1,30	-0,90	-0,70	-
abr/99	28,1	140,0	3,86	0,1506	5,26	-3,82	2,09	-0,879	-0,554	1,40	1,00	-0,80	-1,00	-
fev/00	28,1	140,6	6,97	0,1120	5,66	-4,13	-1,71	-1,141	-0,521	1,60	-0,10	-1,40	-0,80	-
mar/00	28,0	140,3	6,55	0,1316	4,97	-3,82	-0,78	-0,927	-0,723	1,00	0,50	-1,00	-0,90	-
abr/00	28,0	139,9	5,14	0,1352	5,23	-3,77	1,69	-0,339	-0,872	1,20	0,10	-0,80	-1,00	-
fev/01	28,1	140,5	2,62	0,0940	6,33	-5,29	-2,72	-0,641	-0,211	1,50	-0,60	-0,50	-0,60	-
mar/01	28,4	141,5	0,86	0,1128	5,81	-4,96	-2,45	-0,552	-0,162	0,50	-0,40	-0,40	-0,40	Fraco
abr/01	28,4	142,1	1,30	0,1221	5,48	-4,37	-0,19	-0,080	-0,224	-0,10	0,40	-0,30	-0,40	-
fev/02	28,1	140,4	1,46	0,1019	6,17	-4,05	-3,65	-0,147	0,157	0,90	-0,10	0,10	0,10	-
mar/02	28,3	141,4	2,21	0,1053	5,55	-4,50	-1,82	-0,081	0,301	-0,90	-0,40	0,20	0,10	Fraco
abr/02	28,1	140,4	3,21	0,1175	4,82	-4,25	0,19	0,414	-0,210	-0,40	-1,00	0,40	0,00	-
fev/03	28,6	143,0	1,07	0,0921	5,84	-5,21	-1,62	0,907	0,567	-1,20	-0,70	0,90	0,80	-
mar/03	28,7	143,6	1,25	0,1226	5,84	-4,10	-1,47	0,812	0,864	-1,00	-0,70	0,50	0,90	Fraco
abr/03	28,6	142,7	4,17	0,1568	5,41	-3,91	1,55	0,385	0,795	-0,40	-1,60	0,10	0,90	-
fev/04	28,0	139,4	6,32	0,1191	6,23	-4,77	-3,24	0,369	0,050	1,10	-1,10	0,20	0,00	-
mar/04	28,1	140,6	9,46	0,1350	5,76	-3,60	-2,46	-0,083	0,276	-0,20	0,20	0,20	0,30	-
abr/04	27,5	136,9	5,51	0,1661	5,57	-4,12	-1,78	0,271	0,473	-1,30	-0,30	0,20	0,40	-
fev/05	28,0	139,7	8,30	0,1161	6,26	-2,23	-2,59	0,739	0,470	-4,10	-1,30	0,50	0,40	-
mar/05	28,4	142,1	5,55	0,1148	4,53	-3,00	-2,19	0,929	0,611	-0,20	-0,70	0,40	0,70	Forte
abr/05	28,4	142,1	2,74	0,0919	3,58	-2,71	0,41	0,555	0,580	-1,00	-0,80	0,50	0,80	-

Tabela C.7 - Valores mensais para a área Arco Externo e Arquipélago dos Abrolhos. MaxTSM = Máxima TSM do mês (°C); TSMac5d = Máxima TSM acumulada em 5 dias durante o mês (°C); PPT = precipitação mensal média (mm/dia); K₄₉₀ = média mensal do coeficiente de atenuação da luz difusa em 490 nm (m⁻¹); |W| = média mensal da intensidade da resultante do vento (m/s); (U) = média mensal da intensidade da componente zonal do vento (m/s); (V) = média mensal da intensidade da componente meridional do vento (m/s); MEI = Índice MEI de ENOS; MEI_7 = Índice MEI de ENOS defasado em 7 meses; SOI = Índice SOI de ENOS; SOI_8 = Índice SOI de ENOS defasado em 8 meses; ONI = Índice ONI de ENOS; ONI_8 = Índice ONI de ENOS defasado em 8 meses; Branq = Intensidade do branqueamento registrado.

mês	MaxTSM	TSMac5d	PPT	K ₄₉₀	W	(U)	(V)	MEI	MEI_7	SOI	SOI_8	ONI	ONI_8	Branq
fev/93	27,8	139,1	1,81	-	5,44	-5,03	-1,66	0,926	1,025	-1,30	-1,20	0,40	0,90	-
mar/93	27,9	139,5	1,37	-	5,15	-4,18	-2,50	0,954	0,605	-1,10	-0,80	0,50	0,50	-
abr/93	27,8	138,1	3,66	-	4,87	-3,85	-1,02	1,377	0,492	-1,60	0,00	0,70	0,20	-
fev/94	28,2	141,0	1,78	-	6,10	-5,58	-1,74	0,198	1,136	-0,10	-1,40	0,20	0,70	-
mar/94	28,2	141,0	5,49	-	5,20	-3,38	-2,47	0,137	1,064	-1,40	-1,10	0,20	0,40	-
abr/94	27,6	138,2	7,58	-	5,28	-3,34	1,46	0,445	1,011	-1,80	-1,50	0,30	0,30	-
fev/95	28,1	140,3	0,38	-	6,09	-4,65	-3,35	0,874	0,838	-0,50	-0,90	0,90	0,40	-
mar/95	28,2	140,9	5,35	-	5,21	-3,88	-1,54	0,783	0,632	0,20	-1,80	0,60	0,50	-
abr/95	27,7	138,4	8,07	-	4,99	-3,07	0,99	0,319	0,663	-1,10	-1,80	0,30	0,50	-
fev/96	28,2	141,0	0,62	-	6,64	-5,32	-3,02	-0,620	0,291	-0,10	-0,20	-0,70	0,10	-
mar/96	28,5	142,5	3,39	-	5,07	-4,15	-1,91	-0,265	0,067	0,70	0,30	-0,50	-0,10	-
abr/96	28,4	141,8	4,75	-	5,66	-4,09	1,48	-0,486	-0,334	0,60	-0,10	-0,30	-0,20	-
fev/97	27,1	135,4	3,08	-	6,17	-5,44	-1,28	-0,483	-0,162	1,60	1,00	-0,30	-0,20	-
mar/97	27,0	135,0	6,49	-	5,92	-4,09	-0,56	-0,175	-0,253	-1,10	0,60	-0,10	-0,10	-
abr/97	28,1	132,0	4,99	-	4,48	-2,68	-0,59	0,468	-0,309	-0,90	0,40	0,30	-0,20	-
fev/98	28,1	140,6	1,20	0,0633	6,52	-5,22	-3,62	2,696	2,652	-2,70	-2,00	2,00	1,30	-
mar/98	28,4	141,8	2,10	0,0647	5,66	-4,54	-0,99	2,720	2,876	-3,50	-1,00	1,40	1,70	-
abr/98	28,3	141,2	2,90	0,0801	5,96	-4,47	0,39	2,613	2,837	-1,90	-2,10	1,10	2,00	-
fev/99	28,1	140,3	2,40	0,0595	6,42	-5,65	-2,53	-1,040	0,361	0,80	0,70	-1,20	-0,10	-
mar/99	28,0	139,9	3,22	0,0621	5,79	-3,60	-2,60	-0,898	-0,170	0,90	1,30	-0,90	-0,70	-
abr/99	28,0	139,9	3,86	0,0744	5,26	-3,82	2,09	-0,879	-0,554	1,40	1,00	-0,80	-1,00	-
fev/00	28,1	140,6	6,97	0,0570	5,66	-4,13	-1,71	-1,141	-0,521	1,60	-0,10	-1,40	-0,80	-
mar/00	28,0	140,3	6,55	0,0712	4,97	-3,82	-0,78	-0,927	-0,723	1,00	0,50	-1,00	-0,90	Fraco
abr/00	28,0	139,9	5,14	0,0789	5,23	-3,77	1,69	-0,339	-0,872	1,20	0,10	-0,80	-1,00	-
fev/01	28,1	140,5	2,62	0,0517	6,33	-5,29	-2,72	-0,641	-0,211	1,50	-0,60	-0,50	-0,60	-
mar/01	28,4	141,5	0,86	0,0657	5,81	-4,96	-2,45	-0,552	-0,162	0,50	-0,40	-0,40	-0,40	Fraco
abr/01	28,4	142,1	1,30	0,0688	5,48	-4,37	-0,19	-0,080	-0,224	-0,10	0,40	-0,30	-0,40	-
fev/02	28,1	140,3	1,46	0,0565	6,17	-4,05	-3,65	-0,147	0,157	0,90	-0,10	0,10	0,10	-
mar/02	28,2	141,0	2,21	0,0624	5,55	-4,50	-1,82	-0,081	0,301	-0,90	-0,40	0,20	0,10	Fraco
abr/02	28,1	140,3	3,21	0,0644	4,82	-4,25	0,19	0,414	-0,210	-0,40	-1,00	0,40	0,00	-
fev/03	28,7	143,3	1,07	0,0582	5,84	-5,21	-1,62	0,907	0,567	-1,20	-0,70	0,90	0,80	-
mar/03	28,8	144,0	1,25	0,0627	5,84	-4,10	-1,47	0,812	0,864	-1,00	-0,70	0,50	0,90	Fraco
abr/03	28,5	142,4	4,17	0,0792	5,41	-3,91	1,55	0,385	0,795	-0,40	-1,60	0,10	0,90	-
fev/04	28,0	139,2	6,32	0,0624	6,23	-4,77	-3,24	0,369	0,050	1,10	-1,10	0,20	0,00	-
mar/04	28,1	140,6	9,46	0,0621	5,76	-3,60	-2,46	-0,083	0,276	-0,20	0,20	0,20	0,30	-
abr/04	27,5	136,9	5,51	0,0776	5,57	-4,12	-1,78	0,271	0,473	-1,30	-0,30	0,20	0,40	-
fev/05	27,9	139,4	8,30	0,0671	6,26	-2,23	-2,59	0,739	0,470	-4,10	-1,30	0,50	0,40	-
mar/05	28,4	142,1	5,55	0,0612	4,53	-3,00	-2,19	0,929	0,611	-0,20	-0,70	0,40	0,70	-
abr/05	28,4	142,1	2,74	0,0728	3,58	-2,71	0,41	0,555	0,580	-1,00	-0,80	0,50	0,80	Forte

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.