

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**DISSERTAÇÃO**

**ÍNDICES DE MONITORAMENTO E DETECÇÃO DE MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL**

Marcos Renato Basilio Amorim

(Mestrando)

José Ivaldo Barbosa de Brito

(Orientador)

Campina Grande – PB

Junho de 2013

**MARCOS RENATO BASILIO AMORIM**

**ÍNDICES DE MONITORAMENTO E DETECÇÃO DE MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS REGIÃO SUDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Área de Concentração: **Meteorologia de Meso e Grande Escala**  
Subárea: **Climatologia**

Orientador: **Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito**

Campina Grande - Paraíba

Junho de 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

A524i Amorim, Marcos Renato Basilio.  
Índices de monitoramento e detecção de mudanças climáticas na região  
Sudeste do Brasil / Marcos Renato Basilio Amorim. – Campina Grande, 2013.  
88 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal  
de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2013.

"Orientação: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito".

Referências.

1. Índices Climáticos. 2. RClmDex. 3. Tendência Climática.
4. Umidade Relativa do Ar. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Título.

CDU 551.585 (043)

MARCOS RENATO BASILIO AMORIM

INDICES DE MONITORAMENTO E DETECÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27/03/2013

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS  
Departamento de Engenharia Civil  
Universidade Estadual de Paraíba

## **DEDICATÓRIA**

Dedico primeiramente a Deus, pela força, esperança e fé em sempre alcançar novos objetivos e vencer os desafios que surgem. Aos meus pais Eliete Basilio Amorim e José Carlos Amorim, por todo apoio, afeto e dedicação que me forneceram durante essa jornada. Aos meus irmãos e amigos que caminharam comigo durante esses dois anos de trabalho. Ao meu orientador, prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito, pelo aprendizado e crescimento profissional proporcionado neste tempo de convivência, do qual tenho a certeza que sem ele não poderia ser possível a conclusão deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq, pela bolsa concedida durante os dois anos desta pesquisa.

Ao INMET, pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da UFCG, pela oportunidade, e a todos os professores que contribuíram com o mesmo, em especial aos prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito por todo empenho e atenção durante o curso e na orientação deste trabalho.

Aos colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação, em especial a Everson, Lúcia Helena, Mainar, enfim, a todos que de alguma forma contribuíram com essa conquista.

Aos membros da banca examinadora, em particular ao prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti e ao prof. Dr. João Hugo Baracuy Campos pelas valiosas sugestões e correções propostas.

Aos meus pais, Eliete Basilio Amorim e José Carlos Amorim, e aos meus irmãos, Carlos Cesar, Flávia Juliana, Marta Renata, aos meus amigos, em especial, Adriano, Argemiro (pai e filho), Sergio, Socorro, João Victor, Flaviana, e aos meus sobrinhos, Francielly e Franciarley, pela confiança, apoio, atenção e carinho.

A todos que de alguma forma contribuíram com esse desfecho, a minha completa e sincera gratidão.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	I
<b>LISTA DE TABELAS</b>	II
<b>LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS</b>	III
<b>RESUMO</b>	V
<b>ABSTRACT</b>	VI
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	14
2.0 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos Específicos	16
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b>	17
3.1 Climatologia da região sudeste do Brasil	17
3.2 Análises de Tendência do clima na região sudeste do Brasil	17
3.3 Técnica dos Quantis no estudo do monitoramento do clima	19
3.4 Importância do Monitoramento da Umidade Relativa (30%)	20
3.5 Análise de Tendência de precipitação e da temperatura do ar em várias partes do globo	21
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	25
4.1 Área Geográfica de Estudo	25
4.2 Dados Meteorológicos	25
4.3 Metodologia	27
4.3.1 Cálculos dos Índices Climáticos Extremos	27
4.3.1.1 Dados de Entrada	28
4.3.1.2 Índices Climáticos Básicos de <b>ETCCDMI</b>	29

4.3.2 Técnica dos Quantis (Percentis)	34
4.3.2.1 Estimativa dos Quantis	35
4.4 Teste de Fischer	35
<b>5.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	41
5.1 Índices Climáticos do <b>ETCCDMI</b>	41
5.1.1 Índices de Precipitação	41
5.1.2 Índices de Temperatura do ar	46
5.1.3 Análise da variabilidade interanual e da tendência dos índices extremos da Precipitação	53
5.1.4 Análise da variabilidade interanual e da tendência dos índices extremos da temperatura do ar	64
5.15 Análise do Comportamento da Umidade Relativa do ar na região sudeste do Brasil	77
<b>6. CONCLUSÕES</b>	81
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	83



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Mapa do Brasil (Escala: 1: 435.000.000) com destaque para a região sudeste e mapa da região sudeste ( Escala: 1:40.000.000)	25
Figura 3.2	Cálculo por interpolação linear para o quantil $Q_p$	37
Figura 4.1	Variabilidade interanual e tendência para os índices climáticos: a) <b>RX1day</b> , b) <b>RX5day</b> , c) <b>R10mm</b> e d) <b>SDII</b> para a localidade de Belo Horizonte	52
Figura 4.2	Variabilidade interanual e tendência para os índices climáticos: a) <b>R20mm</b> , b) <b>R50mm</b> , c) <b>CDD</b> e d) <b>CWD</b> para a localidade de Belo Horizonte	54
Figura 4.3	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>R95p</b> , b) <b>R99p</b> e c) <b>PRCPTOT</b> para Belo Horizonte	55
Figura 4.4	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>RX1dia</b> , b) <b>RX5dia</b> , c) <b>SDII</b> e d) <b>R10mm</b> para a localidade São Carlos	56
Figura 4.5	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>R20mm</b> , b) <b>50mm</b> , c) <b>CDD</b> e d) <b>CDW</b> para a localidade São Carlos	58
Figura 4.6	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>R95p</b> , b) <b>R99p</b> e c) <b>PRCPOT</b> para São Carlos	59
Figura 4.7	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos a) <b>RX1dia</b> , b) <b>RX5dia</b> , c) <b>R10mm</b> e d) <b>SDII</b> para a localidade Campos	60
Figura 4.8	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>R20mm</b> , b) <b>R50mm</b> , c) <b>CDD</b> e d) <b>CDW</b> para a localidade Campos	62
Figura 4.9	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>R95p</b> , b) <b>R99p</b> e c) <b>PRCPTOT</b> para a localidade Campos	64
Figura 4.10	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>TNx</b> , c) <b>TXn</b> , d) <b>TNn</b> e d) <b>TXx</b> para a localidade Belo Horizonte	66
Figura 4.11	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>TN10p</b> , b) <b>TX10p</b> , c) <b>TN90p</b> , d) <b>TX90p</b> para a localidade Belo Horizonte	68
Figura 4.12	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>TNx</b> , b) <b>TXn</b> , c) <b>TNn</b> e d) <b>TXx</b> para a localidade São Carlos	70
Figura 4.13	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>TN10p</b> , b) <b>TX10p</b> , c) <b>TN90p</b> e d) <b>TX90p</b> para a localidade São Carlos	72
Figura 4.14	Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) <b>TNx</b> , b) <b>TXn</b> , c) <b>TNn</b> e d) <b>TXx</b> para a localidade Campos	74

Figura 4.15 Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **TN10p**,  
b) **TX10p**, c) **TN90p** e d) **TX90p** para a localidade Campos

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Número de estações meteorológicas do INMET, cujos dados estão listados abaixo	26
Tabela 3.2	Número de estações meteorológicas do INMET, cujos dados estão listados abaixo	40
Tabela 4.1	Tendências e seus respectivos valor- <i>p</i> dos índices extremos de precipitação para 21 estações meteorológicas da região sudeste do Brasil	44
Tabela 4.2	Número de localidades por nível de significância para cada um dos índices de extremo de precipitação extraídos da Tabela 4.1	45
Tabela 4.3	Tendências e seus respectivos valor- <i>p</i> dos índices extremos de temperatura do ar 21 estações meteorológicas da região sudeste do Brasil	49
Tabela 4.4	Número de localidades por nível de significância para cada um dos índices de extremo de temperatura do ar extraído da Tabela 4.2	50
Tabela 4.5	Percentis de ordem 15, 35, 50, 65 e 85 e a média da umidade relativa do ar (%) observada as <b>18Z</b> em quatro localidades da região sudeste para os meses de janeiro e julho no período de 1961 a 2009	78
Tabela 4.6	Percentual de dias do total de dias de cada período com umidade relativa do ar inferior a 30% e superior a 80% para dois períodos distintos	79
Tabela 4.7	Percentuais do número de dias em que a umidade relativa foi inferior aos quantis <b>Q15</b> , <b>Q35</b> , <b>Q50</b> , <b>Q65</b> e <b>Q85</b> para o primeiro período (1961 – 1983) e o segundo período (1988 – 2009).	80

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

### SIGLAS

**ASCII** - American Standard Code for Information Interchange

**AOO** – A Oscilação Antártica

**CDD** - Dias consecutivos secos – ConsecutiveDryDays

**CWD** - Dias consecutivos úmidos – ConsecutiveWetDays

**DTR** - Máxima variação da temperatura em um dia no mês

**ES** – Espírito Santo

**ETCCDMI** - Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices

**INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia

**MG** – Minas Gerais

**PRCPTOT** - Precipitação total anual dos dias úmidos

**RJ** - Rio de Janeiro

**R10mm** - Número de dias úmidos

**R20mm** - Número de dias muito úmidos

**Rnnmm** - Número de dias acima de nn mm

**RX1dia** - Quantidade máxima de precipitação em um dia

**RX5dia** - Quantidade máxima de precipitação em cinco dias

**R<sub>95p</sub>** - Dias muito úmidos

**R<sub>99p</sub>** - Dias extremamente úmidos

**SDII** - Índice simples de intensidade diária

**SP** – São Paulo

**TN<sub>n</sub>** - Menor temperatura mínima

**TN<sub>x</sub>** - Maior temperatura mínima

**TX<sub>n</sub>** - Menor temperatura máxima

**TX<sub>x</sub>** - Maior temperatura máxima

**TN<sub>10p</sub>** - Valor do 10° percentil das temperaturas mínimas diárias em um ano

**TN<sub>90p</sub>** - Valor do 90° percentil das temperaturas mínimas diárias em um ano

**TX<sub>10p</sub>** - Valor do 10° percentil das temperaturas máximas diárias em um ano

**TX<sub>90p</sub>** - Valor do 90° percentil das temperaturas máximas diárias em um ano

**UTC** - Coordenada Universal de Tempo

**ZCAS** - Zona de Convergência do Atlântico Sul

## **SÍMBOLOS**

**mm** – Milímetros

**%** - Porcentagem

**°C** – Graus Celsius

**m** – Metro

## RESUMO

O presente trabalho de mestrado teve como objetivo principal estimar e analisar índices extremos diários de precipitação e de temperatura do ar máxima e mínima e verificar tendência da umidade relativa do ar para região sudeste do Brasil. Para tanto calculou-se os índices de extremos climáticos definidos por um grupo de trabalho denominado de **ETCCDMII** pela Organização Meteorológica Mundial. Utilizou-se dados diários de precipitação, temperaturas do ar máximas e mínimas e umidade relativa do ar (observada as 18 UTC- Coordenada Universal de Tempo) oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (**INMET**) de vinte e uma estações convencionais localizadas nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Os dados apresentaram qualidade confiável e abrangem toda a área de estudo. Em relação aos índices baseados nas temperaturas máximas e mínimas diárias, de forma geral, apresentaram homogeneidade na distribuição espacial das tendências positivas/negativas (aumento/diminuição). Observou-se uma elevação das temperaturas mínimas e máximas na região, os índices que apontaram diminuição foram número de noites e dias frios. Por outro lado, os índices baseados na precipitação diária não apresentaram padrão homogêneo da distribuição espacial das tendências. Apenas os índices **PRCPTOT**, **R20mm**, **R99p** e **SDII** apresentaram predomínio de tendências positivas (aumento), mesmo assim sem significância estatística na maioria das estações. De um modo geral, observou-se uma diminuição da umidade relativa do ar em toda Região. Isto é um sinal de alerta forte, pois os **Q<sub>15</sub> (P<sub>15</sub>)** das localidades do interior estão próximos dos valores mínimos considerados críticos para a saúde humana que é de 30%.

**PALAVRAS CHAVES:** índices climáticos, RClimDex, tendência climática, umidade relativa do ar.

## ABSTRACT

This master thesis aimed to estimate and analyze indexes extreme daily rainfall and air temperature maximum and minimum trend and check the relative humidity to southeastern Brazil. Therefore we calculated the indices of climate extremes defined by a working group called **ETCCDMI** the World Meteorological Organization. We used daily data of precipitation, air temperature and maximum and minimum relative humidity (observed the 18-UTC Coordinated Universal Time) from the National Institute of Meteorology (**INMET**) twenty one conventional stations located in the states of Minas Gerais, Rio de Janeiro and Sao Paulo. The data showed reliable quality and cover the entire study area. In relation to indices based on daily maximum and minimum temperatures, in general, showed homogeneity in the spatial distribution of the trends positive / negative (increase / decrease). There was a rise in minimum and maximum temperatures in the region, the indexes that were pointed decreased number of cold days and nights. Moreover, the indices based on daily precipitation did not show **homogeneous pattern of spatial distribution of trends. Only indexes PRCPTOT, R20mm, R99p and SDII** showed a predominance of positive trends (increase), yet not statistically significant at most stations. In general, we observed a decrease of the relative humidity throughout the region. This is a strong warning sign, because the **Q<sub>15</sub> (P<sub>15</sub>)** of the interior locations are close to the minimum values that are critical to human health is 30%.

**Keywords:** climate indices, RCLimdex, climate trends, relative air humidity.

## 1. INTRODUÇÃO

A região sudeste do Brasil situada entre os paralelos de 14° 14'S e 25°19'S e os meridianos de 53°7'W e 39°40'W compreende os estados de Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, grande parte das atividades econômicas do país se concentra nesta região, nela também há um expressivo número de habitantes que corresponde a 41,8% do total do país, conforme o censo de 2009. Devido a estes fatores o monitoramento das condições climáticas da região sudeste é útil na implementação de ações que visem o melhoramento da qualidade de vida local, pois a variabilidade do clima pode afetar diretamente e/ou indiretamente algumas atividades sócio-econômicas importantes como, a agropecuária, o abastecimento urbano (residência, comércio, serviços e indústria) e a geração de energia elétrica, o lazer e o turismo.

A região sudeste ocupa uma área com 924.935 Km<sup>2</sup>, sendo a quarta maior do país. Entretanto, apresenta uma grande diversidade de atributos geofísicos, concede-lhe uma posição geográfica privilegiada, que é localizar-se na borda oriental da América do Sul, atravessada pelo Trópico de Capricórnio e com a maior parte de suas terras nos trópicos. Logo, é uma área que recebe uma quantidade relativamente elevada de radiação solar e de acordo com Hartmann (1994) o balanço anual de radiação solar e terrestre sobre o sudeste do Brasil apresenta um saldo positivo de 40 W.m<sup>-2</sup>, no verão de dezembro a fevereiro, o saldo é de 120 W.m<sup>-2</sup>. Portanto, em se tratando de um estudo climatológico, pode-se perceber que essa quantidade de energia disponível ao longo do ano, permite uma evaporação elevada em setores com disponibilidade de água e umidade do ar relativamente baixa, como é o caso das áreas mais ao norte da região. Desta forma a região sudeste, mais do que qualquer outra do país, apresenta variada gama de regimes climáticos, tais como semiárido, tropical chuvoso e subtropical. Devido a essas condições a região apresenta uma vantagem natural, que é a presença de grandes potencialidades pelas inter-relações que se estabelecem entre seus variados domínios geomorfológicos, tipos climáticos e biodiversidade (NUNES et al., 2009).

Por ter uma grande área nos trópicos a precipitação é uma variável meteorológica de grande importância para a região sudeste. Entretanto, devidos às características topográficas, geomorfológicas e, principalmente, climáticas a



precipitação na região apresenta uma configuração espacial e temporal irregular produzida pela atuação de muitos sistemas de tempo, entre eles os sistemas frontais austrais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (**ZCAS**). Além da precipitação, a temperatura do ar também é uma variável importante e deve ser estudada, assim como, a umidade do ar nas áreas mais continentais como a porção centro-oeste do estado de São Paulo e todo estado de Minas Gerais.

Neste trabalho são analisadas as variabilidades interanuais e as tendências de índices extremos da precipitação e das temperaturas do ar máximas e mínimas para a região sudeste do Brasil. Também é feita uma análise do comportamento da umidade relativa do ar da região, no período de 1961 a 2009, fazendo uso da técnica dos quantis.

É importante informar que o uso dos quantis no monitoramento regional e estadual da precipitação vem sendo realizado por alguns órgãos públicos estaduais e nacionais. Entretanto, o uso desta técnica para monitoramento da temperatura ou umidade do ar ainda não foi testada. Portanto, é oportuno que trabalhos com o objetivo de monitorar a temperatura e umidade do ar usando graus de classificação sejam realizados.

Como o Brasil é um país com grande área nos trópicos e com clima variando do semiárido ao hiperúmido é de se esperar que a variável climática de maior repercussão seja a precipitação. Além disso, o monitoramento em escala regional, estadual e local de índices de seca pode ser útil a vários propósitos, tais como: fornecer às autoridades de planejamento uma ideia do grau de anormalidade relativa das condições do tempo e do clima na região; definir as melhores épocas de semeadura e avaliar as disponibilidades hídricas do solo; verificar a eficiência do sistema de abastecimento de água para os reservatórios (AZEVEDO e SILVA, 1994). O índice de seca tem sido utilizado com sucesso na caracterização da severidade das secas nos Estados Unidos (PALMER, 1965), no Canadá (AKINREMI et al., 1996), na Europa (BRIFFA et al., 1994), em latitudes temperadas, e na Austrália (KOTHAVALA, 1999) e no Brasil (ASSIS et al., 1997), nos trópicos. Portanto, os novos campos de ação para monitoramento climático devem ser as temperaturas máximas e mínimas e a umidade relativa do ar.

## 2.0. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Neste contexto tem-se como objetivo geral estimar e analisar índices extremos de precipitação e temperatura do ar e verificar tendências da umidade relativa do ar para Região Sudeste do Brasil.

### 2.2 Objetivos Específicos

Para isso se faz necessário atingir objetivos específicos, tais como:

Estimar as tendências de dias consecutivos secos, de dias consecutivos úmidos, e dias consecutivos muito úmidos, da precipitação total anual, número de dias no com precipitação diária superiores a 10 mm/dia, 20 mm/dia e 50 mm/dia.

Quantificar as tendências da maior chuva diária em um ano e a maior chuva em cinco dias consecutivos em um ano.

Computar as tendências de número de dias em um ano com precipitação diária superior aos percentis  $P_{95}$  e  $P_{99}$  da precipitação diária no período de 1961 a 2009.

Calcular as tendências das maiores temperaturas do ar máximas e mínimas, das menores temperaturas do ar máximas e mínimas em um ano e da maior amplitude térmica diária em um ano.

Estimar os percentis  $P_{10}$  e  $P_{90}$  quantis  $Q_{15}$ ,  $Q_{35}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{65}$  e  $Q_{85}$  da umidade relativa do ar para o período de 1961 a 2009.

Verificar tendências da umidade relativa do ar usando os quantis em diferentes períodos.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Climatologia da Região Sudeste do Brasil**

A região sudeste do Brasil apresenta uma climatologia diversificada, pois é uma área que se encontra entre o nordeste semiárido com vegetação de caatinga, ao norte, o sul subtropical temperado como floresta de Araucárias e Pradaria, ao sul, o Oceano Atlântico, ao leste e o centro oeste dominado pelo cerrado e pantanal, ao oeste. Além destas características a climatologia da região Sudeste também é influenciada pela sua própria topografia, pela configuração e a disposição do relevo, que são aspectos importantes para uma maior compreensão das diversidades climáticas da região.

No estudo da climatologia da região sudeste também merece destaque a maritimidade/continentalidade, que afeta as condições de temperatura e a umidade, da mesma forma que a sua topografia, que por ser acidentada ocasiona turbulência constante.

De um modo geral, o período chuvoso da região sudeste do Brasil ocorre de outubro a março. Estudos observacionais mostraram que nesses seis meses são registrados mais de 80% do total anual das chuvas (ALVES et al., 2002; PAIVA 1997).

#### **3.2 Análises de tendência do clima no Sudeste do Brasil**

No Brasil análise de tendência de clima começa a ganhar destaque, preocupação a partir de 1970, ocasionados pela intensificação do processo de urbanização e industrialização no país. Os centros urbanos onde a urbanização e industrialização tem maior evidência começam a sentir os efeitos negativos dos elementos climáticos (SANT'ANNA NETO et al., 2005).

Na região sudeste do Brasil as alterações no clima podem ser relacionadas a essas novas conjunturas que se estabeleceu nos centros urbanos, requerendo um maior planejamento e cuidados para que não afetem a qualidade de vida da população (Ambrizzi e Dufek, 2005).

O homem ao começar a interferir no espaço urbano ocasiona inúmeras consequências, no meio ambiente afetando a qualidade de vida da população, dessa forma há a necessidade de estudos sobre climatologia urbana do país, com o objetivo de avaliar se há relação entre os elementos do clima e os possíveis efeitos negativos nas regiões. No entanto, os estudos realizados são destinados a áreas específicas, de forma que fornece apenas medidas a serem tomadas para aquele determinado local, não podendo ser aproveitado para outros, isto é devido às características de cada área (AMBRIZZI e DUFEK et al., 2005 ).

O desmatamento de áreas ocasionado pelo homem assim também como a poluição, principalmente nos grandes centros urbanos, afeta diretamente o clima, gerando problemas nas variáveis meteorológicas, alterando os valores e consequentemente provocando problemas de saúde.

É necessário um estudo climatológico para o planejamento e a gestão das cidades, principalmente ao observarmos que as atividades da população causam interferências nas mudanças dos elementos do clima provocando alterações no meio ambiente.

De acordo com Molion et al (2008) a análise de tendência do clima no Sudeste do Brasil como em qualquer outra região precisa que sejam feito estudos com intervalos amplos e com 30 a 40 anos de dados para que muitos resultados possam ser aproveitados, devido a um fator extremamente importante o tempo. Fator este que não apresenta um comportamento constante e sim costuma apresentar bastante variação devido às mudanças que ocorrem, mudanças essas que podem ser ocasionadas tanto pelo homem como mudanças naturais que ocorre devido há alguns processos físicos.

Existem algumas atividades que necessitam da análise de tendência do clima, como por exemplo, a agricultura, a geração de energia elétrica, os sistemas de abastecimento de água residencial, comercial e industrial e a defesa civil, entre outras.

Há métodos que podem ser utilizados para a análise de tendência de clima, como por exemplo, os métodos estocásticos e os modelos de simulação, o primeiro trata-se de um método estatístico que pode identificar possíveis ciclos, como também periodicidade nas séries temporais longas de dados observados, filtrados ou não, e os projetam para o futuro. Porém há um aspecto que deve ser considerado, esses métodos são baseados na hipótese de estacionariedade das séries de dados e, portanto, apresentam um problema,

não levam em conta que o clima se comporta de forma variável característica da sua própria natureza (MOLION, 2008). Já o segundo método que faz uso de equações da Dinâmica e da Termodinâmica mesmo sendo dependente do fator tempo também apresenta problemas devido a não representar adequadamente os processos físicos diretos e realimentação.

O método estatístico para análise de tendência de clima tem sua importância, no entanto, ele enfrenta problemas ocasionados às previsões realizadas, isso porque em alguns casos as previsões estão corretas e em outras não. Entretanto, pode ser uma ferramenta extremamente útil em diagnósticos de tendências já ocorridas (MOLION et al., 2008).

Neste trabalho utilizou-se o RCLimDex para analisar as tendências de índices de extremos climáticos baseados em dados diários de precipitação e temperatura máxima e mínima. Portanto, se faz necessário citar alguns artigos que utilizaram o RCLimDex como uma ferramenta de estudos de diagnósticos sobre mudanças climáticas, principalmente, aqueles que estimaram índices de extremos climáticos, tanto em escala continental, como Haylock et al., 2006 que estimaram índices para a América do Sul, exceto Colômbia, Venezuela, e Suriname; bem como aqueles que realizaram trabalho de escala regional: Santos e Brito (2007) para os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, Araújo et al., 2009 para Bahia e Sergipe; e Santos (2011) para o estado de Utah, nos Estados Unidos da América, mostrando o interesse de grupos de pesquisa em monitorar possíveis mudanças climáticas que ocorram em alguma parte do globo.

### **3.3 Técnicas dos quantis no estudo do monitoramento do clima**

Vários estudos estão sendo desenvolvidos aplicando esta técnica, tanto pela sua simplicidade como pela sua imunidade a assimétrica, o que a torna uma ferramenta importante para tratamentos de medidas numéricas em diversos campos de estudo. Em meteorologia, essa técnica se aplica de forma bastante ampla no conjunto de variáveis meteorológico-climáticas, como precipitação, temperatura, pressão atmosférica, velocidade do vento, etc.

Outras vantagens oriundas dessa técnica, é que além de possuir uma extrema simplicidade conceitual, proporciona uma interpretação precisa em termos

probabilísticos ou também das distribuições empíricas de frequências associadas, como também, os quantis podem ser estimados diretamente a partir dos dados empíricos, embora também possam ser determinados via modelo teórico ajustados aos dados. É um emprego seguro e imune a falsas interpretações, portanto é recomendável à avaliação de déficit ou de superávit pluviométrico em trabalhos de monitoramento de chuva e, finalmente, também para avaliação da qualidade de métodos de previsão.

A técnica dos quantis é uma técnica diagnóstica de precisão e eficácia cientificamente comprovada que permite a classificação e análise da distribuição de precipitação, de temperaturas mínimas e máximas e da umidade relativa e de outras variáveis meteorológicas ou climáticas (SCHNEIDER et al., 2006; ITO et al., 2006; VILLELA et al., 2006; MARQUARDT et al., 2006; COELHO et al., 2006).

### **3.4 Importância do monitoramento da umidade relativa (30%)**

A umidade relativa do ar está relacionada diretamente com outros elementos meteorológicos, como também é fundamental no planejamento, manejo e gestão dos recursos hídricos. A sua utilização é fundamental em diversas subáreas da meteorologia como em estudos bioclimatológicos, agrometeorológicos e hidrológicos (AMORIM et al., 2001; BELTRÃO et al., 2003; TURCO et al., 2006).

A presença de valores extremos de umidade relativa, quando combinados com outras variáveis meteorológicas como, por exemplo, baixas temperaturas, chuvas fortes e ventos intensos, podem acarretar problemas sérios de saúde (LOWEN et al., 2007).

Além da saúde valores extremos de umidade relativa podem causar prejuízos em muitos outros setores, principalmente no setor agrícola, por isso é essencial à aplicação de equações para o cálculo da umidade relativa do ar. Desta maneira é necessária a utilização de métodos de estimativa dessa variável meteorológica, com a finalidade de um estudo que possa fornecer informações se esses valores estão dentro do permitido para não ser prejudicial à vida das pessoas (ARUNDEL et al., 1986).

Para Ayoade (2006) o vapor de água é geralmente medido como umidade relativa ou percentagem de vapor de água não pode ser comparada para o nível de saturação, normalmente não é considerado como sendo uma causa de problemas de saúde. Na verdade, algum nível de umidade é necessário para o conforto. Por outro lado,

a umidade relativa do ar de ambientes interiores (acima da faixa de temperaturas internas de 19 a 27°C, tem efeitos diretos e indiretos sobre a saúde). Os efeitos diretos são o resultado da umidade relativa em processos fisiológicos, enquanto que os efeitos indiretos têm seu impacto sobre organismos patogênicos ou substâncias químicas.

Por um lado Arundel et al., 1986 descrevem que a umidade relativa muito baixa ou alta pode causar algum desconforto físico, ela afeta diretamente a percepção da temperatura. Extremamente baixa (abaixo de 20%) a umidade relativa pode causar irritação ocular e níveis moderados ou elevados de umidade têm sido utilizados para reduzir a gravidade da asma.

Por outro lado Arundel et al., 1986 relatam que a umidade relativa do ar interfere diretamente na saúde de uma população, isto é devido aos valores que o ser humano pode suportar, existem casos em que a umidade relativa deve ser mantida acima de 30% e 40% porque valores abaixo podem ocasionar problemas nasais, ressecando as membranas mucosas. Outro fator importante ocorre quando há a combinação de valores altos de umidades com altas temperaturas que pode causar desconforto, diminuir a taxa de evaporação do corpo, levar a exaustão de calor, derrame e possivelmente a morte. Para amenizar efeitos da umidade relativa do ar sobre a saúde é aconselhável que a umidade do ar esteja entre 40% e 60%.

No Brasil os órgãos operacionais de meteorologia ainda não despertaram para um monitoramento mais efetivo da umidade relativa. Mesmo sabendo que esta variável pode afetar as culturas agrícolas, o conforto dos animais e a saúde das pessoas. Por isso se faz necessário um monitoramento efetivo objetivando mitigar o efeito prejudicial da umidade relativa do ar.

### **3.5 Análise de tendência de precipitação e da temperatura do ar em várias partes do globo**

No final da década de 1990 vários workshops desenvolveram índices para analisar extremos climáticos. Com o objetivo de criar um conjunto de índices que poderiam ser calculados para uma variedade de climas e possibilitar a comparação entre regiões. Como resultados, 27 índices de mudanças climáticas, derivados de dados diários de temperatura e precipitação, foram identificados (ZIN et al., 2009). Desta

forma tornou-se possível, análises de tendência de precipitação e temperatura do ar, para a precipitação registraram-se por meio desses índices climáticos dias secos, dias muito úmidos, dias extremamente úmidos, ou seja, dias com ocorrências de chuvas intensas e extremas, ou dias em que não se registraram maior concentração de chuvas. Para a temperatura verificaram-se dias em que ocorreram valores muito altos e outros muito baixos, caracterizando, assim, dias mais quentes e dias mais frios.

Para a ocorrência das temperaturas é dada maior ênfase devido à maior variação apresentadas para as temperaturas registradas, em contrapartida, os extremos de precipitação são menos relevantes.

O estudo da mudança climática usando extremos climáticos pode ser combatido com um conjunto de índices adequados que descrevem completamente os extremos de variáveis climáticas (SANTOS et al., 2012).

Zhang et al (2011) descrevem os progressos recentes na atribuição das mudanças observadas nos índices de extremos climáticos que demonstram a influência humana sobre o aumento da probabilidade de episódios de tempo extremos. Além disso, também mostram as projeções destes índices para o futuro e impuseram uma discussão sobre os esforços em curso para aperfeiçoar os índices de extremos climáticos objetivando aumentar a confiabilidade dos modelos na previsão de cenários futuros do clima.

King et al. (2013) calcularam índices extremos de precipitação de conjunto de dados diários em grade de  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  e compararam com os obtidos de 119 estação com dados extremamente confiáveis distribuídas por toda a Austrália. Séries estatísticas foram calculadas e analisadas para uma seleção de índices extremos que representam a frequência e intensidade de eventos de chuva intensa, e sua contribuição para a precipitação total. Observou-se que o conjunto de dados em grade tende a subestimar a intensidade de eventos extremos de chuva e a contribuição desses eventos para o total de precipitação anual, bem como superestimar a frequência e intensidade de eventos com poucas chuvas. De acordo com os autores o conjunto de dados interpolados capta a variabilidade interanual dos índices de extremos. A extensão espacial das tendências da frequência de eventos extremos de precipitação também é reproduzida em algum grau. É provável que em áreas de baixa densidade de estação, os conjuntos de dados em grade, em geral, não funciona tão bem. Portanto, o cuidado deve ser exercido quando se examina as tendências e variabilidade nessas regiões. A metodologia utilizada por King



et al. (2013) para examinar chuvas extremas sobre Austrália usando um conjunto de dados em grade, podem ser aplicados a outras áreas do globo. Embora, o estudo de King et al. (2013) indica-se que, em geral, os conjuntos de dados em grade pode ser utilizada para investigar as tendências a variabilidade de extremos de precipitação, os dados devem primeiro ser testado comparando com os de uma estação meteorológica confiável.

Renom et al. (2011) analisaram as mudanças na relação entre os eventos extremos de temperatura e circulação atmosférica em grande escala antes e depois da mudança climática de 1976. Para fazer isso, primeiro construíram um conjunto de dois índices de temperatura que descrevem a ocorrência de noites quentes (**TN90p**) e noites frias (**TN10p**) com base em dados de temperatura mínima diária observada no período que de 1946-2005 e, em seguida, dividiu o período em dois de 30 anos cada. Um de 1946 a 1975 e o outro de 1976 a 2005. As análises foram concentradas nas estações de verão (**TN10p**) e inverno (**TN90p**). Durante o verão austral antes de 1976 a variabilidade interanual de noites frias foi caracterizada por uma fase negativa da Oscilação Antártica (**AAO**), com uma anomalia ciclônica centrada no interior do Uruguai, que favoreceu a entrada de ar frio do sul. Depois de 1976 noites frias não estão associados com a **AAO**, mas com um vórtice isolado em atos níveis troposféricos ao longo do sudeste da América do Sul. Durante o inverno austral antes de 1976, o fenômeno El Niño dominou a variabilidade interanual de noites quentes através de um aumento no fluxo de ar quente do norte para o Uruguai. No entanto, após 1976, a conexão com o El Niño é enfraquecida e a variabilidade de noites quentes é dominada por uma anomalia anticiclônica barotrópica localizada no Atlântico Sul e um centro de baixa pressão sobre a América do Sul. Esta configuração também fortalece o fluxo de ar quente do norte para o Uruguai. Os resultados obtidos por Renom et al. (2011) sugerem que as mudanças na evolução do El Niño evolução após 1976 podem ter desempenhado um papel na alteração da relação entre eventos extremos de temperatura no Uruguai e da circulação atmosférica.

Utilizando a metodologia de índices de extremo climático do **ETCCDMI** e dados diários de precipitação e temperatura do ar, para o período de 1971 a 2005, Caesar et al. (2011) estimaram os índices para 13 países da região do Indo-Pacífico. Os resultados obtidos por Caesar et al. (2011) foram semelhantes aos encontrados para

outros lugares ao redor do mundo que os extremos quentes, especialmente à noite, estão aumentando e os extremos frios estão diminuindo. Em comparação com as tendências obtidas para a temperatura do ar que apresentam uma configuração quase homogênea para toda região os extremos de precipitação são menos espacialmente coerente em toda a região.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área Geográfica de Estudo

A área de estudo é a região Sudeste do Brasil situado entre os paralelos de  $14^{\circ}$   $14'S$  e  $25^{\circ}19'S$  e os meridianos de  $53^{\circ}7'W$  e  $39^{\circ}40'W$ . Mostrada na Figura 3.1.



Figura 3.1 – Mapa Brasil (Escala: 1:435.000.000 ) com destaque para região sudeste e mapa da região sudeste (Escala: 1:40.000.000).

### 4.2 Dados Meteorológicos

Foram utilizados dados diários de temperatura do ar máxima e mínima, umidade relativa do ar e totais diários de precipitação de janeiro de 1961 a dezembro de 2009. Estas informações são provenientes de 21 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), espacialmente distribuídas na região sudeste do Brasil. Ressalta-se que nos estudos climáticos de algumas regiões existam alguns problemas que prejudicam o levantamento e obtenção de algumas variáveis meteorológicas isso é devido à escassez de dados como também a extensão territorial da região, esses aspectos interferem na realização de um estudo mais detalhado, (SEDIYAMA e MELO JUNIOR

et al., 1998). Entretanto, para os propósitos do presente trabalho as 21 localidades mostram-se satisfatórias.

Tabela 3.1. Onde observam-se as estações meteorológicas do **INMET**, cujos dados estão listados abaixo.

<b>ESTAÇÃO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>ALTITUDE (m)</b>
<b>Aimores – MG</b>	83595	-19,50	-41,06	193
<b>Araguai – MG</b>	83442	-16,83	-42,05	289
<b>Arinos – MG</b>	83384	-15,92	-46,10	519
<b>Belo Horizonte – MG</b>	83587	-19,88	-43,97	869
<b>Capinópolis – MG</b>	83514	-18,72	-49,55	620
<b>Diamantina – MG</b>	83538	-18,23	-43,65	1000
<b>Machado – MG</b>	83683	-21,68	-45,94	873
<b>Montes Claros – MG</b>	83437	-16,72	-43,87	646
<b>Paracatu – MG</b>	83483	-17,24	-46,88	712
<b>Patos de Minas – MG</b>	83531	-18,52	-46,43	940
<b>Pirapora – MG</b>	83483	-17,26	-44,83	503
<b>Uberaba – MG</b>	83577	-19,73	-47,95	737
<b>Angra dos Reis – RJ</b>	83788	-23,01	-44,31	3
<b>Campos – RJ</b>	83698	-21,71	-41,34	25
<b>Resende – RJ</b>	83738	-22,45	-44,44	452
<b>Rio de Janeiro – RJ</b>	83743	-22,99	-43,19	45
<b>Catanduva – SP</b>	83676	-21,12	-48,93	570
<b>Franca – SP</b>	83630	-20,58	-47,38	1000
<b>Presidente Prudente – SP</b>	83726	-22,12	-51,40	436
<b>São Carlos – SP</b>	83736	-21,98	-47,88	863
<b>São Simão – SP</b>	83669	-21,48	-47,55	617

### 4.3 Metodologia

No presente trabalho o estudo das tendências de índices climáticos extremos derivados de totais diários de precipitação e da temperatura do ar máxima e mínima diárias são estimados no programa RClimDex. Enquanto, os cálculos dos quantis  $Q_{15}$ ,  $Q_{35}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{65}$  e  $Q_{85}$  das temperaturas do ar máximas e mínimas e da umidade relativa do ar mensal, para o estudo do monitoramento dessas variáveis, são obtidos por meio das Técnicas dos Quantis. Portanto, a seguir são descritos como são estimados os índices extremos utilizando-se o programa RClimDex e calculados os quantis.

#### 4.3.1 Cálculo dos índices climáticos extremos

Nesse estudo se fez necessária a utilização de um software para calcular índices climáticos. Desta forma, foi usado o RClimDex 2.0 que permite a geração desses índices.

O RClimDex é um software utilizado para a geração de índices climáticos devido ao tratamento que o mesmo aplica aos dados, ao inserir os valores no qual se faz o estudo. Este software é capaz de identificar os comandos que lhe são fornecidos e processar os dados, seu uso é de extrema importância por ser um software de fácil aplicação e manuseio.

De início, antes de inserir os dados é necessário seguir algumas recomendações para que o software funcione corretamente:

I) - Primeiro deve-se observar se há dados faltosos, havendo dados desse tipo se faz necessário utilizar o valor -99,9, desta forma o software reconhece tratar-se de um dado indisponível, assim ele substituirá todos os dados faltosos por esse valor e em seguida nos fornecerá o índice desejado.

II) - A existência de dados inaceitáveis também pode prejudicar o processamento dos dados, desta forma é necessário a utilização do valor -99,9 para substituir esses dados. Utilizamos esse procedimento porque às vezes aparecem valores para os índices que são absurdos, como por exemplo, valores de temperatura mínima

maior que a temperatura máxima, ou valores extremos para os índices, esses valores podem interferir no cálculo estatístico do RClimDex.

#### 4.3.1.1 Dados de entrada

Antes de inserir os dados no RClimDex, deve-se observar se esses valores estão representados em uma forma padrão, esta forma padrão exige alguns cuidados para o perfeito funcionamento do software.

- I) É necessário inserir arquivo de texto **ASCII** (American Standard Code for Information Interchange);
- II) As colunas devem representar uma sequência na seguinte forma: Ano, Mês, Dia, Precipitação, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima (Nota: a unidade para precipitação é milímetro (**mm**) e a unidade para temperatura é grau Celsius (°C));
- III) É preciso que as colunas estejam espaçadas (isto é, entre cada coluna deve haver um ou mais espaços);
- IV) Na gravação dos dados devem-se decodificar os dados faltosos representados pelo valor -99.9; os dados inseridos no programa devem obedecer a uma ordem cronológica (CANADIAN INTERNATIONAL DEVELOPMENT AGENCY, 2004).

Um exemplo dos dados inseridos no RClimDex seria:

1961	1	01	0,0	24,9	18,5
1961	1	02	97,0	22,7	19,7
1961	1	03	99,0	28,5	17,8
1961	1	04	89,0	27,2	18,7

Desta forma identifica-se que na primeira linha temos o seguinte significado que no dia 1 de janeiro de 1961 não houve registro de precipitação, e os valores obtidos foram 24,9°C, para a temperatura máxima e 18,5°C para a temperatura mínima. Usa-se o mesmo raciocínio para as outras linhas. Neste exemplo, pode-se ainda verificar que não houve nenhum valor extremo ou indisponível, isto porque não foi identificada a presença do valor -99,9; que indica dados faltosos.

#### 4.3.1.2 Índices climáticos básicos do ETCCDMI

Com a necessidade de facilitar o estudo das mudanças climáticas ocorridas ao longo dos anos, foi preciso definir índices anuais para a representação dessas mudanças, acessando o site <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/index.shtml> pode-se obter todas as informações necessárias a respeito desses índices. Esses índices têm por base valores diários de temperatura e precipitação (FRISSCH, 2002).

Foram criados 27 índices pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI), os eventos extremos e eventos raros não são utilizados no estudo, isto ocorre porque esse tipo de dados interfere nas operações estatísticas e também nas tendências; esses eventos não apresentam importância significativa para os cálculos dos índices, isto é devido a esse tipo de dado não aparecer em quantidade significativa nos registros históricos.

No presente estudo não utilizou-se os 27 índices disponíveis, porque não houve a necessidade para a realização desta pesquisa, pois entres os índices alguns são próprios para as latitudes altas e médias. A seguir são mostrados como são estimados os índices que podem ser calculados para os trópicos e sub-trópicos, os quais fazem parte desta pesquisa:

#### 1 – $RX1dia$ (Quantidade máxima de precipitação em um dia)

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

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij}) \quad (3.1)$$

## 2 - RX5dia (Quantidade máxima de precipitação em cinco dias)

Seja  $RR_{kj}$  a quantidade de precipitação para o intervalo de cinco dias terminando no dia  $k$  do período  $j$ . Logo, os valores máximos de 5 dias para o período  $j$  são:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj}) \quad (3.2)$$

## 3 – SDII (Índice simples de intensidade diária)

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

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{W} \quad (3.3)$$

## 4 – R10mm (Número de dias úmidos)

Seja  $RR_{ij}$  o montante de precipitação diária acumulada num dia  $i$  de um período  $j$ . São contados os dias em que:

$$RR_{ij} \geq 10\text{mm} \quad (3.4)$$

## 5 – R20mm (Número de dias muito úmidos)

Seja  $RR_{ij}$  o montante de precipitação diária acumulada num dia  $i$  de um período  $j$ . São contados os dias em que:

$$RR_{ij} \geq 20\text{mm} \quad (3.5)$$

## 6 – Rnnmm (Número de dias acima de nn mm)



Seja  $RR_{ij}$  a quantidade diária de precipitação num dia  $i$  de um período  $j$ . Representa-se qualquer valor razoável de precipitação diária então, soma-se o número de dias em que:

$$RR_{ij} \geq nn \text{ mm} \quad (3.6)$$

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

### 7 – CDD (Dias consecutivos secos – ConsecutiveDryDays)

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

$$RR_{ij} < 1mm \quad (3.7)$$

### 8 - CWD (Dias consecutivos úmidos – ConsecutiveWetDays)

Seja  $RR_{ij} \geq 1mm$  a quantidade diária de precipitação num dia  $i$  de um período  $j$ . Soma-se o maior número de dias consecutivos em que:

$$RR_{ij} \geq 1mm \quad (3.8)$$

### 9 – $R_{95p}$ (Dias muito úmidos)

Seja  $RR_{wj}$  a quantidade diária de precipitação num dia úmido  $w$  ( $RR \geq 1,0mm$ ) num período  $j$  e seja  $RR_{wm95}$  o 95º percentil da precipitação nos dias úmidos no período 1961-2009. Se  $W$  representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R_{95p_j} = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn95} \quad (3.9)$$

### 10 – R<sub>99p</sub> (Dias extremamente úmidos)

Seja  $RR_{wj}$  a quantidade diária de precipitação num dia úmido  $w$  ( $RR \geq 1,0\text{mm}$ ) num período  $j$  e seja  $RR_{wn99}$  o 99º percentil da precipitação nos dias úmidos no período 1961-2009. Se  $W$  representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ onde } RR_{wj} > RR_{wn99} \quad (3.10)$$

### 11 – PRCPTOT (Precipitação total anual dos dias úmidos)

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

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (3.11)$$

### 12 – TXx (Maior temperatura máxima)

Máximo valor mensal das temperaturas máximas diárias.

### 13 – TNx (Maior temperatura mínima)

Máximo valor mensal das temperaturas mínimas diárias.

### 14 – TXn (Menor temperatura máxima)

Mínimo valor mensal das temperaturas máximas diárias.

### 15 – TNn (Menor temperatura mínima)

Mínimo valor mensal das temperaturas mínimas diárias.

### **16 – DTR (Máxima variação da temperatura em um dia no mês)**

Diferença entre o valor máximo da temperatura e o valor mínimo.

$$DTR = TX_x - TN_n \quad (3.12)$$

### **17 – TN10p**

Percentual de dias no ano com temperatura mínima inferior ou igual ao do 10º percentil das temperaturas mínimas diárias do período analisado.

### **18 – TX10p**

Percentual de dias no ano com temperatura máxima inferior ou igual ao do 10º percentil das temperaturas máximas diárias do período analisado.

### **19 – TN90p**

Percentual de dias no ano com temperatura mínima superior ou igual ao 90º percentil das temperaturas mínimas diárias do período analisado.

### **20 – TX90p**

Percentual de dias no ano com temperatura máxima superior ou igual ao 90º percentil das temperaturas máximas diárias do período analisado.

No RClmDex os dados são armazenados em arquivos de planilha eletrônica, que contém as informações anuais sobre cada índice calculado, depois que os dados são processados. Neste software que apresenta gráficos e valores numéricos dos índices, na saída do RClmDex fornece ainda as tendências (linear e não linear) de longo tempo dos

índices e também a estatística  $p$  (nível de significância estatística) que é obtida fazendo uso do teste de Fisher.

#### 4.3.2 Técnica dos Quantis (Percentis)

A técnica dos quantis (percentis) é utilizada nesta pesquisa para analisar o comportamento da umidade relativa do ar na região Sudeste do Brasil. Emprega-se a metodologia de Pinkayan (1966) aos dados diários de umidade relativa do ar de janeiro de 1961 a dezembro de 2009. Estimado os quantis  $Q_{15}$ ,  $Q_{35}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{65}$  e  $Q_{85}$ , que correspondem aos 15°, 35°, 50°, 65° e 85° percentis, respectivamente, para quatro estações da região Sudeste do Brasil. Ressalta-se que o 50° percentil corresponde à mediana. Em seguida a série de dados de cada estação, originalmente de janeiro/1961 a dezembro/2009, é dividida em duas, uma de janeiro de 1961 a dezembro de 1983, denominado de primeiro período, e outra de janeiro de 1988 a dezembro de 2009, denominado de segundo período.

A técnica dos quantis é de fácil uso e a sua aplicação permite um melhor entendimento dos processos físicos envolvidos, facilitando o estudo da climatologia em várias regiões do globo. Ressalta-se que com o uso desse método estatístico ainda é possível conhecer o comportamento da variabilidade intra e inter anual da variável meteorológica avaliada. Dessa forma, há possibilidade de um planejamento mais eficaz para monitorar o comportamento do clima da região. A seguir é mostrado como é feito a estimativa de um quantil  $Q_p$  qualquer.

Para qualquer lei de probabilidade contínua aplicável em dados meteorológicos, representados por uma variável aleatória  $X$ , define-se *quantil*  $Q_p$  para cada número real  $p$  entre 0 (zero) e 1 (um), como um valor de °C da temperatura (se esta for a unidade utilizada) satisfazendo à condição:

$$\Pr(X \leq Q_p) = p \quad (3.13)$$

onde  $p$  (é a ordem quantílica associada ao quantil  $Q_p$ ).

Entretanto, se  $F = F_x$  for a função de distribuição (ou repartição) de probabilidade associada à variável aleatória contínua  $X$ , admitindo uma "inversa"

$F^{-1}$  num certo intervalo  $[a, b]$ ,  $-\infty \leq a < b \leq +\infty$ , tal que  $F(a) = 0$  e  $F(b) = 1$ , então, devido à definição de função de distribuição:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (3.14)$$

Logo tem-se:

$$F(Q_p) = p \quad (3.15)$$

ou equivalentemente,

$$F^{-1}(p) = Q_p \quad (3.16)$$

Dessa forma, uma interpretação simples para o quantil  $Q_p$  é que: espera-se que em  $p\%$  dos anos o valor  $X$  não deve ser maior do que o valor desse  $Q_p$ , enquanto para  $(100 - p\%)$  dos anos tal valor será excedido, (Xavier et al., 2002).

Assim, para  $p = 0,25$  (25%), se o quantil respectivo com respeito à temperatura do ar média anual de certo local for  $Q_{0,25} = 20,5^\circ\text{C}$ , isso significa que para 25% dos anos a temperatura do ar média anual será menor ou igual a  $20,5^\circ\text{C}$ , enquanto para os 75% de anos restantes será igual a esse limiar de  $20,5^\circ\text{C}$ .

As ordens quantílicas  $p = 0,25$ ,  $0,50$  e  $0,75$  (ou 25%, 50% e 75%) são designados quartis (de "quarto", pois 0,25, 0,50 e 0,75 valem, respectivamente,  $1/4$ ,  $2/4 = 1/2$  e  $3/4$ ); a saber:

$Q_{0,25}$  = quartil inferior

$Q_{0,50}$  = mediana

$Q_{0,75}$  = quartil superior

#### 4.3.2.1 Estimativas dos Quantis

Existem vários métodos na estatística clássica que são utilizados na estimativa de quantis  $Q_p$ . As estimativas são resultados dos cálculos efetuados a partir de uma

amostra, Em aplicações meteorológicas essa amostra pode ser definida a partir de uma série de observações  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  de uma mesma variável aleatória  $X$ .

Na literatura estatística os métodos ou procedimentos destinados à estimativa de quantis, classificam-se em dois grupos:

(i) Partindo diretamente da série de observações  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  de uma variável  $X$ , num dado intervalo do ano (mês, bimestre, trimestre, quadrimestre, semestre, quadra chuvosa, etc.) ao longo dos  $N$  anos de observações;

(ii) Ou, a partir de uma lei de probabilidade que tenha sido ajustada a esses dados.

Neste estudo foi aplicado o grupo (i), onde os dados são dispostos em ordem não decrescente.

No entanto, para uma variável contínua, o cálculo de um quantil qualquer a partir dos dados ordenados seguirá o seguinte algoritmo:

**Etapa 1** - Dispor dos dados ou observações  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ( $n$  é o número de observações).

**Etapa 2** - Ordenar os dados:  $y_1 < y_2 < \dots < y_j < \dots < y_n$

*Nesse caso os dados podem ser dispostos em ordem estritamente crescente, ou seja, não ocorrem repetições.*

**Etapa 3** - Evidenciar qual o número de ordem  $j$  de cada elemento  $y_j$  da série assim ordenada.

**Etapa 4** - para cada elemento  $y_j$  determinar a "ordem quantílica"  $p_j$  que lhe corresponde, mediante a seguinte expressão:

$$p_j = \frac{j}{(N+1)}; \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (3.17)$$

**Etapa 5** - Finalmente, para calcular o "quantil"  $Q_p$  para uma "ordem quantílica"  $p$  qualquer, segue-se:

1) Se  $p$  coincidir como algum  $p_j$  já obtido por meio de (5), então,

$$Q_p = Q_{p_j} = y_{j+1} \quad (3.18)$$

2) Se  $p$  não coincidir, haverá um índice  $j$  tal que  $p_j < p < p_{j+1}$ , donde,  $Q(p)$  será obtido por interpolação, como indicado na Figura 3.2.

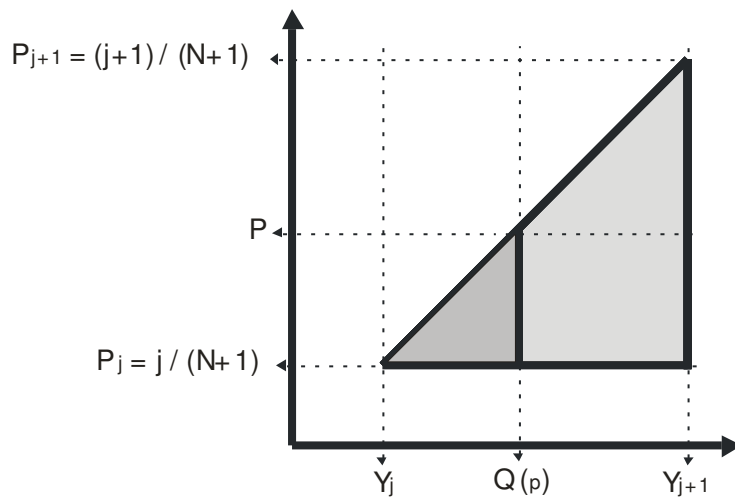


Figura 3.2 - Cálculo por interpolação linear para o quantil  $Q_p$ .

Fonte: Xavier et al., 2002.

A interpolação linear toma como base a proporcionalidade entre os lados de dois triângulos semelhantes, o que em ultimo caso pode resultar em uma *regra de três*. Dessa forma, tem-se:

$$\frac{(Q_p - y_j)}{(y_{j+1} - y_j)} = \frac{(p - p_j)}{(p_{j+1} - p_j)}, \quad (3.19)$$

donde:

$$Q_p - y_j = \frac{(p - p_j)}{(p_{j+1} - p_j)} \times (y_{j+1} - y_j), \quad (3.20)$$

logo:

$$Q_p = y_j + \frac{(p - p_j)}{(p_{j+1} - p_j)} \times (y_{j+1} - y_j) \quad (3.21)$$

Na verdade, os casos 1 e 2 podem ser englobados na mesma fórmula, supondo  $p_j < p < p_{j+1}$ ; obviamente, quando  $p = p_j$  a fórmula reduz-se a  $Q_p = Y_j$ ,

Deve-se tomar alguns cuidados na interpolação do item 2) da etapa 5, cujo procedimento nem sempre é feito correto, exceto para a mediana, Por outro lado, ressaltamos que o uso da expressão:  $p_j = \frac{j}{(N+1)}$ , em vez de:  $p_j = \frac{j}{(N)}$ , para o cálculo dos quantis é a mais apropriada.

#### 4.4 Teste de Fischer

Testes de hipóteses, envolvendo os parâmetros do modelo de regressão linear simples, baseiam-se na decomposição da variação total.

O principal teste de interesse é verificar se a covariável influencia na resposta, o que é equivalente testar,

$$H_0 : \beta = 0 \text{ versus } H_a : \beta \neq 0.$$

Caso  $H_0$  não seja rejeitada, adota-se o modelo

$$\text{Modelo 0: } Y_i = \alpha + e_i, i = 1, \dots, n;$$

Caso  $H_0$  seja rejeitada, o modelo é

$$\text{Modelo 1 } = Y_i = \alpha + \beta X_i + e_i, i = 1, \dots, n.$$

Por meio do modelo 0, obtém-se a soma de quadrados total, dadas por;

$$SQT = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2,$$

que contém a a variação total contida nos dados. Por outro lado, o modelo 1 gera a soma de quadrados residual

$$SQRes = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\alpha} - \hat{\beta} X_i)^2,$$



que contém a variação dos dados não explicada por esse modelo. A diferença entre as duas somas de quadrados fornece a *soma de quadrados da regressão*, obtida por meio da expressão,

$$SQReg = SQT - SQRes = \hat{\beta}^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2.$$

Para estabelecer os graus de liberdade associado às somas de quadrados, precisa-se levar em conta os estimadores envolvidos em suas expressões. Assim, SQT envolve a média  $\bar{Y}$ , e assim, tem-se  $n-1$ , graus de liberdade associados a essa quantidade; SQRes envolve dois estimadores,  $\hat{\alpha}$  e  $\hat{\beta}$ , de forma que terá  $n-2$  graus de liberdade. Para o SQReg, restam  $n-1 - (n-2) = 1$  grau de liberdade. Consequentemente, define-se os quadrados médios por:

$$QMT = \frac{SQT}{n-1} = S^2, \quad QMRes = \frac{SQRes}{n-2} \quad \text{e} \quad QMReg = \frac{SQReg}{1}.$$

Para o cálculo de F, utiliza-se:

$$F = \frac{QMReg}{QMRes}$$

para testar as hipóteses de interesse. Em vista da suposição que  $e_i \sim N(0, \sigma^2)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , pode ser mostrado que  $F$  tem distribuição de Fisher-Snedecor com 1 e  $n-2$  graus de liberdade, isto é  $F \sim F(1, n-2)$ .

Em resumo, pode-se apresentar as informações aqui mostradas em uma tabela ANOVA, específica para o modelo  $Y = \alpha + \beta X + e$ , é dada por:

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	$F$
Regressão	1	SQReg	QMReg	QMReg/QMRes
Residual	$n-2$	SQRes	QMRes	
Total	$n-1$	SQT		

Tabela 3.2 ANOVA para o modelo  $Y = \alpha + \beta X + e$

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Índices climáticos do ETCCDMI

#### 5.1.1 Índices de Precipitação

Os índices de detecção e monitoramento de mudanças climáticas da **ETCCDMI** foram escolhidos para a avaliação de possíveis alterações climáticas durante as últimas décadas, na região sudeste do Brasil. Os resultados obtidos para 21 estações meteorológicas espacialmente distribuídas por toda região são apresentados a seguir.

Os valores das tendências e das suas respectivas significâncias estatísticas estão organizados em forma de tabelas e foram extraídos dos gráficos gerados pelo software RCLimDex versão 2.0. Foram consideradas tendências estatisticamente significativas todas aquelas cujo valor- $p$  foi inferior a 0,1. Para valor- $p$  entre 0,1 e 0,05 a significância é de 90%, entre 0,05 e 0,01 95%, abaixo de 0,01 99%. O valor- $p$  refere-se à estatística  $p$  do teste  $F$  de Fisher.

O primeiro índice avaliado foi o **CDD (Dias Secos Consecutivos)**, Observa-se (Tabela 4.1) que para esse índice das 21 estações meteorológicas em apenas três os valores da tendência foram estatisticamente significativos. Capinópolis e Presidente Prudente com 95% e tendência de aumento e Paracatu com 90% e tendência de diminuição. Considerando todas as localidades 15 mostraram tendência positiva e 6 negativa.

Para o índice **CWD (Dias Úmidos Consecutivos)** verifica-se (Tabela 4.1) que há três localidades que apresentam valores de tendência estatisticamente significativos e negativos, são elas Arinos e Resende, com significância de 90%, e São Simão com significância de 99%.

Observa-se que, de um modo geral, tanto **CDD** como **CWD** apresentaram poucas localidades com tendências estatisticamente significativas, apenas 14% das localidades. Portanto, é prematuro afirmar que as tendências observadas são decorrentes dos impactos globais do clima, Resultado semelhante foi obtido por Santos (2011) para o estado de Utah nos Estados Unidos da América.

Para o índice **PRCPTOT (Precipitação total anual)**, verificam-se (Tabela 4.1) 4 localidades com valores estatisticamente significativo sendo que 3 dessas localidades,

Angra dos Reis, Paracatu e Presidente Prudente apresentaram valores de tendência extremamente significativos 99%, sendo que em duas delas, Angra dos Reis e Presidente Prudente, a tendência foi negativa, e em Paracatu positiva (Tabela 4.1). Em Aimorés a precipitação total anual apresentou tendência negativa com significância de 95%, Considerando todas as localidades aproximadamente 40% apresentaram tendência negativa e 60% positiva, Santos et al., (2011) encontraram resultados semelhantes para o estado de Utah nos Estados Unidos da América.

O índice **R10mm (Número de dias com chuvas fortes, precipitação diária igual ou superior a 10 mm/dia)**, verifica-se 4 localidades que apresentam número de dias com chuvas igual ou superior a 10 mm/dia, em um ano, com tendência estatisticamente significativa (Tabela 4.1). Isto representa menos de 20% de todas as localidades analisadas.

O índice **R20mm (Número de dias com chuvas muito fortes, precipitação diária igual ou superior a 20 mm/dia)** representa o número de dias em um ano com precipitação acima de 20 mm/dia, Observa-se que para este índice 6 localidades apresentaram tendências estatisticamente significativas, Belo Horizonte tendência positiva e significância de 90%, Aimorés e Catanduva negativa e 95%, Angra dos Reis positiva e 95%, e, finalmente, Presidente Prudente negativa e 99% (Tabela 4,1), Ao todo em aproximadamente 28% das localidades verificaram-se tendências estatisticamente significativa, enquanto em torno de 72% das estações as tendências obtidas não foram significativas, ou seja, não é possível afirmar que se tem um determinado tipo de tendência, Ressalta-se que resultado semelhante foi obtido por Haylock et al, (2006).

Para o índice **Rnnmm** foi feita uma análise para os dias com precipitação acima de 50 mm em um ano (**Rnnmm Número de dias acima de nn mm**). Verifica-se que para este índice apenas 4 localidades apresentam tendências estatisticamente significativas, sendo duas negativas, Aimores e Angra dos Reis, e duas positivas, Capinópolis e Presidente Prudente (Tabela 4.1). Portanto, possivelmente as tendências observadas se devem a efeitos locais e não de grande escala.

No caso do **R<sub>95p</sub> (Dias muito úmidos)** 5 localidades apresentaram tendências estatisticamente significativa. Enquanto, para **R<sub>99p</sub> (Dias extremamente úmidos)**

observou-se apenas 2 localidades com estatisticamente significativos, Angra dos Reis, com tendência negativa, e Capinópolis, positiva (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Tendências e seus respectivos valor-*p* dos índices extremos de precipitação para 21 estações meteorológicas da Região Sudeste do Brasil.

Localidade		CDD	CWD	PRCPTOT	R10mm	R20 mm	R50mm	R95p	R99p	RX1day	RX5day	SDII
Aimorés	Tend	0,326	0,024	-12,361	-0,236	-0,192	-0,103	-7,672	-1,668	-0,248	-0,509	-0,096
	Val p	0,546	0,490	<b>0,021</b>	<b>0,088</b>	<b>0,045</b>	<b>0,025</b>	<b>0,024</b>	0,328	0,589	0,541	<b>0,036</b>
Angra dos Reis	Tend	0,075	-0,052	-34,897	-0,796	-0,482	-0,288	-26,555	-14,985	-2,356	-5,450	-0,186
	Val p	0,631	0,533	<b>0,010</b>	<b>0,013</b>	<b>0,060</b>	<b>0,005</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,020</b>	<b>0,001</b>	<b>0,005</b>
Araguai	Tend	0,472	-0,027	-2,033	-0,079	0,000	-0,012	-0,633	1,080	0,179	-0,221	0,003
	Val p	0,202	0,471	0,499	0,407	0,999	0,642	0,736	0,303	0,602	0,735	0,930
Arinos	Tend	0,651	-0,204	1,641	0,008	0,020	0,079	5,739	1,947	-0,009	-1,814	0,077
	Val p	0,512	<b>0,067</b>	0,804	0,964	0,873	0,178	0,143	0,379	0,989	0,214	0,216
Belo Horizonte	Tend	0,178	0,017	3,462	0,089	0,107	0,013	0,972	1,052	0,163	0,805	0,033
	Val p	0,427	0,668	0,250	0,348	<b>0,083</b>	0,620	0,595	0,262	0,597	0,122	<b>0,088</b>
Campos	Tend	0,016	-0,013	1,737	0,041	0,027	0,001	0,442	0,761	-0,072	-0,157	0,017
	Val p	0,861	0,604	0,570	0,652	0,636	0,951	0,842	0,592	0,811	0,791	0,460
Capinópolis	Tend	0,781	0,009	1,878	-0,050	0,046	0,048	4,182	1,670	0,264	0,404	0,052
	Val p	<b>0,034</b>	0,870	0,551	0,659	0,572	<b>0,076</b>	<b>0,034</b>	<b>0,021</b>	0,386	0,472	<b>0,051</b>
Catanduva	Tend	0,031	-0,008	-4,069	-0,099	-0,150	-0,010	-0,718	0,124	-0,175	0,170	-0,026
	Val p	0,914	0,827	0,217	0,354	<b>0,023</b>	0,715	0,712	0,909	0,607	0,756	0,225
Diamantina	Tend	-0,105	0,037	5,279	0,225	0,095	-0,001	1,151	-1,432	-0,424	-0,470	0,050
	Val p	0,795	0,715	0,449	0,289	0,492	0,981	0,723	0,562	0,564	0,660	0,282
Franca	Tend	0,058	0,000	2,948	0,064	0,037	0,035	2,588	0,460	0,162	0,958	0,031
	Val p	0,753	0,995	0,308	0,478	0,510	0,146	0,102	0,625	0,388	<b>0,013</b>	<b>0,030</b>
Machado	Tend	-0,209	0,022	-1,978	0,025	-0,033	-0,023	-2,186	-0,994	-0,196	-0,693	-0,015
	Val p	0,304	0,455	0,643	0,847	0,708	0,435	0,370	0,373	0,492	0,358	0,495
Montes Claros	Tend	0,410	-0,002	1,193	-0,055	0,035	0,021	1,281	-0,393	0,059	0,800	0,014
	Val p	0,392	0,981	0,796	0,708	0,756	0,413	0,462	0,687	0,880	0,313	0,640
Paracatu	Tend	-1,460	0,018	151,881	6,903	6,562	-0,089	-9,367	-2,637	-1,280	-0,866	0,183
	Val p	<b>0,064</b>	0,958	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	0,103	<b>0,093</b>	0,329	<b>0,020</b>	0,449	<b>0,003</b>
Patos de Minas	Tend	-0,006	-0,018	1,169	0,054	0,028	-0,002	-1,320	0,232	0,154	0,118	0,000
	Val p	0,985	0,544	0,702	0,607	0,689	0,928	0,392	0,791	0,618	0,767	0,982
Pirapora	Tend	0,882	-0,097	-1,479	-0,027	-0,038	-0,021	-0,049	1,166	0,629	0,702	0,047
	Val p	0,184	0,336	0,836	0,890	0,779	0,642	0,988	0,620	0,297	0,556	0,318
Presidente Prudente	Tend	0,474	-3,159	-81,795	-4,203	-2,712	0,042	4,447	1,796	0,516	0,477	-0,081
	Val p	<b>0,047</b>	0,102	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,089</b>	<b>0,032</b>	0,134	0,174	0,432	<b>0,004</b>
Resende	Tend	-0,040	0,083	4,848	0,129	0,079	0,006	1,709	0,906	0,101	0,169	-0,007
	Val p	0,805	<b>0,002</b>	0,125	0,255	0,207	0,841	0,479	0,415	0,740	0,727	0,724
Rio de Janeiro	Tend	0,017	0,042	2,414	0,061	0,052	-0,010	0,220	-0,689	-0,415	-1,501	0,000
	Val p	0,838	0,138	0,506	0,512	0,446	0,702	0,932	0,722	0,480	0,272	0,994
São Carlos	Tend	-0,106	-0,024	1,075	0,028	0,045	-0,004	-0,168	0,376	0,188	-0,242	0,025
	Val p	0,589	0,334	0,738	0,780	0,530	0,871	0,922	0,698	0,300	0,584	0,173
São Simão	Tend	0,153	-0,084	-0,727	-0,046	0,015	0,007	1,256	0,450	-0,024	-0,021	0,001
	Val p	0,500	<b>0,000</b>	0,800	0,602	0,822	0,788	0,451	0,538	<b>0,089</b>	0,956	0,957
Uberaba	Tend	0,204	0,015	2,475	0,055	-0,015	0,026	3,783	1,806	-0,072	1,272	0,013
	Val p	0,503	0,693	0,504	0,650	0,850	0,347	0,110	0,235	0,868	0,168	0,601

Analisando-se o índice **RX1day** (Quantidade máxima de precipitação diária em um ano, a maior chuva diária no ano) percebe-se 3 localidades com valores

estatisticamente significativos, Angra dos Reis e Paracatu, com significância estatística de 95%, e São Simão, com 90% (Tabela 4.1). Para **RX5dia (Quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos em um ano)**, apenas duas localidades apresentaram valores de tendência estatisticamente significativos, Angra dos Reis, negativa e 99%, e Franca, positiva e 95%.

No caso, do índice climático **SDII (Índice simples de intensidade diária)** observa-se 7 localidades que apresentaram valores estatisticamente significativos. Com 99% de significância estatística, aparecem às seguintes localidades, Angra dos Reis, Paracatu e Presidente Prudente; com 95% duas localidades, Aimorés e Franca. E por fim, duas localidades com significância estatística de 90%, são elas Belo Horizonte e Capinópolis. De um modo geral, este índice foi o que apresentou o maior número de localidades com significância estatística. Resultado semelhante foi obtido por Santos e Brito (2007) para a Paraíba e Rio Grande do Norte.

A Tabela 4.2 apresenta um resumo do número de localidades por índices que apresentaram tendências de longo prazo estatisticamente significativas. Observa-se que os índices como o menor número de localidades foram **R<sub>99p</sub>** e **Rx5dias**, com apenas duas, e com maior foi **SDII** com sete. No total de localidades e índices em apenas 19% dos casos verificou-se tendência significativa. Este resultado está coerente com os de outros pesquisadores que estudaram outras áreas do globo, como, por exemplo, Haylock et al, (2006).

Tabela 4.2 – Número de localidades por nível de significância para cada um dos índices de extremo de precipitação extraídos da Tabela 4.1.

<b>Significância</b>	<b>99%</b>	<b>95%</b>	<b>90%</b>	<b>Soma</b>
<b>CDD</b>	0	2	1	3
<b>CWD</b>	2	0	1	3
<b>PRCPTOT</b>	3	1	0	4
<b>R10mm</b>	2	1	1	4
<b>R20mm</b>	2	2	2	6
<b>R50mm</b>	1	1	2	4
<b>R95P</b>	1	3	1	5
<b>R99p</b>	1	1	0	2
<b>RX1day</b>	0	2	1	3
<b>RX5day</b>	1	1	0	2
<b>SDII</b>	3	2	2	7

### 5.1.2 Índices de Temperatura do ar

Da Tabela 4.3 observa-se que das 21 localidades analisadas 14 apresentam valores de tendência estatisticamente significativos para o índice **DTR**, que representa a amplitude térmica diária em um ano (**Máxima variação da temperatura em um dia no ano**). Também pode ser verificado que em dez estações das catorze a tendência foi negativa, que sinaliza para uma diminuição da diferença diária entre a maior temperatura máxima e menor temperatura mínima em um ano. Ressalta-se que resultados semelhante foi encontrado por Santos (2011). Dentre as localidades que apresentam significância estatística de 99% destacam-se: Belo Horizonte, Campos, Catanduva, Franca, Paracatu, Patos de Minas, Presidente Prudente e Rio de Janeiro.

Para o índice climático **TN10p** que refere-se ao número de dias no ano em que a temperatura mínima diária foi inferior ao valor do 10º percentil das temperaturas mínimas diárias. Verifica-se que entre as 21 localidades analisadas, 19 localidades apresentam valores de tendência negativa estatisticamente significativa, ou seja, ao longo da série de 1961 a 2009 ocorreu uma diminuição do número de dias no ano em que a temperatura mínima foi inferior ao 10º percentil. É relevante ressaltar que em 15 localidades o valor da tendência foi estatisticamente significativo ao nível de 99% (Tabela 4.3).

O índice climático **TN90p** corresponde ao número de dias em um ano com temperatura mínima do ar superior ao valor do 90º percentil das temperaturas mínimas diárias. Verificou-se tendência estatisticamente significativa em 16 localidades todas positiva (Tabela 4.3). Isto significa que o número de dias em um ano com temperatura mínima superior ao 90º percentil aumentou ao longo da série. Os aumentos mais fortes foram observados em Presidente Prudente, Belo Horizonte, Angra dos Reis, Campos, Arinos, Franca, Catanduva, Pirapora, Capinópolis, Montes Claros e Machado (Tabela 4.3). A propósito em Presidente Prudente e Belo Horizonte o aumento foi superior a 6 dias décadas.

De todos os índices de temperatura do ar analisados o **TNn**, que representa a **menor temperatura mínima em um ano**, foi um dos que apresentou o menor número de localidades com tendência estatisticamente significativa (Tabela 4.3 e Tabela 4.4). Foram apenas oito localidades todas com tendência positiva (Tabela 4.3), que



corresponde a um aumento da menor temperatura mínima anual ao longo da série de dados. Resultados semelhantes foram obtidos por Caesar et al (2011), para o a região do Indo-Pacífico. Por outro lado, o índice **TNx (maior temperatura mínima em um ano)** apresentou 14 localidades com tendência de aumento estatisticamente significativa, sendo que em dez a significância estatística foi de 99%. Isto mostra que para a região sudeste do Brasil a temperatura mínima máxima anual apresentou um aumento superior ao da temperatura mínima mínima anual (Tabela 4.3), ou seja, as madrugadas ficaram mais quentes ao longo da série de dados.

Para o índice climático **TX10p (número de dias no ano com temperatura máxima menor que o valor do 10° percentil das temperaturas máximas diárias)** observa-se 13 localidades que apresentam valor de tendência negativa estatisticamente significativo entre as 21 localidades estudadas, sendo 7 com significância de 99%, a saber: Araguaí, Arinós, Capinópolis, Paracatu, Patos de Minas, Presidente Prudente e Uberaba. As localidades de Aimorés, Montes Claros, Pirapora, Rio de Janeiro e São Simão apresentam valor de tendência negativa com significância de 95% e Machado de 90% (Tabela 4.3). Isto mostrar que ao longo da série de dados ocorreu uma diminuição do número de tardes mais frias em um ano. Resultados semelhantes foram obtidos por Santos (2011), para o estado de Utah nos Estados Unidos da América e por Caesar (2011) para a área do Indo-Pacífico.

O índice **TX90p (número de dias no ano em que a temperatura máxima foi superior ao 90° percentil das temperaturas máximas diárias)**. Para este índice, pode-se observar que 8 localidades apresentam valores de tendência positiva estatisticamente significativa (Tabela 4.3). Sendo 5 com significância de 99% (Aimorés, Patos de Minas, Presidente Prudente, São Carlos e São Simão), Uma (Araguai) com 95% e duas com 90% (Belo Horizonte e Campos).

Para a **TXx (Maior temperatura máxima)** máximo valor mensal das temperaturas máximas diárias. Verificam-se a ocorrência 13 localidades que apresentam valores estatisticamente significativos. Dentre essas localidades pode-se especificar 6 localidades que apresentam nível de significância de 99%, correspondendo a Aimorés, Araguaí, Belo horizonte, 6 localidades que apresentam nível de significância de 95%, correspondendo as seguintes localidades Arinós, Capinópolis, Machado, Paracatu, São Simão e Uberaba. Apenas uma localidade apresenta significância estatística ao nível de

90%, Presidente Prudente. Isto significa que dentre as 21 localidades, em 13 delas observou-se tendência positiva com significância estatística para o valor máximo anual das temperaturas máximas diárias (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Tendências e seus respectivos valor-*p* dos índices extremos de temperatura do ar para 21 estações meteorológicas da região sudeste do Brasil.

Localidade		DTR	TN10p	TN90p	TNn	TNx	TX10p	TX90p	TXn	TXx
Aimorés	Tend	-0,016	-0,632	0,309	0,021	0,024	-0,182	0,380	0,065	0,069
	Val p	0,265	<b>0,001</b>	<b>0,012</b>	0,418	0,305	<b>0,041</b>	<b>0,005</b>	<b>0,015</b>	<b>0,003</b>
Angra dos Reis	Tend	-0,044	-0,517	0,599	-0,023	0,066	-0,043	0,168	-0,020	0,023
	Val p	<b>0,011</b>	<b>0,044</b>	<b>0,000</b>	0,467	<b>0,010</b>	0,800	0,112	0,503	0,591
Araguai	Tend	0,014	-0,273	0,103	-0,004	0,029	-0,178	0,162	0,008	0,092
	Val p	<b>0,089</b>	<b>0,000</b>	0,183	0,817	<b>0,044</b>	<b>0,006</b>	<b>0,023</b>	0,633	<b>0,000</b>
Arinos	Tend	-0,043	-0,342	0,459	0,277	0,018	-0,436	0,029	0,044	0,069
	Val p	<b>0,023</b>	<b>0,003</b>	<b>0,000</b>	0,021	0,571	<b>0,003</b>	0,833	0,169	<b>0,047</b>
Belo Horizonte	Tend	-0,041	-0,410	0,603	0,061	0,045	0,010	0,114	0,014	0,035
	Val p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,832	<b>0,090</b>	0,357	<b>0,004</b>
Campos	Tend	-0,015	-0,303	0,509	0,011	0,032	-0,084	0,111	0,014	-0,003
	Val p	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,309	<b>0,000</b>	0,100	<b>0,072</b>	0,199	0,777
Capinópolis	Tend	-0,034	-1,114	0,248	0,068	0,053	-0,289	0,079	0,089	0,062
	Val p	0,125	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,083</b>	<b>0,025</b>	<b>0,002</b>	0,687	<b>0,018</b>	<b>0,018</b>
Catanduva	Tend	-0,054	-0,281	0,432	0,071	0,044	0,071	-0,129	0,037	-0,009
	Val p	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	0,262	0,315	0,178	0,628
Diamantina	Tend	-0,002	-0,211	0,081	-0,005	0,055	-0,119	0,082	0,047	0,045
	Val p	0,839	<b>0,009</b>	0,394	0,828	0,880	0,107	0,248	<b>0,025</b>	0,139
Franca	Tend	-0,041	-0,595	0,474	0,050	0,052	-0,069	0,080	0,008	0,008
	Val p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,046</b>	<b>0,000</b>	0,114	0,376	0,721	0,591
Machado	Tend	0,016	-0,077	0,231	0,013	0,002	-0,077	0,398	0,042	0,016
	Val p	0,176	<b>0,070</b>	<b>0,000</b>	0,546	0,824	<b>0,052</b>	0,001	<b>0,012</b>	<b>0,049</b>
Montes Claros	Tend	-0,022	-0,805	0,234	0,018	0,068	-0,147	0,101	0,022	0,070
	Val p	<b>0,020</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,483	<b>0,000</b>	<b>0,044</b>	0,093	0,176	<b>0,000</b>
Paracatu	Tend	-0,056	-1,263	0,139	0,123	0,026	-0,258	0,103	0,078	0,054
	Val p	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,272	<b>0,002</b>	0,310	<b>0,004</b>	0,435	<b>0,065</b>	<b>0,035</b>
Patos de Minas	Tend	0,017	-0,238	0,093	0,013	0,034	-0,274	0,127	0,036	0,045
	Val p	<b>0,006</b>	<b>0,000</b>	<b>0,022</b>	0,549	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,004</b>	<b>0,007</b>	<b>0,005</b>
Pirapora	Tend	-0,010	-0,486	0,271	0,016	0,071	-0,181	0,071	0,069	0,086
	Val p	0,397	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,572	<b>0,005</b>	<b>0,028</b>	0,444	<b>0,030</b>	<b>0,000</b>
Presidente Prudente	Tend	-0,031	-0,546	0,612	0,077	0,070	-0,193	0,286	0,031	0,029
	Val p	<b>0,006</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,032</b>	<b>0,000</b>	<b>0,002</b>	<b>0,005</b>	0,631	<b>0,096</b>
Resende	Tend	-0,021	-0,113	0,022	0,000	0,005	0,060	-0,074	-0,026	-0,014
	Val p	<b>0,055</b>	0,163	0,761	0,981	0,696	0,233	0,202	<b>0,062</b>	0,291
Rio de Janeiro	Tend	0,038	-0,010	0,075	-0,096	0,019	-0,197	-0,031	-0,018	-0,017
	Val p	<b>0,000</b>	0,938	0,603	<b>0,020</b>	0,451	<b>0,035</b>	0,695	0,417	0,365
São Carlos	Tend	-0,009	-0,272	0,192	0,001	0,015	-0,017	0,307	0,016	0,012
	Valp	0,426	<b>0,037</b>	<b>0,024</b>	0,961	<b>0,080</b>	0,794	<b>0,001</b>	0,620	0,428
São Simão	Tend	0,016	-0,095	0,111	-0,006	0,015	-0,078	0,267	0,019	0,039
	Val p	<b>0,016</b>	<b>0,014</b>	<b>0,030</b>	0,769	<b>0,086</b>	<b>0,025</b>	<b>0,001</b>	0,497	<b>0,010</b>
Uberaba	Tend	-0,008	-0,282	0,194	0,029	0,044	-0,140	0,149	0,075	0,047
	Val p	0,357	<b>0,000</b>	<b>0,050</b>	0,486	<b>0,007</b>	<b>0,002</b>	0,122	0,139	<b>0,050</b>

No caso do **TXn (Menor temperatura máxima)** mínimo valor anual das temperaturas máximas diárias. Verificaram-se 8 localidades que apresentaram valores de tendência positiva estatisticamente significativos (Tabela 4.3). Apenas uma localidade apresentou valor estatisticamente significativo ao nível de 99%, esta localidade foi Patos de Minas. Ao nível de 95% de significância estatística foram encontrada em 5 localidades Aimorés, Capinópolis, Diamantina, Machado e Pirapora, E com 90% de significância estatística duas localidades, que são Paracatu e Resende (Tabela 4.3).

A Tabela 4.4 apresenta um resumo do número de localidades por índices que apresentaram tendências de longo prazo estatisticamente significativas. Observa-se que os índices com o menor número de localidades foram **TNn**, **TXn** e **TX90p** com 8, E os índices com o maior número de localidades foram **TN10p** e **TN90p**, com 19 e 16 localidades, respectivamente. Isto mostra que, de um modo geral, o aumento das temperaturas mínimas foram superiores aos das máximas. No total de localidades e índices em 60% dos casos verificou-se tendência significativa, número superior aos dos índices de precipitação que foi de apenas 19%. Resultados semelhantes foram obtidos por outros pesquisadores para diversas partes do globo, como por exemplo, Santos (2011), para o estado de Utah nos Estados Unidos da América, Caesar et al (2011) para a área do Indo-Pacífico, Renom et al, (2011) para o Uruguai e Zhang et al, (2011) para a América do Norte.

Tabela 4.4 – Número de localidades por nível de significância para cada um dos índices de extremo de temperatura do ar extraídos da Tabela 4.2.

<b>Significativo</b>	99%	95%	90%	Soma
<b>DTR</b>	8	4	2	14
<b>TN10p</b>	15	3	1	19
<b>TN90p</b>	11	5	0	16
<b>TXn</b>	1	5	2	8
<b>TNn</b>	4	3	1	8
<b>TNx</b>	10	2	2	14
<b>TX10p</b>	7	5	1	13
<b>TX90p</b>	5	1	2	8
<b>TXx</b>	6	6	1	13

### 5.1.3 Análise da variabilidade interanual e da tendência dos índices extremos da precipitação

Nesta subseção é feita uma análise da variabilidade interanual e da tendência dos índices extremos de precipitação para as localidades de Belo Horizonte – MG, São Carlos – SP e Campos dos Goytacazes – RJ. Na escolha destas localidades foram considerados os seguintes critérios: uma para cada Estado; litoral e interior; qualidades dos dados observados; orografia e por último pelo menos uma capital de Estado, desde que os critérios anteriores fossem respeitados.

A primeira localidade a ser analisada é Belo Horizonte, cidade serrana, interior do continente e capital de Estado, seguida por São Carlos e finalizando com Campos dos Goytacazes.

A Figura 4.1 mostra uma tendência positiva da maior chuva diária em um ano (**Rx1day**), do maior total de precipitação em cinco dias consecutivo em um ano (**Rx5day**), do índice simples de intensidade de precipitação (**SDII**) e do número de dias com precipitação diária superior a 10 mm/dia em um ano (**R10mm**) para a cidade de Belo Horizonte. Observa-se que dos quatro índices apenas **SDII** apresentou tendência estatisticamente significativa. Portanto, não é possível afirmar categoricamente que os índices **Rx1day**, **Rx5day** e **R10mm**, para Belo Horizonte, apresentaram tendência positiva, uma vez que estas tendências não apresentaram significância estatística.

Ainda pode ser verificado da Figura 4.1 que os anos com precipitação diária superior a 150 mm/dia foram 1978, 2000 e 2006, enquanto os anos que apresentaram os maiores totais de chuvas acumulado em 5 consecutivos foram 1978, 1992, 1997, 2006 e 2008 com total superior a 250 mm/5dias, Já aqueles em que o **SDII** foi superior a 20 mm/dia em um ano foram 2003, 2008 e 2009. Os anos com o maior número de dias com precipitação diária superior a 10 mm/dia foram 1962, 1964, 1983, 1991, 2008 e 2009, Nestes anos ocorreram mais de 60 dias/ano com precipitação superior a 10 mm/dia. De certa forma estes resultados mostraram as razões porque apenas o **SDII** apresentou tendência estatisticamente significativa, uma vez que os maiores **SDII** ocorreram nos últimos anos, enquanto para os demais índices observou-se valores ao longo de toda a série.

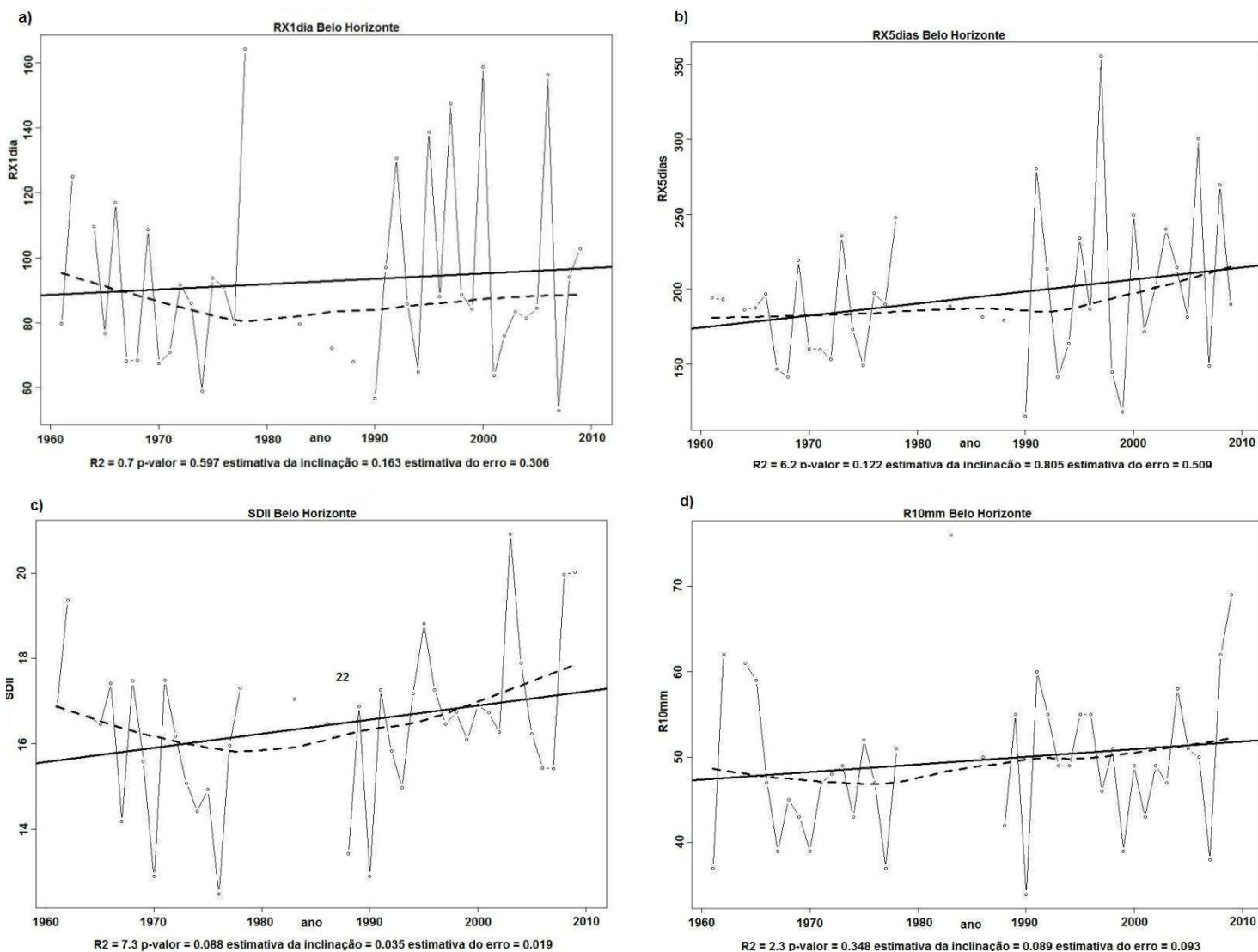


Figura 4.1 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **RX1dia**, b) **RX5dias**, c) **R10mm** e d) **SDII** para a localidade de Belo Horizonte.

Na Figura 4.2 verifica-se a variabilidade interanual e a linha de tendência, para Belo Horizonte, dos índices de dias muito chuvosos, número de dias em um ano com precipitação diária superior a 20 mm/dia (**R20mm**), dias extremamente chuvosos, número de dias em um ano com precipitação superior a 50 mm/dia (**Rnmm**), dias consecutivos secos, maior período em um ano com dias consecutivos que não choveu ou a precipitação foi inferior a 1,0 mm/dia (**CDD**) e dias consecutivos molhados, maior período em um ano com dias consecutivos com precipitação igual ou superior a 1,0 mm/dia (**CWD**). Observa-se que **R20mm**, **Rnmm** e **CDD** apresentaram tendência

positiva e **CWD** negativa, entretanto, apenas **R20mm** apresentou tendência estatisticamente significativa. Portanto, só é possível afirmar que no período de 1961 a 2009 verificou-se um aumento do índice **R20mm**. Para os índices **Rnmm**, **CDD** e **CWD** os valores observados das tendências são incertos, pois não apresentam confiabilidade.

Em relação à variabilidade interanual ainda pode ser observado da Figura 4.2 que os anos com maiores valores de **CDD** foram 1991, 1994 e 2003, todos com mais de 90 dias. Para o **CWD** os anos com os maiores valores foram 1983, 2008 e 2009 com 15 dias ou mais consecutivos com precipitação. Os anos com o maior número de dias com precipitação superior a 20 mm/dia foram 1983, 2008 e 2009, com mais de 35 dias. Enquanto, nos anos de 1983, 2003 e 2004 ocorreram chuvas diárias superior a 50 mm/dia em mais de 10 dias.

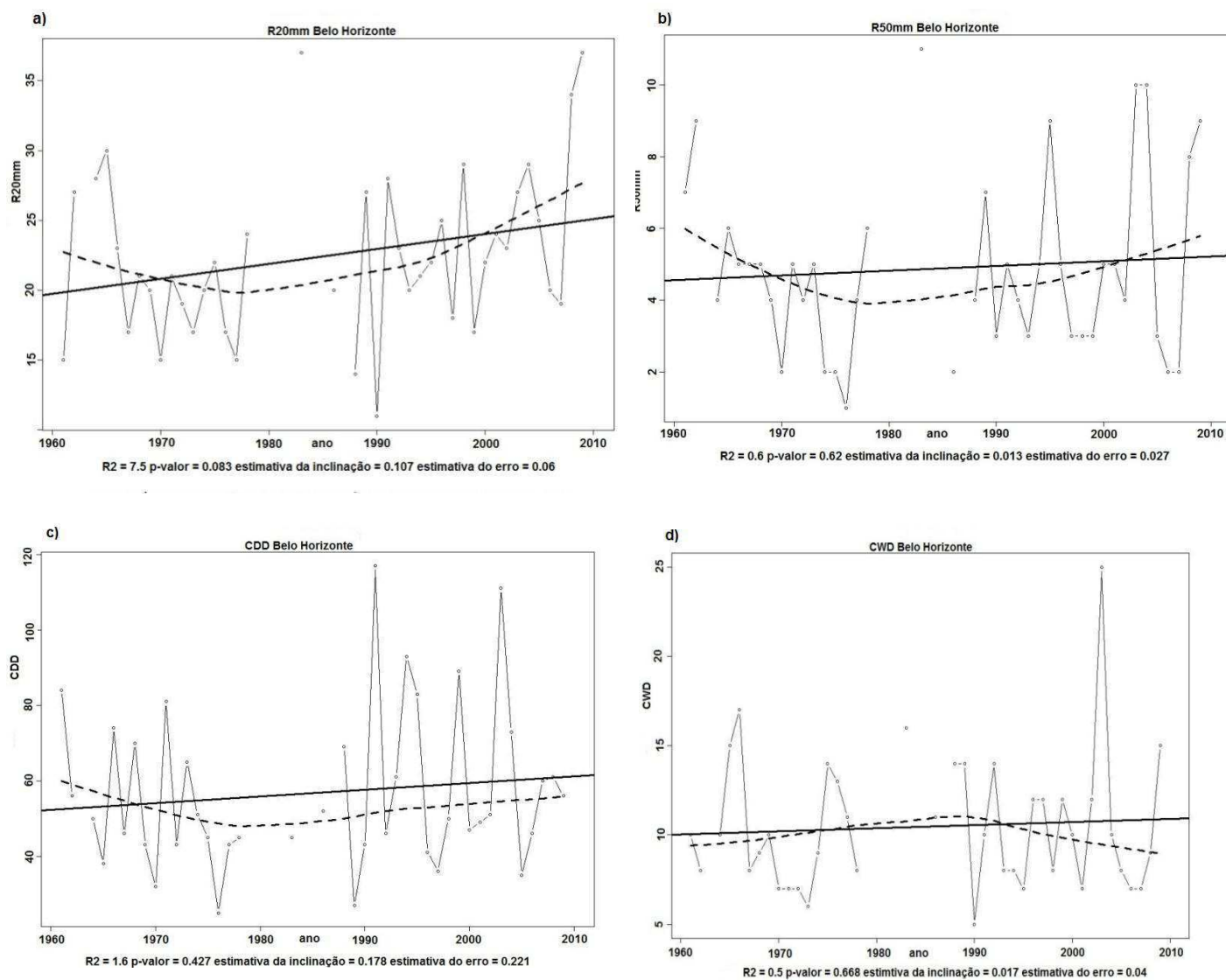


Figura 4.2 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **R20mm**, b) **R50mm**, c) **CDD** e d) **CWD** para a localidade Belo Horizonte.

A Figura 4.3 mostra as tendências, todas positivas, dos índices do total anual de precipitação em um ano (**PRCPTOT**), do total de precipitação em um ano dos dias em que a precipitação diária foi superior ao 95º percentil (**R95p**), e total anual de precipitação em um ano dos dias em que a precipitação diária foi superior ao 99º percentil (**R99p**), para a cidade de Belo Horizonte. Observa-se que nenhum dos três índices apresentou tendências estatisticamente significativas. Logo, os valores observados não apresentam segurança quanto ao aumento dos valores dos índices ao longo de todo período analisado. Para o **PRCPTOT** os anos em que a precipitação foi superior a 1900 mm/ano foram 1962, 1983, 2004, 2008 e 2009.



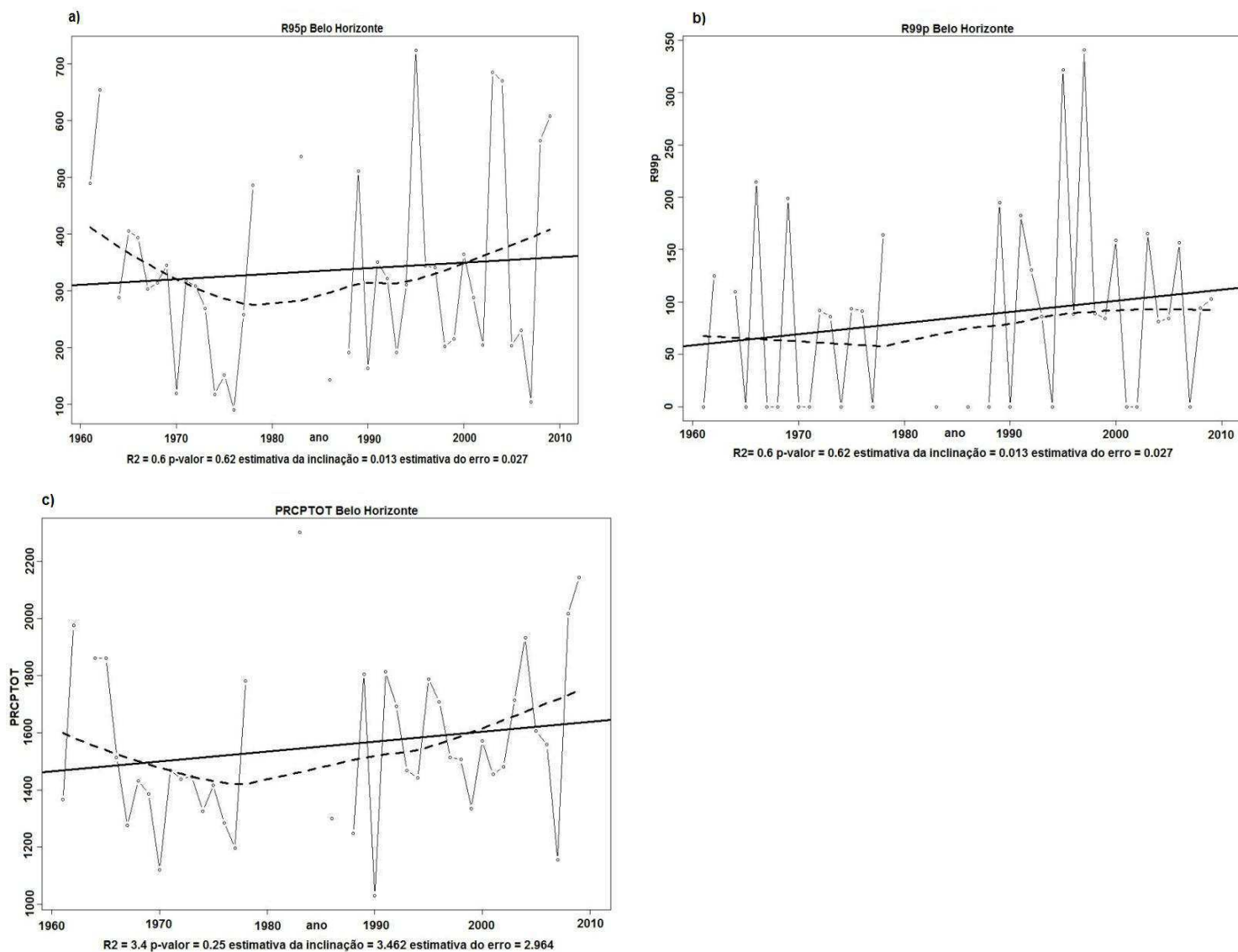


Figura 4.3 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **R95p**, b) **R99p** e c) **PRCPTOT** para Belo Horizonte.

A partir deste ponto passa-se a fazer a análise da variabilidade interanual e da tendência dos índices de extremos de precipitação observados em São Carlos.

A Figura 4.4 mostra a tendência e a variabilidade interanual dos índices **Rx1day**, **Rx5day**, **SDII** e **R10mm** para a localidade São Carlos. Observa-se que as tendências de **Rx1day**, **SDII** e **R10mm** são positivas, ou seja, apontando um aumento destes índices ao longo do período, enquanto, a tendência de **Rx5day** é negativa, que implica em diminuição. Ressalta-se que para os quatro índices as tendências não são

estatisticamente significativas, valor-p superior a 0,1 (Figura 4.4). Portanto, não se pode afirmar que estes índices estão aumentando ou diminuindo com o tempo.

Em relação à variabilidade interanual verifica-se que os maiores valores de **Rx1day** ocorreram em 1965, 2002 e 2004 e o menor em 2008. Para **Rx5day** os maiores valores foram observados em 1995 e 1996 e o menor também em 2008. Os maiores do **SDII** foram em 1983 e 2009 e os menores em 1961 e 2008. Já o **R10mm** apresentou o maior valor em 1983 e os menores em 1963 e 1984 (Figura 4.4). Estes resultados apontam para um ano chuvoso em 1983 e um ano seco em 2008.

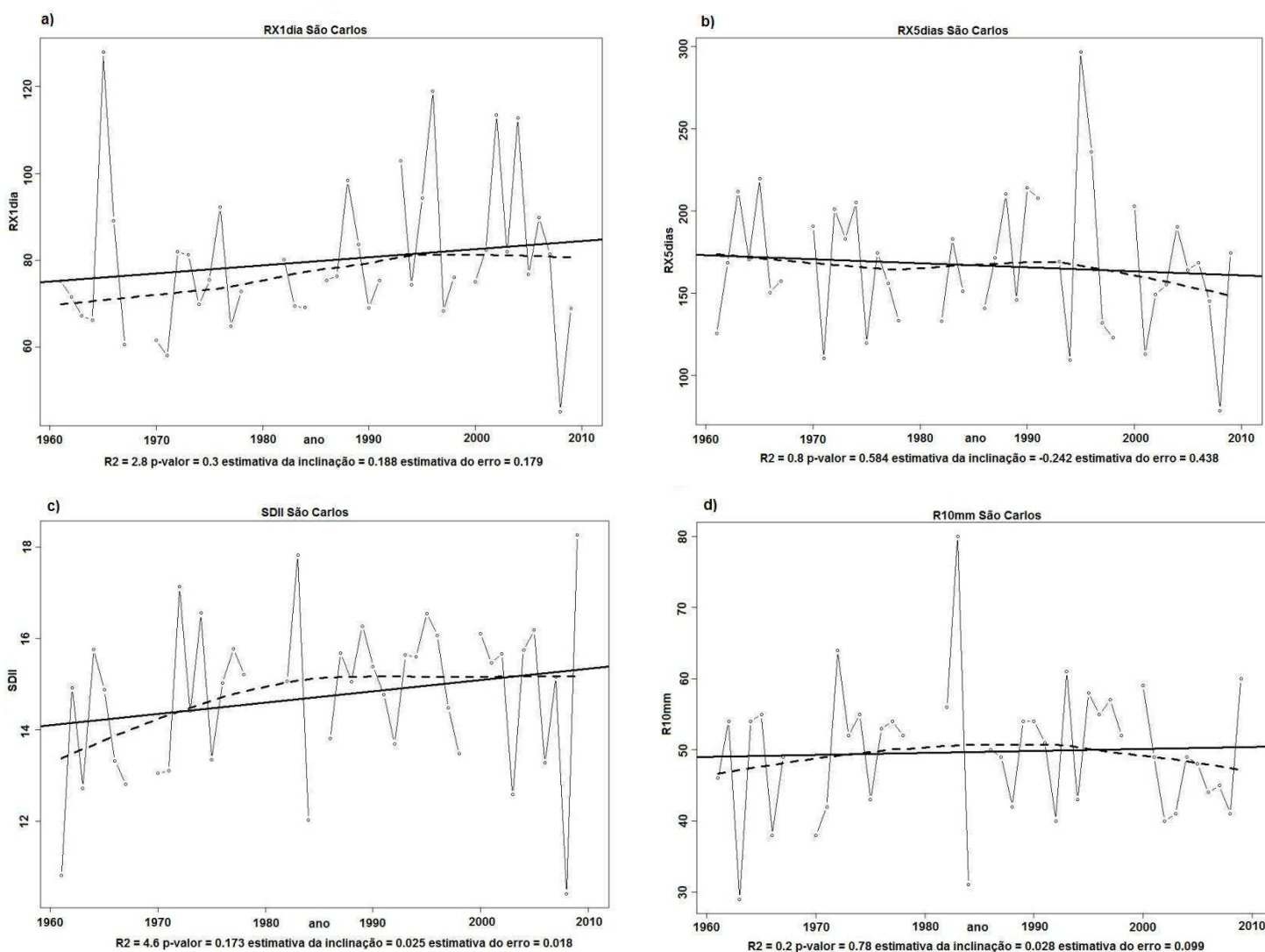


Figura 4.4 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **RX1day**, b) **RX5day**, c) **SDII** e d) **R10mm** para a localidade São Carlos.

A Figura 4.5 mostra a variabilidade interanual e a tendência dos índices **R20mm**, **Rnnmm** (número de dias em um ano com precipitação diária superior a 50 mm/dia), **CDD** e **CWD** para a localidade de São Carlos. Observa-se tendência positiva para **R20mm**, nenhuma tendência para **Rnnmm** e negativa para **CDD** e **CWD**. Verifica-se do valor-*p* que nenhum índice apresenta tendência estatisticamente significativa, ou seja, as tendências obtidas podem ser apenas causais, não havendo nenhuma razão confiável para os valores observados.

A variabilidade interanual do **R20mm** mostra os maiores valores para 1983 e 2009 e os menores em 1984 e 2008, **Rnnmm** tem os anos de 1973 e 2009 com os maiores valores e 2008 com o menor. As variabilidades de **CDD** e **CWD** são muito flutuantes sendo verificados valores máximos intercalados por valores mínimos ao longo de toda série (Figura 4.5). De um modo geral, estes resultados continuam apontando 1983 e 2009 como anos chuvosos e 2008 como ano seco. Outro ano que se apresenta como seco é 1984 (Figura 4.5).

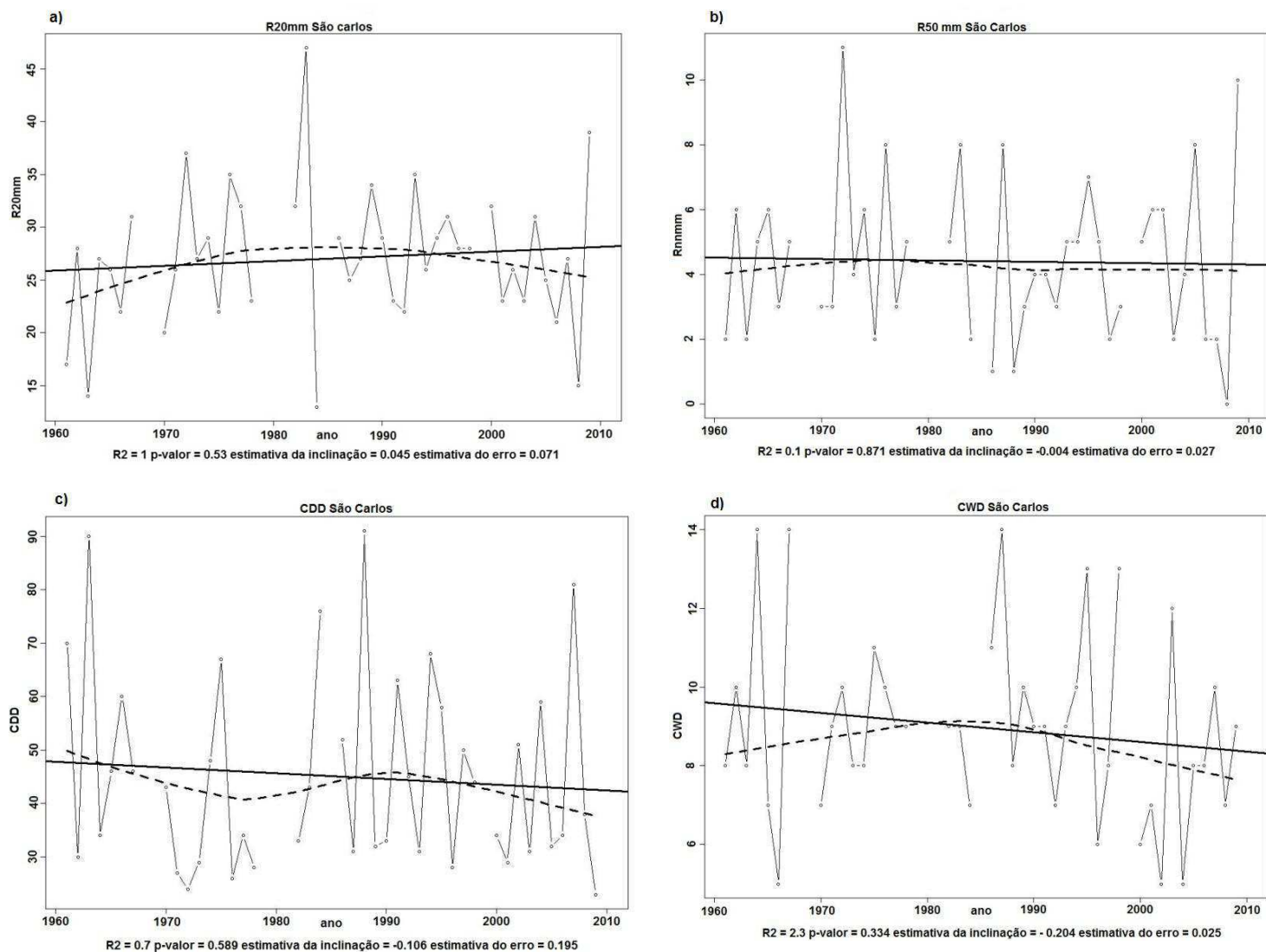


Figura 4.5 – Variabilidade interanual dos índices climáticos: a) **R20mm**, b) **R50mm**, c) **CDD** e d) **CDW** para a localidade São Carlos.

Na Figura 4.6 são mostradas a variabilidade interanual e a tendência dos índices de extremo de precipitação **R95p**, **R99p** e **PRCPTOT**, para a cidade de São Carlos. Observa-se tendência positiva para **R99p** e **PRCPTOT** e negativa para **R95p**, porém sem significância estatística, valor-p superior a 0,1. Ressalta-se que a maioria dos índices de extremo de precipitação aponta na direção de aumento da intensidade dos eventos de chuvas em São Carlos, embora estas tendências não apresentem significância estatística, estes resultados não devem ser descartados, ou seja, não é possível afirmar categoricamente que houve aumento, mas os resultados obtidos servem como sinal de advertência.

Em relação à variabilidade interanual verifica-se que os anos com maiores valores de **R95p** foram 1972 e 2009. O valor elevado de 1972 levou a tendência da série como um todo ser negativa, **R99p** apresentou variabilidade irregular com os maiores valores ocorrendo em 1965 e 1972, mesmo assim o **R99p** apresentou tendência positiva decorrente de um grande número de anos (nove) com valores zeros no período de 1961 a 1980, contra apenas quatro anos com valores zeros nas duas décadas finais, Para **PRCPTOT**, que é o total anual de precipitação, os menores totais anuais de chuva foram nos anos de 1963, 1984 e 2008, e os maiores foram em 1983 e 2009 (Figura 4.6).

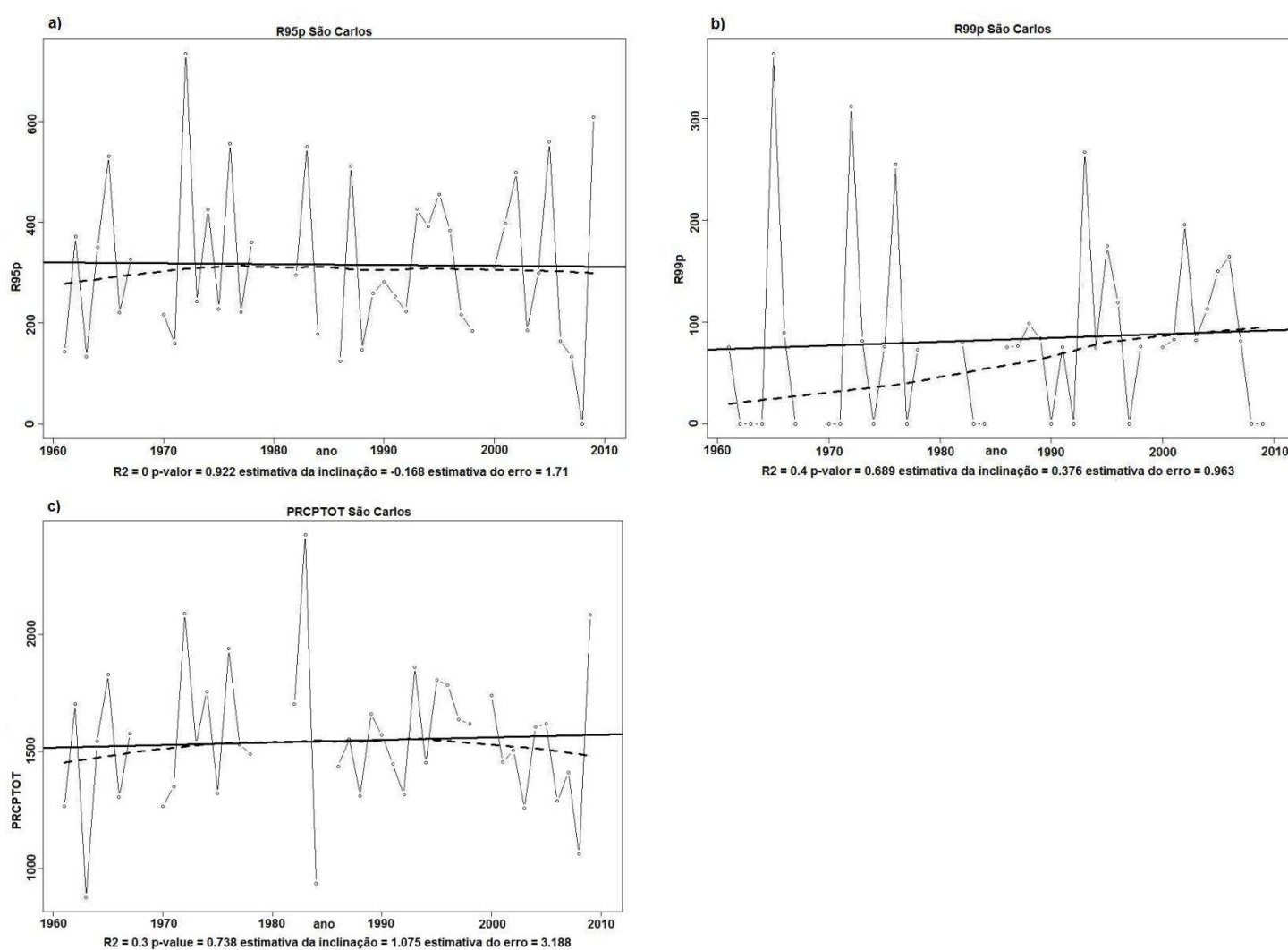


Figura 4.6 – Variabilidade interanual e tendências dos índices climáticos: a) **R95p**, b) **R99p** e c) **PRCPTOT** para São Carlos.

A Figura 4.7 apresenta as tendências e as variabilidades interanuais dos índices de extremo de precipitação **Rx1day**, **Rx5day**, **R10mm** e **SDII** obtidos para a estação

meteorológica de Campos do Goytacazes, estado do Rio de Janeiro. Observa-se que as tendências de **Rxday** e **Rx5day** são negativas e as de **SDII** e **R10mm** são positivas, todavia estas tendências não apresentam significância estatística, Contudo, é possível afirmar que os sinais das tendências são decorrentes da variabilidade interanual dos índices, pois os maiores valores de **Rx1day** foram em 1966, 1972 e 1977, enquanto os de **Rx5day** foram 1966 e 1970, ou seja, os maiores valores destes dois índices foram verificados no início da série produzindo uma tendência negativa. Por outro lado, os maiores valores de **R10mm** ocorreram em 1975 e 2008 e os de **SDII** foram em 1966, 2007 e 2008, Para os quatro índices o menor valor foi observado em 1963 (Figura 4.7).

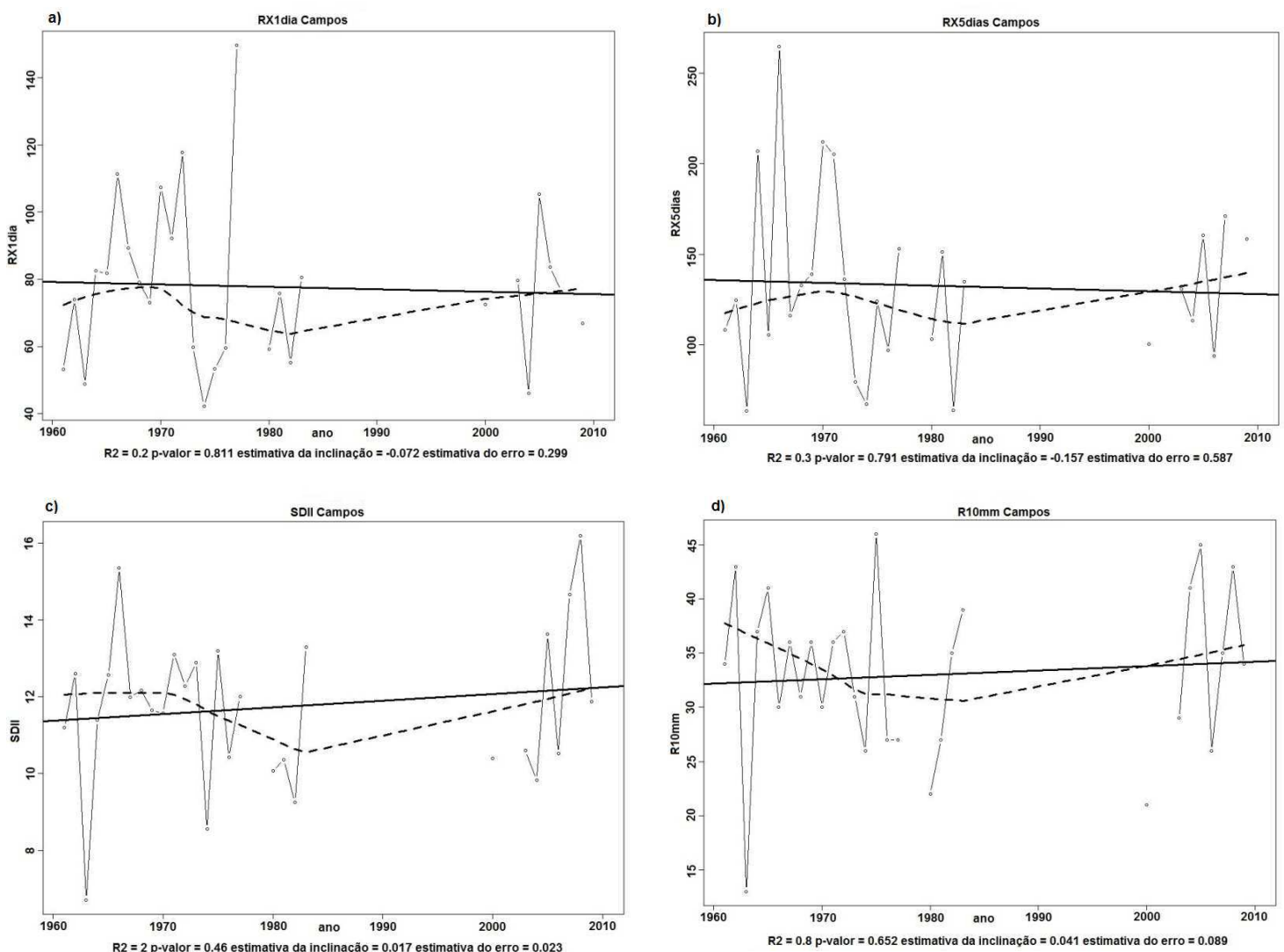


Figura 4.7 – Variação interanual e a tendência dos índices climáticos a) **RX1day**, b) **RX5day**, c) **R10mm** e d) **SDII** para a localidade Campos.

As variabilidades interanuais e as tendências dos índices de extremo de precipitação **R20mm**, **Rnnmm (R50mm)**, **CDD** e **CDW** para a cidade de Campos dos Goytacazes são mostradas na Figura 4.8. Verifica-se que **R20mm** e **CDD** apresentam tendências positivas, **CWD** negativa e para **Rnnmm (R50mm)** não se observa tendência. Analisando o valor-p de cada um destes índices nota-se que as tendências não apresentam significância estatística. Portanto, é possível afirmar que as tendências observadas podem ser apenas casuais, embora pesquisas realizadas para outras partes do globo, a exemplo de Zhang et al, (2011) e King (2013), também apontam poucos índices de extremo de precipitação com tendências estatisticamente significativas.

Em relação à variabilidade interanual observa-se uma grande oscilação de todos os quatro índices ao longo de toda a série de dados (Figura 4.8). Esta magnitude das oscilações possivelmente tenha contribuído para não significância estatística das tendências.

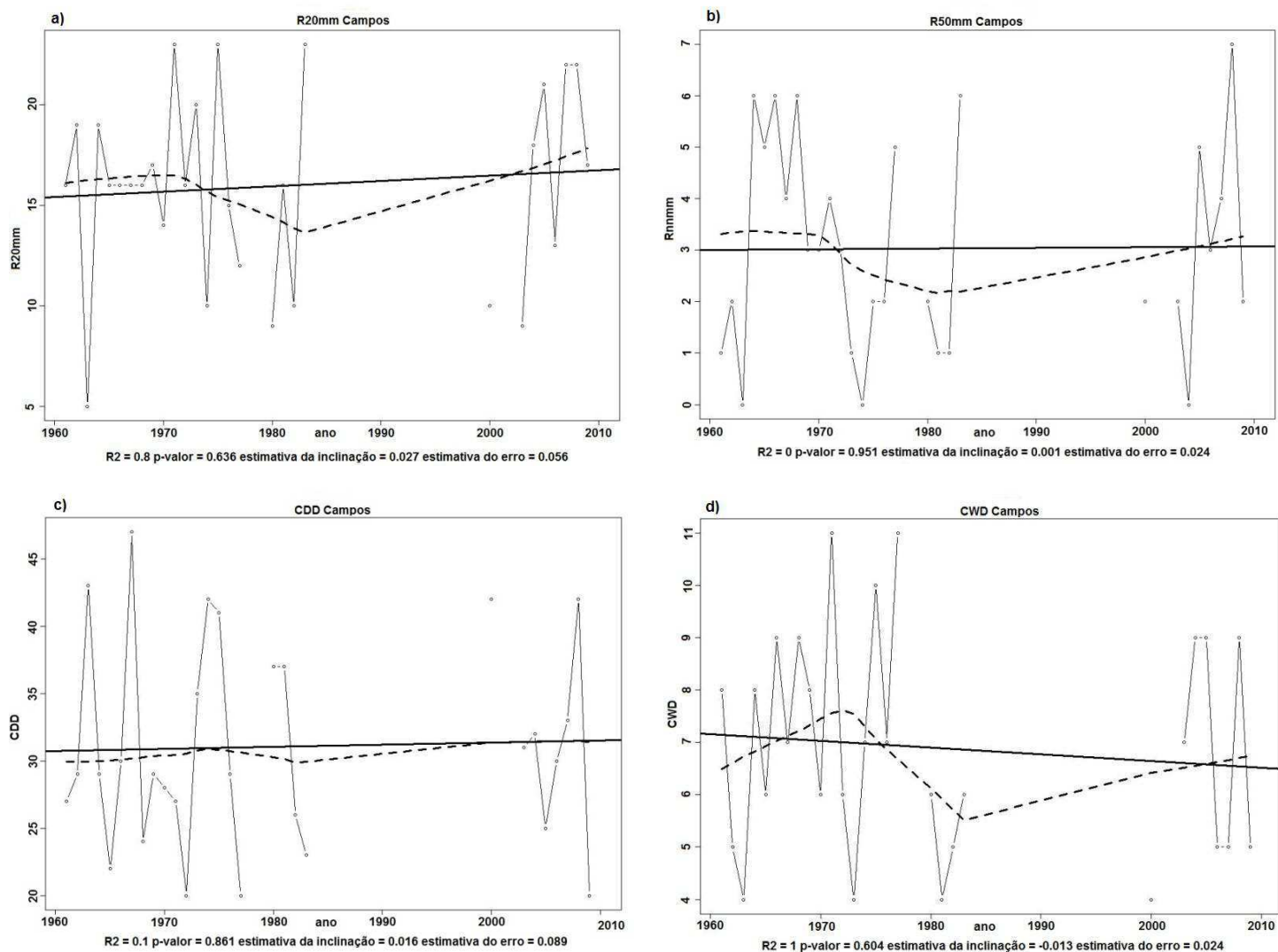


Figura 4.8 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **R20mm**, b) **R50mm**, c) **CDD** e d) **CDW** para a localidade Campos.

A Figura 4.9 apresenta a variabilidade interanual e a tendência dos índices de extremo de precipitação **R95p**, **R99p** e **PRCPTOT** para a localidade Campos. Verifica-se uma tendência positiva para **R95p** e **R99p** indicando que ao longo do período em estudo houve um aumento de dias muito úmidos e extremamente úmidos. Também é observado que o total de precipitação em um ano, **PRCPTOT**, também apresentou tendência positiva.

Em 2008 a soma dos dias com precipitação superior a 95º percentil das chuvas diárias foi superior a 700 mm. Ocorreram oscilações para os valores de precipitação nos



anos de 1961 a 1990 e também nos anos de 2000 a 2009, no primeiro caso registraram-se maior intensificação na ocorrência de dias úmidos, já no segundo caso verificaram-se maior variação na ocorrência dos valores de precipitação.

Conforme a inclinação da reta de tendência nos períodos de 1961 a 1990 ocorreram maior concentração de chuvas, no período de 2000 a 2009 ocorreram chuvas mais intensas.

Como já mencionado na Figura 4.9 observa-se uma tendência positiva do **R99p** indicando aumento significativo de dias extremamente úmidos.

O período de 1961 a 1970 apresentou oscilações para os valores da soma da precipitação diária com chuvas superior a 99<sup>o</sup> percentil (dias extremamente úmidos) em alguns anos a soma foi superior a 400 mm (Figura 4.9), nesse mesmo período ocorreram dois anos em que a soma foi zero, ou seja, não se observou dias com chuva superior ao 99<sup>o</sup> percentil. No período de 1970 a 1980 verifica-se 5 anos e de 2000 a 2009 apenas um único ano não se observou chuva diária superior ao 99<sup>o</sup> percentil.

Ainda na Figura 4.9 verifica-se uma tendência positiva para a precipitação total anual ao longo de todo período em estudo.

Nos períodos de 1961 a 1970 registraram-se anos com a menor quantidade diária de precipitação com valores atingindo 400 mm e 2000 a 2009 registraram-se o maior valor para a quantidade diária de precipitação de aproximadamente 1600 mm.

Conforme a inclinação da reta de tendência no período de 1961 a 1990 registraram-se anos com maior intensificação e maior variação de precipitação total anual dos dias úmidos, nos anos de 2000 a 2009 registraram-se aumentos mais significativos, logo nos anos de 1961 a 1990 as chuvas foram mais intensas, mas nos anos de 2000 a 2009 registraram-se maior quantidade de chuvas.

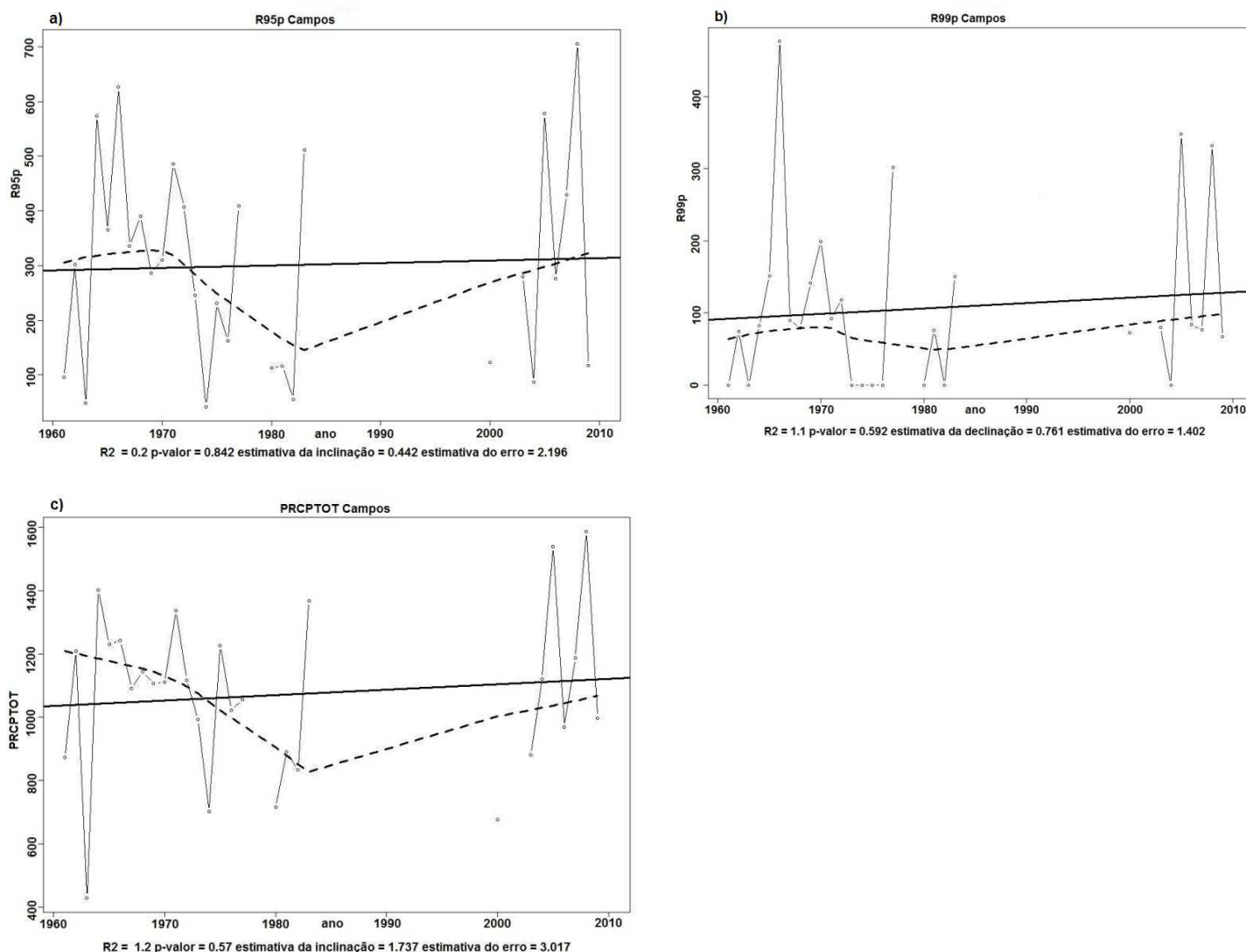


Figura 4.9 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **R95p**, b) **R99p** e c) **PRCPTOT** para a localidade Campos.

#### 5.1.4 Análise da Variabilidade Interanual e da Tendência dos Índices Extremos da Temperatura do Ar

Semelhante as análises para os índices de extremo de precipitação a seguir é elaborado um diagnóstico dos índices de extremo da temperatura do ar para as mesmas localidades, ou seja, Belo Horizonte – MG, São Carlos – SP e Campos do Goytacazes – RJ.

A primeira localidade a ter os índices de extremo da temperatura do ar analisado é Belo Horizonte. A propósito, a Figura 4.10 mostra a tendência e a variabilidade

interanual dos índices **TN<sub>x</sub>** (maior temperatura mínima em um ano), **TX<sub>n</sub>** (menor temperatura máxima em um ano), **TN<sub>n</sub>** (menor temperatura mínima em um ano) e **TX<sub>x</sub>** (maior temperatura máxima em um ano) justamente para a cidade de Belo Horizonte, Observa-se tendência positiva em todos os 4 índices, sendo estatisticamente significativa para **TN<sub>n</sub>**, **TN<sub>x</sub>** e **TX<sub>x</sub>**, ou seja, o único que não apresentou tendência com significância estatística foi **TX<sub>n</sub>**. Isto mostra um aumento das temperaturas mínimas e máximas em Belo Horizonte. Resultados semelhantes foram obtidos por Renom et al, (2011), Caesar et al, (2011), Zhang et al (2011) e King et al, (2013) para outras partes do globo.

Em relação à variabilidade interanual no período de 1980 a 1970 registraram-se oscilações para a maior temperatura mínima atingindo valor mínimo de aproximadamente 21,8 °C e valor máximo próximo de 24,5 °C. Já para o período de 1990 a 2000 verificou-se a ocorrência do maior valor para a maior temperatura mínima diária em um ano com um valor de aproximadamente 25°C.

Verifica-se na Figura 4.10 uma leve tendência positiva mostrando que ao longo do período houve a ocorrência de um pequeno aumento para a menor temperatura máxima em um ano, sendo os maiores valores das menores temperaturas máximas anuais observadas nos anos de 1963, 2007, 2008 e 2009. Quanto aos valores das menores temperaturas mínimas anuais observa-se um aumento bastante elevado, uma vez que no início da série de dados as temperaturas estavam em torno de 8°C chegando a 11,5°C, no final do período (Figura 4.10), ou seja, um aumento da ordem de 3,5°C. A menor mínima das mínimas foi em 1969 6,3°C e a maior em 2009 quase 11,9°C.

Para as temperaturas máximas das máximas o menor valor foi registrado em 1992, 31,7°C, seguido de 1964 com 31,8°C, enquanto, o maior valor ocorreu em 2007, 36,2°C. No cinco primeiros anos da série de dados a máxima das máximas foi de 33,3°C, nos últimos cinco anos foi de 35,1°C, que representa um aumento de 1,8°C. Este valor é bastante significativo, pois é um aumento das máximas temperaturas diárias em um ano.

Ainda pode ser verificado na Figura 4.10 uma tendência positiva mostrando que ao longo do período em estudo o máximo valor anual das temperaturas máximas diárias em um ano (**TX<sub>x</sub>**) apresentou aumento significativo, pois observa-se valor-p = 0,004.

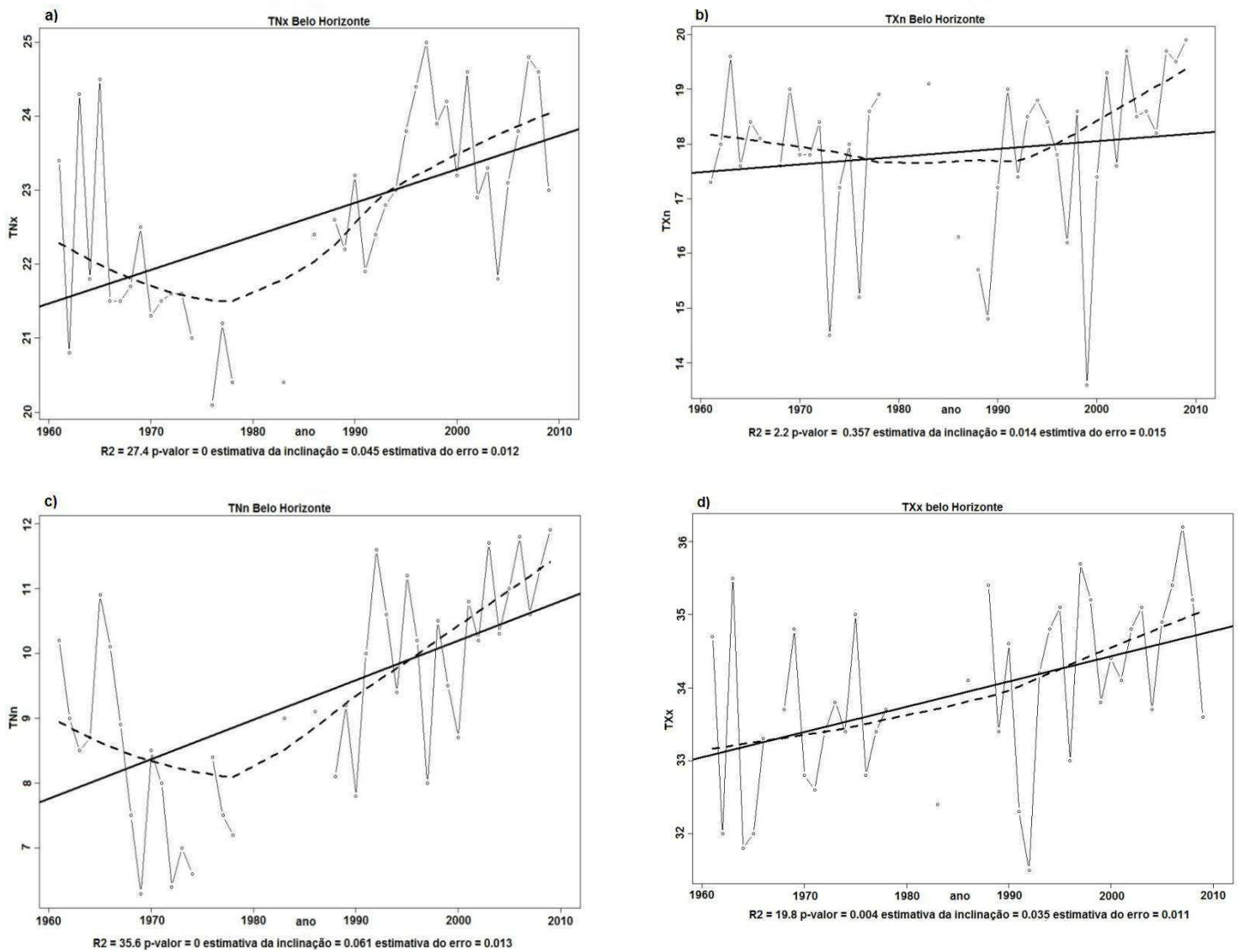


Figura 4.10 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **TNx**, b) **TXn**, c) **TNn** e d) **TXx** para a localidade Belo Horizonte.

A Figura 4.11 mostra a variabilidade interanual e a tendência dos índices de extremo de temperatura do ar **TN10p** (número de dias no ano com temperatura mínima inferior ao 10º percentil das temperaturas mínimas diárias), **TX10p** (número de dias no ano com temperatura máxima inferior ao 10º percentil das temperaturas máximas diárias), **TN90p** (número de dias no ano com temperatura mínima superior ao 90º percentil das temperaturas mínimas diárias) e **TX90p** (número de dias no ano com

temperatura máxima superior ao 90<sup>o</sup> percentil das temperaturas máximas diárias), Todos para a cidade de Belo Horizonte.

Verifica-se da Figura 4.11 que número de dias no ano com temperatura mínima inferior ao 10<sup>o</sup> percentil das temperaturas mínimas diárias (**TN10p**) apresentou tendência de diminuição, ou seja, ao longo da série de dados o número de noites mais frias está diminuindo. Por outro lado, a tendência do número de dias no ano com temperatura mínima superior ao 90<sup>o</sup> percentil das temperaturas mínimas diárias aumento ao longo de toda série. Em outras palavras, observou-se um aumento dos números de noites quentes. Também foi observada uma tendência de diminuição do número de dias no ano com temperatura máxima inferior ao 10<sup>o</sup> percentil das temperaturas máximas diárias (**TX10p**). Isto informa que o número de tardes frias diminuiu ao longo da série de dados. Enquanto, foi observado um aumento do número de dias no ano com temperatura máxima superior ao 90<sup>o</sup> percentil das temperaturas máximas diárias, ou seja, ocorreu um aumento de tardes quentes. Como as noites e os dias mais frios diminuíram e as noites e os dias mais quentes aumentaram percebe-se facilmente que a temperatura em Belo Horizonte aumento com o passar dos anos.

Em relação à variabilidade interanual observa-se que o maior número de noites frias em um ano ocorreu no final da década de 1961 e início da de 1970, enquanto o menor número de noites frias verificou-se entre 2005 e 2009 (Figura 4.11). Configuração semelhante foi observada para o número de tardes mais frias, a exceção foi para o baixo número de dias de tardes frias de 1963, possivelmente este valor de **TX10p** observado em 1963 produziu uma tendência positiva não estatisticamente significativa para este índice (**TX10p**). Por outro lado, os menores números de noites mais quentes em um ano foram observados de 1964 a 1980 e os maiores números de 1998 a 2009. Configuração semelhante foi verificada para **TX90p** (Figura 4.11).

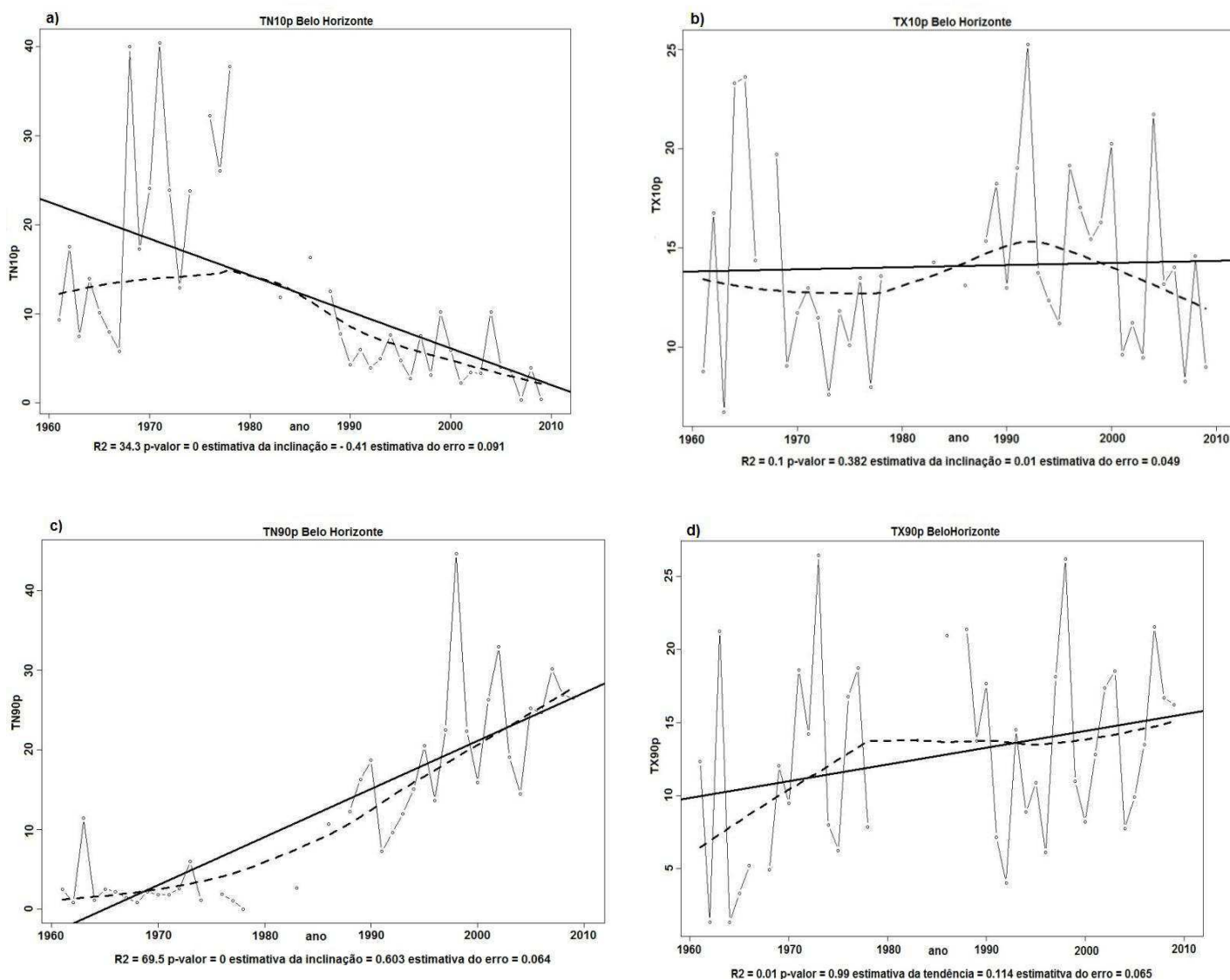


Figura 4.11 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **TN10p**, b) **TX10p**, c) **TN90p** e d) **TX90p** para a localidade Belo Horizonte.

Com a análise dos índices de extremo de temperatura de Belo Horizonte já finalizada passa-se a comentar os resultados obtidos para São Carlos – SP. A Figura 4.12 mostra as variabilidades interanuais e as tendências dos índices extremo de temperatura **TN<sub>n</sub>**, **TN<sub>x</sub>**, **TX<sub>n</sub>** e **TX<sub>x</sub>** para a cidade de São Carlos. Observa-se que a tendência dos quatro índices é de aumento, ou seja, foi diagnosticado um aumento das mínimas temperaturas mínimas anuais, das máximas temperaturas mínimas anuais, das mínimas temperaturas máximas anuais e das máximas temperaturas máximas anuais.

A variabilidade interanual dos quatro índices apresenta configuração diferente dos verificados para Belo Horizonte. No caso das temperaturas mínimas das mínimas os menores valores ocorreram em 1975 e 2000, com temperatura do ar inferior a 0°C. Os maiores valores foram observados em 1961 e 1986 (Figura 4.12). Para as máximas temperaturas mínimas anuais (**TN<sub>x</sub>**) os menores valores ocorreram 1962 e 1967 e os maiores foram verificados em 1988 e 2005.

Em relação às temperaturas máximas das máximas percebe-se que os maiores valores ocorreram em 1963, 1964, 1988, 2002, 2007 e 2008 e os menores em 1962 e 1983. Este tipo de configuração explica de certa forma a tendência de aumento do índice **TX<sub>x</sub>** (Figura 4.12). Os menores valores das temperaturas mínimas das máximas em um ano ocorreram em 1987 e 1996 e os maiores valores foram observados em 1967, 1998, 2003 e 2008.

A menor temperatura mínima em um ano foi observada em 2000 (-1°C) e a maior temperatura mínima em um ano foi registrada em 1988 (23,5°C). A maior temperatura máxima em um ano ocorreu em 1964 (37,6°C) e a menor foi no ano de 1987 (5,3°C).

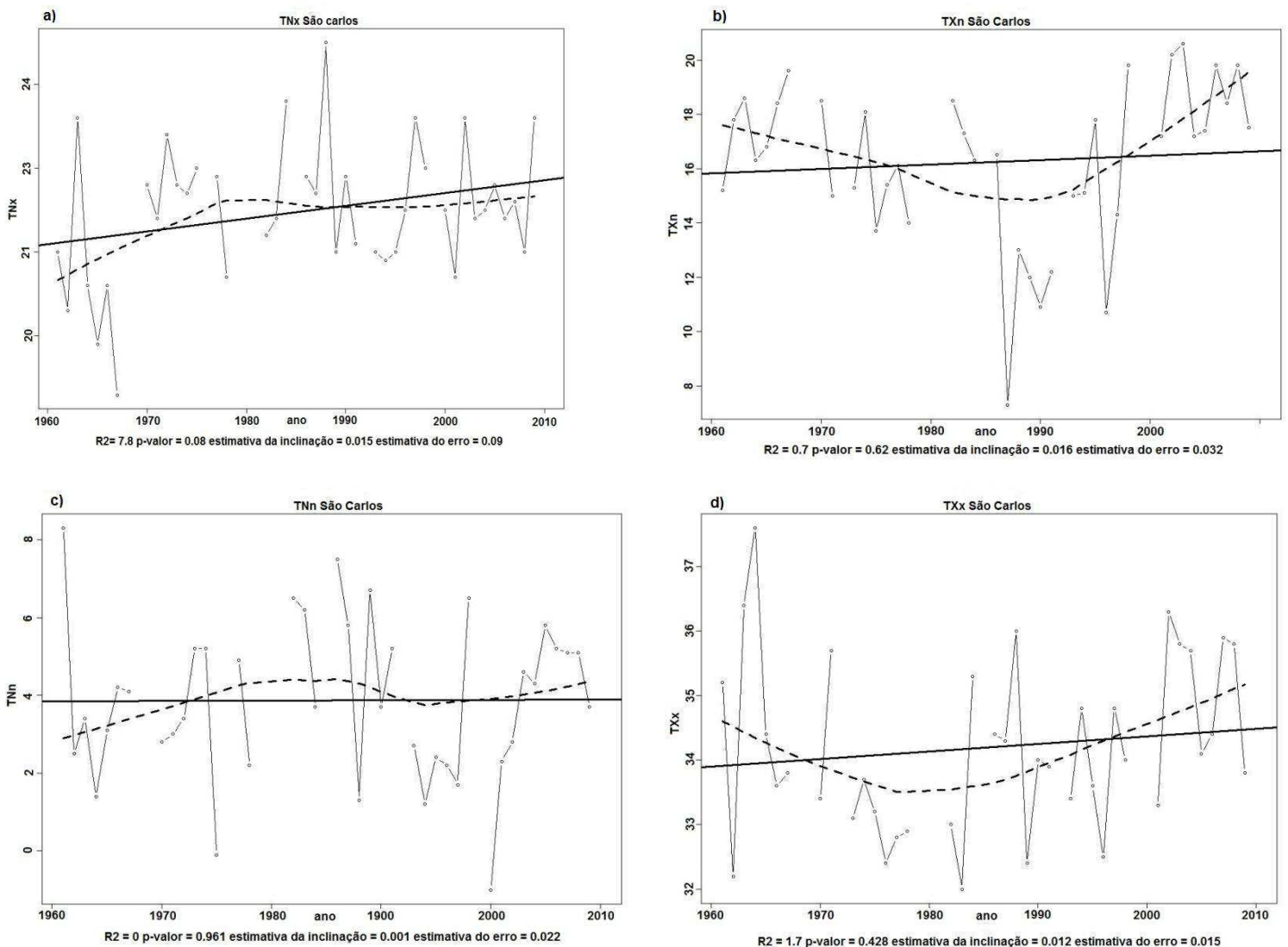


Figura 4.12 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **TNx**, b) **TXn**, c) **TNn** e d) **TXx** para a localidade São Carlos.

A Variabilidade interanual e a tendência dos índices de extremo de temperatura do ar **TN10p**, **TX10p**, **TN90p** e **TX90p** para a cidade de São Carlos – SP são apresentados na Figura 4.13. Observam-se tendências negativas de **TN10p** e de **TX10p** e positivas de **TN90p** e **TX90p**, ou seja, os números de noites mais frias e de dias (tardes) mais frios diminuiram ao longo da série de dados, enquanto os números de noites quentes e dias quentes (tardes) aumentaram. Estes resultados encontrados para São Carlos – SP concordam com os obtidos por outros pesquisadores para diversas partes do globo terrestre.



A variabilidade interanual do índice **TN10p** mostra que ocorreu um decaimento deste índice ao longo de toda série a exceção foi o ano de 1970 que apresentou um grande número de dias com temperatura mínima inferior ao 10<sup>o</sup> percentil das temperaturas mínimas diárias. Para o **TX10p** observa-se que este índice aumentou de 1961 até 1990, em seguida caiu, mas com uma declinação inferior a inclinação da subida, O menor valor de **TX10p** ocorreu em 1963 e o maior em 1990 (Figura 4.13).

O índice **TN90p** apresenta um aumento quase sistemático do início ao final da série, as maiores exceções foram os anos de 1973, 1984 e 1988. O valor mais elevado ocorreu em 1984 e os menores entre 1964 e 1970 (Figura 4.13). O índice **TX90p** também apresenta uma configuração de aumento ao longo da série, sendo que o maior valor ocorre em 2002. Outro ano que apresentou valor elevado foi de 1984 quebrando de certa forma a aumento continuo do índice (Figura 4.13).

Tanto para os índices de precipitação como para os de temperatura do ar os resultados obtidos para São Carlos – SP estão dentro dos padrões encontrados por diferentes pesquisadores para outras partes do globo.

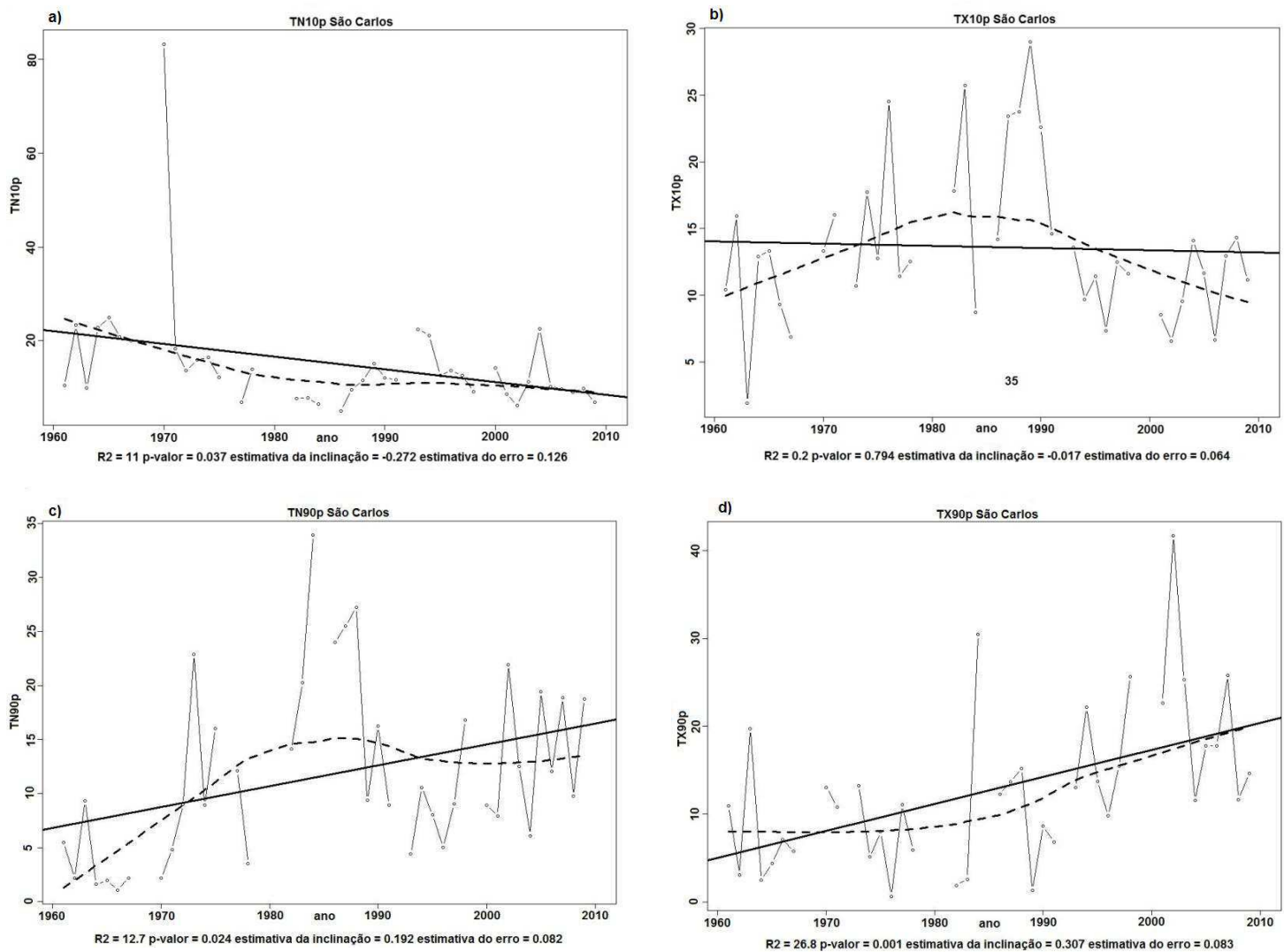


Figura 4.13 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **TN10p**, b) **TX10p**, c) **TN90p** e d) **TX90p** para a localidade de São Carlos.

A Figura 4.14 mostra a variabilidade interanual e a tendência dos índices extremos de temperatura do ar **TNn**, **TNx**, **TXn** e **TXx** para a cidade de Campos dos Goytacazes, situada no litoral norte do estado do Rio de Janeiro. Dos quatro índices apenas **TXx** apresentou tendência negativa, não estatisticamente significativa, os demais apresentaram tendências positivas, embora, apenas para **TNx**, maior temperatura mínima diária em um ano, apresentou tendência com significância estatística, vide valor-*p* do índice **TNx** Figura 4.14. Este aumento diagnosticado nas temperaturas extremas está de acordo com o observado por outros pesquisadores para outras partes do globo.

Os menores valores da temperatura mínima das mínimas (**T<sub>Nn</sub>**) ocorreram em 1962; 10,8°C, e 2000; 11°C, enquanto, os maiores valores ocorreram em 1972; 14,6°C, e 1976; 14,5°C. Para as máxima anuais das temperaturas mínima (**T<sub>Nx</sub>**) os maiores valores foram em 1990; 27,0°C, e 2007; 27,1°C e os menores ocorreram em 1968; 23,8°C, e 1969; 24,0°C. Estes valores apontam para uma configuração de aumento das temperaturas mínimas das mínimas e máximas das mínimas. A menor temperatura mínima foi de 10,8°C, em 1962 e a maior mínima foi de 27,1°C, em 2007 (Figura 4.14).

Para as temperaturas máximas observa-se que os menores valores das mínimas das temperaturas máximas ocorreram em 1964 e 1968. Os maiores foram verificados em 1982, 1985 e 1987. Para as temperaturas máximas das máximas os menores valores ocorreram em 2004 e 2005 e os maiores foram verificados em 1971, 1988 e 1990 (Figura 4.14).

A menor temperatura máxima ocorreu em 1962, cujo valor foi 16,5°C, e a maior foi de 40,0°C em 1971 (Figura 4.14).

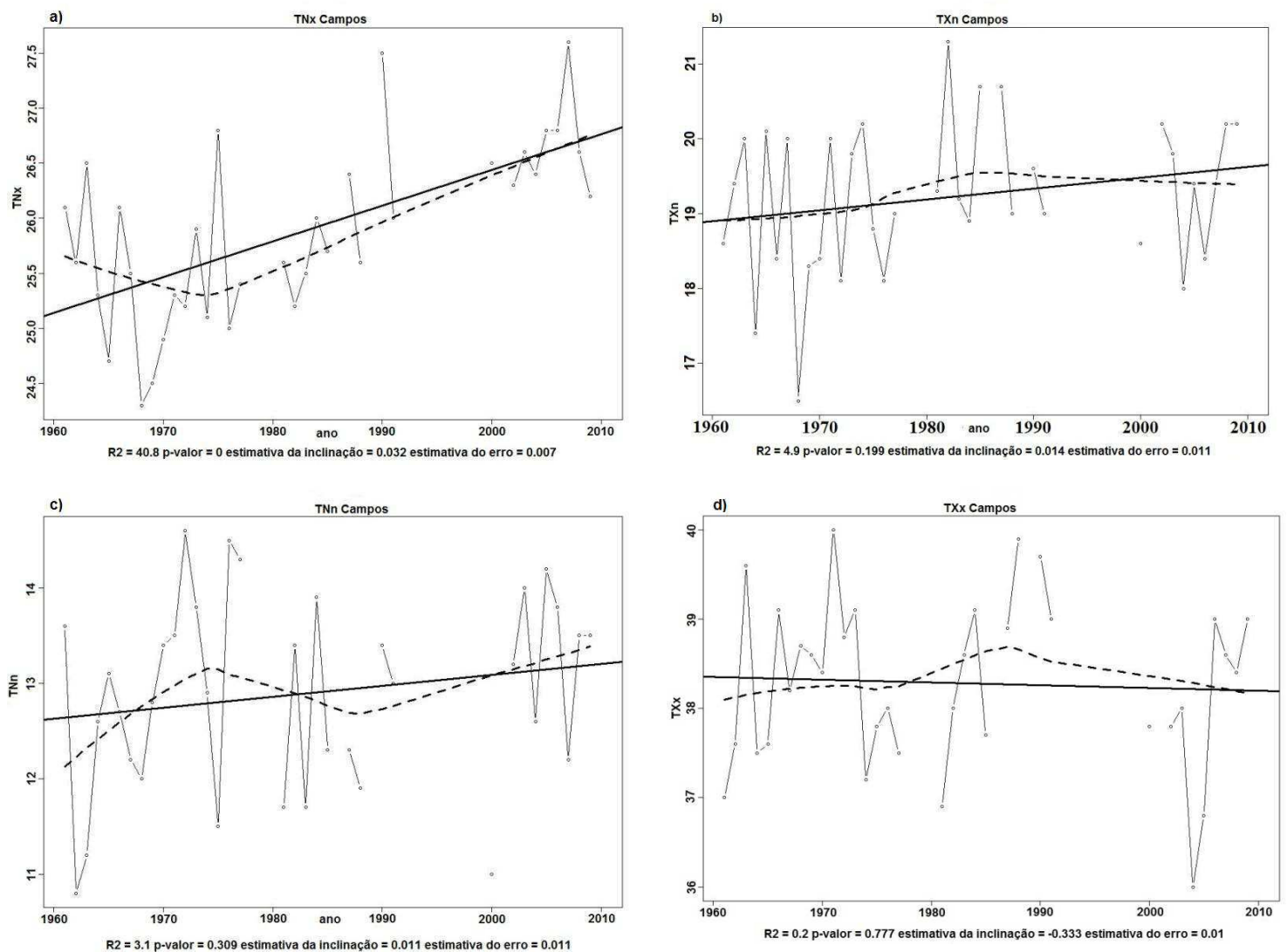


Figura 4.14 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **TNx**, b) **TXn**, c) **TNn** e d) **TXx** para a localidade Campos.

A variabilidade interanual, a tendência com o seu valor-p dos índices extremos de temperatura do ar **TN10p**, **TX10p**, **TN90p** e **TX90p** para a cidade de Campos dos Goytacazes são apresentados na Figura 4.15.

Verifica-se na Figura 4.15 uma tendência negativa mostrando que ocorreu uma diminuição nas temperaturas mínimas diárias em um ano.

No período de 1961 a 1970 observou-se a ocorrência da maior temperatura mínima diária em um ano, atingindo valor superior a 40 °C. Já para o período de 2000 a 2009 registraram-se os menores valores para as temperaturas mínimas diárias, valores inferiores a 10 °C.

Conforme a inclinação da reta de tendência observa-se maior intensidade para as temperaturas mínimas diárias nos anos de 1961 a 1980 onde registrou-se o ano com dias mais quentes, no período de 2000 a 2009 observaram-se dois anos com temperaturas mínimas baixas consequentemente o período o no qual ocorreram os dois anos mais frios, observam-se pequenas oscilações para as temperaturas mínimas diárias.

Verifica-se na Figura 4.15 uma tendência negativa mostrando que as temperaturas máximas diárias tiveram decréscimo significativo, ocorrendo grande intensificação como também uma maior amplitude para as temperaturas máximas diárias.

No período de 1961 a 1970, observou-se a maior temperatura máxima diária de aproximadamente 25°C, mas também foram registradas temperaturas baixas com valores menores que 10°C. Para o período de 2000 a 2009 registrou-se a menor temperatura máxima diária, valor inferior 10 °C.

Conforme a inclinação da reta de tendência registrou-se maior intensidade no período de 1961 a 1980, nesse mesmo período observaram-se mais oscilações para as temperaturas máximas diárias e os maiores valores. Os anos com dias mais frios observaram-se no período de 1961 a 1970 dois anos, e três anos no período de 2000 a 2009.

Verifica-se na figura 4.15 uma tendência positiva mostrando que as temperaturas mínimas diárias apresentaram aumento significativo, onde houve a ocorrência de maior intensidade e o aumento da amplitude térmica.

Para os anos de 1961 a 1980 verificaram-se os menores valores para as temperaturas mínimas diárias, valores menores que 5 °C. Para o período de 2000 a 2009, registraram-se as maiores temperaturas mínimas diárias com valores superior a 30 °C.

Conforme a inclinação da reta de tendência pode-se identificar maior intensidade nos anos de 1961 a 1980, nesse mesmo período registraram-se 12 anos que apresentaram temperaturas mínimas diárias menor que 5°C, consequentemente nesse período ocorreram os anos onde registraram-se os dias mais frios. No período de 1980 a 1990, também ocorreram 3 anos com temperaturas mínimas diárias menor que 5 °C, consequentemente esses três anos também apresentaram anos com dias frios. A maior amplitude para as temperaturas mínimas diárias verificou-se no período de 2000 a 2009.

Verifica-se na figura 4.15 uma tendência positiva mostrando que as temperaturas mínimas diárias apresentaram um aumento significativo, onde houve a ocorrência de maior intensidade e o aumento da amplitude térmica.

Para os anos de 1961 a 1980 verificaram-se os menores valores para as temperaturas mínimas diárias, valores menores que 5 °C. Para o período de 1980 a 1990 e 1990 a 2000, registraram-se as maiores temperaturas mínimas diárias com valores superior a 25 °C.

Conforme a inclinação da reta de tendência pode-se identificar maior intensidade nos anos de 1961 a 1980, maior amplitude para as temperaturas mínimas diárias verificou-se no período de 1980 a 1990. Já para os anos de 1961 a 1980, registraram-se os menores valores para as temperaturas mínimas diárias identificando como sendo os anos mais frios para o período em estudo.

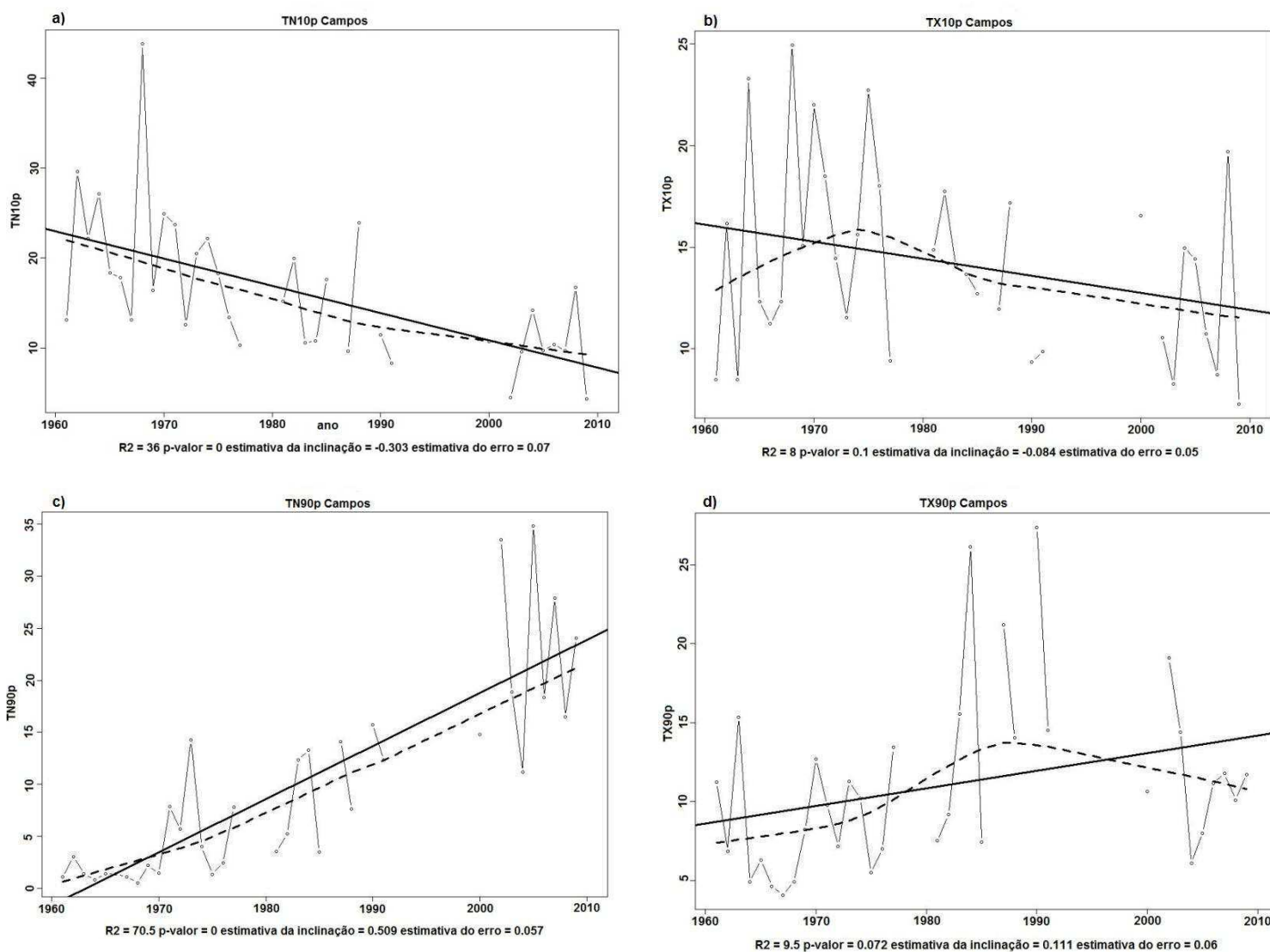


Figura 4.15 – Variabilidade interanual e tendência dos índices climáticos: a) **TN10p**, b) **TX10p**, c) **TN90p** e d) **TX90p** para a localidade Campos.

## 5.2 Análise do Comportamento da umidade relativa do ar na região sudeste do Brasil

Ao longo do período analisado, de 1961 a 2009. Observou-se um aumento da temperatura do ar. Sabe-se que um aumento na temperatura afeta diretamente a umidade relativa do ar. Portanto, é oportuno realizar uma investigação do comportamento da umidade do ar na região sudeste do Brasil no período de 1961 a 2009, Usou-se quatro estações meteorológicas, uma no litoral, Campos dos Goytacazes – RJ; uma serrana, Belo Horizonte – MG; uma distante do litoral e planalto, Uberaba – MG; e uma distante do litoral e planície, Catanduva – SP.

A Tabela 4.5 mostra os valores dos percentis de ordem  $P_{15}$ ,  $P_{35}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{65}$  e  $P_{85}$  da umidade relativa do ar observada as 18Z nos meses de janeiro e julho, no período de 1961 a 2009, para as Cidades: Belo Horizonte, Uberaba, Catanduva e Campos dos Goytacazes. Verifica-se que nas quatro localidades todos os percentis de janeiro foram superiores aos de julho. Estes resultados estão coerentes com o regime de monções, com verão úmido e inverno seco, observado no Sudeste do Brasil (GAN et al., 2004). Em geral, o valor médio da umidade relativa foi superior ao percentil 50, porém a maior diferença ocorreu em Uberaba para o mês de julho, em que a média foi 4% superior ao  $P_{50}$  e em 3% superior ao  $P_{65}$ . Este resultado é decorrente do fato de que no período de 1961 a 2009 verificou-se 12 meses de julho com umidade relativa média das 18Z de 41% a 42%.

Para Belo Horizonte e Campos dos Goytacazes a diferença entre o  $P_{85}$  e o  $P_{15}$  foi maior em janeiro que em julho, enquanto em Uberaba e Catanduva a diferença de julho foi superior a de janeiro. As maiores diferenças entre  $P_{85}$  e  $P_{15}$  foram observadas em janeiro (Belo Horizonte) e julho (Uberaba e Catanduva).

De maneira geral, observa-se que nenhum  $P_{15}$  foi inferior a 30% e nenhum  $P_{85}$  foi superior a 85%. Isto mostra que em mais de 85% dos dias dos períodos seco e úmido a umidade relativa esteve dentro dos padrões considerado confortável para os seres humanos. Entretanto, para Uberaba e Catanduva o  $P_{15}$  de julho foi inferior a 40% e o  $P_{85}$  de todas as localidades em janeiro foi superior a 70%. Portanto, de acordo com a padronização extraída da ISO 7730:2005 (ISO, 2005) dependendo da temperatura pode está ocorrendo sinais de desconforto devido à umidade relativa do ar em todas as localidades, no verão, e em Catanduva e Uberaba, no inverno.

Tabela 4.5 – Percentis de ordem 15, 35, 50, 65 e 85 e a média da umidade relativa do ar (%) observada as 18Z em quatro localidades da região sudeste para os meses de janeiro e julho no período de 1961 a 2009,

Localidade	Mês	$P_{15}$	$P_{35}$	$P_{50}$	Média	$P_{65}$	$P_{85}$
Belo Horizonte	Janeiro	53	60	63	64	68	74
	Julho	44	47	48	49	49	52
Uberaba	Janeiro	58	61	64	67	68	74
	Julho	36	38	41	45	42	56
Catanduva	Janeiro	58	62	65	64	67	71
	Julho	39	43	46	46	47	57
Campos dos Goytacazes	Janeiro	58	62	67	65	68	71
	Julho	54	59	60	61	64	66



A Tabela 4.6 mostra o percentual de dias, do total de dias do período, com umidade relativa do ar inferior a 30% e superior a 80% para as quatro localidades em dois períodos de tempo distintos, o primeiro de 1961 a 1983 (Uberaba até 1984) e o segundo de 1988 a 2009 (Uberaba a partir de 1989 e Campos a partir de 1992). Observa-se que o percentual de dias com umidade inferior a 30% quase que duplicou do 1º para o 2º período, com exceção de Catanduva cujo aumento foi da ordem de 32%. Enquanto, dividindo o segundo período (1988-2009) em duas partes, 1ª de 1988 a 1999 e 2ª de 2000 a 2009, O percentual de dias com umidade inferior a 30% da segunda parte é superior ao da primeira, por exemplo, para Belo Horizonte, na primeira parte o percentual de dias com umidade relativa abaixo de 30% foi de 3,3%, na segunda parte foi de 7,1%. Para o percentual de dias com umidade superior a 80% verificou-se uma diminuição da ordem de 50% para Uberaba, 31% para Belo Horizonte, 19% para Campos do Goytacezes e de 11% para Catanduva.

Estes resultados mostram que ocorreu uma diminuição da umidade relativa do ar do primeiro período para o segundo em toda região tanto no litoral (Campos dos Goytacazes) como no interior (Uberaba e Catanduva).

Diante dos resultados obtidos verifica-se um sinal de alerta para um monitoramento contínuo da umidade relativa do ar na região sudeste do Brasil, não apenas comparando valores observados com médias mensais, mas avançar na utilização de outras técnicas, como por exemplo, estatística de extremos.

Tabela 4.6 – Percentual de dias do total de dias de cada período com umidade relativa do ar inferior a 30% e superior a 80% para dois períodos distintos.

Localidades	1º período (1961 – 1983)		2º período (1988 – 2009)	
	Dias UR < 30%	Dias UR > 80%	Dias UR < 30%	Dias UR > 80%
Belo Horizonte	2,6%	10,2%	5,2%	7,0%
Uberaba	7,6%	18,6%	12,4%	9,2%
Catanduva	5,6%	8,9%	7,4%	7,9%
Campos dos Goytacazes	0,1%	10,8%	0,2%	8,8%

A Tabela 4.7 mostra os percentuais do número de dias em que a umidade relativa foi inferior aos quantis Q15, Q35, Q50, Q65 e Q85 para o primeiro período (1961 – 1983) e o segundo período (1988 – 2009). Observa-se que para todas as quatro localidades o segundo período apresentou um maior percentual do número de dias em que a umidade relativa foi inferior aos quantis Q15, Q35, Q50, Q65 e Q85. Portanto,

pode afirmar que relativamente à atmosfera da região sudeste do Brasil esteve mais seca no período de 1988 a 2009 do que no período de 1961 a 1983. Um dos motivos para a diminuição da umidade relativa foi o aumento na temperatura do ar.

Tabela 4.7 Percentuais do número de dias em que a umidade relativa foi inferior aos quantis **Q15**, **Q35**, **Q50**, **Q65** e **Q85** para o primeiro período (1961 – 1983) e o segundo período (1988 – 2009).

Localidade	Quantis	1º período	2º período
Belo Horizonte	Q15	12%	18%
	Q35	30%	40%
	Q50	43%	57%
	Q65	62%	68%
	Q85	81%	89%
Uberaba	Q15	12%	18%
	Q35	30%	40%
	Q50	45%	55%
	Q65	59%	71%
	Q85	80%	90%
Catanduva	Q15	14%	16%
	Q35	32%	38%
	Q50	44%	56%
	Q65	60%	70%
	Q85	83%	87%
Campos dos Goytacazes	Q15	13%	17%
	Q35	33%	37%
	Q50	46%	54%
	Q65	61%	69%
	Q85	84%	86%

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos e em conformidade com os resultados obtidos é possível concluir que:

Tanto as máximas das temperaturas máximas (**TXx**) quanto as mínimas das temperaturas máximas (**TXn**), assim com as mínims das temperaturas mínimas (**TNn**) e as máximas das temperaturas mínimas (**TNx**) apresentaram tendência de aumento, Com isto conclui-se que ocorreu um aumento da temperatura do ar da região Sudeste do Brasil.

O índice de amplitude térmica (**DTR**), que representa a maior amplitude térmica diária em um ano não apresentou um único padrão homogêneo na distribuição espacial das tendências positivas/negativas (aumento/diminuição), embora tenha-se verificado um maior número de localidades com diminuição de **DTR**. Ressalta-se que a maioria das localidades, aproximadamente 75%, observou-se tendências negativas. Este resultado leva a concluir que os aumentos observados nas temperaturas máximas foram inferiores aos das temperaturas mínimas produzindo uma diminuição na amplitude térmica diária.

Os índices de mudança climática baseado no percentual de dias em que a temperatura máxima ficou abaixo do 10º percentil (Dias (Tardes) Frios (Frias)-**TX10p**) e no percentual de dias em que a temperatura mínima ficou abaixo do 10º percentil (Noites Frias-**TN10p**) evidenciaram que há tendência de diminuição desses índices. Enquanto, os índices baseados no percentual de dias em que a temperatura máxima e mínima ficou acima do 90º percentil (Dias Quentes-**TX90p** e Noites Quentes-**TN90p**, respectivamente) apresentaram predomínio de tendências positivas (aumento). A partir destes resultados pode concluir que os dias (as tardes) e as noites em toda região Sudeste do Brasil, em geral, tornaram-se mais quentes.

De forma geral, pode-se concluir que, diferentemente dos índices de mudanças climáticas baseados nas temperaturas mínimas e máximas, a quase totalidade dos índices de mudanças climáticas baseados na precipitação não apresentou homogeneidade na distribuição espacial das tendências positivas/negativas (aumento/diminuição), Apenas o **CDD**, **PRCPTOT**, **R20mm**, **R99p** e **SDII**

apresentaram predomínio de tendências positivas (aumento) em grande parte da região sudeste, mesmo assim na maioria das localidades as tendências não foram estatisticamente significativas, Mas, de certa forma é possível concluir que as chuvas tornaram-se mais intensas.

Também é possível concluir que os resultados obtidos neste estudo para os índices extremos de precipitação e temperatura do ar estão coerentes com os obtidos por outros pesquisadores para outras partes do globo.

Em relação à umidade relativa do ar observa-se que ocorreu uma diminuição, pois foi verificado um aumento do número de dias com umidade relativa inferior a 30% e uma diminuição dos dias com umidade superior a 80%, tanto no litoral com no interior. Durante o mês seco (julho) nenhum  $Q_{15}$  ( $P_{15}$ ) foi inferior a 30% e no mês úmido (janeiro) nenhum  $Q_{85}$  ( $P_{85}$ ) foi superior a 85%. Conclui-se que dependendo da temperatura do ar a umidade relativa do ar apresentou-se dentro dos padrões não crítico para a saúde das pessoas tanto no período seco como no úmido, entretanto, os resultados especificam uma diminuição da umidade relativa do ar. Isto é um sinal de alerta, pois os  $Q_{15}$  ( $P_{15}$ ) das localidades do interior estão próximos dos valores considerados críticos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. Início das chuvas na região Sudeste do Brasil: análise climatológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002.

AKINREMI, O.O.; MCGINN, S.M.; BARR, A.G. Evaluation of the Palmer Drought Index on the Canadian Prairies. **Journal of Climate, Boston**, v.9, n.5, p. 897-905, 1996.

AMBRIZZI, T.; DUFEK, A. S.. Variabilidade Climática da Temperatura no Estado de São Paulo. In: X Simpósio de Iniciação Científica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo – SP. Resumos – X Simpósio de Iniciação Científica do IAG – USP. 2005.

AMORIM, N, M. da S.; ARAÚJO, A. E. ; BELTRÃO, N. E. M. Clima e Solo. In: AZEVEDO, D. M. P.; LIMA, E. F. **O agronegócio da mamona no Brasil**. Embrapa Algodão. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 63-76, 2001.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Ambiente & Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 4, n. 3, 2009.

ARUNDEL, A. V.; STERLING, E.; BIGGIN, J. H. M.; STERLING, T. D. Indirect Health Effects of Relative Humidity in Indoor Environments. **Environmental Health Perspectives**, vol. 65, pp. 351 – 361, 1986.

ASSIS, F. N.; MARTINS, S. R.; MENDEZ, M. E. G. Índice de severidade de seca de Palmer no Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 10, 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBAGRO, 1997. p.383-385.

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os trópicos**. 11<sup>a</sup>ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2006.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. Índice de seca para a microregião do agreste da Borborema, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 9,n. 1, p. 66-72, 1994.

AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R.. **Índice de Seca de Bhalme & Mooley: Uma Adaptação Regional**. In: ANAIS DO VIII CONGRESSOBRASILEIRO DE METEOROLOGIA. SOCIEDADE BRASILEIRA DE METEOROLOGIA. Belo Horizonte, MG. 696-699 p, 1994.

BELTRÃO, N. E. de M.; ARAÚJO, A. E. de; BENASSI, A.C.; AMARAL, J. A. B.; SEVERINO L. S.; CARDOSO, G. D. **Zoneamento e época de plantio para o algodoeiro no norte do estado do Espírito Santo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.1, p. 99-105, 2003.

BRIFFA, K.; JONES, P.; HULME, M.. Summer moisture availability across Europe, 1892-1991: An analysis based on the Palmer drought severity index. **International Journal of Climatology**, Sheffield, n.14, p.457-506, 1994.

CAESAR, J.; ALEXANDER, LV.; TREWIN, B.; TSE-RING, K.; SORANY, L; VUNIYAYAWA, V; KEOSAVANG, N; SHIMANA, A; HTAY, MM.; KARMACHARYA, J.; Changes in temperature and precipitation extremes over the Indo-Pacific region from 1971 to 2005. **Int J Climatol**, p. 791–801, 2011.

FRISSCH, P..Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Res.**, **19**, 193–212, 2002.

GAN, M. A.; V. E. KOUSKY; C. F. ROPELEWSKI. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. *J. Climate*, v. 17, p. 47 – 66, 2004.

HARTMANN, D. L. Global Physical Climatology. San Diego: Academic Press, 1994, 411p.

HAYLOCK, M. R.; PETERSON, T. C.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIACÃO, Y. M. T.; BAEZ, J.; BARROS, V. R.; MERLATO, 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.; VICENT, L. A. Trends in total and extreme South American rainfall in 1961-2000 and links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006.

ITO, E. R. K.. Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico e sua possível influência em sistemas frontais. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo. São Paulo-Brasil, 1999.

KING, Andrew D.; Alexander, Lisa V.; DONATA, Markus G.. The efficacy of using gridded data to examine extreme rainfall characteristics: a case study for Australia International Journal of Climatology, 2013.

KOTHAVALA, Z. The duration and severity of drought over eastern Australia simulated by a coupled ocean-atmosphere GCM with a transient increase in CO<sub>2</sub>. Environmental Modelling and Software, New York, n.14, p.243-252, 1999.

LOWEN, A. C.; MURABEKA, S.; STEEL J.; PETER P. Influenza Virus Transmission is Dependent on Relative Humidity and Temperature. Department of Microbiology, Mount Sinai School of Medicine, New York, New York, USA 2007.

MOLION, L. C. B.. Tendências do clima nas próximas duas décadas. **V Semana do Meio Ambiente**, 3 a 5 de junho de 2008 – Recife, PE.

NUNES, L. H.; VICENTE, A. K.; CANDIDO, D. H. Clima da Região Sudeste do Brasil. IN: Cavalcanti, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, p., 243-258, 2009.

PAIVA, C.M. Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranicos na Bacia do Rio Doce. 65f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PALMER, W. C..**Meteorological Drought**.Research Paper n. 45, Weather Bureau, Washington, 58 p., 1965.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. Boulder-CO: Colorado State University, 1966. (Hydrology Papers, 12).

RENOM, M., RUSTICUCCI, M., BARREIRO, M.. Multidecadal changes in the relationship between extreme temperature events in Uruguay and the general atmospheric circulation, 2011.

SANSIGOLO, C. A.. Análise Comparativa do Desempenho dos Índices de Seca de Palmer (PSDI) e da Precipitação Normalizada (SPI) em Piracicaba, SP (1917-2001). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n.3, p. 237-242, 2004.

SANT'ANNA NETO, J. L.. Décalogo da Climatologia do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1. 2005.

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



SANTOS, C. A. C. NEALE, C. M. U.; . RAO, T. V. R.; SILVA , B. B. da. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. *Int J Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.2205, 2011.

SANTOS, C. C. A. dos.; SATYAMURTY, P.; GOMES, O. M.; SILVA, L. E. M. G. da; Variability of Extreme Climate. Indices at Rio Claro, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, 395 - 400, 2012.

SCHENEIDER, M; ITO, E. R. K.;VILLELA, F. N. J.; MARQUARDT, F. A.; COELHO, M. S.. Análise Climática das Estações Meteorológicas do INMET no estado de São Paulo utilizando a Técnica dos Quantis: Parte 1. **Anais Congresso Brasileiro de Meteorologia**.<[www.cbmet.com/cbm.../14-458163f6e4c2099ffcd71e729ebf90a.pdf](http://www.cbmet.com/cbm.../14-458163f6e4c2099ffcd71e729ebf90a.pdf)>, 2006.

SCHNEIDER, E. K.; Fan, M.; KIRTMAN, B. P. and DIRMEYER,P.. "Potential effects of Amazon deforestation on tropical climate", Cola Technical Report, 226, 1-41, 2006.

SEDIYAMA, G. C.; MELO Jr., J. C. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.6, n.1, p. 57-61, 1998.

SOUSA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E.; CORREIA, A. M., SILVA, R. F.. Classificação da Precipitação Total Anual Utilizando a Técnica dos Quantis para a cidade do Recife – PE. – **IV Simpósio Internacional de Climatologia- Mudanças Climáticas e seus Impactos em Áreas Urbanas**, 2011.

TURCO, S. H. N.; SILVA, T. G. F. da; SANTOS, L. F. C. dos; RIBEIRO, P. H. B; ARAÚJO, G. G. L.; JUNIOR, E. V. H.; AGUIAR, M. A. Zoneamento bioclimático para vacas leiteiras no estado da Bahia. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p. 20-27, 2006.

XAVIER, T da Ma. B. S.; SILVA, J. de F. da; REBELLO, E. R. G.. A Técnica dos Quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia com ênfase nas regiões brasileiras. Thesaurus Editora. Brasília- DF. 141 p., 2002.

ZHANG, X.; ALEXANDER, L.; HEGERL, GC.; JONES, P.; KLEIN TANK, A.; PETERSON, T.; TREWIN, B.; ZWIERS.; FW. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. WIREs Climate Change 2(6): 851–870, DOI: 10.1002/wcc.147, 2011

ZIN, W. Z. W.; JAMALUDIN, S.; DENI, S. M.; JEMAIN, A. A. Recent changes in extreme rainfall events in Peninsular Malaysia: 1971–2005. **Theoretical and Applied Climatology**, 99: 303–314., 2009.