

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE**

**Estudo da Variabilidade e Mudanças Climáticas na Região de
Manaus**

EDILANÊ MENDES DOS SANTOS

Manaus – Amazonas

Novembro, 2010

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE**

**Estudo da Variabilidade e Mudanças Climáticas na Região de
Manaus**

EDILANÊ MENDES DOS SANTOS

Orientador: Dr. Prakki Satyamurty

Co-Orientador: Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

Fonte Financiadora: FAPEAM

Plano de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente do convênio INPA/UEA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em CLIMA E AMBIENTE, área de concentração em Climatologia.

Manaus – Amazonas

Novembro, 2010

S237

Santos, Edilanê Mendes

Estudo da variabilidade e mudanças climáticas na região de Manaus
Edilanê Mendes Santos. --- Manaus : [s.n.], 2011.
lxx, 80 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) -- INPA, Manaus, 2011

Orientador : Prakki Satyamurty

Co-orientador : Carlos Antônio Costa dos Santos

Área de concentração : Clima e Ambiente

1. Mudanças climáticas. 2. RCLimdex (programa de computador).
I. Título.

CDD 19. ed. 551.55

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo Geral	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1. Variabilidade e Mudança Climática	6
3.2. Observações Globais	11
3.3. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas	15
3.4. Observações para a Amazônia.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1. Área de estudo.....	21
4.2. Metodologia.....	22
4.2.1. Software RClindex 1.9.0.....	22
4.2.2. Controle de Qualidade dos Dados.....	23
4.2.3. Formato de Entrada dos Dados.....	23
4.2.4. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30

5.1. Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI.....	30
5.2. Variabilidade Interanual dos Índices Climáticos com fenômenos de El Niño e La Niña.....	31
5.3. Índices Climáticos e TSM.....	38
5.3.1. Extremos de Precipitação e Anomalia de TSM.....	38
5.3.2. Extremos de Temperatura e Anomalia de TSM.....	49
6. CONCLUSÕES.....	55
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
8. ANEXOS	61

DEDICATÓRIA

Aos meus pais: Edir Marialva dos Santos e Darcy Mendes dos Santos, meus maiores incentivadores e meu amor Luiz Rodrigo, por toda a dedicação e amor a mim.

Qualquer caminho é apenas um caminho e não constitui insulto algum - para si mesmo ou para os outros – abandoná-lo quando assim ordena o seu coração. (...) Olhe cada caminho com cuidado e atenção.

Tente-o tantas vezes quantas julgar necessárias... Então, faça a si mesmo e apenas a si mesmo uma pergunta: possui esse caminho um coração? Em caso afirmativo, o caminho é bom. Caso contrário, esse caminho não possui importância alguma.

Carlos Castañeda. The Teachings of Don Juan

(Os Ensinos de Don Juan)

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por estar ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

Ao meu orientador, Prakki Satyamurty, o qual tenho um grande carinho e admiração, pela orientação, confiança e ensinamentos transmitidos durante a elaboração desta pesquisa, colaborando com a minha formação.

Ao meu co-orientador, Carlos Antonio Costa dos Santos, por ter aceito colaborar nesta pesquisa e por toda dedicação, incentivo, orientação recebida e valiosas sugestões.

Ao Setor de Climatologia e Recursos Hídricos do INPA, na pessoa do Dr. Ari de Oliveira Marques Filho pelo apoio; e ao técnico Sérgio Magno Valério de Souza pelo apoio, organização e digitação dos dados da Reserva Florestal Adolpho Ducke.

A Embrapa, na pessoa de Isaac Cohen Antônio, pelo apoio em organizar e fornecer os dados para esta pesquisa.

A banca examinadora: Ramana Rao, Rita Valéria Andreoli e Carlos Antonio Costa dos Santos pelas preciosas sugestões.

Ao Dr. Julio Tota, pelo auxílio no programa MatLab e pelo fornecimento da figura do mapa de Manaus.

A amiga Gilmara Noronha Guimarães pela amizade, companheirismo e auxílio no Minitab.

Ao amigo Paulo Ferreira Teixeira Jr., pela amizade e auxílio com o BioEstat.

As minhas colegas: Ana Emília, Ana Paula, Eliane Batista, Paula Enna e Rose Gonzáles pelo auxílio e atenção dado a mim quando precisei.

Ao casal mais simpático que tive como colegas: Terezinha e Ronaldo Monteiro.

Minhas amigas: Ana Maria Reis e Dulcineide Pereira dos Santos, pelas madrugadas em que nos mantivemos firmes estudando.

Agradeço aos amigos Arison dos Santos e Elaine Cristina que me auxiliaram em disciplinas do curso, por eu ter pouca familiaridade com as mesmas.

Aos meus mestres do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente- INPA/UEA, Drs.: Antônio Ocimar Manzi, Flávio Jesus Luizão, Prakki Satyamurty, Luiz Antonio Cândido, Jaidete Monteiro de Souza, Rita Valéria Andreoli de Souza, Francis Wagner Silva Correia, David Adams, Philip Martin Fearnside, Marcos Heil Costa, pelas valiosas aulas e ensinamentos no decorrer do curso.

À Fapeam, pelo apoio financeiro ao longo de vinte e quatro meses.

A minha família pela paciência, amor e carinho, em especial aos meus pais e meu noivo.

A secretaria do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente, pela atenção e assistência prestada durante o curso, em especial a secretária Gisele Momes, por ser sempre muito prestativa.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 1	Comparação das mudanças observadas de escalas continental e global na temperatura da superfície com resultados simulados por modelos climáticos, usando-se forçamentos naturais e antrópicos	13
FIGURA 2	Localização das estações para a cidade de Manaus	21
FIGURA 3	Gráfico de tendência para DCS para as 3 estações	33
FIGURA 4	Gráfico de tendência para DCU para as 3 estações	34
FIGURA 5	Gráfico de tendência para PRCPTOT para as 3 estações	35
FIGURA 6	Gráfico de tendência para R10mm para as 3 estações	36
FIGURA 7	Gráfico de tendência para R20mm para as 3 estações	36
FIGURA 8	Gráfico de tendência para R50mm para as 3 estações	37
FIGURA 9	Gráfico de tendência para SDII para as 3 estações	38
FIGURA 10	Áreas do Oceano Pacífico Equatorial, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4.	40
FIGURA 11	Áreas do oceano Atlântico Tropical que foram calculados os TNAI e TSAI, associadas ao Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Atlântico	40
FIGURA 12	Variabilidade temporal dos índices DCS e TSA, ($r = -0,360$)	43
FIGURA 13	Variabilidade temporal dos índices R50mm e TNAI, ($r = -0,315$)	44
FIGURA 14	Variabilidade temporal dos índices DCS e NIÑO 1+2, ($r = 0,278$)	44
FIGURA 15	Variabilidade temporal dos índices DCS e NIÑO 3, ($r = 0,041$)	45
FIGURA 16	Variabilidade temporal dos índices DCS e NIÑO 3.4, ($r = 0,390$)	45
FIGURA 17	Variabilidade temporal dos índices Rx5day e NIÑO 1+2, ($r = -0,323$)	46
FIGURA 18	Variabilidade temporal dos índices R20mm e NIÑO 1+2, ($r = -0,300$)	46
FIGURA 19	Variabilidade temporal dos índices R10mm e NIÑO 1+2, ($r = -0,409$)	47
FIGURA 20	Variabilidade temporal dos índices PRCPTOT e NIÑO 1+2, ($r = -0,366$)	47

FIGURA 21	Variabilidade temporal dos índices R10mm e NIÑO 3, ($r = -0,299$)	48
FIGURA 22	Variabilidade temporal dos índices PRCPTOT e NIÑO 3, ($r = -0,307$)	48
FIGURA 23	Variabilidade temporal dos índices TNn e NIÑO 3, ($r = 0.293$)	50
FIGURA 24	Variabilidade temporal dos índices TNn e NIÑO 3, ($r = 0.295$)	51
FIGURA 25	Variabilidade temporal dos índices TNn e NIÑO 3, ($r = 0.333$)	51
FIGURA 26	Variabilidade temporal dos índices TNn e TSAI, ($r = 0.405$)	52
FIGURA 27	Variabilidade temporal dos índices TNn e TNAI, ($r = 0.341$)	52
FIGURA 28	Variabilidade temporal dos índices TN10p e Niño 4, ($r = -0.284$)	53
FIGURA 29	Variabilidade temporal dos índices TN10p e TSAI, ($r = -0.383$)	54
FIGURA 30	Variabilidade temporal dos índices TN10p e TNAI, ($r = -0.425$)	54

LISTA DE TABELAS

Pág.

TABELA 1	Ocorrência de eventos de El Niño e La Niña durante o período de 1971 a 2007	32
TABELA 2	Correlações entre os índices extremos de chuva para estação de EMBRAPA e as anomalias de TSM	41
TABELA 3	Correlações entre os índices extremos de Temperatura para estação de EMBRAPA e as anomalias de TSM	49
TABELA 4	Índices de chuva com suas definições e unidades. RR é o valor da precipitação diária. (Um dia úmido tem $RR \geq 1\text{mm}$ e um dia seco tem $RR < 1\text{mm}$.)	62
TABELA 5	Localização e período de disponibilidade dos dados utilizados das 3 estações	62
TABELA 6	Índices climáticos dependentes das temperaturas máxima e mínima diárias, com suas definições e unidades	63

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

GEE - Gases de efeito estufa

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

ONU - Organização das Nações Unidas

UNFCCC - Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas

OMM - Organização Meteorológica Mundial

IVDN - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

TNA - Tropical Northern Atlantic (Atlântico Tropical Norte)

TSA - Tropical Southern Atlantic (Atlântico Tropical Sul)

NCEP - Centro Nacional de Previsão Ambiental dos Estados Unidos da América

NCAR - National Center for Atmospheric Research

RECE- Relatório Especial sobre Cenários de Emissões

MCGAs - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

MCG - Modelo de Circulação Geral

MGCAO – Modelos Gerais de Circulação Atmosférico-Oceânica

ppmv - Partes por milhão e volume

ppbv - Partes por bilhão e volume

ENOS - El Niño-Oscilação Sul

CCI/CLIVAR - International Research Programme on Climate Variability Predictability (Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática)

ETCCDMI - Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas)

PDO - Oscilação Decadal do Pacífico

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

A2 - altas emissões

B2 - baixas emissões

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (Agência Nacional Oceânica e Atmosférica)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
PRCPTOT - Precipitação total anual nos dias úmidos
SDII - Índice simples de intensidade diária
DCS - Dias consecutivos secos
DCU - Dias consecutivos úmidos
R10mm – Número de dias acima de 10 mm
R20mm – Número de dias acima de 20 mm
R50mm - Número de dias acima de 50 mm
Rx1day - Quantidade máxima de precipitação em um dia
Rx5day - Quantidade máxima de precipitação em cinco dias
R50mm - Número de dias com precipitação acima de 50 mm
R95p - Dias muito úmidos
R99p - Dias extremamente úmidos

SÍMBOLOS

Ar - Argônio
NO_x - Óxido de Nitrogênio
O₃ - Ozônio
N₂ - Nitrogênio
O₂ - Oxigênio
CO₂ - Dióxido de Carbono
CH₄ - Metano
N₂O - Óxido Nitroso
H₂O - Vapor D'água
CO - Monóxido de Carbono
°C - Graus Celsius
cm - Centímetro
m - Metro
mm - Milímetro
mm/ano - Milímetro por ano
μm - Micrômetro
std - Desvio – Padrão
E - Evaporação
PRCP - Precipitação
TMAX - Temperatura Máxima

TMIN - Temperatura Mínima

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estimar e verificar a tendência dos índices de detecção de mudanças climáticas, dependentes da precipitação pluvial diária, definidos pela OMM, para a cidade de Manaus e analisar suas relações com as anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, TNA e TSA. Utilizaram-se dados diários de 3 postos de precipitação pluvial: Reserva Ducke, EMBRAPA e INMET. Os resultados obtidos mostram um aumento na intensidade da chuva que venha a cair nesta região, SDII. Também foi encontrada tendência significativa de aumento para o posto do INMET para índices de R50mm e R95p. Embrapa e Ducke apresentaram tendência positiva de aumento para os índices de R10mm e R20mm. Quando relacionados os índices com períodos de El Niño e La Niña, verificou-se uma forte ligação desses eventos com o período seco ou chuvoso para a cidade. A tendência de diminuição dos dias consecutivos secos (DCS) para Manaus, demonstrou significativa correlação com as condições da região Sul do Atlântico Tropical, assim como também nas regiões de Niño 1+2, Niño e Niño 3.4. Entretanto, os índices que representam chuvas intensas apresentaram correlações de significância estatística somente com as regiões de Niño 1+2 e Niño 3, no Pacífico. As regiões Norte e Sul do Atlântico Tropical não apresentaram correlação significativa.

Palavras – Chaves: RCLimdex 1.9.0, mudanças climáticas, Manaus.

A study of climate change at Manaus in terms of precipitation

ABSTRACT

The objective of this work is to compute and to analyze the tendencies of the climate change detection indices, derived from the daily precipitation, defined by WMO, for the city of Manaus, and to correlate them with the SST anomalies in the areas of Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, TNA and TSA. Daily precipitation data from 3 stations: Reserva Ducke, EMBRAPA and INMET were used in this study. The results show an increase in the intensity of precipitation (SDII) in this region. A significant increasing trend at the INMET station for indices R50mm and R95p was found. Embrapa and Ducke stations showed positive trend in R10mm R20mm. A strong link is found between ENSO and the dry or rainy weather for the city. The consecutive dry days (DCS) at Manaus showed significant correlation with the conditions of the Tropical South Atlantic, as well as in the Niño regions 1+2, Niño 3 and Niño 3.4. However, indices that represent heavy rains showed statistically significant correlations only with the Niño regions 1+2 and 3 in the Pacific. Heavy rains at Manaus did not show significant correlation with the North and South Tropical Atlantic indices.

Keywords: RCLimdex 1.9.0, climate change, Manaus.

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera é uma camada relativamente fina constituída de vários gases e material particulado (aerossóis) sendo que os principais gases são o Nitrogênio (N_2) e o Oxigênio (O_2) que, juntos compõem cerca de 99% da atmosfera. O outro 1% é constituído principalmente por Argônio (Ar) e pelos gases de efeito estufa (GEE) como, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O). Vapor d'água (H_2O), também um GEE, presente na atmosfera varia de 0% (em desertos) a 2% (nas florestas tropicais) em relação ao ar seco. Estes GEE são assim denominados, por terem a capacidade de reter o calor na atmosfera. O H_2O e o CO_2 têm a propriedade de permitir que as ondas curtas eletromagnéticas que chegam do Sol atravessem a atmosfera e aquecem a superfície terrestre, assim como, dificultar a saída da radiação infravermelha emitida pela Terra. Isto impede que ocorra uma perda demasiada de calor irradiado para o espaço, especialmente à noite, mantendo assim, a Terra aquecida (Santos e Brito, 2007).

Contudo, com o advento da revolução industrial houve alterações no equilíbrio natural dos fenômenos atmosféricos. O CO_2 tem maior contribuição para o aquecimento global, com suas emissões representando aproximadamente 55% do total das emissões mundiais de GEE. Estudos têm mostrado que houve aumento da concentração do CO_2 na atmosfera quando comparados os períodos pré e pós Revolução Industrial. Segundo registros de testemunhos de gelo, a concentração atmosférica de CO_2 na era pré-industrial estava por volta de 280 ppm (partes por milhão), entretanto, essa concentração subiu para 379 ppm em 2005 (IPCC, 2007). Estudos como o de Cane et al. (1997), têm mostrado, que para esse mesmo período, ocorreu um aumento da temperatura média global de aproximadamente 0,5 °C. Esse aquecimento tem sido associado à

variabilidade natural (Tett et al., 1999), a efeitos antropogênicos (Mitchell et al., 1995), ou ainda à combinação dos dois (Stott et al., 2001). Alguns autores acreditam que fatores naturais tenham sido mais importantes no aquecimento do início do século e que efeitos antropogênicos tenham papel fundamental no aquecimento observado nas décadas recentes (Crowley, 2000; Taschetto e Wainer, 2005).

O tempo de permanência do gás carbono na atmosfera é, no mínimo, de cem anos. Isto significa que as emissões de hoje têm efeitos de longa duração, podendo resultar em impactos no regime climático ao longo de séculos. A taxa de aumento da concentração anual de CO₂ foi mais elevada durante os últimos 10 anos (média de 1995 a 2005: 1,9 ppm por ano) do que desde o início das medições atmosféricas diretas contínuas (média de 1960 a 2005: 1,4 ppm por ano), embora haja variações de um ano a outro nas taxas de aumento (IPCC, 2007). Por sua vez, a quantidade de CH₄ emitida para atmosfera é bem menor, mas seu poder estufa (potencial de aquecimento) é vinte vezes superior ao do CO₂ (Moreira, 2003; Santos e Brito, 2007). A concentração atmosférica global de óxido nitroso aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 270 ppb para 319 ppb em 2005. A taxa de aumento foi aproximadamente constante desde 1980. Mais de um terço de todas as emissões de óxido nitroso é antrópica, devendo-se principalmente à agricultura.

Conforme o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) da Organização das Nações Unidas (ONU), projeta-se para a América Latina que até meados do século XXI, o aumento de temperatura e a redução da água no solo acarretem uma substituição gradual da floresta tropical por savana no leste da Amazônia. Há um risco de perda significativa de biodiversidade por causa da extinção de espécies em muitas áreas da América Latina tropical. Como resultado do aumento da concentração de GEE na atmosfera, a temperatura média global deverá aumentar, entre

1,1 e 6,4°C em relação a 1980-1999 até 2100, com um valor médio mais seguramente compreendido entre 1,8 e 4,0°C. O aquecimento será mais importante nos continentes e nas latitudes mais elevadas.

Além do aumento da temperatura do planeta, outros impactos ambientais podem ocorrer em consequência das mudanças climáticas, tais como: mudanças no regime de precipitação nas diferentes regiões do globo, na agricultura, nas florestas, nos recursos hídricos, na fauna e flora das áreas costeiras, etc. Os impactos nas espécies biológicas e nas áreas naturais e na saúde são alguns exemplos de áreas que terão impactos decorrentes das mudanças climáticas (IPCC, 2002; Santos e Brito, 2007). Isto é, o sistema biosfera e outros sistemas naturais são vulneráveis a mudanças climáticas.

Por outro lado, outros fatores que podem modificar o clima de uma região são o desflorestamento e o mau uso dos ecossistemas. Estes fatores alteram o clima regional e assim, contribuem para as alterações no sistema global. Entretanto, localmente estes fatores podem ter uma importância mais relevante do que os GEE (Santos e Brito, 2007; Santos et al., 2009). Na Amazônia, a contribuição da perda de floresta significa perda de biodiversidade, capacidade produtiva dos ecossistemas, redução de ciclagem d'água devido à diminuição da evapotranspiração (com possível diminuição da precipitação tanto na Amazônia como nas partes não-amazônicas).

No contexto de mudanças climáticas, cenários gerados pelo CPTEC/INPE até o final do século XXI indicam reduções de chuva de até 40% e aquecimento de até 8°C na região Amazônica (Marengo et al., 2008). Estudos de tendências de longo prazo parecem não apresentar uma redução na precipitação da Amazônia, como consequência de um aumento do desmatamento (Marengo, 2004). Porém, modelos regionais sugerem que o desmatamento pode reduzir as chuvas em determinados locais e aumentar em

outras regiões, mostrando assim que em simulações de alta resolução a topografia, os sistemas de grandes rios e diferentes coberturas do solo têm um papel importante nos padrões anômalos de precipitação e ventos (Gandu et al, 2004).

Então, o desmatamento está ligado à redução de chuvas devido à diminuição da reciclagem de água, sobretudo na época seca, e as queimadas alteram a formação de nuvens e a química da atmosfera de diversas maneiras. Se o desmatamento na Amazônia se expandir substancialmente, a chuva poderá ser reduzida nas regiões Centro-Oeste, Centro-Sul e Sul do Brasil (Correia et al., 2007). A “crise” energética nas partes não amazônicas do Brasil em 2001 tem aumentado o entendimento público da importância da chuva, já que grande parte da geração de energia elétrica se dá por hidrelétricas (Fearnside, 2003). Sampaio et al. (2007) verificaram através de modelos matemáticos, que o avanço de pastagens e mono culturas como soja sobre a Amazônia mudará o clima regional significativamente.

O estudo sobre a variabilidade da precipitação (elemento meteorológico de fundamental importância para definição do clima de uma região), que possui uma grande variação no estado do Amazonas (tanto espacial, quanto temporal), se faz necessário para quantificar mudanças climáticas locais (medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas). Quais seriam os possíveis impactos do desmatamento em escala regional e/ou do aumento da concentração de gases de efeito estufa no clima da Amazônia e nas regiões vizinhas?

Assim, o presente estudo enfoca a variabilidade e mudança no regime de chuvas na região de Manaus.

2. OBJETIVOS

2.1 - Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo analisar a tendência dos índices de extremos climáticos, dependentes da precipitação pluvial diária, definidos pela OMM (1997), e da temperatura máxima e mínima diária, para a cidade de Manaus, assim como, analisar suas relações com as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico (Fenômeno El Niño - Oscilação Sul, ENOS) e Atlântico (Dipolo do Atlântico).

2.2 - Objetivos específicos

- 1- Calcular os índices extremos de precipitação e temperatura, utilizando dados observados.
- 2- Obtenção das tendências dos índices de extremos climáticos baseados nos dados para um período de 37 anos.
- 3- Análise das correlações entre os fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico e os índices de extremos climáticos para verificar possíveis relações da precipitação com fenômenos de escala planetária.
- 4- Análises das variabilidades, mudanças e do comportamento dos índices climáticos na região estudada.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 - Variabilidade e Mudança Climática

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2007), o termo *mudanças climáticas* refere-se a qualquer mudança ocorrida no clima ao longo do tempo, devida à variabilidade natural ou decorrente da atividade humana, diferente da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em que o termo mudanças climáticas se refere a uma mudança que seja atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, alterando a composição da atmosfera global.

O IPCC está dividido em três Grupos de Trabalho, Grupo de Trabalho I: em que avalia os aspectos científicos do sistema climático e das mudanças climáticas. Grupo de Trabalho II: mede a vulnerabilidade dos sistemas sócio-econômicos e naturais das mudanças climáticas e as consequências negativas e positivas das mudanças climáticas, assim como suas opções de adaptação. Grupo de Trabalho III: avalia opções para limitar as emissões de gases do efeito estufa e, assim, mitigar as mudanças climáticas.

Com o objetivo de verificar se a tendência ao aquecimento global é causada pela atividade humana, subtrai-se a flutuação do clima com períodos de tempo inferiores a uma década. Isso se faz necessário pois após cessar o efeito o clima retorna aos valores anteriores, enquanto na mudança climática o clima não retorna, passando a apresentar novas características (Barros, 2007; Santos, 2006).

Segundo Barros (2007), as variações da órbita da Terra ao redor do sol, os processos geológicos, as variações da radiação solar e da atividade vulcânica, são mudanças lentas e influenciam significativamente o clima apenas milhares de anos

depois. Assim, para um curto período de tempo as variações lentas podem ser descartadas, sendo importantes somente numa escala de tempo de milhares de anos.

Mudança na composição química da atmosfera, alterando a quantidade dos gases de efeito estufa, é apontada como uma das causas das mudanças climáticas. Os aumentos na concentração dos GEE na sua grande maioria são de origem antrópica e começaram no início do período pré-industrial. O aumento na concentração de CO₂ na atmosfera se deve ao uso de combustíveis fósseis, queimadas de vegetação e mudanças no uso da terra. O aumento na concentração de metano (CH₄) e óxido nitroso (NO₂) provavelmente se deve à agricultura e o uso de combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

A emissão de fuligem e outras partículas, assim como de sulfatos e nitratos originados de atividades humanas, aumentam a formação de aerossóis. Um efeito direto dos aerossóis é refletir a luz solar ao espaço exterior, contribuindo para o resfriamento, embora, no caso da fuligem, ele pode ter um efeito estufa. Além disso, eles alteram o processo de formação de nuvens e sua duração. Sobre seu efeito no clima global, ainda há uma grande incerteza (Barros, 2007).

O efeito das concentrações de GEE no clima é estudado com a ajuda dos Modelos de Clima Global (MCG) que simulam o sistema climático em quase toda a sua complexidade. Esses modelos representam os processos físicos do mar, da atmosfera, do solo e da criosfera, e simulam sua evolução usando enormes computadores. Normalmente, as condições de contorno a serem especificadas em um modelo de sistema climático são: temperatura da superfície do mar, albedo da superfície, distribuição do gelo do mar, razão de mistura média de ozônio e outras observações climáticas (Ambrizzi, 2007).

A chuva pode ser reduzida devido ao efeito dos aerossóis como núcleos da condensação de nuvem em nuvens quentes (elas competem pelo vapor de água disponível, reduzindo o tamanho das gotas das nuvens que permanecem em suspensão no ar e não caem como chuva). A redução da precipitação é uma realimentação positiva, pois a falta de precipitação pode aumentar incêndios florestais que, por sua vez, aumentam poluentes na atmosfera. Este efeito é particularmente importante na Bacia Amazônica (Fearnside, 2008; Silva Dias, 2007).

Marengo (2004), usando dados de precipitação mensal de quase 300 estações cobrindo toda a Amazônia brasileira para o período 1929-99, identificou que desde finais de 1920, o total de chuvas na bacia Amazônica apresenta pequenas tendências positivas, estatisticamente não significativas, sendo que as variações interdecenais da chuva no norte da Amazônia apresentaram uma tendência positiva enquanto que no sul da bacia apresentou uma tendência positiva pronunciada. Essa variabilidade interdecenais de chuva na Amazônia mostra mudanças de fase em meados da década de 1940 e 1970.

A partir de 1975, a Amazônia do Norte/Sul apresenta relativamente menos/mais chuva, quando comparada ao período anterior. Esta mudança de regime foi associada a mudanças nos campos de circulação atmosférica e oceânica no Pacífico Central que aconteceu em 1975-76. O período relativamente menos chuvoso, após 1975, no norte da Amazônia possivelmente se estendeu até o início de 2000. Esta mudança aparentemente foi associada com a fase positiva da Oscilação Decenal do Pacífico ou PDO em inglês, sendo este um período onde ocorreram eventos de El Niño mais frequentes e intensos (1982-83, 1986-87, 1990-94, 1997-98).

Marengo (2005), usando dados de reanálise do *National Centers for Environmental Predictions* (NCEP/NCAR), para o período 1970-1999 com o objetivo de identificar as principais diferenças nas características da variabilidade de água entre as partes norte e sul da Bacia Amazônica, mostrou que existe uma sazonalidade e variabilidade interanual do balanço hídrico na bacia como um todo. Em escalas de tempo interanual, as anomalias nos componentes do balanço de água no norte da região Amazônica possuem ligações relativamente fortes com o Pacífico tropical enquanto que a região sul parece ser menos afetada. Em toda a região, a precipitação excede a evaporação e a bacia age como um sumidouro de umidade ($P > E$). No entanto, em algumas ocasiões a bacia pode atuar como uma fonte de umidade ($P < E$), sob condições extremas, tais como os relacionados com a deficiente precipitação no norte da Amazônia durante o forte El Niño de 1983.

Marengo (1992) e Marengo e Hastenrath (1993) examinaram a causa da variabilidade da precipitação na Amazônia com ENOS. Eles propuseram que, durante eventos de La Niña no final do Verão, uma anomalia no deslocamento da ZCIT causa condições mais úmidas na Amazônia. As análises de extremos de chuva e temperatura apresentado no trabalho de Haylock et al. (2005) para América do Sul apresentam uma visão de aquecimento e de intensificação de eventos extremos de chuva, ainda que as mudanças de extremos de chuva sejam menos coerentes que as mudanças na temperatura do ar. Estas mudanças observadas são consistentes com estudos observacionais realizados em nível local e em vários países da região (Marengo e Camargo, 2006).

Santos e Brito (2007), utilizando o software RCLimindex 1.9.0 e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), identificou uma tendência de aumento das condições de umidade sobre estados do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB).

Os autores concluíram que as mudanças climáticas detectadas pelos índices são resultantes tanto dos fatores de grande escala como de escala local. As correlações entre as tendências dos índices e as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico demonstraram forte influência das anomalias de TSM de ambos os Oceanos sobre a precipitação da região estudada, apoiando assim os estudos que mostram a influência do ENSO e do Dipolo do Atlântico sobre o clima do Nordeste do Brasil (NEB). Santos et al. (2009), utilizando eventos extremos de precipitação sobre o Estado do Ceará, observaram que ocorreram mudanças locais na precipitação, assim como um visível aumento nas condições de umidade sobre o Ceará.

Satyamurty et al. (2010), analisaram séries de precipitação de 18 estações ao longo da bacia Amazônica, com dados desde 1920 e mostraram que algumas estações apresentaram tendências positivas, outras negativas. A evolução da precipitação anual foi significativa em seis estações, sendo que cinco com tendência crescente (Barcelos, Belém, Manaus, Rio Branco, e estações de Soure) e apenas uma (estação de Itaituba) com tendência decrescente. Os valores climatológicos de chuva antes e depois de 1970 apresentaram diferenças significativas em seis estações (Barcelos, Belém, Benjamin Constant, Iauarete, Itaituba e Soure). Quando analisada toda a região, mostra uma insignificante tendência.

Silva Dias (2007) diz que ainda não está clara a influência das variações da superfície terrestre para explicar as tendências levemente positivas de chuvas documentadas no sul da Amazônia desde meados de 1970 (Marengo, 2004). Forte correlação com as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) nos oceanos Pacífico e Atlântico são geralmente detectadas e, portanto, um sinal direto entre desflorestamento e mudanças na precipitação no longo prazo não são evidentes. Alguns estudos sugeriram que o aumento de precipitação pode ser resultado de

desflorestamento parcial, talvez devido às circulações de mesoscala, acionadas pelo desflorestamento (Avisar et al., 2002).

3.2 - Observações Globais

Atualmente há um grande número de Modelos Climáticos Globais (MCGs) que tem como finalidade principal representar o clima atual, e para simular com confiança os cenários futuros (uma faixa mais provável de acontecimentos) forçados com mudanças nas concentrações nos GEE e aerossóis. As simulações dos modelos cobrem uma faixa de futuros cenários possíveis, inclusive suposições idealizadas de emissão ou concentração. Entre elas estão os cenários marcadores ilustrativos do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (RECE) do IPCC (2000) para o período de 2000 a 2100 e experimentos dos modelos com concentrações de gases de efeito estufa e aerossóis mantidos constantes após 2000 ou 2100 (IPCC 2007).

Os modelos climáticos se baseiam em leis físicas representadas por equações matemáticas. Para simulações climáticas, os principais componentes do sistema climático devem ser representados em sub-modelos (atmosfera, oceano, solo, superfície, criosfera e biosfera) conjuntamente com os processos que seguem dentro e entre eles. Os modelos climáticos globais nos quais se acoplam os componentes da atmosfera e do oceano são também conhecidos como Modelos Gerais de Circulação Atmosférico-Oceânica (MGCAO) (Ambrizzi, 2007).

Os modelos trabalham com cenários. Os cenários do RECE que vão dos mais pessimistas aos otimistas não envolvem iniciativas adicionais em relação ao clima, o que significa que nenhum cenário adota explicitamente a implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima ou as metas de redução de

emissões do Protocolo de Quioto (IPCC, 2007). As quatro famílias de cenários chamadas A1, A2, B1 e B2 combinam duas séries ou dimensões de tendências divergentes: uma que se estende do desenvolvimento com valores econômicos a ambientais e outro que vai de um aumento na homogeneização global até a manutenção das condições heterogêneas entre regiões (Camilloni *et al.*, 2004)

Segundo o IPCC (2007), as evidências obtidas por meio de observações de todos os continentes e da maior parte dos oceanos mostram que muitos sistemas naturais estão sendo afetados pelas mudanças climáticas regionais, principalmente pelos aumentos de temperatura. Sendo que o Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho I concluiu que seja muito provável que a maior parte do aumento observado na temperatura global média desde meados do século XX se deva ao aumento observado nas concentrações antrópicas de gases de efeito estufa. A concentração atmosférica global de dióxido de carbono aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005, o metano aumentou de cerca de 715 ppb para 1732 ppb no início da década de 90, sendo de 1774 ppb em 2005 e o óxido nitroso aumentou de cerca de 270 ppb para 319 ppb em 2005.

Segundo o IPCC (2007), é provável que tenha havido um aquecimento antrópico significativo ao longo dos últimos 50 anos, considerando-se a média de todos os continentes exceto a Antártica. Os padrões observados de aquecimento, inclusive um aquecimento maior sobre o continente do que sobre o oceano e suas mudanças no tempo são simulados apenas em modelos que incluem forçante antrópica (Figura 1). A capacidade dos modelos climáticos acoplados de simular a evolução da temperatura observada em cada um dos seis continentes fornece uma evidência mais contundente da influência humana no clima do que havia quando da publicação do Terceiro Relatório de Avaliação.

Na figura 1, as médias decenais das observações são apresentadas para o período de 1906 a 2005 (linha preta). As linhas são tracejadas quando a cobertura espacial é inferior a 50%. As zonas azuis indicam a faixa de confiança de 5 a 95% para as 19 simulações dos 5 modelos climáticos com o uso apenas dos forçamentos naturais devidos à atividade solar e aos vulcões. As zonas vermelhas mostram a faixa de 5 a 95% para as 58 simulações dos 14 modelos climáticos com o uso dos forçamentos natural e antrópico. Fonte: IPCC (2007)

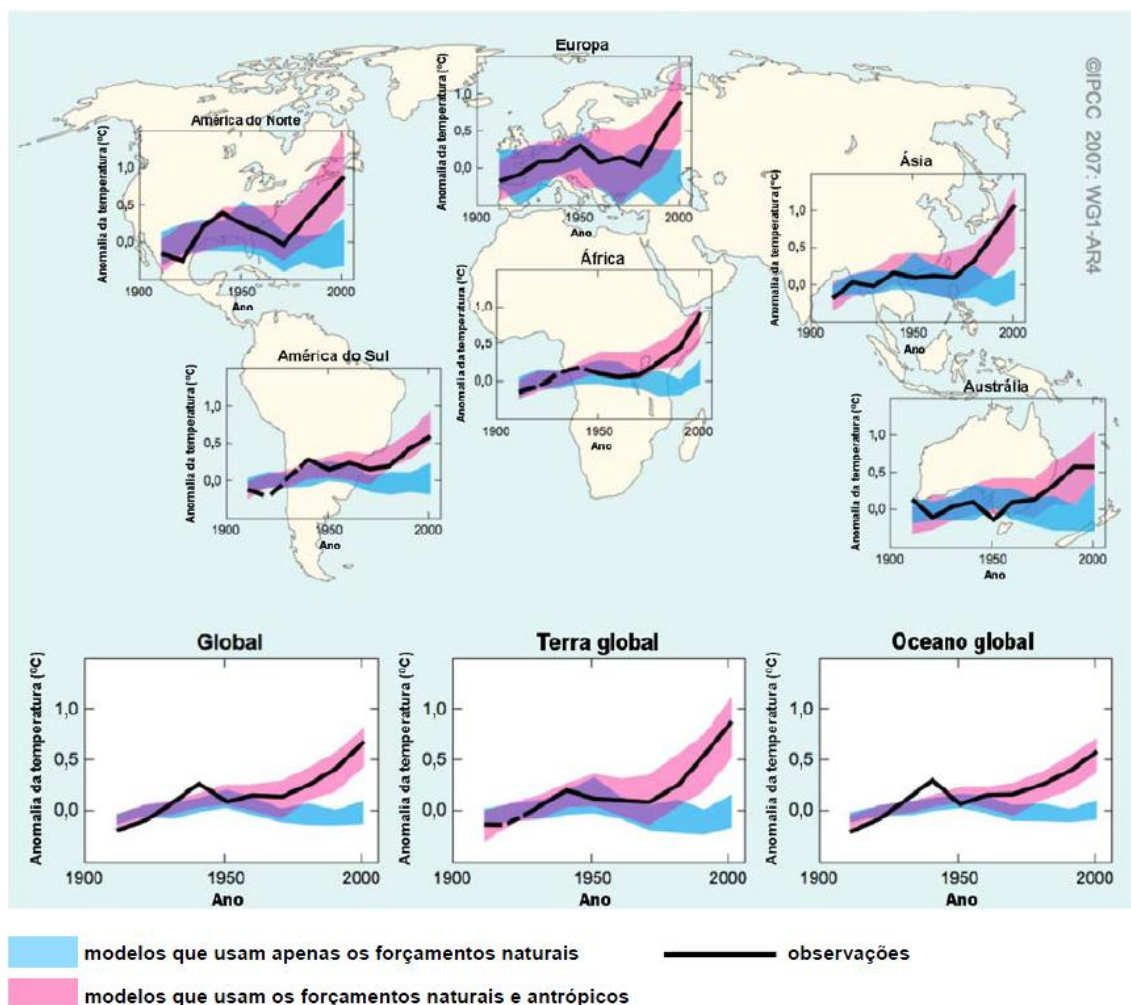


Figura 1. Comparação das mudanças observadas nas escalas continental e global na temperatura da superfície com resultados simulados por modelos climáticos, usando-se forçantes naturais e antrópicos.

Desde a publicação do IPCC (1990), as projeções avaliadas sugeriram aumentos da temperatura média global entre 0,15 e 0,3°C por década para 1990 a 2005. Essas projeções agora podem ser comparadas com os valores observados de cerca de 0,2°C por década, fortalecendo as projeções de curto prazo (IPCC, 2007). Onze dos últimos doze anos (1995 a 2006) estão entre os anos mais quentes de registro instrumental da temperatura da superfície global (desde 1850). A tendência linear atualizada de 100 anos (1906 a 2005) de $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ é, portanto, mais elevada do que a tendência correspondente para o período de 1901 a 2000 apresentada no 3º Relatório de Avaliação, de $0,6^\circ \pm 0,2^\circ\text{C}$. A tendência linear de aquecimento ao longo dos últimos 50 anos ($0,13^\circ \pm 0,3^\circ\text{C}$ por década) é quase o dobro da dos últimos 100 anos. O aumento total de temperatura de 1850- 1899 a 2001-2005 é de 0,76 a 0,19°C. Os efeitos das ilhas de calor urbano são reais, mas locais, exercendo uma influência insignificante (menos de 0,006°C por década sobre a terra e zero sobre os oceanos) IPCC (2007).

Esse aumento de temperatura contribui para o aumento do derretimento das geleiras, a elevação do nível do mar, perdas das várzeas e manguezais costeiros e danos causados pelas inundações do litoral em muitas áreas, também altera o ciclo das chuvas em diversos continentes, uma vez que o ciclo de evapotranspiração (evaporação da água mais a transpiração das plantas) torna-se mais acelerado, agravando a intensidade da temporada de enchentes, furacões, tufões e nevascas. É provável que haja aumento da extensão das áreas afetadas por secas, aumento de eventos de precipitação extrema e o risco de inundações.

Projeta-se que, ao longo do século, os estoques de água armazenados nas geleiras e na cobertura de neve diminuam, reduzindo a disponibilidade de água em regiões abastecidas pela água derretida de grandes cadeias montanhosas, onde atualmente mora mais de um sexto da população mundial. Nas latitudes mais baixas, em

especial nas regiões secas e nas regiões tropicais, projeta-se que a produtividade das culturas diminua até mesmo em função de aumentos leves da temperatura local (1 a 2°C), o que aumentaria o risco de fome.

3.3 – Índices de Detecção de Mudanças Climáticas

Eventos climáticos extremos, normalmente têm fortes impactos na sociedade e uma pequena alteração na condição média pode causar uma grande mudança na probabilidade de um extremo. A Equipe Especialista em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Índices - ETCCDMI) foi estabelecida em conjunto com o CCI/CLIVAR conselho que monitora índices climáticos, foi definido um conjunto de 27 índices climáticos, enfocando principalmente os eventos extremos usando softwares disponíveis gratuitamente, RCLimdex, modelo computacional usado para monitorar e detectar mudanças climáticas dependentes da temperatura máxima e mínima e precipitação pluvial diária desenvolvido e mantido por *Climate Research Branch of Environment Canada*.

Esses índices têm sido usados para analisar as mudanças nos extremos de temperatura para várias partes do mundo. Variabilidade e mudança no clima têm despertado muitos estudos, em especial pela provável ligação das atividades humanas na intensificação desses efeitos, lideradas pela queima de combustível fóssil. Essas pesquisas são baseadas nas variações da precipitação pluvial e temperatura por serem dados observados. Possível mecanismo de mudança do clima é medido através do equilíbrio da energia que entra e sai do sistema Terra-atmosfera, porque se espera que a temperatura média global responda à mudança no *forçante radiativo* que é associado aos GEE. Segundo o IPCC (2007), o aquecimento global provocará aumento da

incidência de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas ou períodos extremamente secos.

A análise dos extremos climáticos desperta um grande interesse, porque causam enormes perdas e transtornos econômicos e podem ser definidos pela ocorrência de valores de variáveis meteorológicas que ultrapassam um determinado nível (Santos, 2006).

Santos (2006), para o estado do Rio Grande do Norte e Paraíba, usou o RClimDex e em seus resultados obteve um aumento nos índices Dias Consecutivos Úmidos (DCU), Precipitação Total Anual nos Dias Úmidos (PRCPTOT), Quantidade Máxima de Precipitação de Um Dia (RX1day) e Dias Extremamente Úmidos (R99p).

Alexander et al. (2006) encontraram, para dados de temperatura e precipitação abrangendo de cerca de 200 e 600 estações nas latitudes médias do Hemisfério Norte (e partes da Austrália), mudanças significativas nos extremos de temperatura associadas com aquecimento, especialmente para os índices derivados da temperatura mínima diária. Mais de 70% da área mostra uma diminuição significativa na ocorrência anual de noites frias e um aumento significativo da ocorrência anual de noites quentes. Índices de precipitação revelaram uma tendência de clima mais úmido ao longo do século 20.

Hundeche e Bardossy (2005) utilizando extremos de precipitação diária e de temperaturas de 1958-2001, no âmbito Alemão da bacia do Reno, usando teste não paramétrico de Kendall-tau, indicaram que tanto índices extremos de temperatura mínima e máxima diárias têm aumentado ao longo do período estudado.

Haylock et al.(2005) analisaram 12 índices anuais de precipitação diária para o período 1960-2000, com 54 estações consideradas de alta qualidade e encontraram tendências de aumento de umidade para o Equador, norte do Peru, sul do Brasil,

Paraguai, Uruguai e região norte - centro da Argentina. Os autores identificaram tendências positivas no número de dias com chuva moderada (R10mm) e chuva forte (R20mm) concentrada em curto tempo e usaram a quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos como indicadores de chuvas que produzem enchentes, R95p (Dias Muito Úmidos), e muita chuva R99p (Dias Extremamente Úmidos). Esse estudo também mostrou tendências positivas na chuva máxima acumulada em 5 dias (Rx5day) nas latitudes austrais de 20°S na América do Sul durante a primavera, verão e outono, enquanto algumas áreas do norte da Argentina apresentam tendências negativas durante inverno (junho, julho e agosto). No Brasil, as tendências positivas de extremos de chuva se mostram mais intensas nos estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul. As análises observacionais mostram que mesmo não havendo aumento da precipitação ou até havendo diminuição do total anual, as chuvas serão mais intensas nos estados do sul e sudeste do Brasil, assim como na costa norte do Peru, Paraguai, Uruguai e nordeste da Argentina, ou seja, maior intensidade de chuvas isoladas e temporais mais frequentes. Para o sudeste da América do Sul, tem-se observado um aumento na intensidade de episódios e frequência de dias com chuva intensa do período 1961-2000, isto é as chuvas estão se tornando cada vez mais intensas, apesar do total anual precipitado não ter sofrido modificação perceptível.

3.4 – Observações para a Amazônia

A Amazônia possui 6.600.000 km² e destes, 65% em território brasileiro, o clima na região sofre as influências de muitos fenômenos meteorológicos. A convecção na região Amazônica é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical. Suas variações, em termos de intensidade e posição, possuem um papel importante na determinação do tempo e clima desta região (Fisch et al., 1998).

Alguns fenômenos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT, formação de conglomerados de nuvens Cumulonimbus e chuvas convectivas), brisas marítimas, frentes frias vindas da região Sul, Linhas de Instabilidade (LI), são mecanismos que provocam chuva na região. O El Niño / La Niña são as fases positiva/negativa do fenômeno ENOS (El Niño – Oscilação Sul) do aquecimento/resfriamento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do pacífico Equatorial, entre a costa do Peru e da Austrália. O fenômeno El Niño influencia no regime de precipitações na Amazônia, dura de 12 a 18 meses em média em intervalos de 2 a 7 anos com diferentes intensidades.

A região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2300 mm ano⁻¹, embora tenham regiões (na fronteira entre Brasil e Colômbia e Venezuela) em que o total anual atinge 3500 mm. Nestas regiões não existe período de seca. Este valor de precipitação elevada próximo à Cordilheira dos Andes deve-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios (Fisch et al, 1998).

A precipitação na região amazônica é uma composição da evapotranspiração local adicionada a uma contribuição do Oceano Atlântico, assim 50% do vapor d'água que precipita pelas nuvens é gerado localmente, sendo o restante importado para a região pelo fluxo atmosférico proveniente do Oceano Atlântico. Uma Grande Quantidade de Vapor D'Água sai da Bacia Amazônica (5,3 trilhões de m³/ano), aproximadamente 44% do vapor proveniente do oceano é transportada para o Centro Sul, inclusive o Pantanal (Salati, 2006).

A remoção da floresta tem efeito sobre a temperatura e a chuva, sendo que quando o desmatamento alcançar 40% pode ocasionar uma queda abrupta na precipitação na estação seca (Sampaio et al., 2007). Até 2007, o desmatamento tinha

removido 18% da floresta original na Amazônia brasileira (Brasil, INPE, 2008). A estação seca é o período crítico do ano quando as árvores podem ressecar-se e tornam-se vulneráveis as queimadas.

Um segundo efeito do desmatamento sobre o clima amazônico é causado pelo aquecimento global e através do aumento da frequência de eventos severos de El Niño. O AR-4 do IPCC concluiu que hoje há uma concordância geral entre os modelos no sentido de que a continuação do aquecimento global produzirá mais “condições tipo El Niño” (Meehl et al., 2007). Porém, como o relatório observa, ainda não há concordância entre os modelos sobre o próximo passo: a conexão entre as condições tipo El Niño e a ocorrência modelada do El Niño propriamente dito, ou seja, o padrão característico de secas e inundações em locais diferentes ao redor do mundo. Mas este segundo passo não depende dos resultados de modelos de clima porque se sabe da existência desta conexão baseado em observações diretas: sempre que a água no Pacífico esquenta, têm-se secas e incêndios florestais na Amazônia, especialmente na parte norte da região.

Um terceiro efeito do desmatamento sobre o clima amazônico é pelo efeito do aquecimento global sobre as temperaturas da superfície do mar no Oceano Atlântico que atinge a parte oeste e sul da região, devido à água morna no Oceano Atlântico, houve a seca dramática de 2005, quando os níveis de água nos afluentes no lado sul do Rio Amazonas alcançaram níveis muito baixos, isolando muitas comunidades ribeirinhas, matando peixes e até provocando incêndios florestais inéditos no Acre e no sul do Amazonas (Fearnside, 2006; Marengo et al., 2008). Segundo Cox et al. (2008), um gradiente térmico na superfície do mar no Oceano Atlântico entre uma mancha mais quente na parte sul do Atlântico Norte e uma mancha mais fria na parte do norte do Atlântico Sul são relacionadas significativamente à chuva observada na parte ocidental da Amazônia. No evento de 2005, que provocou a seca na Amazônia, 45% do aumento

da temperatura da superfície do mar eram diretamente atribuíveis ao aquecimento global (Trenberth & Shea, 2006). Um progresso continuado na eliminação da poluição de aerossóis, especialmente de fontes urbanas no Hemisfério Norte, é esperado que aumente substancialmente a probabilidade de haver água morna no Atlântico Norte e de ter eventos na Amazônia tão severos quanto a seca de 2005 (Cox et al., 2008).

Para Manaus, segundo Fearnside (2008), o aumento de temperatura devido ao efeito estufa seria suficiente para prejudicar a saúde e aumentar a mortalidade na população urbana da cidade, pois o desmatamento muda o microclima e a expansão da área urbana amplia o efeito de ilha de calor da cidade. A expansão da cidade de Manaus aumenta estes efeitos por meio da remoção de floresta e pela emissão de gases de efeito estufa. A cidade também estimula a retirada de biomassa da floresta circunvizinha pela remoção de madeira para tabuas, lenha e carvão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1- Área de estudo

Para este trabalho, que tem como objetivo verificar possíveis mudanças climáticas na cidade de Manaus ($03^{\circ} 06'07''\text{S}$, $60^{\circ}01'30''\text{W}$), utilizou-se dados diários de precipitação e temperaturas máximas e mínimas para o período de 1971 a 2007, obtidos de três localidades sendo uma da Reserva Florestal Ducke ($2^{\circ}55'\text{S}$, $59^{\circ}57'\text{W}$) que é uma área de proteção ambiental pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, localizada a 25 km a nordeste da cidade de Manaus na AM-010, com 80 m acima do nível do mar, dados da Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia - EMBRAPA ($2^{\circ}52'\text{S}$; $59^{\circ}59'\text{W}$) situado a 30 km ao norte da cidade de Manaus também na AM-010, com altitude média de 95 m e da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET ($3^{\circ}13'\text{S}$; $59^{\circ}96'\text{ W}$) (Figura 2).

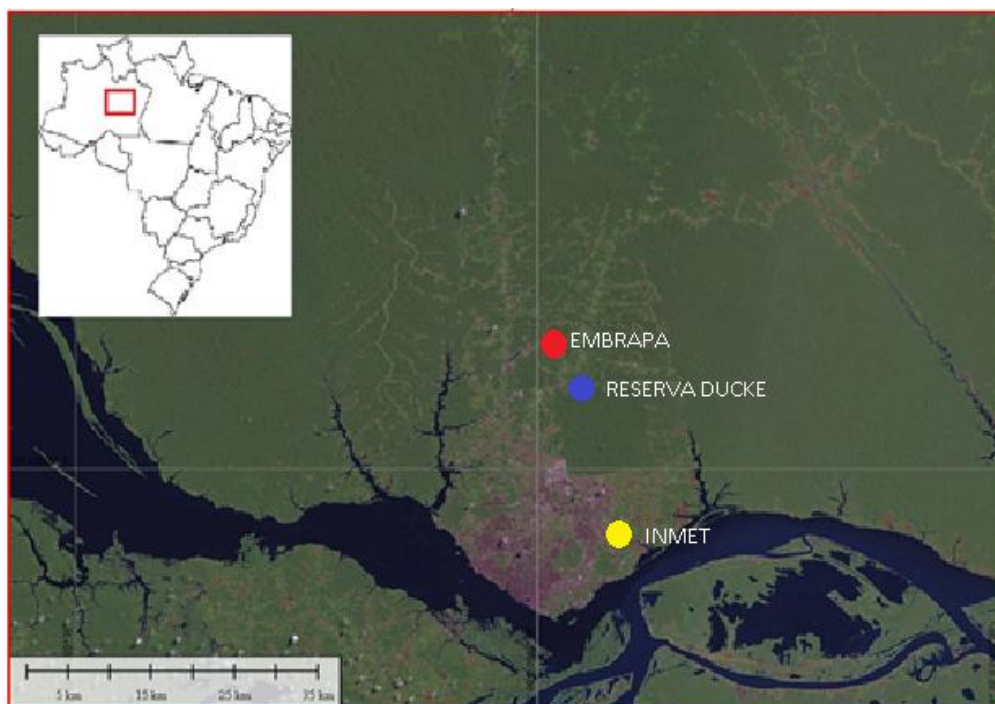


Figura 2: Localização das estações meteorológicas na região da cidade de Manaus

4.2 Metodologia

4.2.1 - Software RClimdex 1.9.0

O RClimdex é um programa, na linguagem computacional R, que é usado no cálculo de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas. Foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Center (NCDC) da NOAA, e tem sido usado em oficinas CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre índices climáticos desde 2001. O RClimdex calcula 27 índices básicos recomendados pela equipe de peritos do CCI/CLIVAR para “Climate Change Detection Monitoring and Índices” (ETCCDMI), assim como, outros índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário.

Um dos principais objetivos de construir índices de extremos climáticos é usá-los em estudos de monitoramento e detecção de mudanças climáticas. Atualmente o RClimdex inclui somente um procedimento simples de controle de qualidade dos dados. O pacote RClimdex 1.9.0, é de distribuição gratuita e está disponível para download no website dos índices da ETCCDMI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>).

4.2.2 - Controle de Qualidade dos Dados

O controle de qualidade dos dados é um pré-requisito para o cálculo dos índices. O controle de qualidade do RClimdex obedece os seguintes procedimentos: 1) substitui todos os dados faltosos (atualmente codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R e 2) substitui todos os valores não aceitáveis por -99.9. Estes valores incluem: a) quantidades de precipitação diárias menores que zero e b) temperatura máxima diária menor que a temperatura mínima diária.

Adicionalmente, o controle de qualidade também identifica valores extremos nas temperaturas diárias máximas e mínimas. Os valores extremos são valores diários que se encontram fora de um intervalo definido pelo usuário. Atualmente este intervalo se define como n vezes o desvio padrão (std) do valor do dia, isto é, (média - n *std, média + n *std). Onde std representa o desvio padrão para o dia e n é uma entrada do usuário.

4.2.3 - Formato de Entrada dos Dados

Todos os arquivos de dados que são lidos e escritos em formato de “list formatted”. A única exceção é o primeiro arquivo de dados que é processado no passo de “Quality Control”. Este arquivo de entrada requer:

1. Arquivo de texto ASCII;
2. Colunas das seguintes seqüências: ano, mês, dia, precipitação (PRCP), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN). (NOTA: unidades de precipitação = milímetros (mm) e unidades de temperatura = graus Celsius (°C) ;
3. O formato descrito acima deve ser delimitado por espaços, em geral, cada elemento separado por um ou mais espaços e;
4. Para os registros dos dados, os dados faltosos devem ser codificados como -99.9 e os registros dos dados devem estar em ordem cronológica (Canadian International Development Agency, 2004).

Exemplo de arquivo de entrada dos dados.

1971	1	1	9.8	27.3	17.1
1971	1	2	0	27.5	17.8
1971	1	3	-99.9	28.1	16.4

Isto significa que no dia 1 de janeiro de 1971 a precipitação foi de 9.8 mm, a temperatura máxima de 27.3°C e a temperatura mínima 17.1°C, a compreensão para as outras linhas é análoga. Acrescenta-se, ao entendimento, que o 0 (zero) na quarta coluna e segunda linha indica que não choveu na data correspondente, enquanto -99.9 na mesma coluna e terceira linha, indica que não houve registro de dados e, portanto, o dado é inexistente.

4.2.4 – Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI, referentes à precipitação pluvial, utilizados na pesquisa

Com base no objetivo geral da pesquisa, será utilizado o RCLimdex para calcular 9 índices climáticos, derivados da precipitação pluvial definidos abaixo e 7 para temperatura diária. Como todos os índices fornecem gráficos das séries anuais compostas pelas tendências e calculadas pelo método de regressão linear dos mínimos quadrados, com boa significância estatística, mostrando estatisticamente os ajustes destas tendências lineares aos gráficos, o cálculo destes índices torna-se de grande importância.

Os índices climáticos básicos, definidos pelo ETCCDMI, utilizados serão os seguintes:

1 - RX1day (Quantidade máxima de precipitação em um dia)

Seja RR_{ij} o total diário de precipitação num dia i num período j . Então, os valores máximos de 1 dia para o período j são:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (1)$$

2 - Rx5day (Quantidade máxima de precipitação em cinco dias)

Seja RR_{kj} a quantidade de precipitação para o intervalo de cinco dias terminando em k , para o período j . Então, os valores máximos de 5 dias para o período j são:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (2)$$

3 - SDII (Índice Simples de Intensidade Diária)

Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação nos dias úmidos, $w(RR \geq 1mm)$ num período j . Se W representa o número de dias úmidos em j , então:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (3)$$

4 - Rnn (Número de dias acima de nn mm de chuva)*

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i num período j . Se nn^* representa qualquer valor razoável de precipitação diária então, soma-se o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq nnmm \quad (4)$$

* Neste estudo utilizou-se $nn = 50$ mm, pois com isto pode-se observar o comportamento deste índice, de chuva extrema, na região.

5 - DCS (Dias Consecutivos Secos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i num período j . Soma-se o maior número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} < 1mm \quad (5)$$

6 - DCU (Dias Consecutivos Úmidos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i num período j . Soma-se o maior número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (6)$$

7 - R95p (Dias Muito Úmidos)

Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação num dia úmido $w(RR \geq 1.0mm)$ num período j e seja RR_{wn95} o “95th percentile” da precipitação nos dias úmidos no período 1971-2007. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R95p_j = \sum_{W=1}^W RR_{wJ}, \text{ onde } RR_{wJ} > RR_{wn95} \quad (7)$$

8 - R99p (Dias Extremamente Úmidos)

Seja RR_{wj} a quantidade diária de precipitação num dia úmido $w(RR \geq 1.0mm)$ num período j e seja RR_{wn99} o “99th percentile” da precipitação nos dias úmidos no período 1971-2007. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R99p_j = \sum_{W=1}^W RR_{WJ} , \text{ onde } RR_{WJ} > RR_{Wn}99 \quad (8)$$

9 - PRCPTOT (Precipitação Total Anual nos Dias Úmidos)

Seja RR_{ij} a quantidade diária de precipitação num dia i num período j . Se I representa o número de dias em j , então:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (9)$$

Depois de processados, os dados foram armazenados em arquivos de planilha eletrônica que contem informações anuais sobre cada um dos índices indicados. Objetivando-se analisar o clima regional, foram realizadas correlações entre os índices e as anomalias de temperatura da superfície do mar nas regiões de Niño 1+2 (0°S - 10°S, 90°W - 80°W), Niño 3 (5°N - 5°S, 150°W - 90°W), Niño 3.4 (5°N - 5°S, 170°W - 120°W), Niño 4 (5°N - 5°S, 160°E - 150°W), TNA (5,5°N - 23,5°N, 15°W - 57,5°W) e TSA (Eq. - 20°S, 10°E - 30°W).

Para os índices de Extremos de Temperatura, foram calculados os seguintes índices:

10- TXx (Valor mensal máximo de temperatura máxima diária):

Seja T_{xkj} a temperatura máxima diária no mês k no período j . A máxima temperatura máxima diária de cada mês é então:

$$TXx_j = \max(T_{xkj}) \quad (10)$$

11- TNx (Valor mensal máximo de temperatura mínima diária):

Seja Tn_{kj} a temperatura mínima diária no mês k , período j . A máxima temperatura mínima diária de cada mês é então:

$$TN_{Xkj} = \max(Tn_{kj}) \quad (11)$$

12-TXn (Valor mensal mínimo de temperatura máxima diária):

Seja Tx_{kj} a temperatura temperatura máxima diária num mês k , período j . A mínima temperatura máxima diária de cada mês é então:

$$TXn_{kj} = \min(Tx_{kj}) \quad (12)$$

13- TNn (Valor mensal mínimo de temperatura mínima diária) :

Seja Tn_{kj} a temperatura mínima diária no mês k , período j . A mínima temperatura mínima diária em cada mes é então:

$$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj}) \quad (13)$$

14-Tn10p (Porcentagem de dias quando TN<10th percentil):

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i no período j e seja Tn_{in10} o dia com percentil 10th centrado numa janela de 5 días (noites frias). A porcentagem do tempo é determinado por:

$$Tn_{ij} < Tn_{in10} \quad (14)$$

15-Tx10p (Porcentagem de dias quando TX<10th percentil):

Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária no dia i no período j e seja Tx_{in10} o dia percentil 10th centrado numa janela de 5 dias (dias frios). A porcentagem do tempo é determinado, por:

$$Tx_{ij} < Tx_{in10} \quad (15)$$

16-Tn90p (Porcentagem de dias quando TN>90th percentil):

Seja Tn_{ij} a temperatura mínima diária no dia i no período j e seja Tn_{in90} o dia com percentil 90th centrado numa janela de 5 dias. A percentagem da temperatura é determinado, por:

$$Tn_{ij} > Tn_{in90} \quad (16)$$

17-Tx90p (Porcentagem de dias quando TX>90th percentil):

Seja Tx_{ij} a temperatura máxima diária no dia i no período j e seja Tx_{in90} o dia com percentil 90th centrado numa janela de 5 dias. A percentagem do tempo é determinado por:

$$Tx_{ij} > Tx_{in90} \quad (17)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - Índices Climáticos Básicos do ETCCDMI

A identificação de alterações nos registros meteorológicos é fundamental para os estudos sobre mudanças climáticas que utilizam as séries históricas, pois tanto as simulações como as aplicações de teorias de probabilidade são realizadas com a hipótese de que as séries históricas são homogêneas, isto é, que não apresentem tendências (Back, 2001).

A tendência climática é uma mudança climática caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios no período suficientemente longo de registro. A mudança climática abrupta é uma mudança rápida e permanente, durante o período de registro, de um valor médio para outro.

Em Haylock et al. (2005), as Regiões Norte e Nordeste do Brasil foram representadas apenas por cinco estações, sendo que uma estação localizada em Manaus, com dados de 1954 a 1999 que apresentou tendência positiva com nível de significância de 95% para PRCPTOT, SDII, R10 mm, R95p, R99p, RX1day e RX5day e tendência negativa para CDD, CWD e R20 mm.

Nesta pesquisa tem-se calculou-se as tendências dos índices espacialmente distribuídos nos três postos pluviométricos para a cidade de Manaus. Foi encontrado aumento significativo no SDII para os três postos e tendência significativa de aumento para o posto do INMET para índices de R50mm e R95p. EMBRAPA e DUCKE apresentaram tendência positiva de aumento para os índices de R10mm e R20mm.

Dos oito índices de extremos de temperatura analisados somente dois tiveram tendência estatisticamente significativa, TNn (Valor mensal mínimo de temperatura

mínima diária) e Tn10p (Porcentagem de dias quando a temperatura mínima < 10° percentil) relacionado a noites frias. O resultado da TNn indica que a temperatura mínima diária está aumentando enquanto as noites frias (TN10p) tem diminuído para a estação da EMBRAPA, única estação que possui os valores de temperatura.

Berlato et al. (1995), observaram que muitas destas alterações nos regimes climáticos têm caráter regional, e não estão relacionados diretamente a uma mudança global do clima. Sabe-se que a urbanização e as ilhas de calor, que são efeitos locais e regionais, podem contribuir positivamente para o aumento da temperatura da superfície e, portanto, da atmosfera (Santos, 2006). Desta forma, analisam-se de maneira semelhante, as tendências observadas para Manaus. Não afirmam categoricamente que tenham ocorrido mudanças locais devido às mudanças globais do clima. Um somatório de fatores, tais como desmatamento, degradação ambiental, mudanças globais do clima, mau uso dos ecossistemas são responsáveis por mudanças locais e regionais. Há divergências nas tendências das três estações, mostrando que o comportamento não é homogêneo e, assim, observa-se que as tendências mostradas estão mais ligadas às variações climáticas locais (área urbana e rural), do que as globais.

5.2 – Análise Interanual dos Índices Climáticos com fenômenos de El Niño e La Niña

Para esta análise, foi utilizado o método de regressão, pois o mesmo pode ser utilizado para indicar alterações climáticas por meio do teste de significância do coeficiente angular. Considerando a equação da reta do tipo:

$$Y = aX + b \quad (18)$$

o teste consiste em determinar o intervalo de confiança do coeficiente a , sendo que se este intervalo não inclui o valor zero, a tendência é significativa. Nota-se que na

equação 18, X representa o tempo (anos) e Y um dado índice climático. Para este estudo, foram analisados os extremos climáticos mostrados no Anexo 4.

O período estudado apresenta fenômenos de El Niño e La Niña, conforme a Tabela 1. Através dos gráficos das séries pode-se verificar o comportamento do índice em questão nos anos de EN e LN.

Tabela 1 – Ocorrência de eventos de El Niño e La Niña durante o período de 1971 a 2007

<i>Ocorrência de El Niño</i>	<i>Ocorrência de La Niña</i>
1972 - 1973***	1970 - 1971**
1976 - 1977*	1973 - 1976***
1977 - 1978*	1983 - 1984*
1979 - 1980*	1984 - 1985*
1982 - 1983***	1988 - 1989***
1986 - 1988**	1995 - 1996*
1990 - 1993***	1998 - 2001**
1994 - 1995**	2007 - 2008***
1997 - 1998***	
2002 - 2003**	
2004 - 2005*	
2006 - 2007*	

* evento fraco, **evento moderado, ***evento forte.

Fonte: CPTEC/ INPE (2010).

Com a análise de Dias Consecutivos Secos (Figura 3), é interessante notar que os três picos mais significativos dos anos 1978, 1982 e 1997 aconteceram nos anos de El Niño forte. Este resultado mostra que a região de Manaus sofre as conseqüências do fenômeno EN no que diz respeito à diminuição de chuvas.

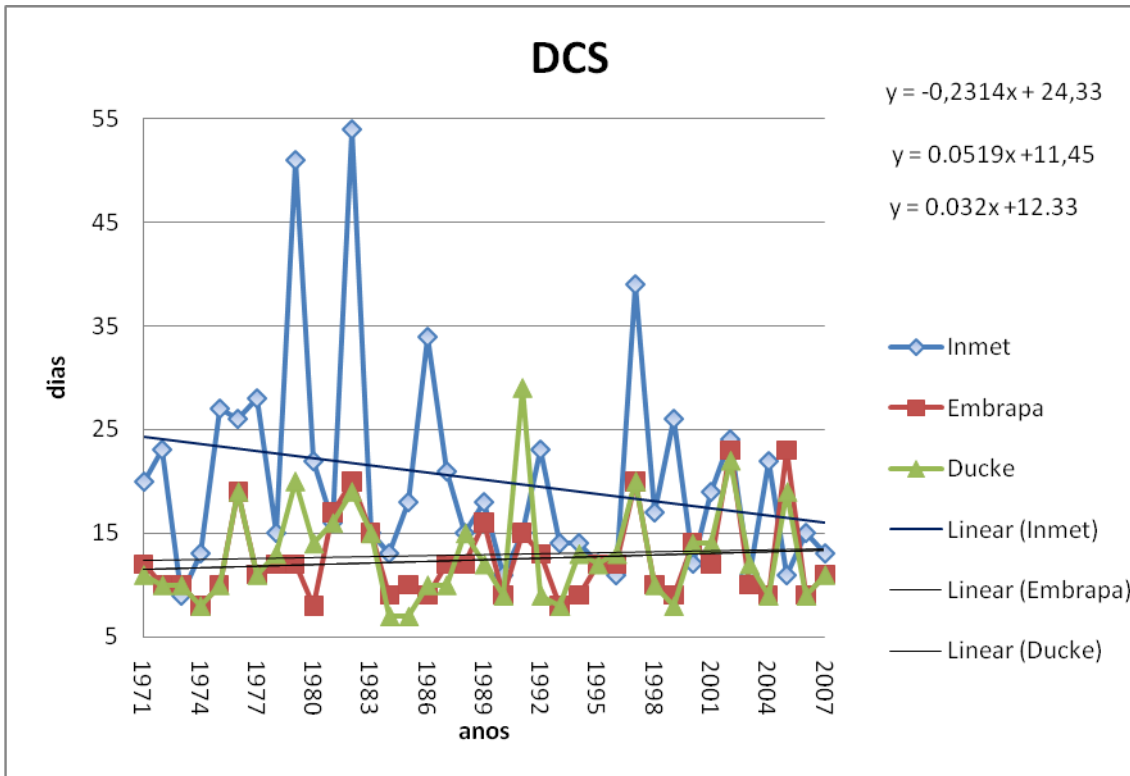


Figura 3- Tendência para DCS para as 3 estações

O ano de 1982, segundo os dados do INMET, foi o ano com maior número de DCS chegando a 54 dias, condizente com o período de forte El Niño, mas para as estações da EMBRAPA e DUCKE, a quantidade de DCS foram menores. Encontra-se um pico em 1991 em que houve 29 DCS na Reserva DUCKE que coincide também com ano de forte El Niño. O ano de 2005, que foi um período de seca extrema para o Amazonas, não atingiu o município de Manaus quando considerados a quantidade de DCS, em que foram medidos 11, 19 e 23 dias para o INMET, DUCKE e EMBRAPA, respectivamente.

Quando verificamos o coeficiente angular da reta para a estação do INMET, foi encontrado uma tendência negativa nos DCS, que está de acordo com o trabalho de Haylock et al (2005). Esta tendência sugere que os episódios de DCS nesta estação estejam diminuindo.

Para Dias Consecutivos Úmidos (DCU) (Figura 4), pode-se observar valores mínimos em 1976, 1982 e 1998 para a estação do INMET, sendo que em 1982 houve mínimo para as três estações, coincidido com período de forte El Niño.

Verifica-se que DCU não apresentou tendência significativa.

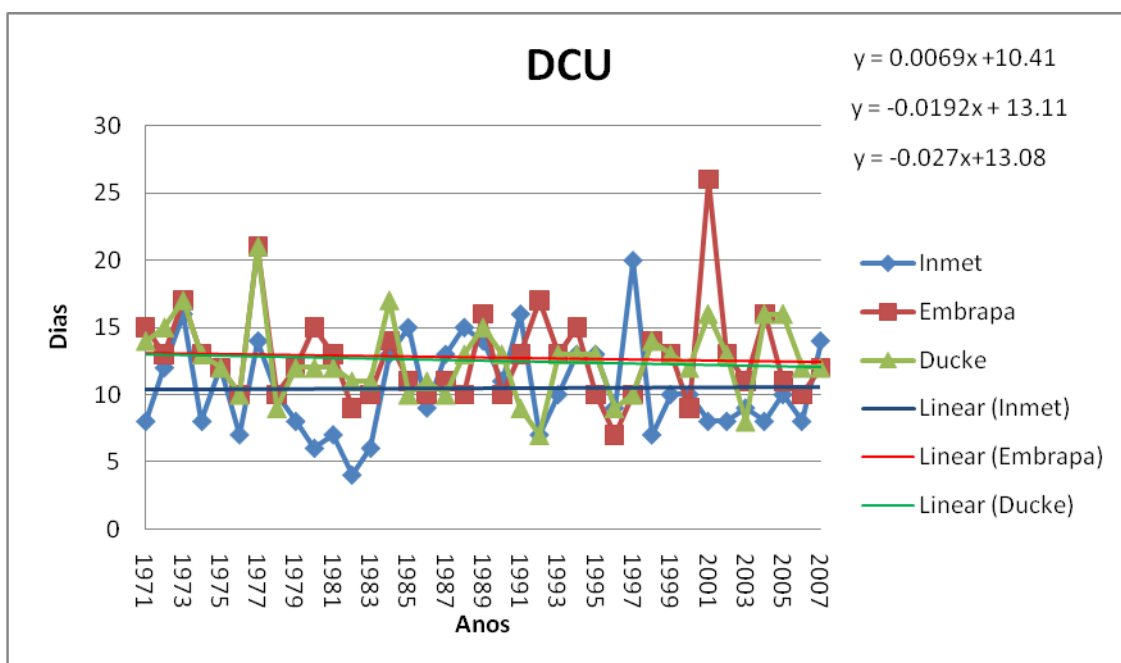


Figura 4- Tendência para DCU para as 3 estações

O mínimo de PRCPTOT (Figura 5), encontrado em 1982 para o INMET e DUCKE coincide com ano de forte El Niño; no ano de 1989, o INMET registrou um máximo de precipitação com aproximadamente 3100mm, ano de forte La Nina. Em 1999, as estações da EMBRAPA e DUCKE registraram 3177,6 e 3067,9 mm respectivamente, ano de La Niña moderada. Em 2005, ano que se registrou seca severa para a Amazônia, foi encontrada uma precipitação máxima para as estações da EMBRAPA e DUCKE, de 3198,6 e 3299,1 mm respectivamente, sendo esse o máximo registrado para o período estudado. Sugere-se que chuvas deficientes durante o verão de 2004-2005 se limitaram a parte oeste da bacia Amazônica.

Foi verificado uma leve tendência positiva da PRCPTOT para o período estudado, mostrando concordância com o resultado de Satyamurty et al. (2010). O valor da tendência é de aproximadamente 7,5 mm/ano. Isto é, em 37 anos o aumento da chuva foi mais de 200 mm, o que é considerável. Esse aumento pode ser atribuído parcialmente às mudanças nas circulações locais devido a desmatamento e urbanização. É interessante notar que a tendência de aumento foi observada nas três estações, o que atribui confiança no resultado.

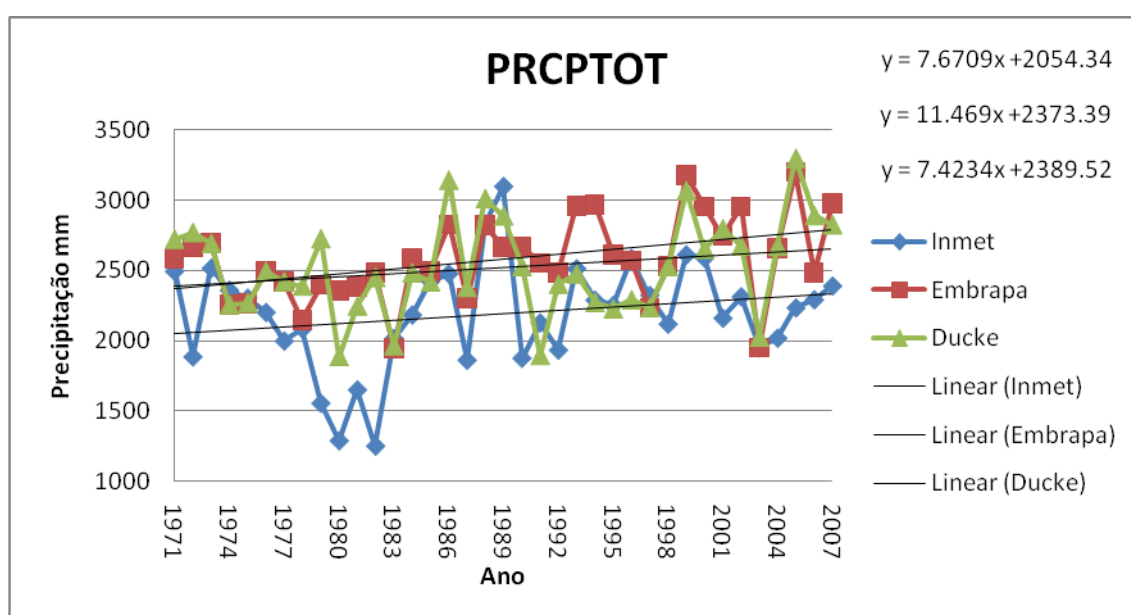


Figura 5- Tendência para PRCPTOT para as 3 estações

Para R10mm (Figura 6), foi encontrado máximo em 1989 para o INMET e máximo em 2005 para EMBRAPA e DUCKE, com 100 dias ou mais de precipitação acima de 10 mm nesses anos.

Tanto para R10mm quanto em R20mm (Figura 7), encontraram-se tendências significativamente positivas. Estas tendências estão consistentes com o aumento no índice PRCPTOT.

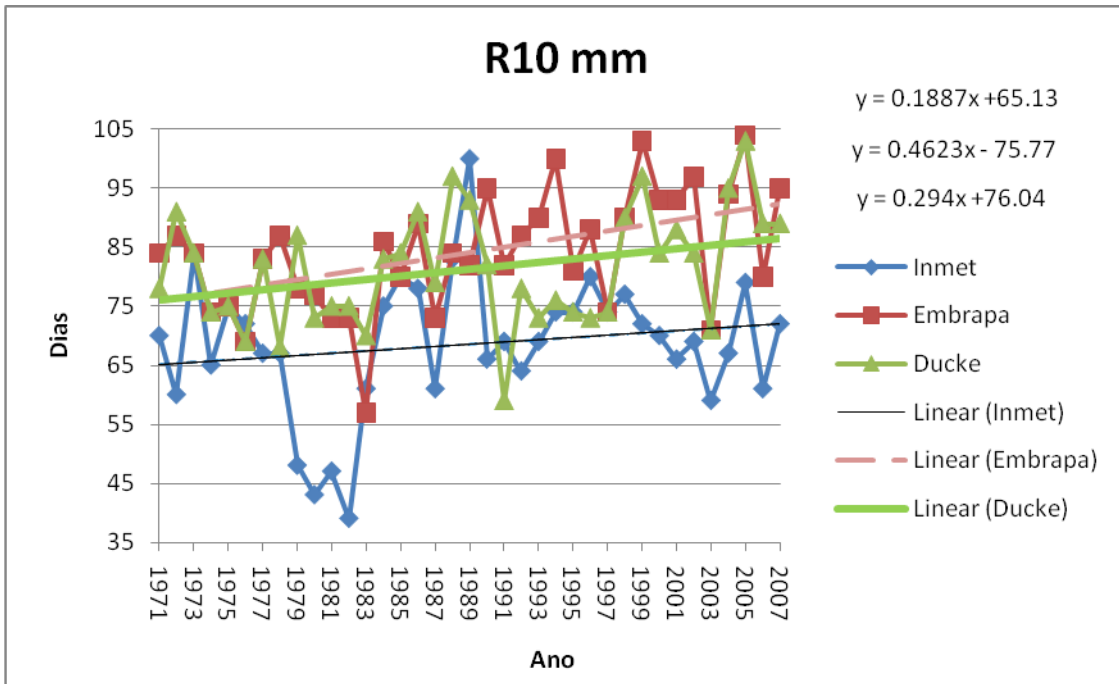


Figura 6- Tendência para R10mm para as 3 estações

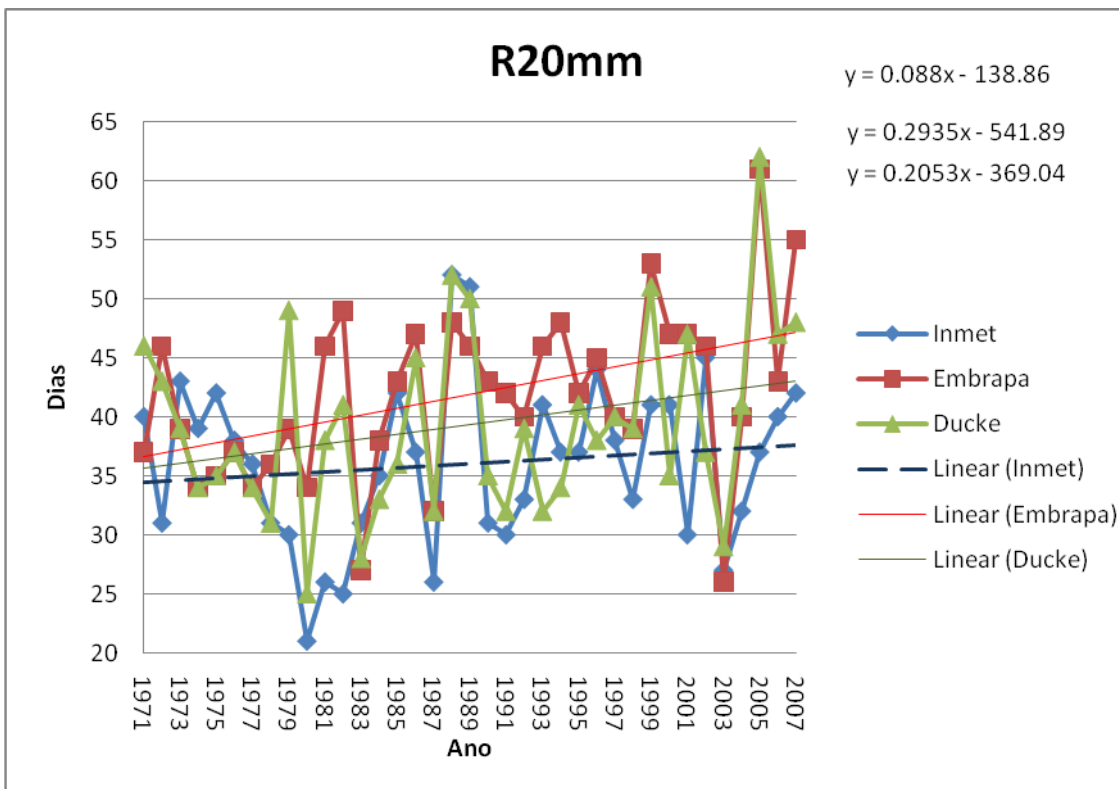


Figura 7- Tendência para R20mm para as 3 estações

Em 1999 houve um máximo para a série com precipitação maior ou igual a 50 mm (Figura 8) para as estações de INMET e EMBRAPA, sendo 15 e 13 dias

respectivamente. Porém, não houve tendência significativa no R50mm, indicando que o aumento da chuva anual ocorre na frequência das chuvas moderadas, não nos episódios de chuvas fortes.

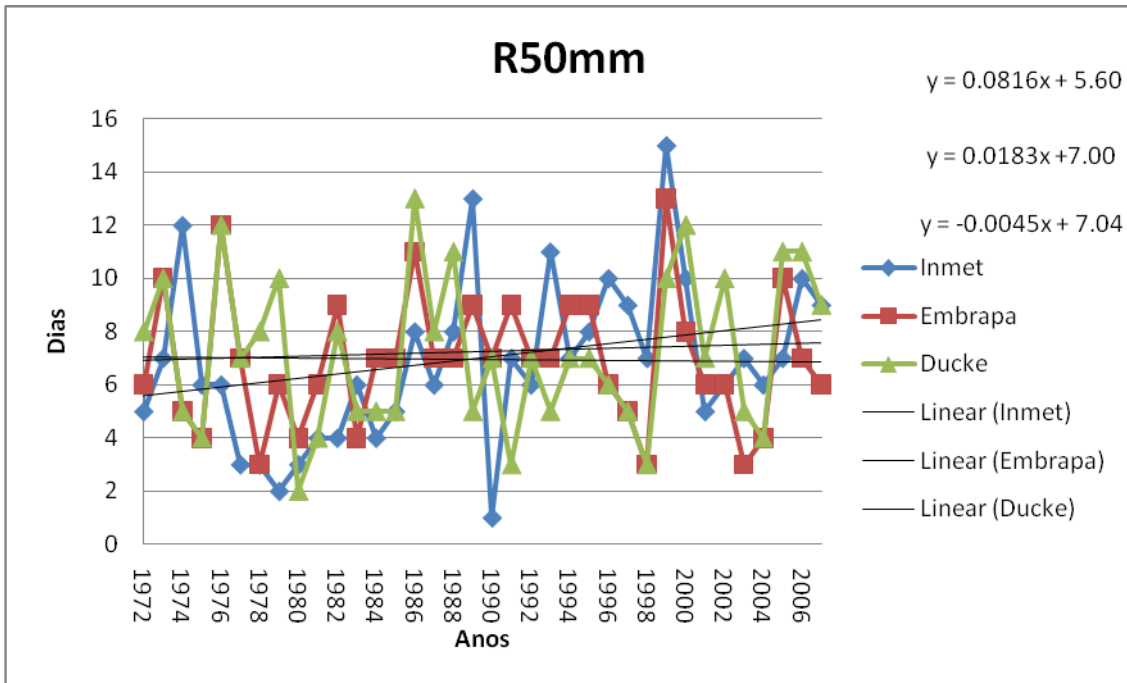


Figura 8- Tendência para R50mm para as 3 estações

Em SDII (Figura 9) verificou-se um máximo em 2005 para as estações DUCKE e EMBRAPA de 17,9 mm/dia. Para o INMET, picos como em 1971, 1976, 1989, 1996 e 2001 estão relacionados a períodos de La Niña, mínimos como de 1982 e 1997 a eventos de El Niño. Quando o número de dias com chuva durante um ano diminui o SDII aumenta. Encontrou-se uma tendência significativamente positiva nas três estações com o aumento da PRCPTOT.

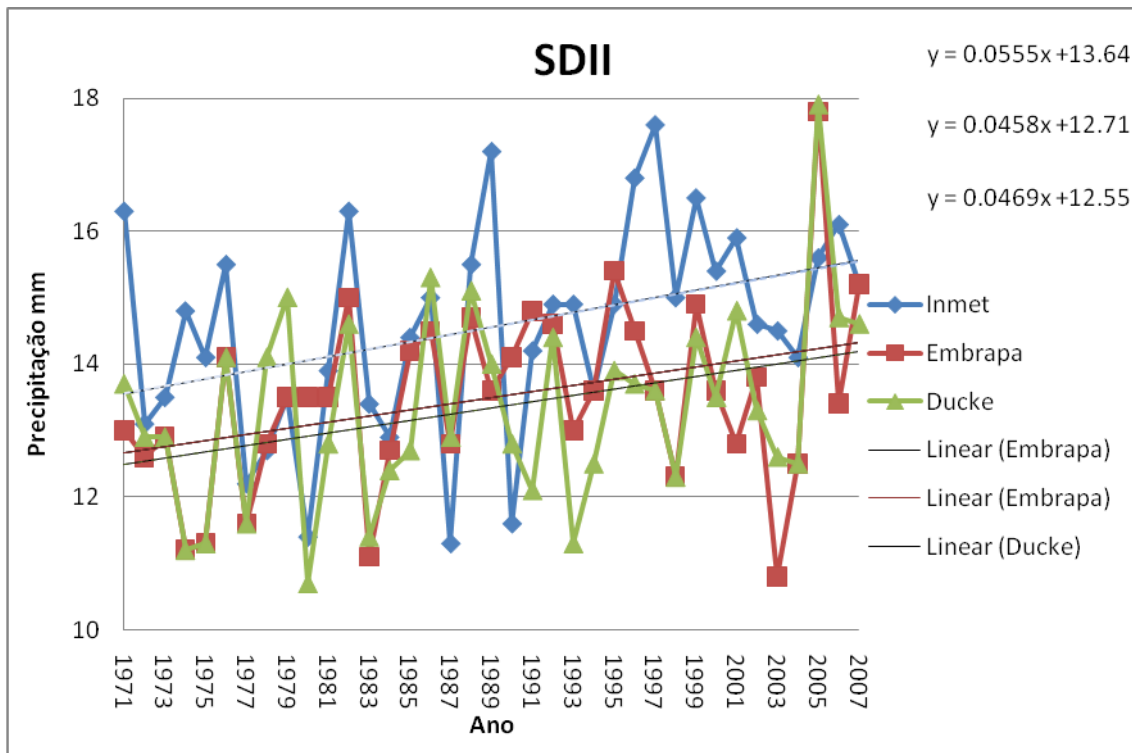


Figura 9- Tendência para SDII para as 3 estações

O aumento de umidade observado para o ano de 2005, um ano considerado seco para a bacia amazônica, mostra que Manaus não foi atingida por este evento, como dito anteriormente, que está de acordo com o trabalho de Marengo (2006), pois 2005 foi um tipo de anomalia climática que secou o oeste e o sul, e não o centro e o leste amazônico como ocorre em anos de El Niño.

5.3 - Índices Climáticos e TSM

5.3.1 – Extremos de Precipitação e Anomalia de TSM

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos oceanos tropicais Pacífico e Atlântico é a principal variável física influenciadora das condições climáticas em várias áreas do globo. No Pacífico Tropical, a presença de eventos quentes (frios) denominados de El Niño (La Niña), com anomalias positivas (negativas) de TSM,

causam fenômenos climáticos diferenciados em várias áreas do globo, dura de 12 a 18 meses em média em intervalos de 2 a 7 anos com diferentes intensidades (Ropelewski e Halpert, 1996 e 1997; Alves et al., 2006).

Na América do Sul (AS), são três as áreas cuja precipitação pode ser modulada pelo ENOS, que é uma anomalia na TSM do Pacífico, em que há deslocamento das águas mais quentes de oeste para leste, são elas: costa oeste (incluindo Peru e Equador), setor nordeste (Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana Francesa, norte e nordeste do Brasil - NEB) e sudeste (sul do Brasil, Uruguai, norte da Argentina e áreas subtropicais do Chile), daí a importância para o estudo da relação entre a precipitação e o fenômeno ENOS. Para o Amazonas, anos de El Niño (La Niña), em geral, estão associados com escassez de chuvas (chuvas mais abundantes), principalmente nas partes central e leste da bacia, enquanto condições contrárias são observadas no sul e sudeste do Brasil.

Estas condições também estão relacionadas às ocorrências de dipolos de TSM no Atlântico Tropical, conhecido Padrão do Dipolo do Atlântico, caracterizado pela manifestação simultânea de anomalias de TSM configurando-se espacialmente com sinais opostos sobre as Bacias Norte e Sul do Atlântico Tropical (Santos, 2006).

Como os oceanos Pacífico e Atlântico influenciam o clima globalmente, em especial na Amazônia, identificou-se a importância de relacionar os índices de extremos climáticos, com as anomalias (positivas e negativas) de TSM. Para isto, utilizou-se o *Coefficiente de correlação linear de Pearson* para a estação da Embrapa (única estação com dados de TMAX e TMIN) para os índices de extremos climáticos e as anomalias de TSM nas regiões: Niño 1+2, Niño 3 e Niño 3.4, no Pacífico (Figura 10); TNA e TSA, no Atlântico (Figura 11).

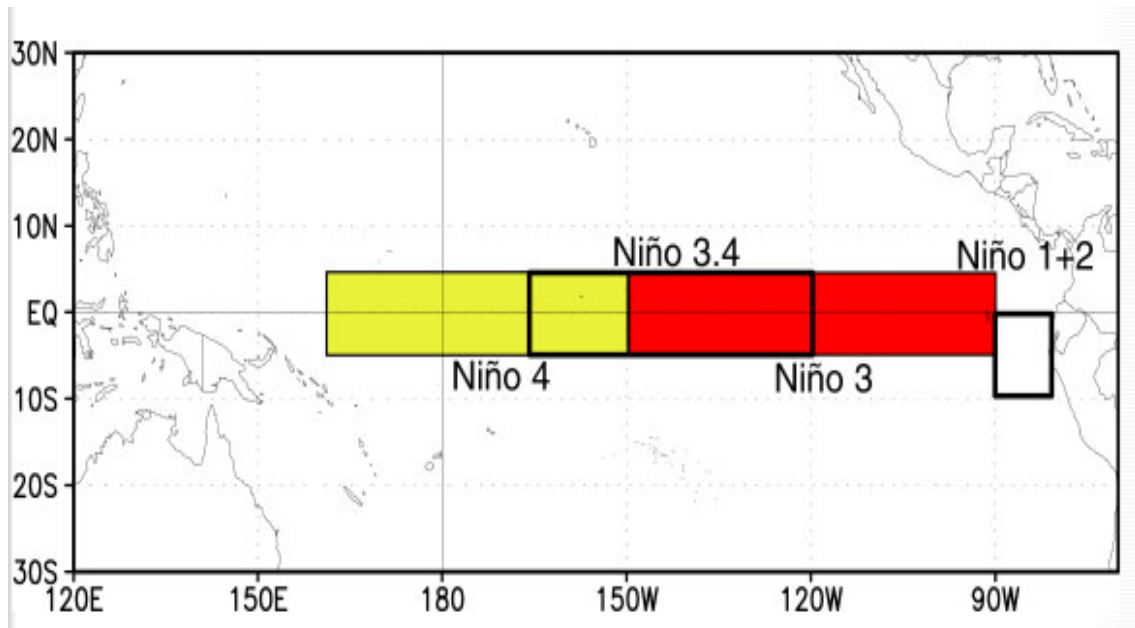


Figura 10 – Áreas do Oceano Pacífico Equatorial, Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4. Fonte: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml , acessado em 25/09/2010

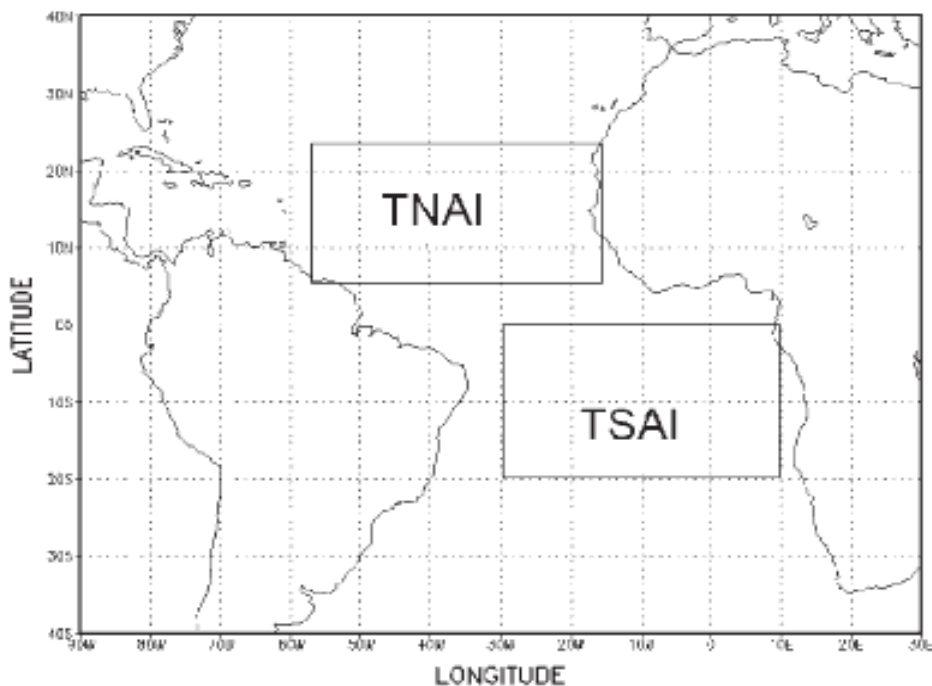


Figura 11 – Áreas do oceano Atlântico Tropical dos índices TNAI e TSAI, associadas ao Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Atlântico. Fonte: Menezes et al, 2008.

Tabela 2 mostra as correlações entre diversos índices de precipitação para a estação de EMBRAPA e índices das TSMs nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. As significâncias estatísticas são indicadas. Em geral, o índice Niño 1+2 e índice DCS

demonstraram correlação com significância estatística igual ou superior a 90% para as regiões do Pacífico exceto para a região de Niño 4. DCS também apresentou correlação com Índice mensal do Atlântico Tropical Norte (TNAI) com significância superior a 90%, entretanto, não demonstrou correlações estatisticamente significativa com Índice mensal do Atlântico Tropical Sul (TSAI).

Com significância de 90% ou mais, encontrou-se correlação entre os índices PRCTOT e Anomalia Niño 3, R10mm com Anomalia Niño 1+2 e Niño 3, R20mm com Anomalia Niño 1+2 , R50mm com TNAI e Rx5day com Niño 1+2 (Tabela 2). Os índices DCU, SDII, Rx1day, R95p e R99p não demonstraram correlação com significância estatística com nenhum dos índices oceânicos. Conclui-se que os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical Sul exercem influência sobre DCS. R10mm e PRCTOT são influenciadas pelas regiões de Niño 1+2 e Niño 3, Rx5day e R20mm só tem influencia significativa com Niño 1+2, enquanto que chuvas extremas (R50mm) estão relacionadas com o TNAI.

Tabela 2: Correlações entre os índices extremos de chuva para estação de EMBRAPA e as anomalias de TSM

	DCS	Rx5day	R10mm	R20mm	R50mm	PRCTOT
Niño 1+2	0.278*	-0.323**	-0.409**	-0.300*	-0.200	-0.366**
Niño 3	0.338**	-0.266	-0.299*	-0.210	-0.179	-0.307*
Niño 3.4	0.309*	-0.216	-0.167	-0.147	-0.153	-0.224
TNAI	0,209	-0.083	0.242	0.115	-0.315*	0.019
TSAI	-0.36**	0.044	0.394	0.111	0.044	0.265

(*) Significância estatística de 90% ($p < 0,1$)

(**) Significância estatística de 95% ($p < 0,05$)

(***) Significância estatística de 99% ($p < 0,01$)

As Figuras 12 a 22 representam as variabilidades temporais dos índices e das regiões dos Oceanos Atlântico e Pacífico com significâncias estatísticas dentro dos limites apresentados na Tabela 2. A Figura 12 mostra a variabilidade temporal do índice DCS e do índice TSA e de acordo com a mesma, pode-se observar uma correlação negativa ($r = -0,360$), identificando que um aumento na anomalia positiva da TSM do Atlântico Sul Tropical contribui para a diminuição do número de dias consecutivos secos, pois favorece o deslocamento da ZCIT mais para o sul ocasionando a formação de chuvas sobre a região central da Amazônia, diminuindo o número de dias consecutivos secos.

A Figura 13 mostra a variabilidade temporal do índice R50mm e do índice TNA, pode-se observar uma correlação negativa ($r = -0,315$), identificando que um aumento na anomalia positiva da TSM do Atlântico Tropical Norte contribui para o aumento do número de dias com precipitação intensa, acima de 50mm, pois o aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Norte favorece maior evaporação, e os alísios carregam a umidade para a região amazônica, assim contribuindo com a formação de chuvas.

As Figuras 14, 15 e 16, mostram as variabilidades temporais do índice DCS com as regiões de Niño 1+2, Niño 3 e Niño 3.4 assim com, suas respectivas correlações positivas, DCS e Niño 1+2 ($r = 0,278$), DCS e Niño 3 ($r = 0,041$) e DCS e Niño 3.4 ($r = 0,309$). Pode-se dizer que, aumento nas anomalias positivas na TSM do Oceano Pacífico Equatorial inibe a formação de nuvens sobre a Região Norte, contribuindo para o aumento do número de dias consecutivos secos.

As Figuras 17 e 18 apresentam as variabilidades temporais dos índices Rx5day e R20mm com a região do Niño 1+2 e suas correlações negativas de $r = -0,323$ e $r = -0,300$, respectivamente, identificando novamente que o aumento na anomalia positiva da TSM

do Atlântico Sul Tropical tende a contribuir com a diminuição dos dias seguidos de precipitação e de dias muito úmidos (20 mm).

As Figuras 19 e 20 apresentam as variabilidades temporais dos índices R10mm e PRCTOT com a região do Niño 1+2 e suas correlações negativas ($r = -0.409$) e ($r = -0.366$) respectivamente. Figuras 20 e 21 apresentam as variabilidades temporais dos índices, R10mm e PRCTOT com a região do Niño 3 e suas correlações negativas ($r = -0.299$) e ($r = -0.307$), respectivamente. Novamente pode-se dizer que o aumento da anomalia positiva da TSM do Atlântico Equatorial, tende a contribuir com a diminuição de chuva na região.

Os demais índices não apresentaram correlações com significância estatística igual ou superior a 90%, por isso não foram inseridas figuras de suas variabilidades temporais com os índices no corpo do trabalho, assim como a região de Niño 4, que não teve correlação com nenhum dos índices de chuva analisados.

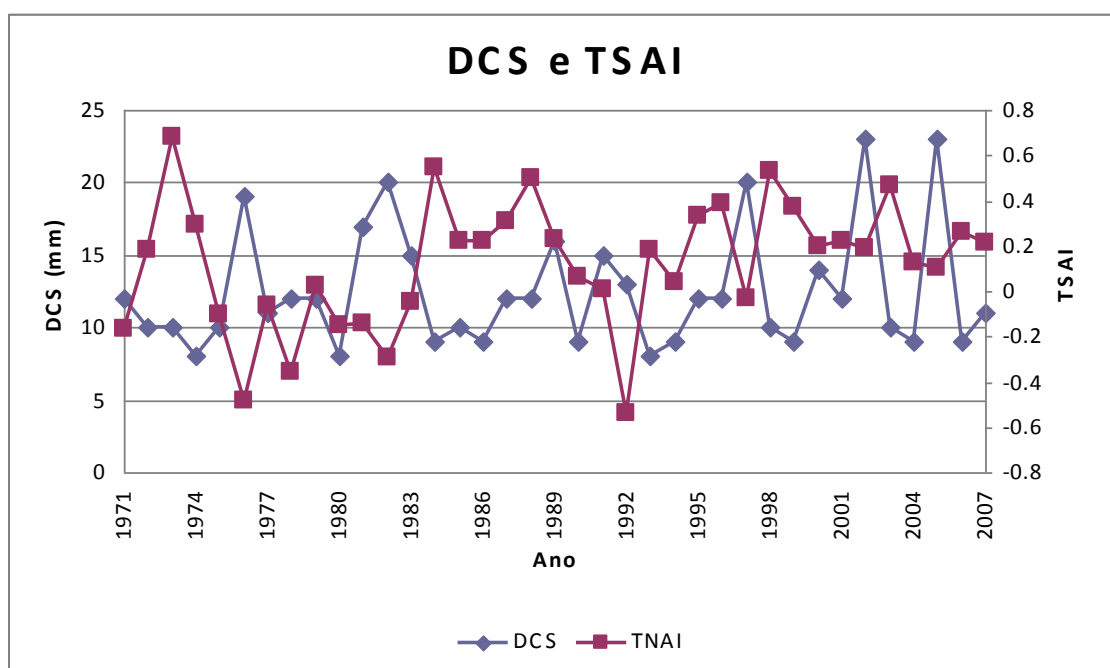


Figura 12: Variabilidade temporal dos índices DCS e TSA ($r = -0.360$).

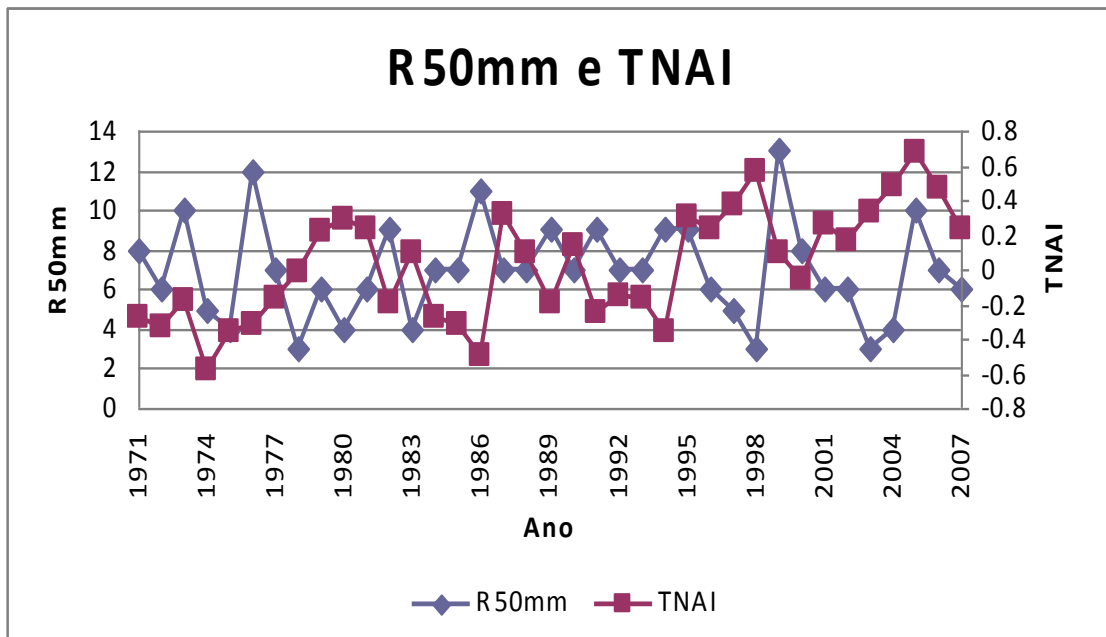


Figura 13: Variabilidade temporal dos índices R50mm e TNAI ($r = -0.315$).

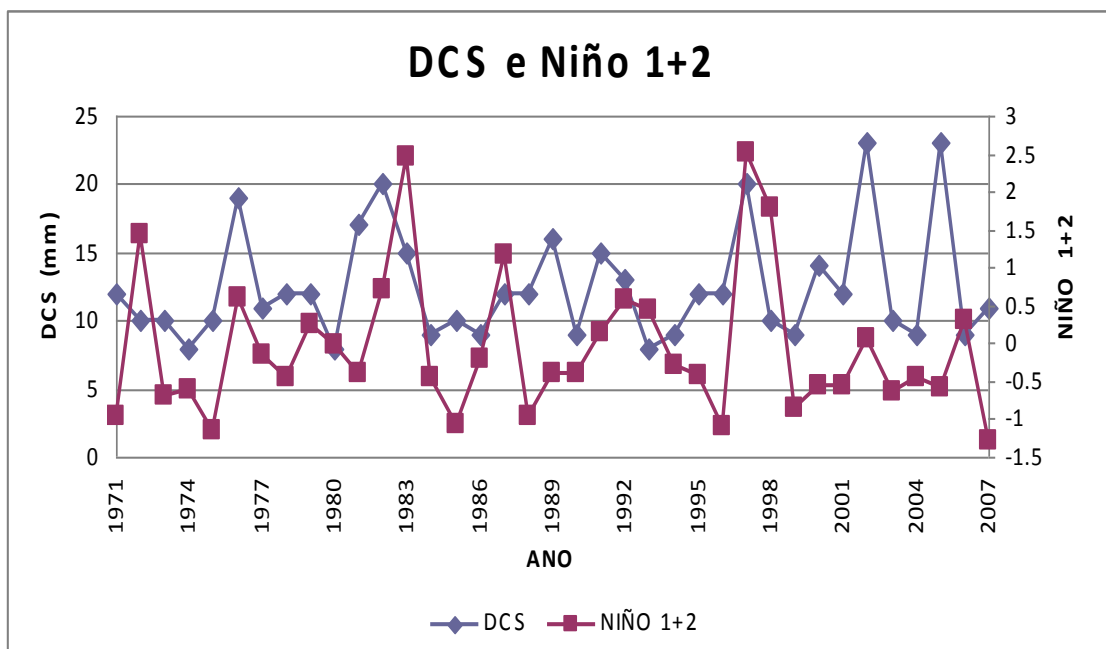


Figura 14: Variabilidade temporal dos índices DCS e NIÑO 1+2 ($r = 0,278$).

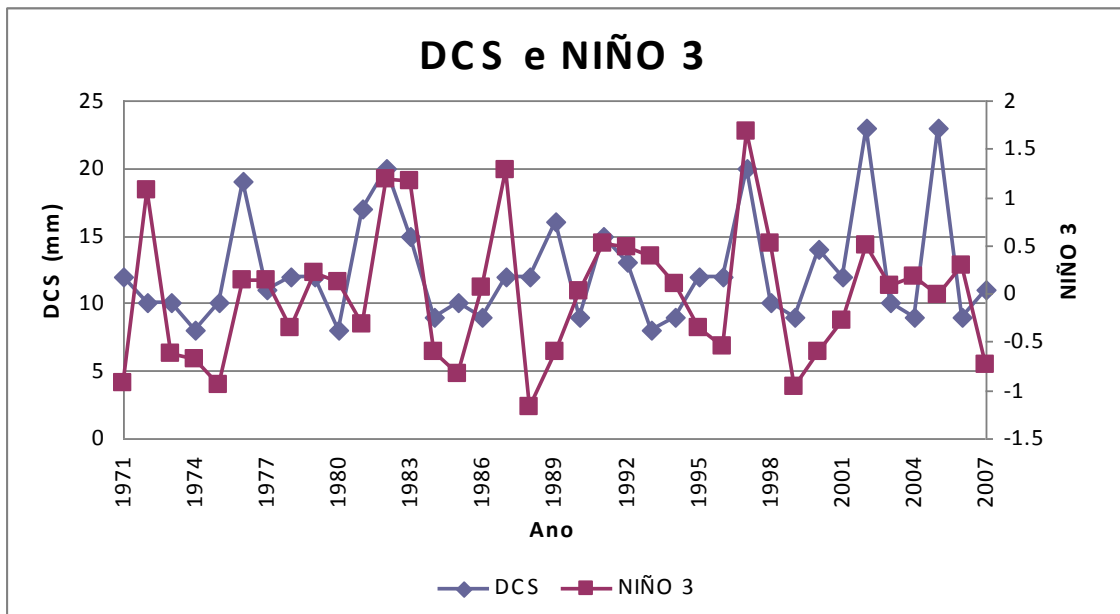


Figura 15: Variabilidade temporal dos índices DCS e NIÑO 3 ($r = 0.041$).

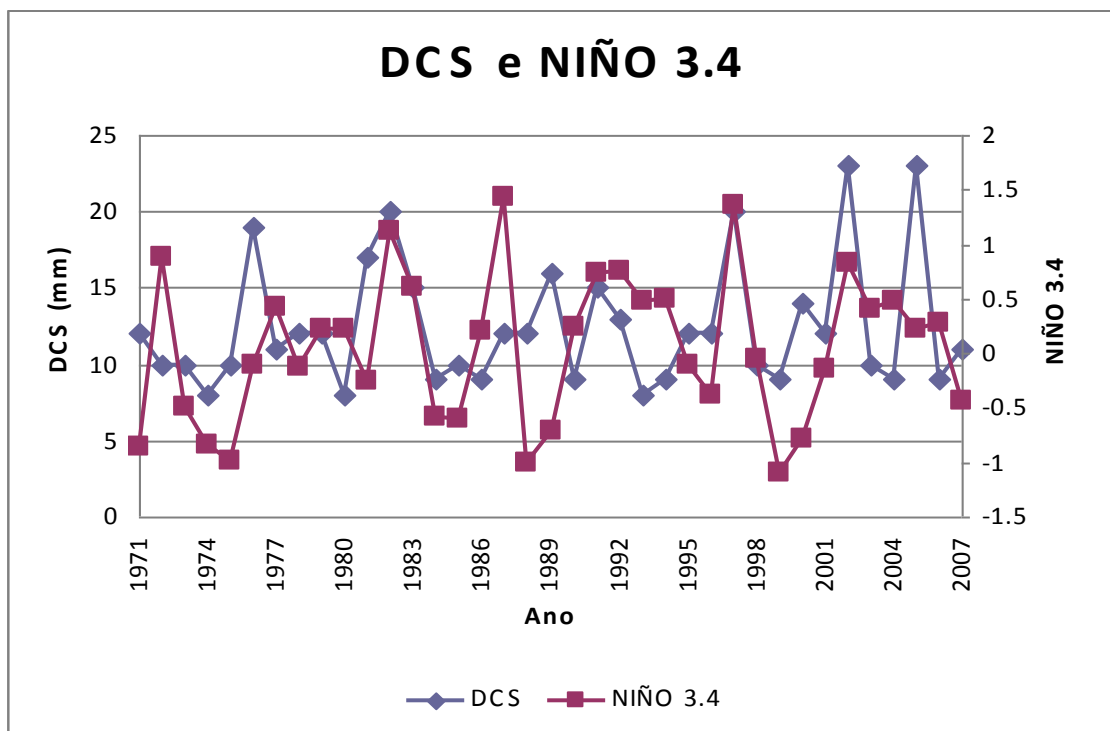


Figura 16: Variabilidade temporal dos índices DCS e NIÑO 3.4 ($r = 0.390$).

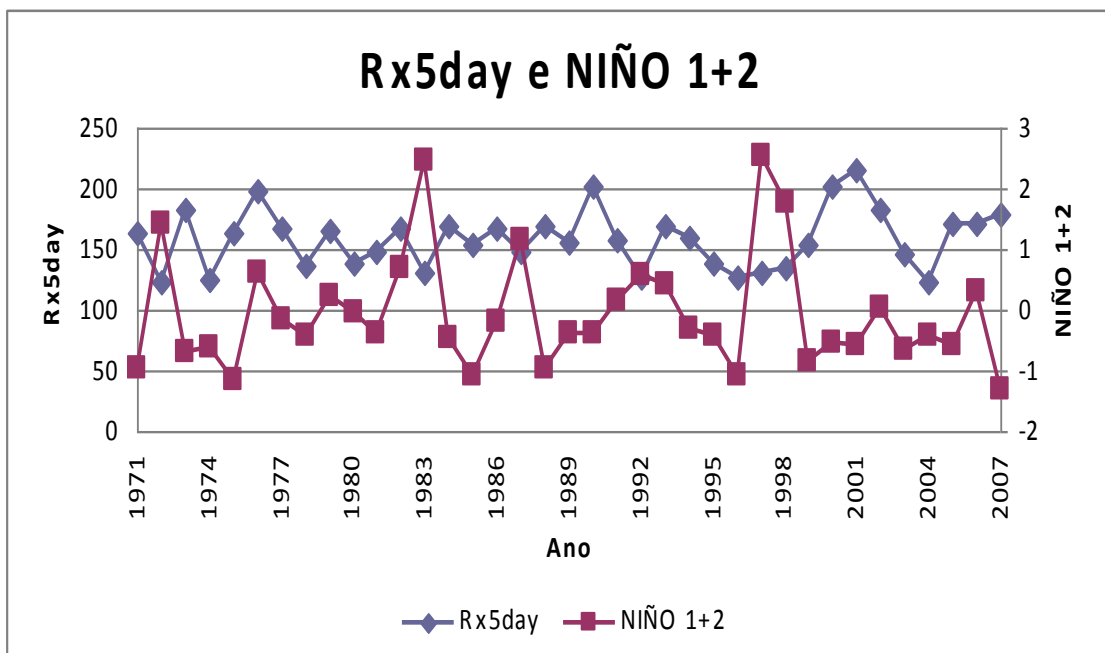


Figura 17: Variabilidade temporal dos índices Rx5day e NIÑO 1+2 ($r = -0.323$).

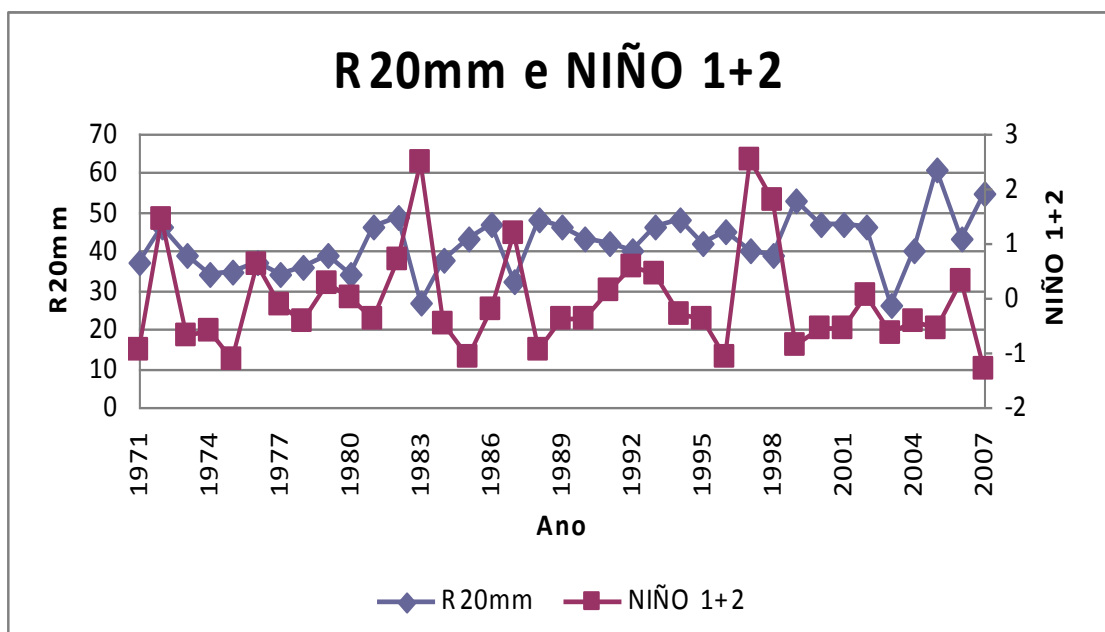


Figura 18: Variabilidade temporal dos índices R20mm e NIÑO 1+2 ($r = -0.300$).

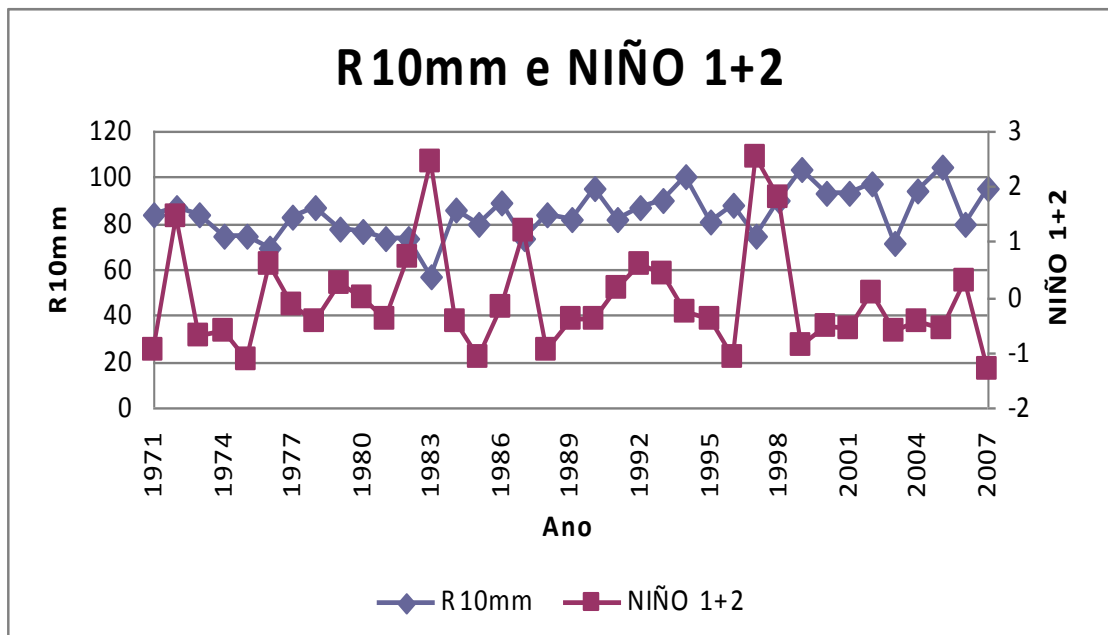


Figura 19: Variabilidade temporal dos índices R10mm e NIÑO 1+2 ($r = -0.409$).

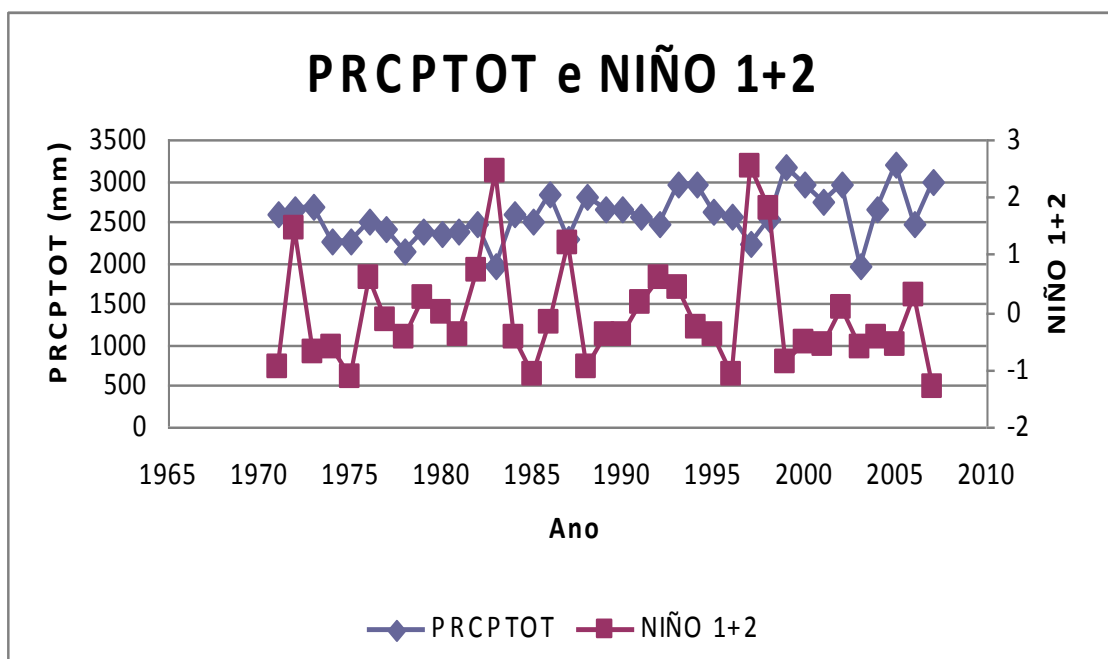


Figura 20: Variabilidade temporal dos índices PRCPTOT e NIÑO 1+2 ($r = -0.366$).

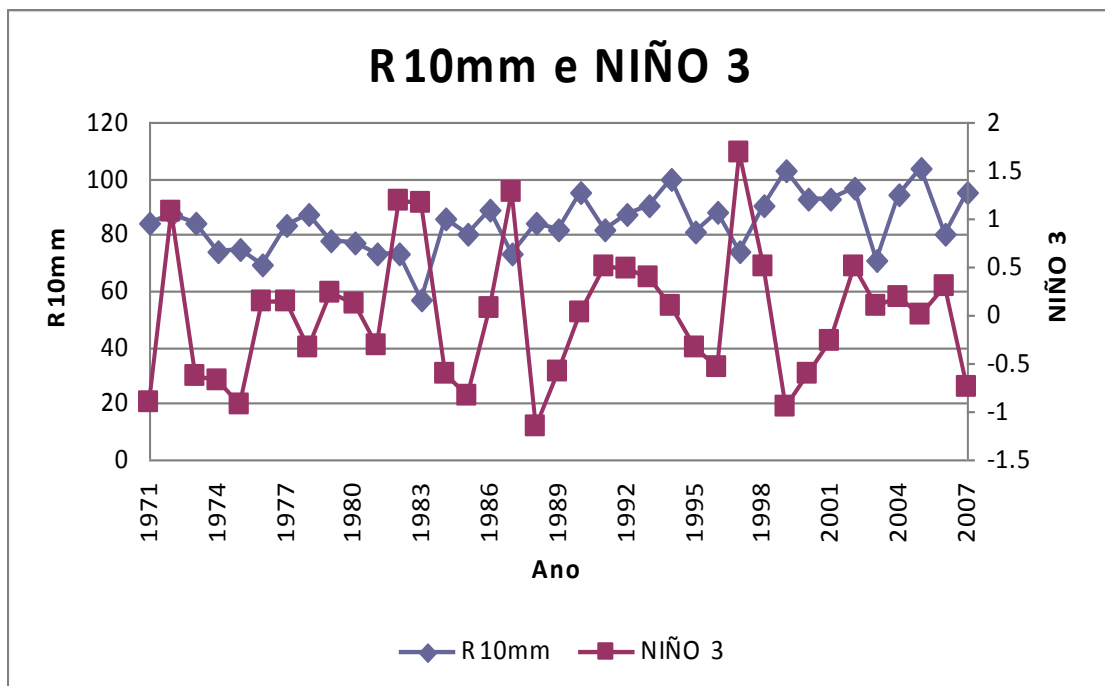


Figura 21: Variabilidade temporal dos índices R10mm e NIÑO 3 ($r = -0.299$).

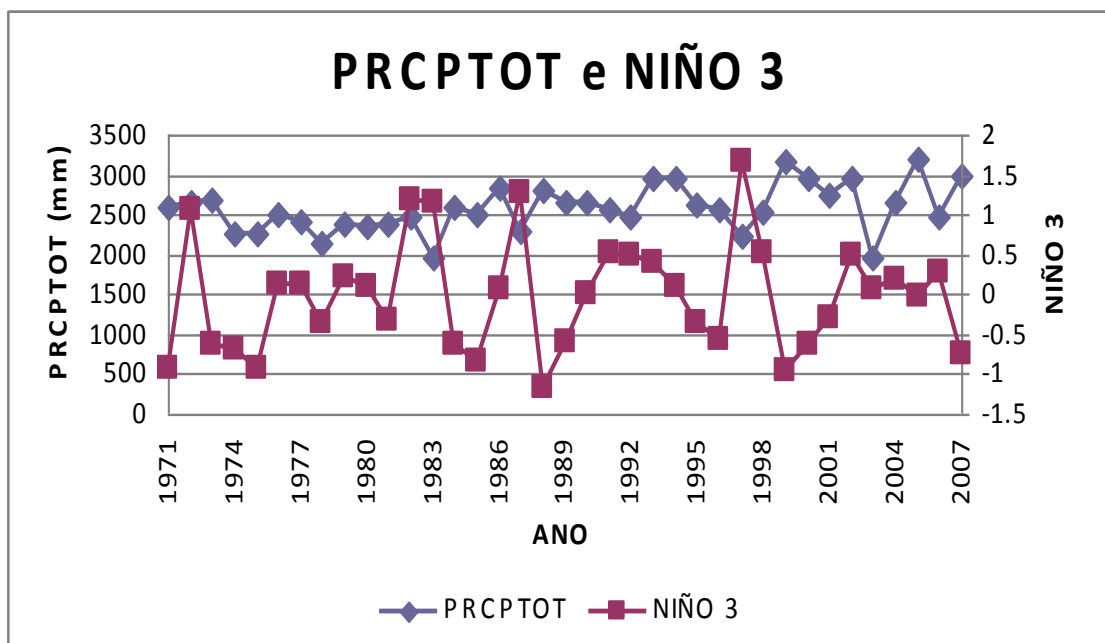


Figura 22: Variabilidade temporal dos índices PRCPTOT e NIÑO 3 ($r = -0.307$).

5.3.2- Extremos de Temperatura e Anomalia de TSM

Os valores das correlações dos índices extremos de temperatura do ar e anomalias de TSM para a estação da EMBRAPA estão apresentados na Tabela 3. A Tabela mostra apenas as correlações com significância estatística.

Tabela 3: Correlações entre os índices extremos de Temperatura para estação de EMBRAPA e as anomalias de TSM

	TNn	TN10p
Niño 3	0.293*	-0.113
Niño 3.4	0.295*	-0.163
Niño 4	0.333**	-0.284*
TNAI	0.405**	-0.425****
TSAI	0.341**	-0.383**

(*) Significância estatística de 90% ($p < 0,1$)

(**) Significância estatística de 95% ($p < 0,05$)

(****) Significância estatística de 99% ($p < 0,01$)

O Dipolo do Atlântico está relacionado com o período seco /chuvoso na Região Norte, quando é encontrado no Oceano Atlântico a configuração de TSM mais fria para o ATN e mais quente no ATS. Quando esse dipolo inverte, tem-se um inverno quente, que para a região está relacionado a maiores temperaturas e menor precipitação. As noites frias TN10p, que tem significativa correlação com anomalias do Oceano Atlântico, tem mostrado uma tendência negativa de aumento, o que mostra aumento do número das noites quentes na região de Manaus.

Exceto para a Região de Niño 1+2 e Niño 3 não houve correlação significativa para TNn, porém o resultado mostra que as demais anomalias influenciam o aumento da TNn, o que significa que o aumento do valor da temperatura mínima diária tem correlação com as demais áreas do Oceano Pacífico e correlação com nível de

significância de 95% para o Oceano Atlântico, mostrando assim a influencia desses oceanos nesses índices extremos que representam para Manaus dias mais quentes para a estação da EMBRAPA.

As Figuras 23 a 25 representam as variabilidades temporais dos índices e das regiões do Oceano Pacífico com significâncias estatísticas dentro dos limites apresentados na Tabela 3. As três correlações são positivas, o que mostra que a TNn tende a ser maior quando a anomalia de TSM do Oceano Pacífico é positiva e menor quando é negativa. O mesmo acontece com o mesmo índice quando relacionado ao Oceano Atlântico, Figuras 26 e 27, o que confirma que maior a TSM, maior o valor mensal da temperatura mínima diária.

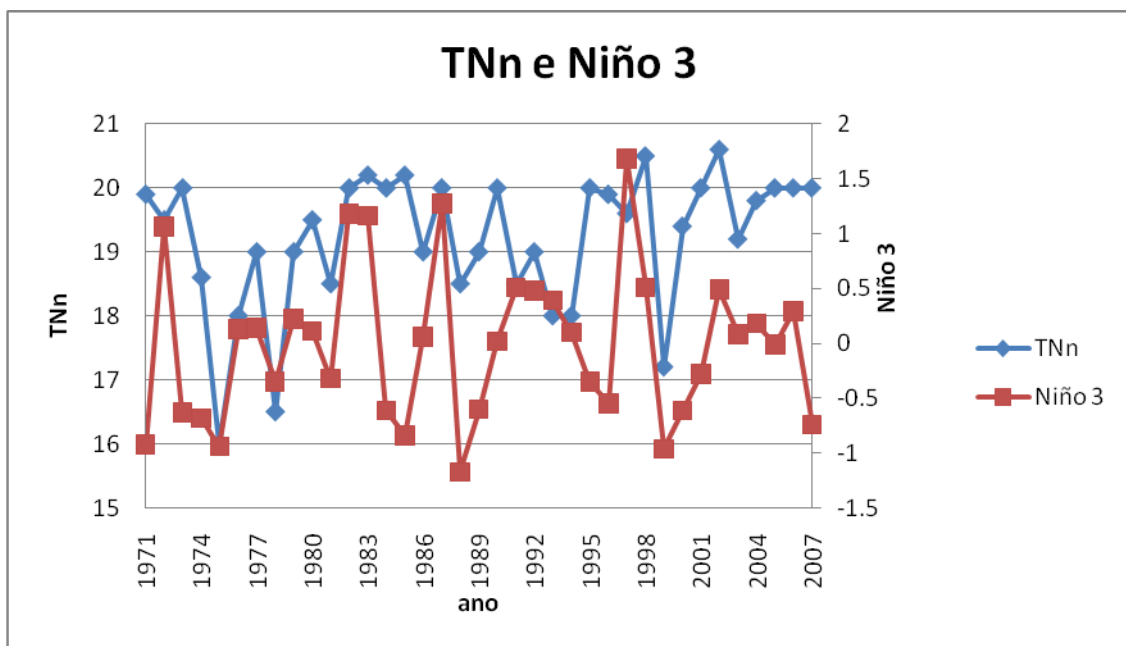


Figura 23: Variabilidade temporal dos índices TNn e NIÑO 3 ($r = 0.293$).

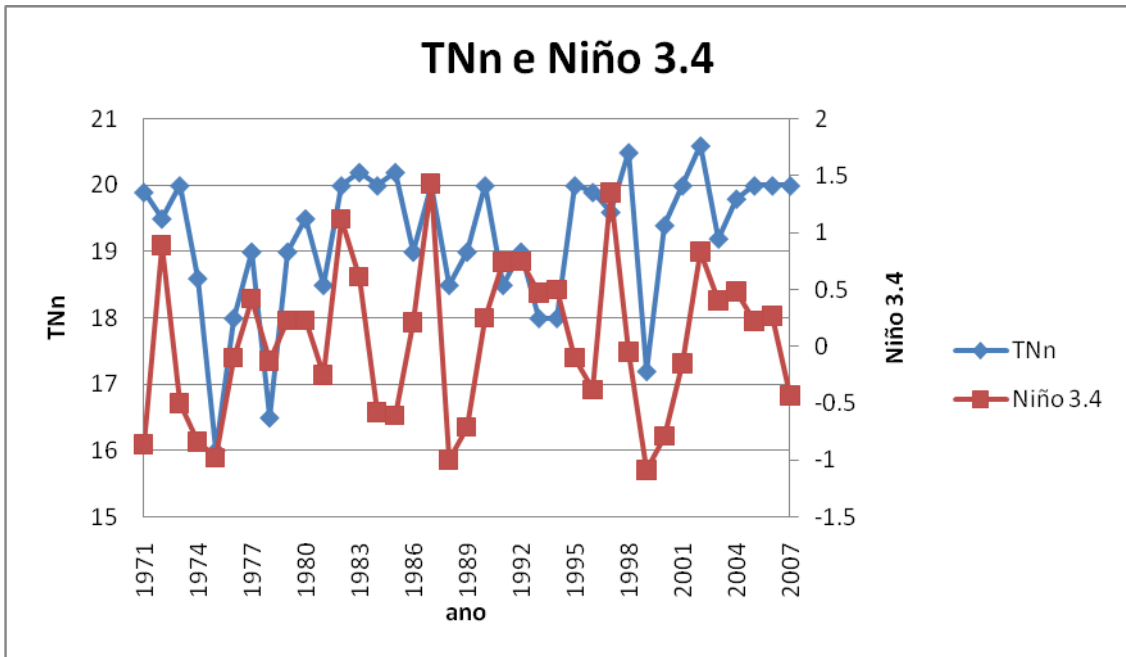


Figura 24: Variabilidade temporal dos índices TNn e NIÑO 3.4 ($r = 0.295$).

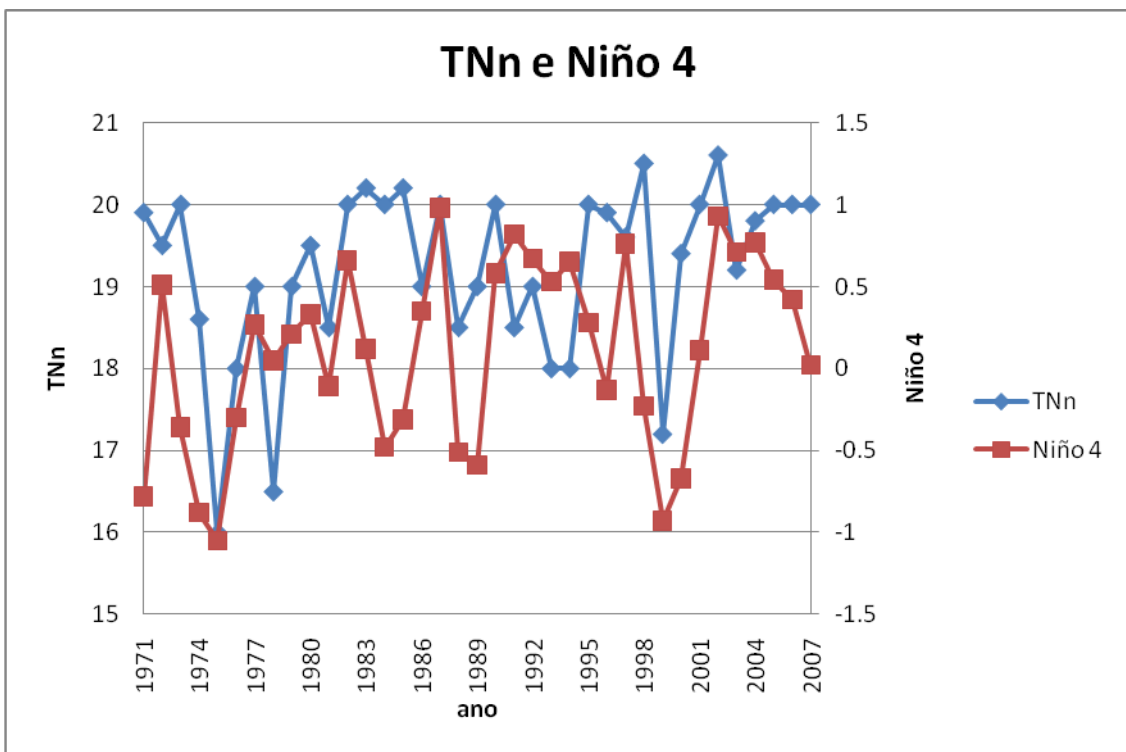


Figura 25: Variabilidade temporal dos índices TNn e NIÑO 4 ($r = 0.333$).

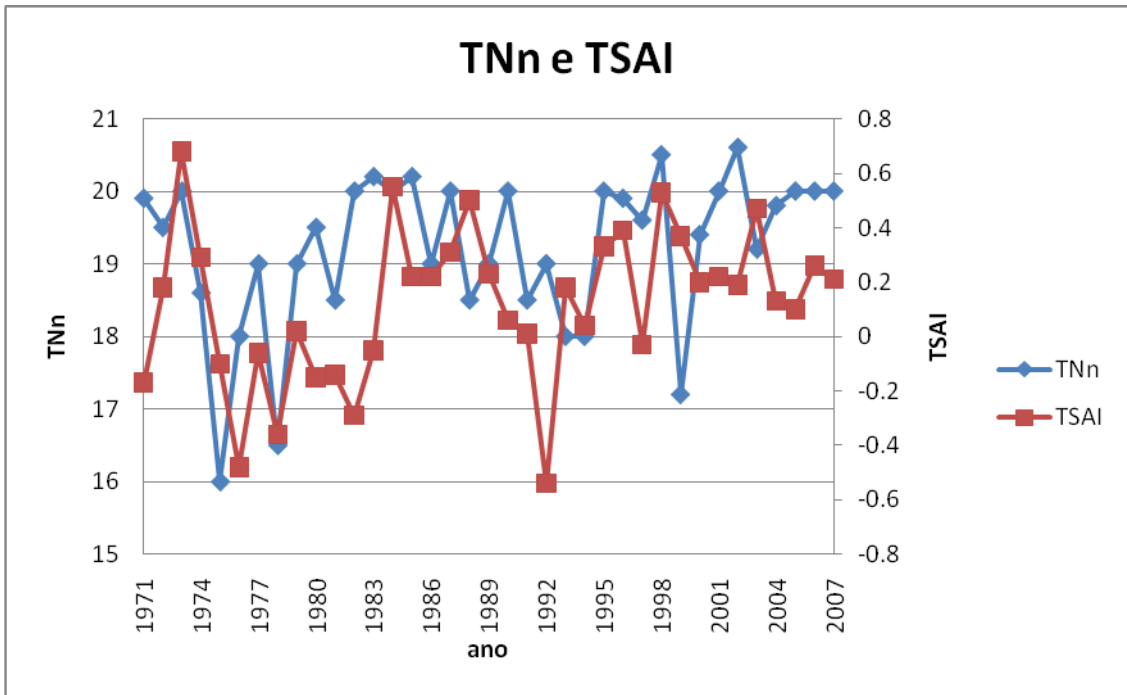


Figura 26: Variabilidade temporal dos índices TNn e TSAI ($r = 0.405$).

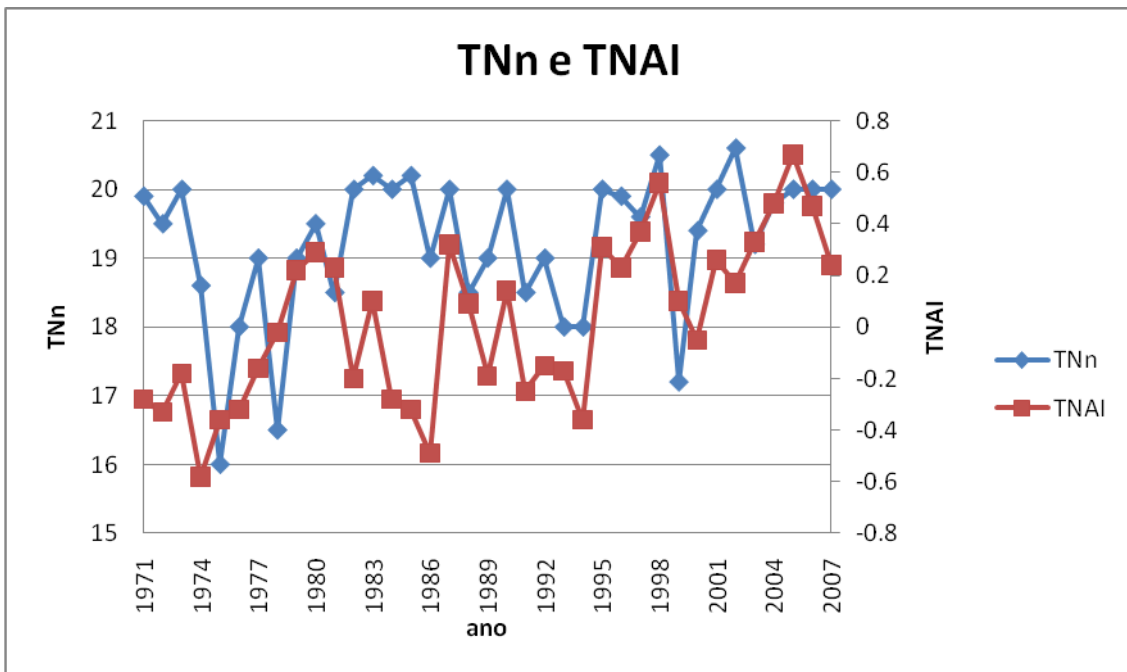


Figura 27: Variabilidade temporal dos índices TNn e TNAI ($r = 0.341$).

Para o índice TN10p houve correlação com a região de anomalia Niño 4, TSAI e TNAI (Figuras 28 a 30). Quanto maior a TSM na Região de Niño 4, TSAI e TNAI, menor o numero de noites frias, o que significa que quanto maior a TSM no Atlântico maior a temperatura do ar em Manaus.

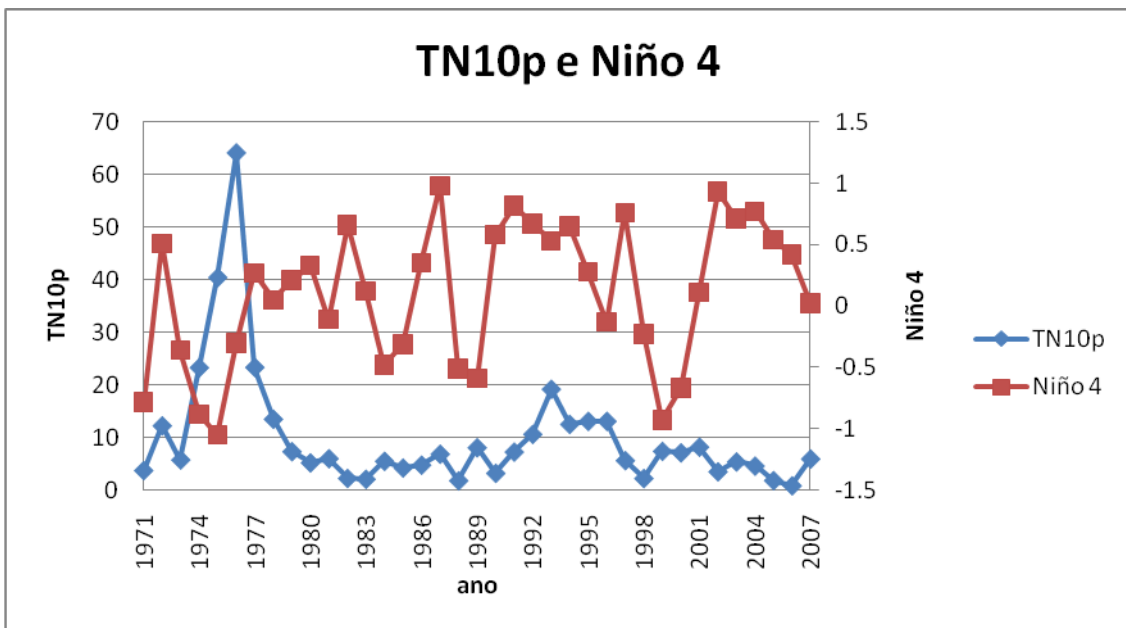


Figura 28- Variabilidade temporal dos índices TN10p e Niño 4 ($r = -0.284$).

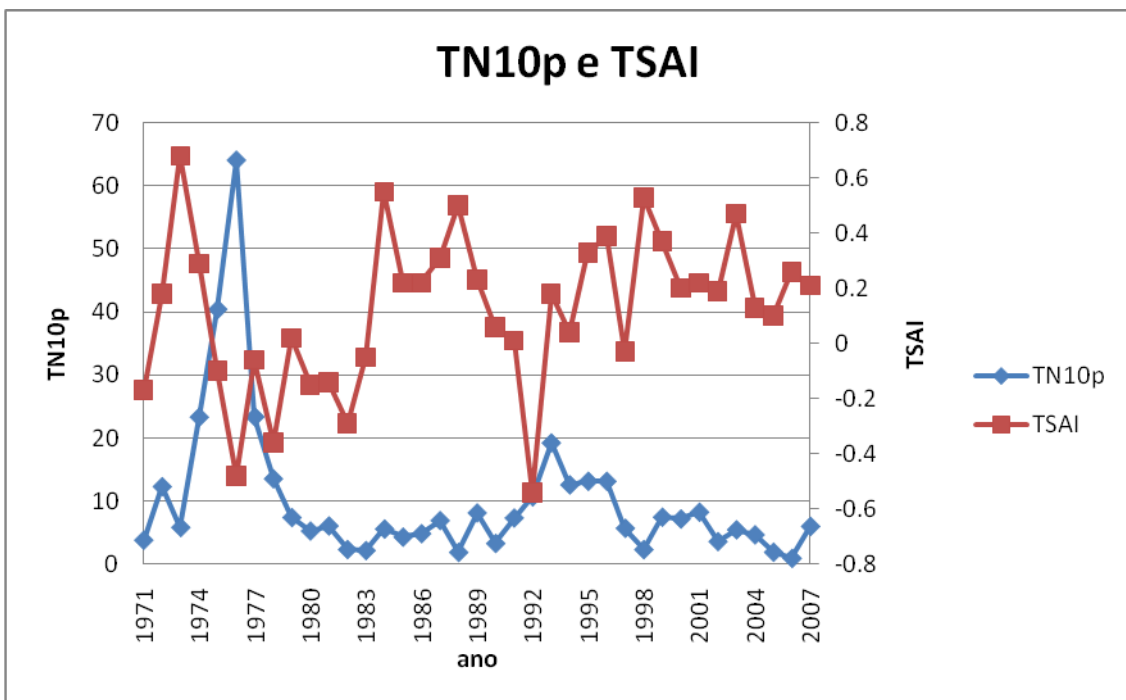


Figura 29- Variabilidade temporal dos índices TN10p e TSAI ($r = -0.383$).

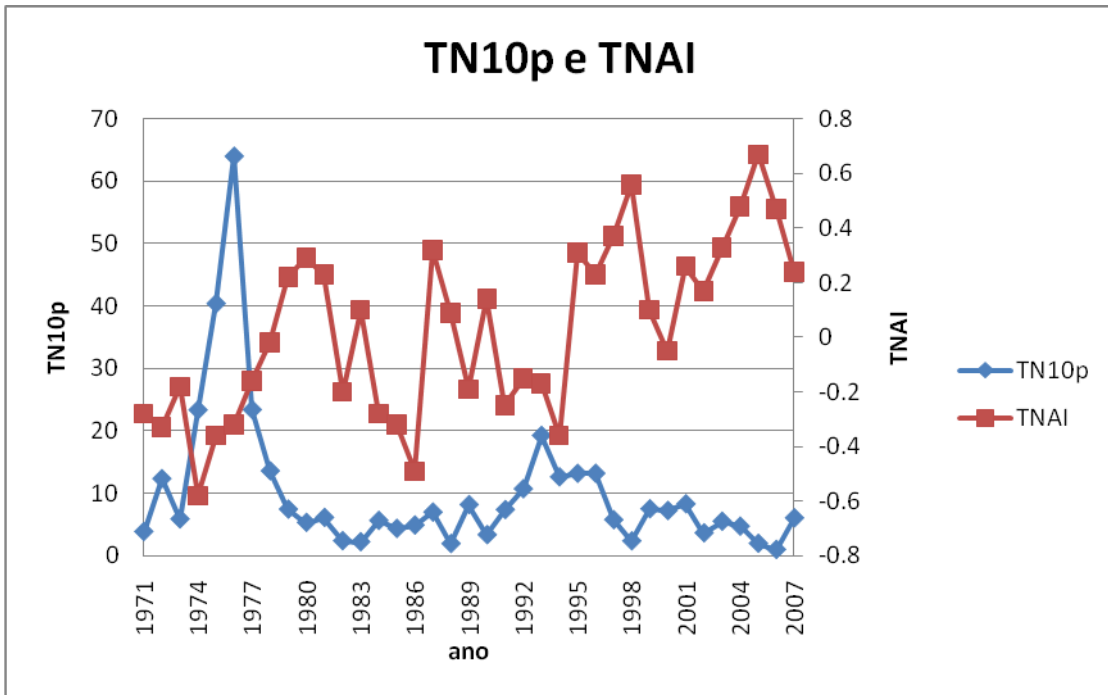


Figura 30- Variabilidade temporal dos índices TN10p e TNAI ($r = -0.425$).

6. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos chegou-se às seguintes conclusões:

- 1- A série de precipitação da estação do INMET em Manaus, é diferente das séries da EMBRAPA e DUCKE em vários aspectos: DCS, PRECTOT, R50mm, entre outros. Porém os três postos pluviométricos apresentaram aumento significativo no SDII, demonstrando assim um aumento na intensidade da chuva que venha a cair nesta região.
- 2- Em geral os índices da PRCTOT mostraram tendências positivas nos últimos 37 anos e DCS uma tendência negativa. A anomalia positiva da chuva indica aumento da nebulosidade, que por sua vez aumenta a Tmin.
- 3- O aumento da PRCTOT é da ordem de 7,5 mm/ano, estatisticamente significativo. O aumento observado na PRCTOT também é observado em R10mm, R20mm e R50mm, i.e., nas chuvas fortes.
- 4- Anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2 e Niño 3 têm influência negativa sobre a PRCTOT em Manaus. Isto é, EN → Diminuição, LN → Aumento. O EN conhecido está associado com desvios negativos de chuva na Amazônia, especialmente nas partes central e leste.
- 5- Niño 1+2 não mostram influencia sobre as temperaturas extremas em Manaus.
- 6- TSM do Oceano AN mostra uma influência negativa sobre R50mm.
- 7- Uma influência positiva da TSM no Oceano Atlântico Sul é observada sobre a Tmin e negativa sobre DCS em Manaus.

- 8- Os oceanos Atlântico Norte e Sul exercem influencias basicamente através dos alísios da seguinte maneira: Oceanos AN e AS mais quentes → maior evaporação → maior transporte de umidade para a Amazônia → maior nebulosidade e chuva → aumento da T_{min}.
- 9- As alterações nos índices de chuva em Manaus apontam para um caráter local e regional, pois não pode ser afirmado categoricamente que estas tendências estão relacionadas com uma mudança global do clima, pois foram verificadas pequenas tendências negativas e positivas em todos os índices analisados, o que demonstra o aspecto regional.
- 10- As diferenças encontradas nas estações devem-se a diferença de altitude e tipo florestal. Enquanto DUCKE está a uma altura de 80 m acima do nível do mar e possui mais de 75% de floresta madura e intacta, a EMBRAPA está a uma altitude média de 95 m, sendo uma área experimental em que há manejo para o cultivo de plantas de valor comercial, sendo assim, composta por menos vegetação primária. Para a estação do INMET, em que os dados são colhidos na área urbana de Manaus, as diferenças encontradas nas tendências podem ser associadas além da urbanização e desmatamento, a proximidade da região metropolitana e do Rio Negro. As circulações de mesoescala devido a efeito de ilha de calor na cidade podem fazer diferença.
- 11- Para reconfirmar os resultados obtidos neste trabalho, é preciso estender o estudo para toda a região amazônica. Os problemas para um estudo mais generalizado são (i) falta de séries longas históricas de dados observados e (ii) a confiabilidade das séries.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L.V., ZHANG, X., PETERSON, T. C. , CAESAR. J., GLEASON, B., KLEIN TANK, A. M. G., HAYLOCK, M., COLLINS, D., TREWIN, B., RAHIMZADEH, F., A. TAGIPOUR, K. RUPA, KUMAR, J. REVADEKAR, G. GRIFFITHS, L. VINCENT, STEPHENSON, D. B., BURN, J., AGUILAR, E., BRUNET, M. M. TAYLOR, M. NEW, P. ZHAI, M. RUSTICUCCI, and J. L. VAZQUEZ-AGUIRRE. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 111, 2006

ALVES, J. M. B., SOUZA, R.O., CAMPOS, J. N. Previsão da anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM) No Atlântico Tropical, com a equação da difusão da temperatura- *Revista Climanálise*. Ano 03, Número 01

AMBRIZZI, T., **MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS**. A Mudança no Clima da Bacia do Prata. Capítulo XI, 141-152, 2007.

AVISSAR, R., P. L. SILVA DIAS, M. A. F. SILVA DIAS, and C. NOBRE (2002), The Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA): Insights and future research needs, *J. Geophys. Res.*, 107(D20), 8086, doi:10.1029/2002JD002704.

BACK., A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, maio 2001

BARROS, V., Projeto SGP II 057: " Trends in the hydrological cycle of the Plata basin: Raising awareness and new tools for water management "do Instituto Inter-Americano para Mudanças Globais (IAI), Capítulo I, 8-14, 2007.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; BONO, L. Tendência temporal da precipitação pluvial anual no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 3, p. 111-113, 1995.

BRASIL, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2008. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite/Monitoring of the Brazilian Amazon Forest by Satellite: 2006-2007. INPE, São José dos Campos, SP. (<http://www.inpe.br>).

CAMILLONI, I. 2004b: Cenários climáticos futuros. *Informe Proyecto ARG/03/001*. Fundación Torcuato Di Tella – Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 11pp.

CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY, Rclimdex (0.9) User Manual, 25p., 2004.

CANE, MA, AC CLEMENT, A KAPLAN, Y KUSHNIR, D POZDNYAKOV, R SEAGER, SE ZEBIAK & R MURTUGUDDE. 1997. Twentiethcentury sea surface temperature trends. *Science*, 275: 957-960.

CORREIA, F.W.S., ALVALÁ, R.C.S., MANZI ,A.O. Modeling the impacts of land cover change in Amazonia: a regional climate model (RCM) simulation study. *Theor. Appl. Climatol.* (2007)

COX, P. M., P.P. HARRIS, C. HUNTINGFORD, R. A. BETTS, M. COLLINS, C.D. JONES, T. E. JUPP, J.A. MARENGO & C. A. NOBRE. 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature* 453: 212-215.

CROWLEY, T. J. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, v.289, n.5477, p.270-277, 2000.

FEARNSIDE, P. M. A floresta amazônica nas mudanças globais / Philip M. Fearnside - Manaus : *INPA*, 2003.

FEARNSIDE, P. M. 2006. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. *Ciência Hoje* 38(231): 76-78.

FEARNSIDE, P. M. 2008. *Impactos Urbanos sobre a Biologia do Ambiente Amazônico: Interações entre Moléculas, Organismos e Ambientes*. André L. W., Santos & Sérgio R. Nozawa (eds.). Centro Universitário Nilton Lins, Manaus.

FISCH, G., MARENGO, J. A. and NOBRE, C. A. **Clima da Amazônia**. 1998

FOLEY, J. A. ASNER, G. P. COSTA, M. H., COE, M. T., DeFRIES, R., GIBBS, H.K., HOWARD, E.A., OLSON, S., PATZ, J., RAMANKUTTY, N. & SNYDER, P. 2007. Amazonia revealed: Forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(1): 25-32.

GANDU, A.W.; COHEN, J.C.P.; SOUZA, J.R.S. Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model. *Theoretical and Applied Climatology*, v.78, 2004.

HAYLOCK, M. R., PETERSON, T. C., ALVES, L. M., AMBRIZZI, T., ANUNCIACÃO, Y. M. T. , BAEZ, J., BARROS, V. R., BERLATO, M. A., BIDEGAIN, M., CORONEL, G., CORRADI, V., GARCIA,V.J., GRIMM, A. M. , KAROLY, D., MARENGO, J. A. , MARINO, M. B., MONCUNILL, D. F., NECHET, D., QUINTANA,J., REBELLO, E., RUSTICUCCI, M., SANTOS, J. L., TREBEJO, I., AND VINCENT, L. A. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *Journal of climate*. VOL. 19, 2005.

HUNDECHA, Y. and BARDOSSY, A. Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20TH century. *Int. J. Climatol.* **25**: 1189–1202 (2005)

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (1990). Cambridge University Press.

IPCC. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC. *Climate Change and Biodiversity*. Cambridge, University Press, 86 p., 2002.

IPCC. Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Paris, fevereiro de 2007

IPCC. Mudança do Clima 2007: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Bruxelas, abril de 2007

IPCC. Mudança do Clima 2007: Mitigação da Mudança do Clima. Contribuição do Grupo de Trabalho III ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Tailândia, 30 de abril a 4 de maio de 2007

LIEBMANN, B., VERA, C. S., CARVALHO, L. M. V., CAMILLONI, I., HOERLING, M. P., BARROS, V. R., BÁEZ, J., BIDEGAIN, M. An observed trend in central South American Precipitation. *Journal of Climate*, 17, 4357-4367, 2004.

MARENGO, J. A., TOMASELLA, J., UVO, C. R. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 103, 1775-1783, 1998.

MARENGO, J. 1992: Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *Int J Climatol* 12: 853- 863.

MARENGO, J., HASTENRATH, S. 1993: Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin. *Journal of Climate*, 6, 617-617.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 79-96, 2004.

MARENGO, J.A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River Basin Water Budget, *Climate Dynamics* (2005)

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI / José A. Marengo – Brasília: MMA, 2006.

MARENGO, J. and CAMARGO, C. G. C.: Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, *Int. J. Climatology* (2006).

MARENGO, J. A, NOBRE, A.C, TOMASELLA, J. The Drought of Amazonia in 2005, *American Meteorological Society* (2008), Vol. 21, DOI: 10.1175/2007JCLI1600.1.

Meehl, G.A., T F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J M. Murphy, A. Noda, S.C B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver & Z-C. Zhao. 2007. Global Climate Projections. pp. 247-845. In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido. 996 p.

MENEZES, H. E. A., BRITO, J. I. B., SANTOS, C. A. C., SILVA, L. L.: A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos oceanos e a duração dos veranicos no estado da Paraíba, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.23, n.2, 152-161, 2008

MITCHELL, J. F. B., JOHNS, T. C., GREGORY, J. M., TETT, S. F. B. Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulfate aerosols. *Nature*, v.376, n.6540, p.501-504, 1995.

MOLION, L. C. B. **Climatologia Dinâmica da Região Amazônica: mecanismos de precipitação**. *Revista Brasileira de Meteorologia*. Vol.2, 107-117, 1987.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2 ed. – Viçosa: UFV, 307 p., 2003.

OBREGÓN, G. E MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI / Relatório No. 2. *Caracterização do Clima no Século XX no Brasil: Tendências de Chuvas e Temperaturas Médias e Extremas* – São Paulo: *CPTEC/INPE*, 2007.

OLIVEIRA, G. S., NOBRE, C. A., Costa, H., SATYAMURTY, P., Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, VOL. 34, 2007.

REPELEWSKI, C. F; HALPERT, M., 1996: Quantifying Southern Oscillation-precipitation relationships. *Journal of Climate*, v.9, p.1043-1059

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v.115, p.1606-1626. 1997.

SALATI, E. 2006: Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI. In: *Relatório 4. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*. SBF/MMA. Brasília, setembro 2006.

SAMPAIO, G., NOBRE, C. A., COSTA, M. H., SATYAMURTY, P., SOARES-FILHO, B.S. & CARDOSO, M. 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, VOL. 34: L17709, doi: 10.029/2007GL030612.

SANTOS, C. A. C. Estimativas e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba, 2006, 98 p., Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

SANTOS, C. A., BRITO, J. I. B., Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.22, n.3, 303-312, 2007.

SANTOS, C. A., BRITO, J. I. B., RAO, T. V. R., E MENEZES, H. E. A., Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.1, 39-47, 2009

SATYAMURTY, P., CASTRO, A. A., TOTA, J., GULARTE, L.E.S., AND MANZI, A. O., Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades, *Theor. Appl. Climatol.* (2010)

SOFTWARE RClimdex: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>

STOTT, P. A., TETT, S. F. B., JONES, G. S., ALLEN, M. R., INGRAM, W. J., MITCHELL, J. F. B. Attribution of twentieth century temperature change to natural and anthropogenic causes. *Clim. Dynam.*, v.17, n.1, p.1-21, 2001.

SILVA DIAS, P. L., Antecedentes sobre outros aspectos regionais: Mudança no uso do solo, aerossóis e gases traço. **A Mudança no Clima na Bacia do Prata**. Capítulo X, 129-140, 2007.

TASCHETTO, A., WAINER, I. A influencia dos gases estufa no oceano atlântico sul: Variabilidade interanual. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.20, n.1, 105-120, 2005.

TETT, S. F. B., STOTT, P. A., ALLEN, M. R., INGRAM, W. J., MITCHELL, J. F. B. Causes of twentieth-century temperature change near the Earth's surface. *Nature*, v.399, n.6736, p.569-572, 1999.

TRENBERTH, K. E. & SHEA, D.J. 2006. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophysical Research Letters*, 33: L12704, doi: 10.1029/2006GL026894.

TUCCI, C. E. M. E BRAGA, B. Clima e Recursos Hídricos no Brasil, coleção *ABRH de Recursos Hídricos*, v. 9, 2003.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos. Brasília: ANA, 150 p. *Relatório técnico*, 2002.

VAL, A. L.; VERA, M. F. de A.V; FEARNSSIDE, P. M; SANTOS, G. M; PIEDADE, M. T. F; JUNK, W; NOZAWA, S. R; SILVA, S. T.; DANTAS, F.A.C. 2010. Amazônia: Recursos hídricos e sustentabilidade. In: J. Tundisi (Ed.) *Recursos Hídricos*. Academia Brasileira de Ciências (ABC) & Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), São Paulo. (in press).

WMO (1997) WMO statement on the Status of the Global Climate in 1996, WMO No. 858. Geneva: World Meteorological Organization.

www.cptec.inpe.br

8. ANEXOS

Tabela 4: Índices de chuva com suas definições e unidades. RR é o valor da precipitação diária. Um dia úmido tem $RR \geq 1$ mm e um dia seco tem $RR < 1$ mm.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR \geq 1$ mm)	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm/dia
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1$ mm	Dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1$ mm	Dias
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Máximo mensal de precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Máximo mensal de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
R50mm	Número de dias com precipitação acima de 50mm	Número de dias em 1 ano em que a precipitação ≥ 50 mm	Dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 95$ percentil	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação anual total em que $RR > 99$ percentil	

Tabela 5: Localização e período de disponibilidade dos dados utilizados das 3 estações.

LOCALIDADES	LAT.	LON.	INÍCIO	TÉRMINO
INMET	-3.21	-60.06	1971	2007
EMBRAPA	-2.86	-59.98	1971	2007
DUCKE	-2.91	-59.95	1971	2007

Tabela 6: Índices climáticos dependentes das temperaturas máxima e mínima diária, com suas definições e unidades.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
TXx	Máximo da Temperatura Máxima	Valor mensal máximo da temperatura máxima diária.	°C
TNxI	Máximo da Temperatura Mínima	Valor mensal máximo da temperatura mínima diária.	°C
TX90p	Dias Quentes	Número de dias com temperatura máxima acima do percentil 90.	Dias
TN90p	Noites Quentes	Número de dias com temperatura mínima acima do percentil 90.	Dias
DTR	Amplitude Diária de Temperatura	Diferença entre temperatura máxima e mínima.	°C
WSDI	Ondas de calor	Número de dias no ano, com pelo menos seis dias consecutivos, quando a temperatura máxima é maior que o percentil90.	Dias
TXn	Min Tmax	Valor mensal mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensal mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Cool nights (Noites frias)	Porcentagem de dias quando TN<10th percentil	Dias