



ANÁLISE DO EFEITO DA URBANIZAÇÃO NO REGIME DE CHUVAS NA CIDADE DE JACAREÍ

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

Aldair Marcelino Dutra (FATEC Jacareí, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: aldairduttra@gmail.com

Celso von Randow (CCST/INPE, Orientador)
E-mail: celso.vonrandow@inpe.br

COLABORADORES

M.Sc. Rita de Cássia Silva von Randow (FATEC Jacareí)

Julho de 2017

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o efeito da urbanização na dinâmica das chuvas e temperaturas para cidade de Jacareí no Vale do Paraíba paulista. Para tal, foram adquiridos dados pluviométricos, da Agência Nacional de Águas (ANA), e de temperatura, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses dados passaram por um processo de controle de qualidade e então foram utilizados para o cálculo de índices de extremos climáticos para a detecção de possíveis tendências. Os dados de chuva foram agrupados de acordo com sua localização para a criação de séries representativas da área urbana e da área rural do município. Paralelamente à análise de dados de precipitação, procedeu-se com a criação de mapas de uso e ocupação do solo para a cidade, classificando e calculando as áreas urbanas utilizando imagens de satélite Landsat dos anos de 1975, 1985, 1994, 2005 e 2016. Foi utilizado também o teste não-paramétrico de Mann-Kendall para a determinação da significância estatística das tendências resultantes dos índices climáticos calculados. As tendências são consideradas significativas a um nível de 5%. Foi aplicado também o cálculo da inclinação de Sen, que fornece a estimativa da magnitude das tendências observadas. Com exceção dos índices de temperatura, que apresentavam falhas, todos os outros índices tiveram suas tendências testadas. Com as áreas das manchas urbanas para os anos citados anteriormente pode-se perceber que Jacareí teve um crescimento em sua urbanização na ordem de 284% desde 1975 até 2016. Sendo de 89% de 1975 para 1985, 18% de 1985 para 1994, 21% de 1994 para 2005, e 41% de 2005 para 2016. A série criada a partir das estações localizadas na área urbana, para o período entre 1956 e 1989, apresentou tendências significativas nos índices CDD, R10, e RX5day, de -0,19 dias, 0,26 dias e 0,01 mm respectivamente. No período de 2002 até 2015, a mesma série apresentou tendências significativas nos índices CDD, PRCPTOT, R10, R95p e RX5day, de 0,71 dias, 4,93 mm, 0,5 dias, 13,6 mm e 1,09 mm respectivamente. A série criada com as estações da área rural, correspondendo ao período de 1956 até 1989, apresentou tendências significativas nos índices CDD, PRCPTOT, R10, R95p e RX5day, de -0,18 dias, 7,48 mm, 0,26 dias, -1,6 mm e -0,24 mm respectivamente. Já para o período de 1999 até 2012 as tendências significativas analisadas foram para os índices CDD, PRCPTOT, R10, R95p e RX5day, de -1,17 dias, -5,73 mm, 0,33 dias, -14,73 mm e -2,82 mm respectivamente. Apesar de não se correlacionar proporcionalmente ao crescimento da mancha urbana, notam-se comportamentos opostos nas tendências pluviométricas das últimas décadas nas zonas urbana e rural.

Palavras-chave: Precipitação. Temperaturas. Clima Urbano. Análise de tendências.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Concentração de CO ₂ Atmosférico	4
Figura 2 – Anomalia média observada globalmente na temperatura das superfícies terrestre e oceânica 1850-2012.	5
Figura 3 – Mudanças na precipitação média (1986-2005 para 2081-2100)	6
Figura 4 - Evolução Demográfica (1872 - 2016) - Jacareí, SP	10
Figura 5 – Climatologia, Jacareí - SP	11
Figura 6 – Jacareí com a localização das estações pluviométricas.	13
Figura 7 – Dupla massa acumulada mensal INMET 83784 (Taubaté) x ANA 02345024 (Jacareí)	15
Figura 8 - Composições falsa cor dos recortes do município de Jacareí para os anos de 1975, 1985, 1994, 2005 e 2016	22
Figura 9 – Crescimento percentual da área urbana em Jacareí para cada período de 10 anos e para o período entre 1975 e 2016	26
Figura 10 – Crescimento populacional (IBGE/ipeadata) e urbano (este trabalho) em Jacareí entre 1970 e 2016.....	27
Figura 11 – Mapa síntese da expansão urbana de Jacareí, SP, entre os anos de 1975 e 2016	28
Figura 12 – Dias consecutivos sem precipitação (CDD) calculados para a série de precipitação anual média em Jacareí – SP (área urbana e rural) no período de 1928 até 2015	30
Figura 13 – Magnitude das tendências significativas dos índices climáticos calculados para os pluviômetros da zona urbana e da zona rural nos períodos P1 e P2.....	32
Figura 14 – Índices de temperatura calculados para Taubaté – SP.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações meteorológicas utilizadas.....	13
Tabela 2 – Classificação dos dados pluviométricos por área e período.....	15
Tabela 3 – Índices climáticos usados calculados pelo RClimDex 1.1	16
Tabela 4 – Faixas espectrais e bandas das composições Landsat 1, Landsat 5 e Landsat 8 utilizadas.....	22
Tabela 5 – Área urbana de Jacareí nos anos de 1975, 1985, 1994, 2005 e 2016	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA –	Agência Nacional de Águas
ASAS –	Alta Subtropical do Atlântico Sul
BDMEP –	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CDD –	Dias secos consecutivos
CEPAGRI –	Centro de Pesquisas Meteorológicas Aplicadas à Agricultura
DGI –	Divisão de Geração de Imagens
ESALQ –	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
GEE –	Gases do Efeito Estufa
IAG –	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE –	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET –	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE –	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC –	Intergovernmental Panel on Climate Change
Ipea –	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
JBN –	Jatos de Baixos Níveis
mPa –	Massa polar atlântica
mTa –	Massa tropical atlântica
NASA –	National Aeronautics and Space Administration
PRCPTOT –	Precipitação total anual
R10 –	Dias de precipitação intensa
R95p –	Dias muito chuvosos
RX5day –	Precipitação máxima em cinco dias

- TNn – Temperatura mínima da mínima
- TNx – Temperatura máxima da mínima
- TXn – Temperatura mínima da máxima
- TXx – Temperatura máxima da máxima
- UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas
- USGS – United States Geological Survey
- USP – Universidade de São Paulo
- ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCOU – Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema de pesquisa.....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo Geral	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1. Mudanças Climáticas Antropogênicas.....	3
2.2. Clima Urbano.....	6
2.3. Desenvolvimento Demográfico de Jacareí – SP	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS	11
3.1. A Área de Estudo	11
3.2. Dados de Precipitação e Temperatura	12
3.3. Delimitação da Mancha Urbana	21
4. ANÁLISES E RESULTADOS	25
4.1. O Crescimento da Área Urbana de Jacareí.....	25
4.2. Tendências de Precipitação e Temperatura e sua Relação com a Urbanização em Jacareí – SP	29
4.2.1. Índices de Precipitação	29
4.2.2. Tendências de Temperatura	34
5. CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1. INTRODUÇÃO

O clima está em lugar de grande destaque na atualidade. As mudanças climáticas são vistas como a grande crise ambiental. Relatórios tem mostrado que o ser humano vem mudando os ecossistemas à sua volta e conseqüentemente o clima. Isso tem ocorrido com o advento da Revolução Industrial, quando a exploração de combustíveis fósseis teve seu início em grande escala adicionando toneladas de GEE's na atmosfera. Relatórios produzidos nos últimos anos têm mostrado evidências de que essas mudanças estão ocorrendo, e em grande velocidade. O IPCC é um exemplo de grupo que trabalha com esses diagnósticos e tem intensificado sua atuação na publicação desses relatórios (IPCC, 2013).

As mudanças na paisagem também estão acontecendo com mais intensidade nos últimos anos. Mais tardiamente do que nos países desenvolvidos, o Brasil também passou por um período de grande industrialização, desencadeando grande crescimento urbano. Nas cidades do Sudeste, mais especificamente no interior do estado de São Paulo, essas grandes mudanças aconteceram por volta dos anos 60 e 70, quando elas passaram por um crescimento demográfico expressivo, uma expansão da área urbana, com caráter extremamente desordenado (BARRETO, 2012; MONTEIRO, 2011).

Os abrigos humanos, mesmo que precários, em um primeiro momento cumprem com seu mais primitivo dever, que é o de proteger contra as influências climáticas que podem prejudicar de alguma forma sua vida. A partir do momento que os abrigos humanos são agregados e formam o ambiente urbano o microclima pode sofrer interferências potencialmente desagradáveis às pessoas (LANDSBERG, 2006).

Com intenção de relacionar essas duas problemáticas é proposto esse trabalho, com enfoque na cidade de Jacareí, traçando as principais variáveis climáticas para os últimos anos e as relacionando com o grande crescimento urbano do período, para encontrar evidências de mudanças no clima regional e possíveis influências das mudanças trazidas pela urbanização no clima local

1.1. Problema de pesquisa

O problema desta pesquisa é analisar a relação entre a pluviometria, as temperaturas e o crescimento urbano em Jacareí no período compreendido entre os anos de 1970 e 2016.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Compreender como o processo de urbanização pode influenciar no microclima de uma localidade.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Criar um banco de dados meteorológicos e de imagens de satélite;
- Calcular índices climáticos;
- Detectar tendências significativas de aumento ou diminuição das chuvas e temperaturas em Jacareí;
- Avaliar mudanças nos extremos de chuva na cidade no período;
- Avaliar a dinâmica do uso e ocupação do solo da cidade no mesmo período por meio de mapas;
- Verificar se há correlação entre as mudanças observadas nas variáveis climáticas e as atividades humanas (urbanização).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

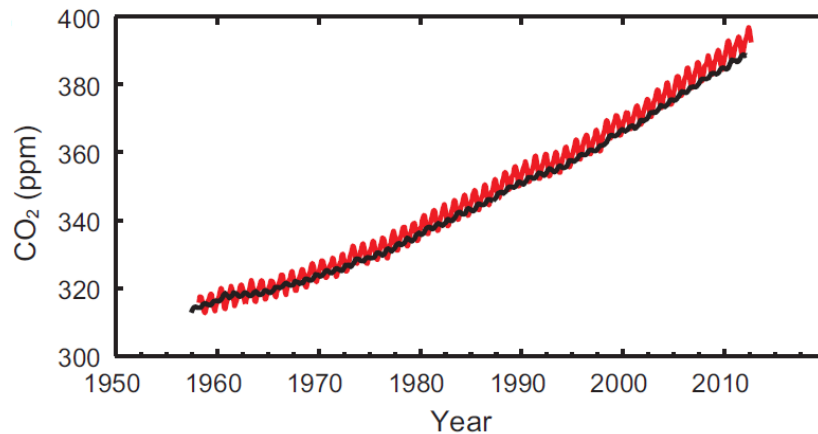
2.1. Mudanças Climáticas Antropogênicas

As interferências no meio ambiente, sentidas pela humanidade nos últimos anos, consequência das mudanças climáticas, tem relação direta com a adoção da economia industrial, em contraposição da produção artesanal, pelas nações europeias durante o início do século XVIII até meados do século XIX. O período ficou conhecido historicamente como Primeira Revolução Industrial. Os meios de produção foram drasticamente mudados, além da escala de produção, o que intensificou seu impacto (BOLIGIAN e BOLIGIAN, 2004).

As antigas técnicas de produção foram trocadas por meios mais produtivos, envolvendo maquinário mais significativo. Algumas das mudanças ocorridas no dia a dia produtivo do período estão relacionados à invenção da máquina a vapor, do uso de carvão como fonte de energia primária e do trem como principal meio de transporte (BOLIGIAN e BOLIGIAN, 2004). Com a adoção dessas formas de produzir, o ser humano, a partir de então, passa a lançar em grande escala na atmosfera os gases de efeito estufa (GEE). A concentração atmosférica de gases como CO₂, NH₄ e N₂O tem atingido seus maiores níveis em relação aos últimos 800 mil anos (NOBRE et al. 2012; IPCC, 2013).

A concentração de dióxido de carbono na atmosfera aumentou em 40% desde os tempos pré-industriais, principalmente por conta da queima de combustíveis fósseis, mas também por conta das mudanças no uso da terra que causam desmatamento, por exemplo, acarretando em emissões. A figura 1 mostra o aumento da concentração global de CO₂ atmosférico nas últimas décadas.

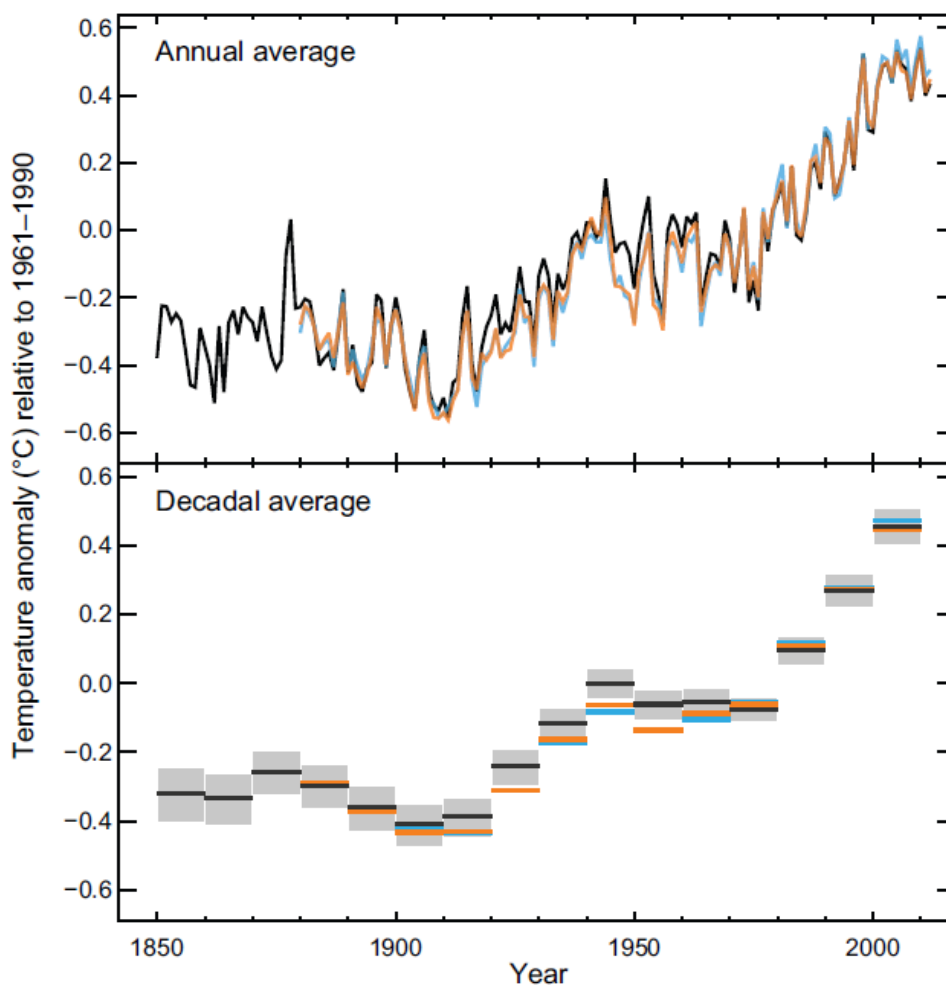
Figura 1 – Concentração de CO₂ Atmosférico



Fonte: IPCC, 2013.

O aumento da concentração desses gases na composição da atmosfera por conta das atividades humanas tem o poder de potencializar o efeito estufa natural da Terra. A camada atmosférica responsável por manter a temperatura global em um limiar aceitável para a vida passa a reter mais radiação do que é necessário, por conta da maior concentração de CO₂, aumentando assim, a temperatura terrestre. É possível observar pelo gráfico apresentado na figura 2 o aquecimento pelo qual a Terra está passando por conta da interferência antropogênica. Segundo dados de IPCC (2013), o aquecimento observado entre 1880 e 2012 foi de 0,85°C.

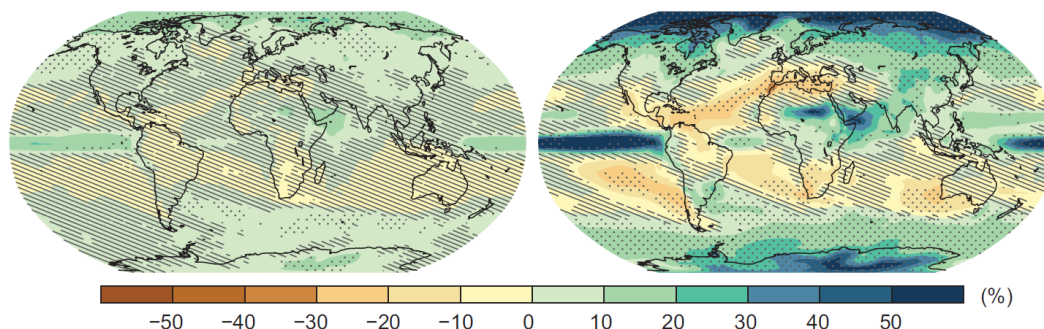
Figura 2 – Anomalia média observada globalmente na temperatura das superfícies terrestre e oceânica 1850-2012.



Fonte: IPCC, 2013.

Os componentes do ciclo hidrológico também são modificados pelas mudanças climáticas. Com o aquecimento das superfícies e as mudanças atmosféricas há uma intensificação dos eventos extremos, podendo ocorrer chuvas mais intensas e secas mais drásticas (IPCC, 2007). Na figura 3 podem ser observadas as mudanças na precipitação ocorridas globalmente e as futuras mudanças projetadas por modelos climáticos do IPCC.

Figura 3 – Mudanças na precipitação média (1986-2005 para 2081-2100)



Fonte: IPCC, 2013.

2.2. Clima Urbano

Landsberg (2006, p.95) define como cidade, para efeitos de estudo da interferência da mesma no clima de uma localidade,

[...] desde aglomerados de algumas centenas de habitações até cidades e áreas metropolitanas. Isto porque é muito difícil decidir de forma objetiva a partir de que densidade de população e edificações alguma influência sobre o clima começa a ser notada.

Segundo Monteiro (2011) “O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”, não tendo o pressuposto como definição, mas como a resposta à seguinte pergunta feita pelo autor: “Como devemos denominar um sistema singular, que abrange um clima local (fato natural) e a cidade (fato social)?”

As mudanças na superfície resultantes da urbanização, como a intensa substituição de florestas por composições rochosas como concreto e tijolos, a drenagem de locais originalmente encharcados, a diferença na rugosidade aerodinâmica por conta de obstáculos de vários tamanhos, somadas ao calor produzido pelos entes envolvidos, seja pelo metabolismo dos próprios humanos e outros animais residentes nas cidades, seja pelos processos de combustão que ocorrem em decorrência das indústrias e dos sistemas de transporte (LANDSBERG, 2006) propiciam a formação do fenômeno de Ilha de Calor Urbano, podendo influenciar de forma significativa a formação de sistemas locais

de circulação, assim como modificar de forma direta o comportamento de diversas variáveis meteorológicas (SOUZA, 2012).

Outro fator que pode ser observado nas localidades urbanas que influencia nas variáveis climatológicas é a modificação da composição atmosférica. Várias atividades referentes à urbanização, principalmente industrialização, lançam partículas na atmosfera, entre essas partículas estão os núcleos de condensação (núcleos de Aitken). Além destas partículas, há também, durante vários processos de combustão, a adição de vapores na atmosfera. Em um primeiro momento a radiação, a nebulosidade, a visibilidade e o campo eletromagnético, são influenciados pela poluição atmosférica, posteriormente, precipitação, temperatura e umidade também são (LANDSBERG, 2006).

Durante as últimas décadas, principalmente nos períodos de intensa industrialização, ocorreu uma intensificação dos processos de modificação do ambiente e criação do sistema urbano. Nesses períodos é observado um grande êxodo rural, o que inflou as cidades. É importante salientar o caráter desordenado desse crescimento, pois somente os aspectos econômicos eram visados, criando um ambiente insalubre e extensivamente modificado. Essas modificações criam uma artificialidade relacionada ao ecossistema urbano tornando o ambiente local mais vulnerável em relação aos eventos do sistema natural (MONTEIRO, 2011; GONÇALVES, 2011).

Xavier et al. (1994), em trabalho realizado através da análise de dados da estação pluviométrica do IAG (Instituto Astronômico e Geofísico/USP) na cidade de São Paulo para o período de 1933-1986, constataram que houve uma diminuição progressiva das precipitações diárias mais fracas e um aumento em relação às mais intensas. Porém, em relação à gênese desses episódios tendenciosos de precipitação, os autores não os atribuem somente ao aumento da área urbana nos arredores da localidade da estação, mas também às causas climáticas de caráter global, como a presença de anos com a ocorrência de episódios de El Niño.

Coltri et al. (2007) realizaram um trabalho relacionando as características climáticas de Piracicaba, São Paulo, com a evolução de sua urbanização, correlacionando as variáveis climáticas com dados sobre a população urbana e rural, por exemplo. A conclusão foi de que todos os elementos estudados apresentavam tendência de aumento para o período estudado compreendido entre 1950 e 2004, porém as variáveis precipitação e evaporação não puderam ser relacionadas diretamente com os dados de urbanização selecionados. Os dados usados para o referido trabalho foram os coletados pela estação da ESALQ/USP.

Souza et al. (2011) analisaram, através de dados mensais do INMET que compreendem o período de 1963 até 2004, o efeito da urbanização no clima da cidade de Campina Grande na Paraíba. Para o trabalho foram usados, também, dados referentes à área da cidade e a evolução demográfica oriundos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os autores puderam constatar que a temperatura média do ar apresentou tendência positiva, enquanto a variável umidade relativa apresentou tendência negativa. Para a série de precipitação não foi constatada tendência significativa. Foi constatado também que as séries utilizadas apresentavam mudanças abruptas em torno do ano de 1985, a partir do qual a cidade teve um expressivo crescimento urbano.

Gonçalves (2011) teve como resultado, em um estudo realizado na capital baiana de Salvador, um aumento de 14,9% das médias anuais de precipitação entre os anos de 1930 e 1989. Houve também um aumento nos eventos com mais de 40mm em 24 horas. A autora evidencia a influência das atividades urbanas nos resultados obtidos, já que não foram observadas mudanças no comportamento da atmosfera.

2.3. Desenvolvimento Demográfico de Jacareí – SP

Como salientado por Pires (2011) os primeiros povos a viverem na região que hoje fica Jacareí foram grupos indígenas, que tinham o tupi-guarani e o jê como dialeto. Estudos históricos e arqueológicos apontam que estes grupos habitaram

a região por volta de 500 a 1000 anos atrás, sendo a topografia da região e a proximidade com o Rio Paraíba do Sul os elementos atrativos.

Segundo informações do Arquivo Público e Histórico de Jacareí, a vila que originou posteriormente a cidade teve sua fundação em 1652 por Antônio Afonso. Segundo Zaparoli (2013) é consenso entre vários historiadores que o povoamento da região do Vale do Paraíba tem dois fatores decisivos: a concessão de terras e a procura por fontes de riquezas minerais.

Com o advento do século XVIII ocorre a decadência da atividade de mineração na região do vale. Dessa forma, vários antigos mineiros, possuindo ainda alguns lucros, se instalaram nas cidades e iniciaram produções envolvendo cana-de-açúcar, como rapadura e aguardente. O café foi a cultura subsequente, substituindo a cana-de-açúcar a partir do século XIX. As grandes mudanças ocorridas no Vale do Paraíba a partir desse período foram desencadeadas pela economia cafeeira. Jacareí teve suas primeiras culturas de café instaladas a partir de 1822. Essas grandes mudanças socioeconômicas culminaram, em 1849, na transformação da então Vila de Nossa Senhora de Jacareí em cidade (ZAPAROLI, 2013).

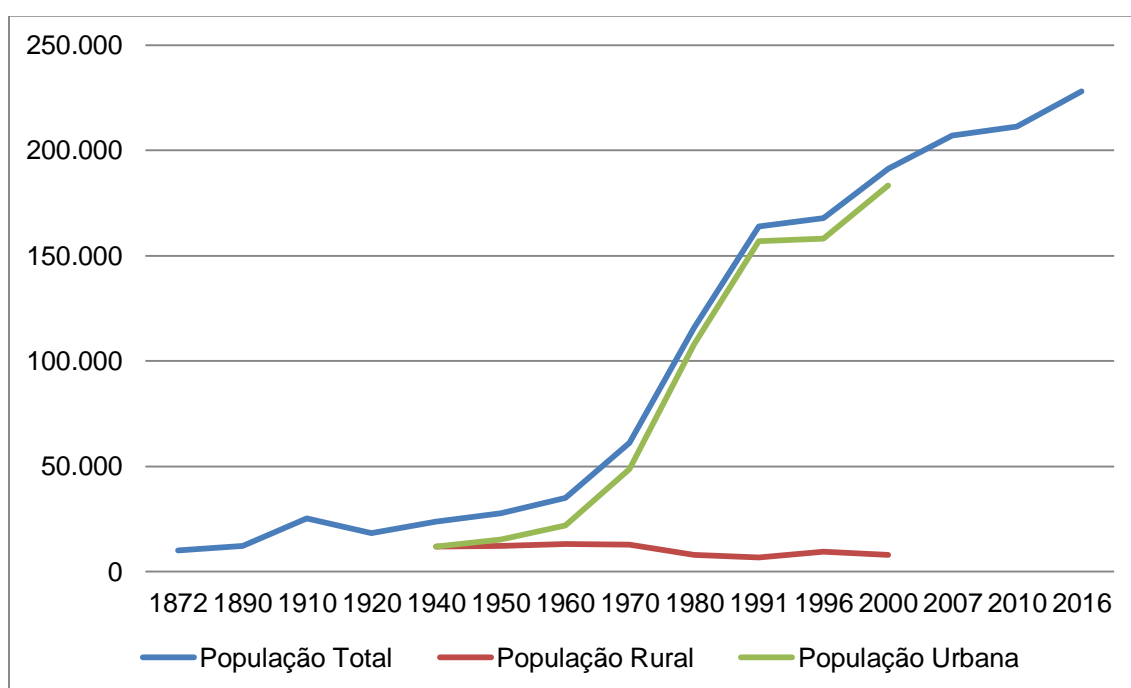
O próximo grande acarretador de transformações na cidade foi a construção de ferrovias no estado de São Paulo. Em Jacareí a construção ocorreu em 1876 trazendo um aumento significativo da cidade para fora do seu antigo núcleo. O local conhecido como “Pátio dos Trilhos” se desenvolveu, ganhando residências e comércios. A localização estratégica de Jacareí entre as que seriam as maiores cidades do país, Rio de Janeiro e São Paulo, também evidenciou a importância da ferrovia em seu caráter de conexão (PIRES, 2011; ZAPAROLI, 2013).

A partir da década 1930 começa a ocorrer a instalação de indústrias no município, consequência do grande aporte de infraestrutura e mão-de-obra trazidos pela ferrovia. Esse crescimento industrial é intensificado quando ocorre a construção da Rodovia Presidente Dutra, na década de 1940. O urbano então toma outras proporções na cidade e a sua expansão acontece de forma expressiva. Aumento esse relacionado ao incentivo da economia industrial, o

que acarretou um intenso êxodo rural e consequente aumento da mancha urbana, sendo predominante a ocupação desordenada. Entre as décadas de 80 e 90 há uma diversificação das indústrias na cidade, que vem crescendo significativamente desde então (BARRETO, 2012; PIRES, 2011; ZAPAROLI, 2013).

Na figura 4 é apresentado um gráfico com a evolução demográfica do município entre o período de 1872 e 2016.

Figura 4 - Evolução Demográfica (1872 - 2016) - Jacareí, SP



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ipeadata, 2017 e IBGE Cidades, 2017.

Jacareí manteve seu crescimento em consonância com as conjecturas político-econômicas do país. A partir de 1930 passou a ser urbanizada, em um período marcado pela política econômica da Era Vargas, onde a população urbana tem uma taxa de crescimento e a rural tem uma diminuição, como pode ser observado na figura 4. Com a chegada da ditadura militar, em 1964, foi dado outro impulso à industrialização, o que marcou o período com um expressivo aumento populacional urbano, também observável na figura 4.

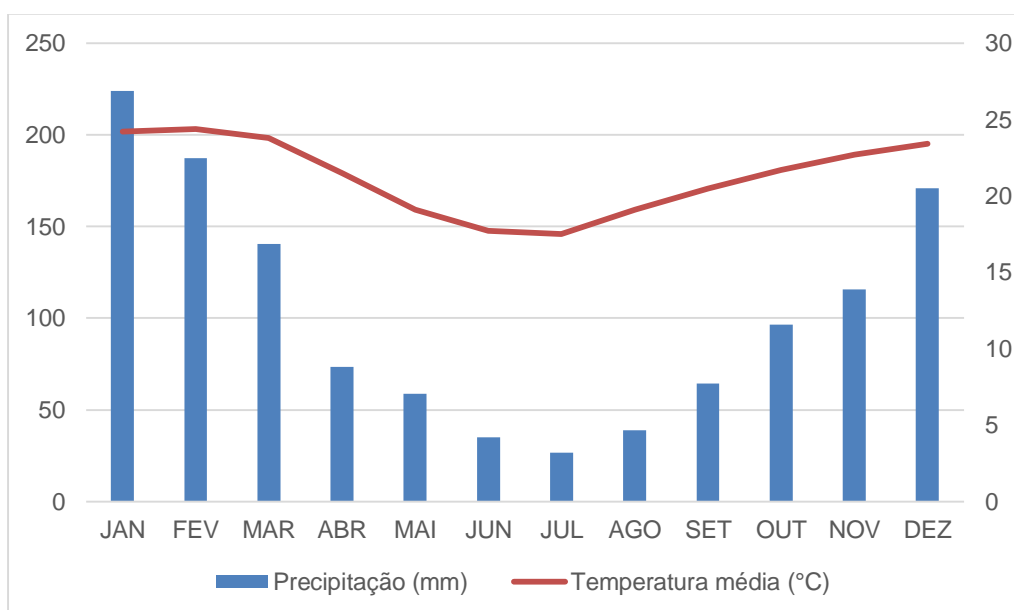
3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

3.1. A Área de Estudo

A área objetivo da análise é compreendida no município de Jacareí, interior do Estado de São Paulo, mais precisamente na porção paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul. A delimitação usada para a área do município foi a disponível digitalmente pelo IBGE através da internet (IBGE, 2015). Segundo dados de 2015 encontrados no portal IBGE Cidades (2017), a área do município é de 464,272km² e sua população estimada para 2016 era de 228.214 habitantes.

Segundo classificação climática de Köppen, a cidade de Jacareí apresenta o tipo climático Cwa, ou seja, é caracterizado por clima subtropical, com invernos secos e verões quentes. De acordo com CEPAGRI Unicamp (2017), Jacareí se encontra a uma altitude de 580m e possui uma precipitação acumulada anual média de 1232,8mm, sendo o mês com o maior volume o de janeiro com 224mm e o com o menor volume o de julho com 26,7mm. A temperatura anual média é de 21,3°C, oscilando entre a média mínima de 17,5°C, no mês de julho, e uma média máxima de 24,4°C, no mês de janeiro (figura 5).

Figura 5 – Climatologia, Jacareí - SP



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CEPAGRI/Unicamp, 2017.

Conforme Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a região que compreende Jacareí é marcada por precipitação em todos os meses do ano, com maiores volumes nos meses de verão e menores nos meses de inverno. No verão as temperaturas são elevadas enquanto, no inverno, são reduzidas. A região é bastante influenciada pelos sistemas atmosféricos oceânicos tropicais, Massa tropical atlântica (mTa), e polares, Massa polar atlântica (mPa), o que acarreta em chuvas durante todo o ano, e também a variabilidade das temperaturas.

Um dos sistemas meteorológicos que influencia o clima da região que compreende a cidade de Jacareí, no verão, é a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) formada sobre o continente, que ocorre por conta da interação entre vários sistemas, como os jatos de baixos níveis (JBN) e as frentes, por exemplo. A ZCOU se estende desde a Amazônia passando pelo centro-oeste e sudeste do país, se estendendo até o oceano Atlântico. No caso da ZCOU durar mais do que três dias ela passa a ser chamada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Esse sistema intensifica a nebulosidade na região (REBOITA et al. 2012).

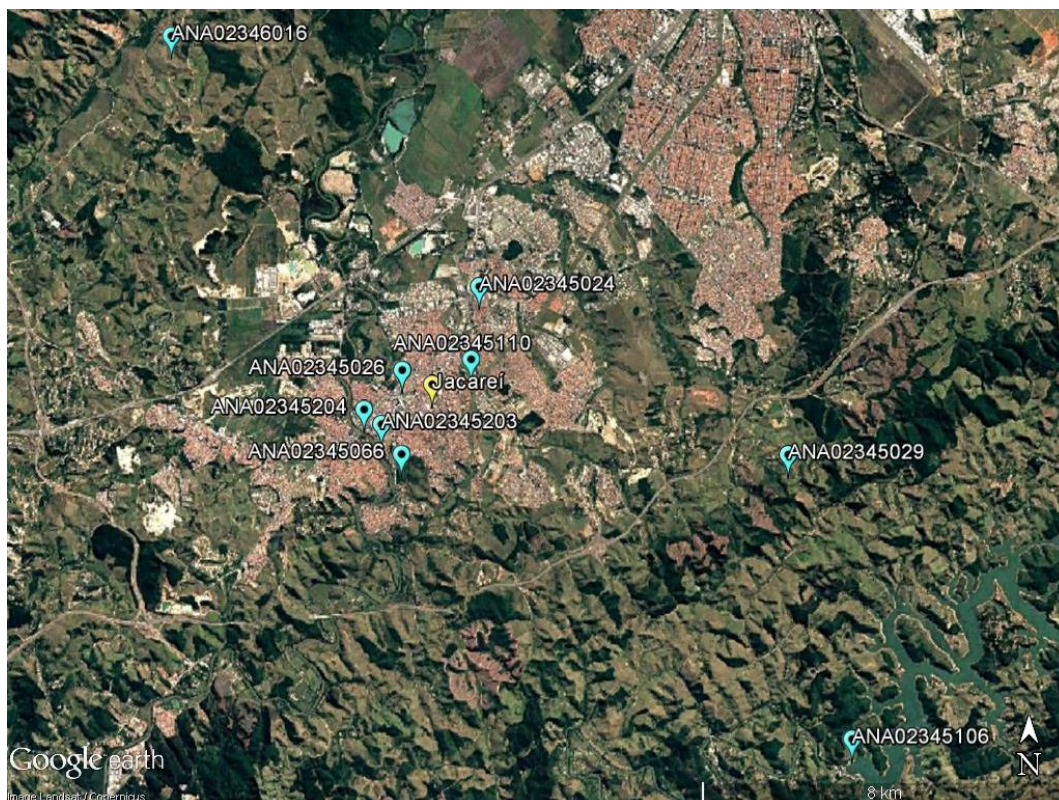
Os baixos volumes de chuva no inverno se dão por conta da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pois nesta estação do ano esse sistema atinge sua posição mais a oeste chegando até a região sudeste do país, acarretando em diminuição da nebulosidade. A presença de sistemas como a passagem de frentes frias, ciclones costeiros, linhas de instabilidade tropicais e pré-frontais e a circulação de brisa contribuem para a presença de chuva o ano todo na área (REBOITA et al. 2010; REBOITA et al. 2012).

3.2. Dados de Precipitação e Temperatura

Os dados referentes à pluviometria (PRCP) utilizados foram coletados pelas nove estações de Jacareí encontradas no portal Hidroweb¹ da ANA. Na imagem de satélite apresentada na figura 6, pode ser observada a localização das nove estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.

¹ Mais informações sobre o portal Hidroweb em <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/manual/>

Figura 6 – Jacareí com a localização das estações pluviométricas.



Fonte: Google Earth Pro (2016).

Na tabela 1 são apresentadas as estações que foram usadas neste trabalho, que tem suas localizações mostradas na figura 6, com exceção à de Taubaté, além dos períodos para os quais elas coletaram dados. Todas as estações possuem valores faltantes em seus dados para esses períodos e nenhuma técnica para preenchimento de falhas foi usada na presente pesquisa.

Tabela 1 – Estações meteorológicas utilizadas

Código da estação	Período de dados
ANA 02345024*	1942 – 2009
ANA 02345026*	1949 – 1980
ANA 02345029	1962 – 1997
ANA 02345066*	1935 – 1972
ANA 02345106	1956 – 2012
ANA 02345110*	1928 – 1980

(continua)

Tabela 1 – Conclusão

Código da estação	Período de dados
ANA 02345203*	2002 – 2012
ANA 02345204*	2006 – 2016
ANA 02346016	1961 – 1973
INMET 83784	1961 – 2014

Fonte: Do autor, 2017. * pluviômetros que se localizam na área urbana de Jacareí.

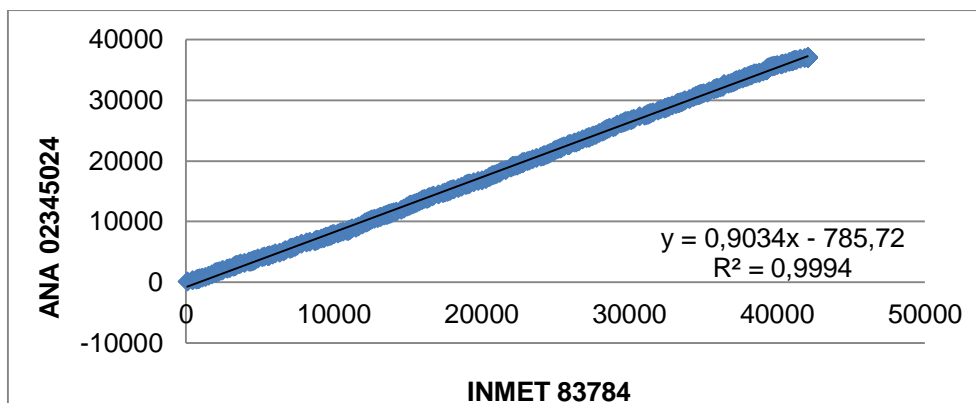
Como não foi encontrada uma série histórica de temperaturas diárias para a cidade de Jacareí, procedeu-se com a obtenção dessa série do BDMEP²/INMET de estações encontradas em localidades próximas, sendo elas: Campos do Jordão, Guarulhos, Mirante de Santana – SP e Taubaté.

Posteriormente os dados dessas estações foram tabulados e analisados por meio de gráficos para controle de qualidade. Em seguida foi feita a correlação dos dados mensais de precipitação das séries da ANA e do INMET para efeito de escolha da estação mais representativa da realidade climática jacareense para o período estudado, da qual seriam usados os dados de temperatura.

Feito isso, a estação de Taubaté/INMET 83784 (tabela 1) foi a escolhida para a série histórica de temperaturas máximas (Tx) e mínimas (Tn), baseando essa escolha na grande correlação entre a pluviometria das cidades, como mostrado na figura 7 (valor de $R^2=0,9994$, evidenciando alta correlação), e na dinâmica de uso do solo compartilhada pela região do Vale do Paraíba.

² Mais informações sobre o BDMEP em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

Figura 7 – Dupla massa acumulada mensal INMET 83784 (Taubaté) x ANA 02345024 (Jacareí)



Fonte: Do autor, 2017.

Foram criadas duas séries representativas de Jacareí. Uma delas utilizando os dados dos pluviômetros de fora da mancha urbana e a outra com os dados dos pluviômetros pertencentes à mancha urbana, além da separação da série em dois períodos denominados P1 e P2 para facilitar a análise com relação a influência do urbano nesses períodos. Mais detalhes desta classificação podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Classificação dos dados pluviométricos por área e período

Área	Estações	Período 1 (P1)	Período 2 (2)
Urbana	ANA 02345024, ANA 02345026, ANA 02345066, ANA 02345110, ANA 02345203 e ANA 02345204.	1956 – 1989	2002 – 2015
Rural	ANA 02345029, ANA 02345106 e ANA 02346016	1956 – 1989	1999 – 2012

Fonte: do autor, 2017.

Os períodos de análise não compreenderam os anos de 1990 até 1998 por conta de falhas nos dados durante esses anos que impossibilitaram o cálculo dos índices.

A série com a média para todos os pluviômetros usados no trabalho, compreendendo o período de 1928 até 2016, também teve os índices calculados.

Com os dados em mãos, o próximo passo foi calcular os índices climáticos em busca de possíveis tendências. A ferramenta para calcular os índices foi o software RCLimDex 1.1³. Os índices escolhidos para análise estão discriminados na tabela 3.

Tabela 3 – Índices climáticos usados calculados pelo RCLimDex 1.1

Sigla	Nome do Índice	Definição	Unidade
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias com RR<1mm	dias
PRCPTOT	Precipitação anual total	PRCP anual total (RR>=1mm)	mm
R10	Número de dias de precipitação intensa	Contagem anual de dias em que PRCP >=10mm	dias
R95p	Dias muito chuvosos	PRCP anual total em que RR>95 percentil	mm
RX5day	Precipitação máxima em 5 dias	Precipitação máxima anual acumulada em 5 dias consecutivos	mm
TXx	Temperatura máxima da máxima	Valor anual máximo da temperatura máxima diária (Tx)	°C
TNx	Temperatura máxima da mínima	Valor anual máximo da temperatura mínima diária (Tn)	°C
TXn	Temperatura mínima da máxima	Valor anual mínimo da temperatura máxima diária (Tx)	°C

³ Mais informações sobre o RCLimDex 1.1 em <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

Tabela 3 - Conclusão

Sigla	Nome do Índice	Definição	Unidade
TNn	Temperatura mínima da mínima	Valor anual mínimo da temperatura mínima Tn diária	°C

Fonte: Adaptado de Zhang e Yang, 2004.

Abaixo são apresentadas, segundo Zhang e Yang (2004), as definições e fórmulas de cada índice calculado.

CDD – Dias secos consecutivos: Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i e no período j . Calcula o maior número de dias consecutivos onde:

$$RR_{ij} < 1mm \quad (3.1)$$

PRCPTOT – Precipitação total anual: Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i e no período j . Se I representa o número de dias em j , então:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (3.2)$$

R10 – Número de dias de precipitação intensa: Sendo RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i e no período j . Calcula o número de dias onde:

$$RR_{ij} \geq 10mm \quad (3.3)$$

R95p – Dias muito chuvosos: Sendo RR_{wj} a quantidade de precipitação diária em um dia chuvoso w ($RR \geq 1mm$) no período j e RR_{wj95} é o 95º percentil da precipitação em dias chuvosos em todo o período da série de dados em questão. Se W representa o número de dias chuvosos no período, assim:

$$R95pj = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad \text{onde } RR_{wj} > RR_{wj95} \quad (3.4)$$

RX5day – Precipitação máxima em 5 dias: Sendo RR_{kj} a quantidade de precipitação para um intervalo de 5 dias terminando em k , no período j . Logo, os valores máximos em 5 dias para o período j são:

$$Rx5day_j = \max (RR_{kj}) \quad (3.5)$$

TXx – Temperatura máxima da máxima: Sendo Tx_{kj} as temperaturas máximas diárias no ano k , no período j . A maior temperatura máxima diária em cada ano é então:

$$TXx_{kj} = \max(Tx_{kj}) \quad (3.6)$$

TNx – Temperatura máxima da mínima: Sendo Tn_{kj} as temperaturas mínimas diárias no ano k , no período j . A maior temperatura mínima diária em cada ano é então:

$$TNx_{kj} = \max(Tn_{kj}) \quad (3.7)$$

TXn – Temperatura mínima da máxima: Sendo Tx_{kj} as temperaturas máximas diárias no ano k , no período j . A menor temperatura máxima diária em cada ano é então:

$$TXn_{kj} = \min(Tx_{kj}) \quad (3.8)$$

TNn – Temperatura mínima da mínima: Sendo Tn_{kj} as temperaturas mínimas diárias no ano k , no período j . A menor temperatura mínima diária em cada ano é então:

$$TNn_{kj} = \min(Tn_{kj}) \quad (3.9)$$

Antes dos dados serem rodados no RClmDex eles foram organizados no formato aceito pelo programa. Na primeira etapa os dados de precipitação obtidos no portal Hidroweb foram lidos por um programa do software Octave 4.2.0 para que fossem extraídas em colunas em um arquivo de texto somente as datas com seus respectivos valores diários. Após isso, no formato aceito pelo

RClimDex, os dados diários de precipitação e temperatura foram colocados no software para o cálculo dos índices. Os índices calculados são os mesmos utilizados no Relatório do IPCC AR4 (TRENBERTH et al. 2007) para definir variações dos extremos em clima do presente e futuro.

Os resultados obtidos dos cálculos dos índices então foram submetidos ao teste para a estimativa de suas tendências lineares. O procedimento utilizado para tal foi o desenvolvido por Sen (1968) apud. Obregón e Marengo (2007). Desta forma, a inclinação das tendências, sua magnitude, é obtida pelo cálculo das $N' = n(n-1)/2$ inclinações estimadas,

$$S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (3.10)$$

sendo x_j e x_i os valores dos dados nos tempos j e i , respectivamente, onde $j > i$. N' é o número de pares de dados onde $j > i$. Sendo assim, S_e (valor estimado da inclinação de Sen) é a mediana destes N' valores.

Fez-se necessário também determinar a significância estatística das tendências obtidas com os índices. Para tal foi utilizado o teste não-paramétrico de Mann-Kendall porque tem a vantagem de utilizar a magnitude relativa dos valores da série, filtrando valores extremos, ao invés dos valores reais (GILBERT, 1987). Porém, há necessidade de que os dados sejam variáveis aleatórias, independentes e identicamente distribuídas. Assim, as características deste teste são importantes quando aplicado às séries climatológicas, como na precipitação e temperaturas, para séries totais anuais ou séries de um determinado mês considerado como independentes.

A hipótese nula (H_0) considera que os dados: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, sejam variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas. O teste estatístico de Mann-Kendall (S) é representado por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (3.11)$$

Onde a função *sgn* é:

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = 1, \text{ se } x_i - x_j > 0$$

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = 0, \text{ se } x_i - x_j = 0$$

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = -1, \text{ se } x_i - x_j < 0$$

Na utilização de séries com mais de 10 valores, a estatística de (S) aproxima-se muito da distribuição normal quando se faz a seguinte correção, $S - = S - \text{sgn}(S)$.

Considerando a hipótese nula e a ausência de repetição de valores dentro da série, a variância de (S), [Var(S)], definida por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3.12)$$

e, com a correção por conta das repetições, a variância fica:

$$\text{Var}(S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)]}{18} \quad (3.13)$$

onde *g* é o número de grupos com dados repetidos e *t_p* é o número de dados no *p*-ésimo grupo. Sendo assim, S e Var(S) são utilizados para o cálculo da estatística Z, com distribuição normal padrão:

$$Z = \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}}, \text{ se } S > 0$$

$$Z = 0, \text{ se } S = 0$$

$$Z = \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}}, \text{ se } S < 0$$

Os valores positivos, ou negativos, indicam tendência ascendente, ou descendente. Se a hipótese nula (H₀) é verdadeira, a estatística Z tem distribuição normal padrão. Para fins de teste, tanto as tendências de aumento

quanto de diminuição, ao nível significativo α , a H_0 é rejeitada se o valor absoluto de Z é maior que $Z_{1-\alpha/2}$ (teste bicaudal). O valor, $Z_{1-\alpha/2}$ é escolhido a priori uma vez que não temos conhecimento da direção da tendência. (OBREGÓN e MARENGO, 2007; HIRSCH e SLACK, 1984; GILBERT, 1987).

Neste trabalho as tendências são consideradas estatisticamente significativas quando ultrapassam o limiar de 95% de confiança (5% de significância), ou seja, $\alpha = 5\%$. O teste para obtenção da magnitude e significância das tendências em questão foi feito por meio de um *script* do software Octave 4.2.0.

Esta metodologia já tem sido utilizada na determinação das tendências de precipitação em diferentes regiões do Brasil pelo INPE, como na Amazônia e no sul do Brasil (OBREGÓN e NOBRE, 2003), e tendências de precipitações e temperaturas gerais sobre todo o Brasil (OBREGÓN e MARENGO, 2007).

3.3. Delimitação da Mancha Urbana

As imagens de satélite usadas para a confecção dos mapas de uso e ocupação do solo da cidade foram baixadas do catálogo de imagens do DGI/INPE e da USGS/NASA, dos anos de 1975 (Landsat 1), 1985, 1994, 2005 (Landsat 5) e 2016 (Landsat 8). A cena Landsat 1 de 1975, baixada do diretório do INPE, precisou passar por uma correção geométrica. O georreferenciamento foi feito utilizando-se a imagem Landsat 8 de 2016 como referência, através da ferramenta de Registro do software Spring 5.2.6.

Foram baixados do banco de dados do IBGE os polígonos dos limites das cidades brasileiras e então extraído o limite da cidade de Jacareí. Com esse limite, as cenas das capturas Landsat foram cortadas para que somente a área que compreende o município fosse posteriormente classificada. Para tal operação foi usado o SIG QGIS Desktop 2.18.1.

As bandas recortadas foram então importadas para um banco de dados anteriormente criado no Spring 5.2.6 onde ocorreu a criação das composições RGB falsa cor (figura 8) que facilitassem a observação, nas mesmas, de suas áreas urbanizadas. Em relação à 1975, a composição criada foi 654. Para as

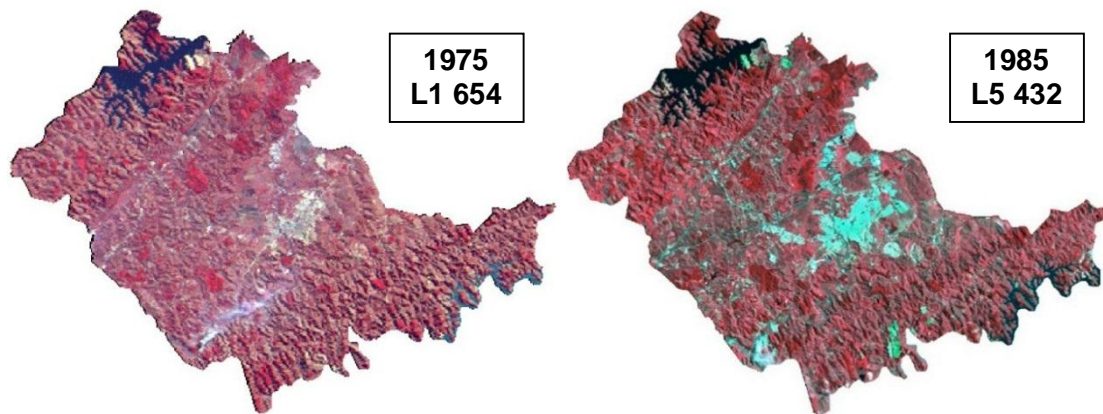
composições com Landsat 5, as bandas utilizadas foram 4, 3 e 2, mesmas usadas por Nakamura e Novo (2005), pois a área urbana é facilmente identificável nessa composição. Já a composição Landsat 8 foi 543. As faixas espectrais usadas, em todas as composições, foram infravermelho próximo (R), vermelho (G) e verde (B), como pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4 – Faixas espectrais e bandas das composições Landsat 1, Landsat 5 e Landsat 8 utilizadas

Faixas espectrais	IV Próximo	Vermelho	Verde
Landsat 1	6	5	4
Landsat 5	4	3	2
Landsat 8	5	4	3

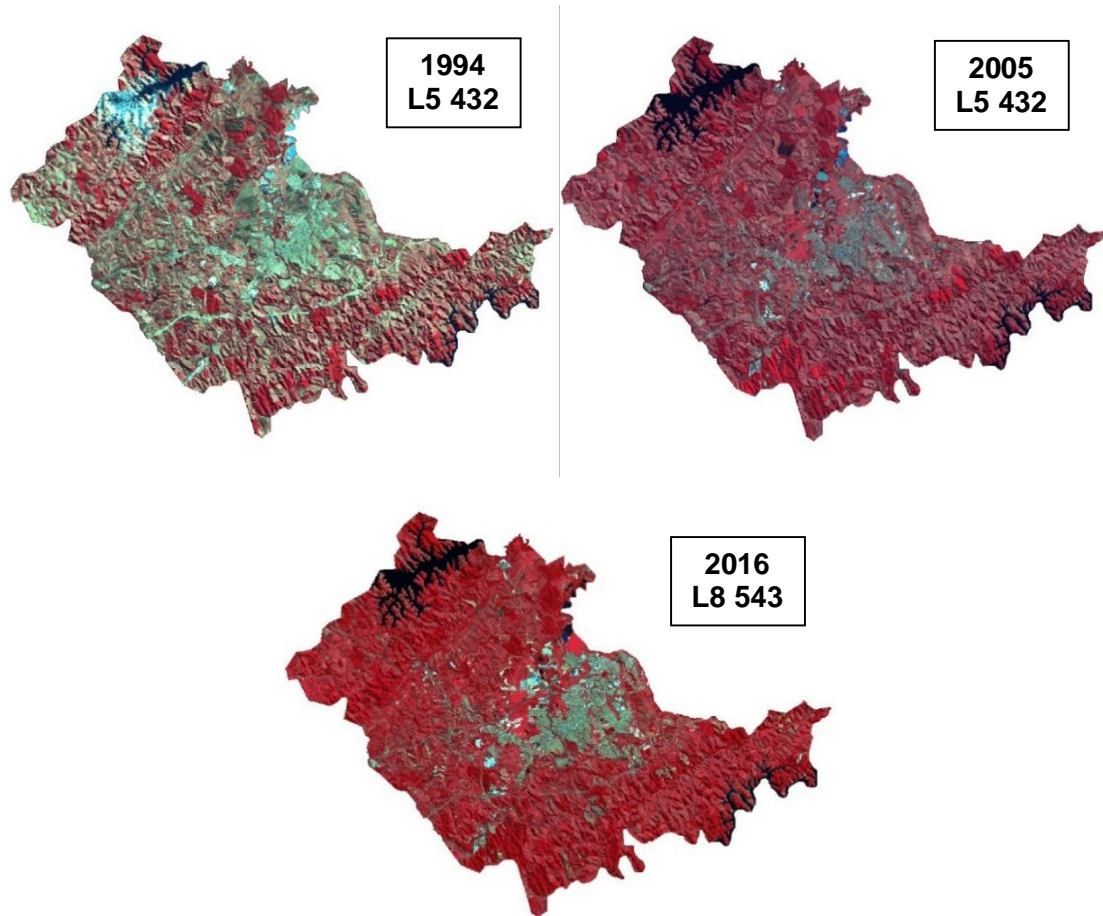
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de USGS, 2017.

Figura 8 - Composições falsa cor dos recortes do município de Jacareí para os anos de 1975, 1985, 1994, 2005 e 2016



(continua)

Figura 8 - Conclusão



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de DGI/INPE, 2016 e USGS/NASA, 2016.

As classificações foram feitas a partir do método Maxver com posterior edição matricial para a correção de erros. A composição de 2016 foi a primeira a ser classificada. A partir dessa classificação para a composição mais recente pode-se fazer as das imagens anteriores, observando o crescimento da mancha urbana. Foi feita então a vetorização das áreas classificadas como urbanas e fez-se a consulta de medidas das classes para o tamanho de sua área em km².

4. ANÁLISES E RESULTADOS

4.1. O Crescimento da Área Urbana de Jacareí

Com o mapeamento da área urbanizada de Jacareí para os anos 1975, 1985, 1994, 2005 e 2016 pode ser observado um aumento expressivo da urbanização nesse período de 41 anos. Na tabela 5 são apresentados os valores referentes à área classificada como urbana para seus respectivos anos de referência.

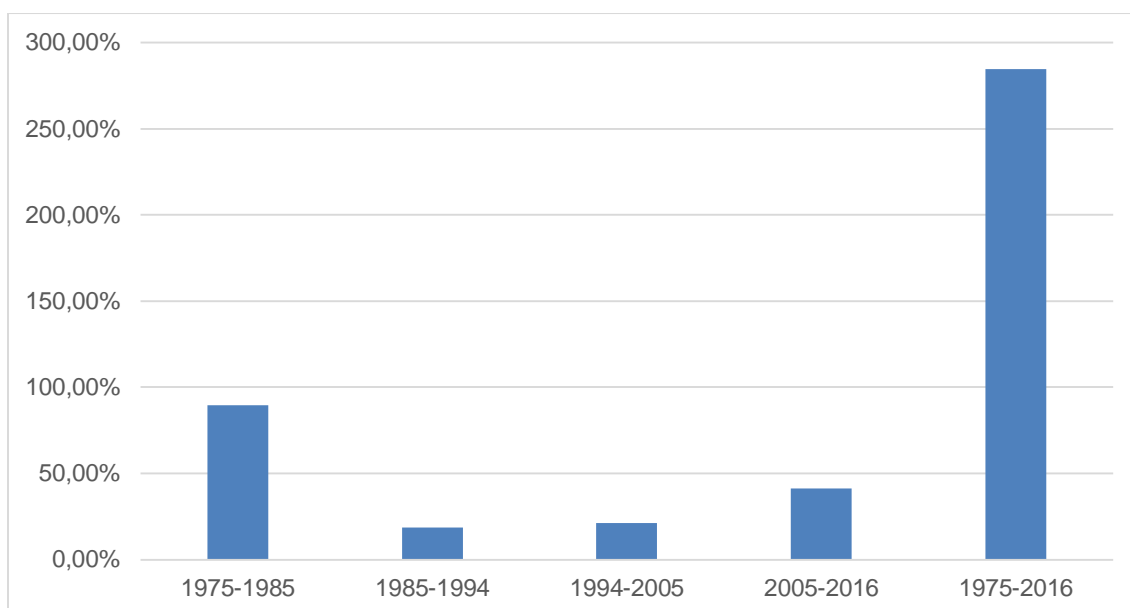
Tabela 5 – Área urbana de Jacareí nos anos de 1975, 1985, 1994, 2005 e 2016

Anos	Área Urbana (km ²)
1975	8,51
1985	16,12
1994	19,12
2005	23,19
2016	32,74

Fonte: Do autor, 2017.

No primeiro período de análise, que compreende os anos entre 1975 e 1985, o município apresentou um crescimento em sua área urbana de 89,39%, ou seja, quase duplicou de tamanho. Entre 1985 e 1994 ocorreu um aumento da mancha urbana de 18,63%. Para o período de 1994 até 2005 a cidade aumentou sua urbanização em 21,25%. Já para o último período da análise, entre os anos de 2005 e 2016, o aumento observado é de 41,21%. O crescimento encontrado entre 1975 e 2016 é de 284,68%, apontando assim, para uma quase triplicação da área urbana do município nos últimos 41 anos (figura 9).

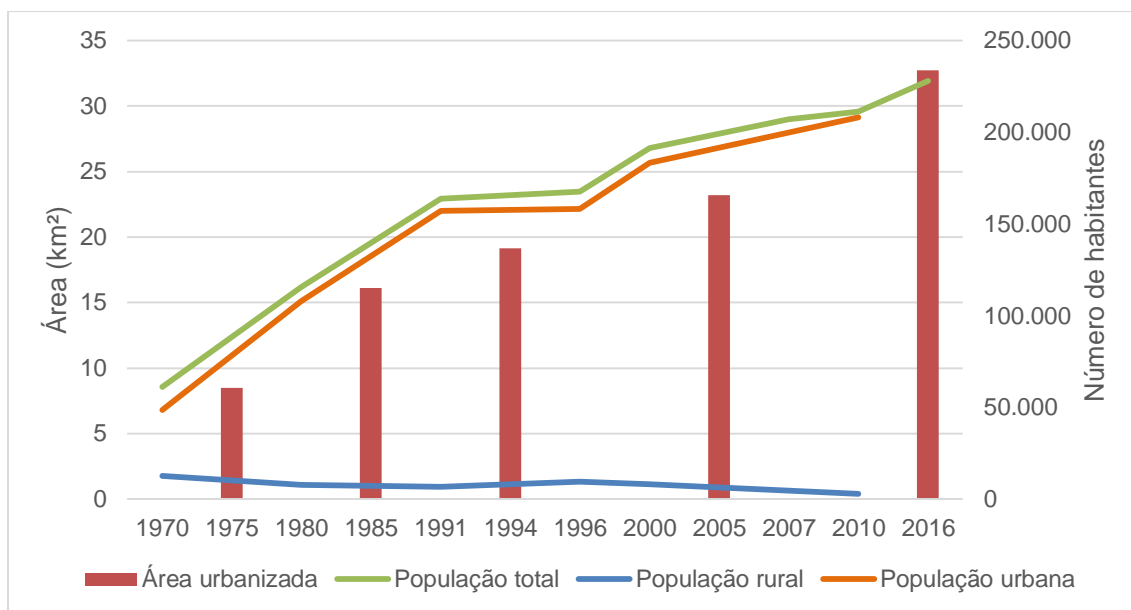
Figura 9 – Crescimento percentual da área urbana em Jacareí para cada período de 10 anos e para o período entre 1975 e 2016



Fonte: Do autor, 2017.

Como pode ser observado pela figura 10, os resultados obtidos que dizem respeito ao crescimento da área urbana de Jacareí condizem com os dados demográficos para a cidade que foram coletados no mesmo período e disponibilizados pelo IBGE Cidades (2017) e pelo ipeadata (2017).

Figura 10 – Crescimento populacional (IBGE/ipeadata) e urbano (este trabalho) em Jacareí entre 1970 e 2016.

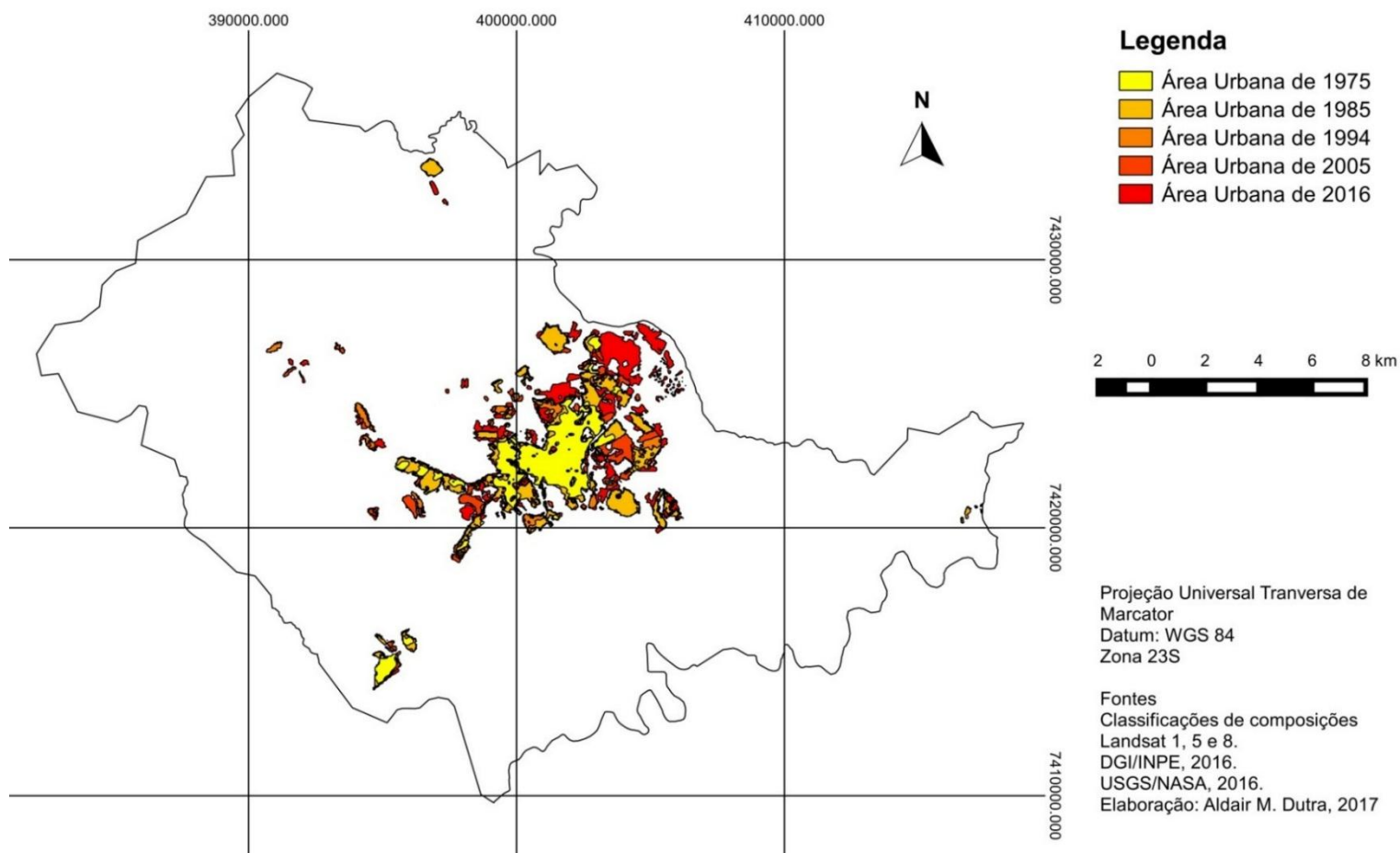


Fonte: Elaborado pelo autor, linhas (IBGE e ipeadata) e barras (este trabalho), 2017.

A figura 11 apresenta o mapa produzido a partir das classificações feitas neste trabalho. Pode ser observado que, no período estudado, o desdobramento da mancha urbana do município ocorre de forma mais relevante em direção à região nordeste do mesmo. A área compreende parte do limite do município de Jacareí com sua vizinha São José dos Campos, a maior cidade do Vale do Paraíba, evidenciando a conurbação que vem ocorrendo entre as cidades da região. Os bairros próximos ao limite entre os municípios são habitados, em sua maioria, por trabalhadores de São José dos Campos que usam Jacareí como “cidade-dormitório”.

Figura 11 – Mapa síntese da expansão urbana de Jacareí, SP, entre os anos de 1975 e 2016

Expansão Urbana no Município de Jacareí - SP



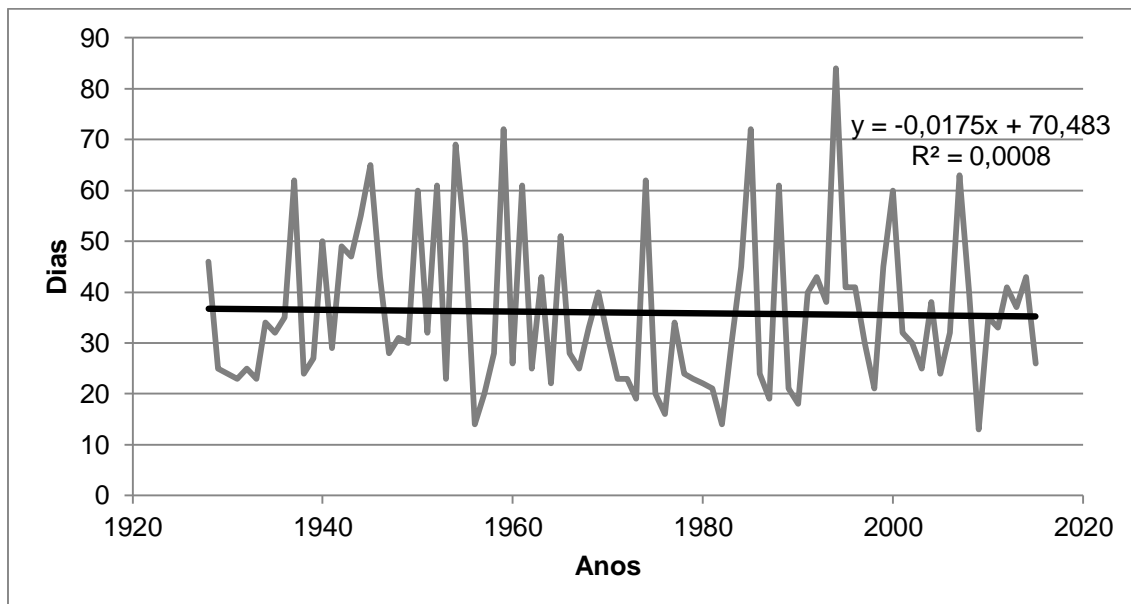
4.2. Tendências de Precipitação e Temperatura e sua Relação com a Urbanização em Jacareí – SP

4.2.1. Índices de Precipitação

Os índices calculados para a série criada pela média dos dados de todos os pluviômetros de Jacareí, que dizem respeito ao período entre 1928 e 2015, não apontaram para mudanças expressivas. O índice CDD (figura 12), que corresponde aos dias seguidos sem precipitações maiores do que 1mm, não apresentou tendência.

Foi observada uma tendência de $-0,34$ mm/ano no índice PRCPTOT, que trata do total acumulado anual de precipitação. No índice R10, que conta os dias em que se teve chuvas com mais de 10mm, não pode ser observada tendência. Em relação ao índice R95p, que é a precipitação acumulada dos eventos maiores do que o 95º percentil, houve uma tendência de aumento de $0,05$ mm/ano. Já para o índice RX5day ocorreu uma diminuição de $0,13$ mm/ano. Todas as tendências citadas anteriormente são significativas dentro dos procedimentos propostos nesta pesquisa.

Figura 12 – Dias consecutivos sem precipitação (CDD) calculados para a série de precipitação anual média em Jacareí – SP (área urbana e rural) no período de 1928 até 2015



Fonte: Do autor, 2017.

As tendências apresentadas a seguir como significativas são as que apresentaram significância ao nível de 5% no teste de Mann-Kendall. O termo significativo não está diretamente relacionado à magnitude das tendências, podendo elas ser de pequena magnitude.

A partir da análise baseada nos índices calculados para os dados regionalizados por urbana e rural e para períodos distintos, podem-se perceber diferenças potencialmente relacionadas à urbanização do município.

Para o período que vai de 1956 até 1989, daqui em diante chamado de P1, os dados de dentro da mancha urbana apontaram para inclinações positivas significativas nos índices R10 e RX5day, sendo estes aumentos de 0,26 dias/ano e 0,01 mm/ano, respectivamente. Para o índice CDD houve uma diminuição significativa de 0,19 dias/ano.

Os resultados para P1 adquiridos pelos cálculos com os dados das estações da zona rural de Jacareí indicaram que houve aumentos significativos nos índices

PRCPTOT e R10, de 7,48mm/ano e 0,26 dias/ano respectivamente. Os índices CDD, R95p e RX5day apresentaram, respectivamente, queda significativa de 0,18 dias/ano, 1,6 mm/ano e 0,24 mm/ano.

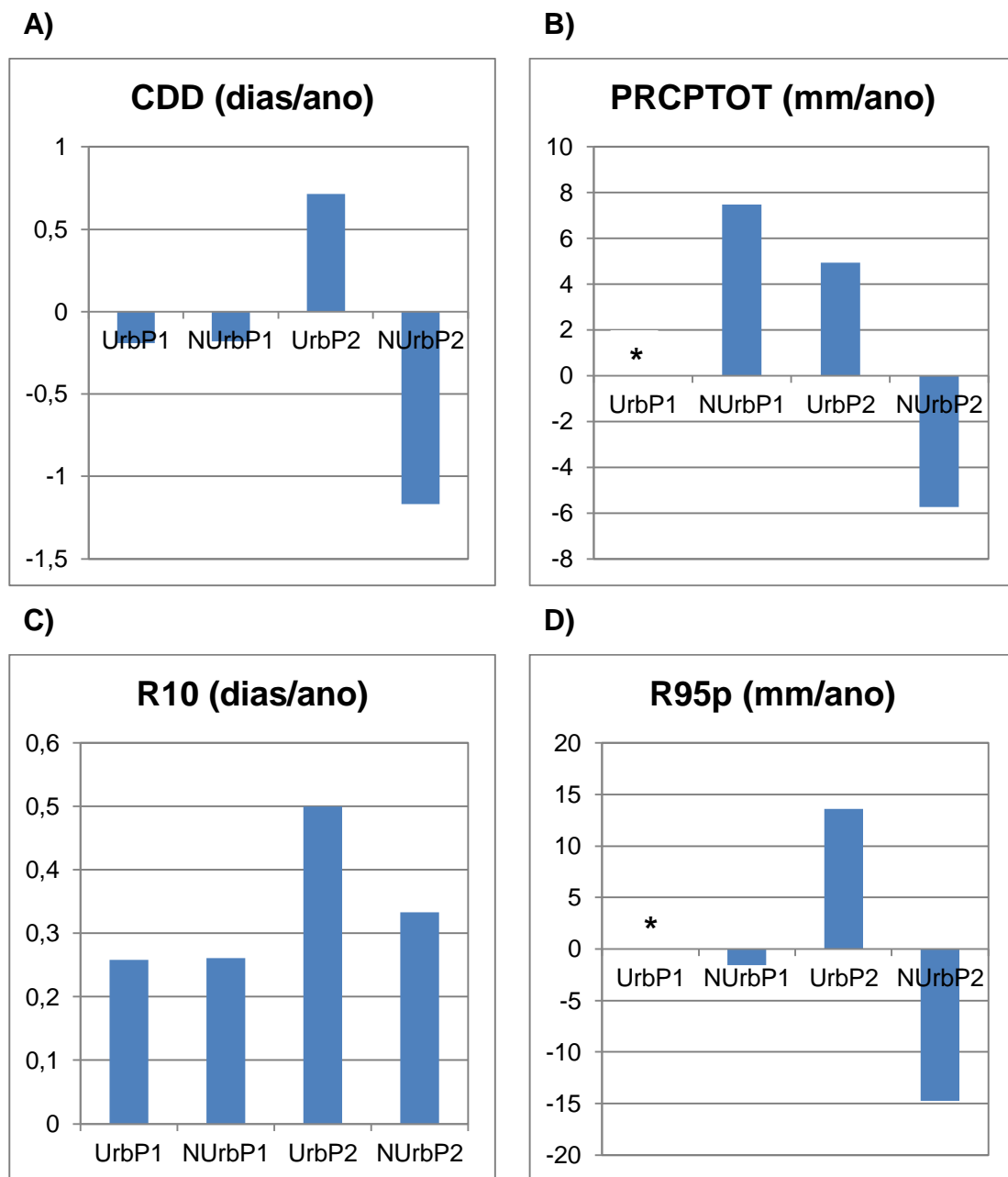
Como resultado para o período os dados da mancha urbana, que compreendem os anos de 2002 a 2015 (daqui em diante chamado de P2), mostraram haver tendências positivas em todos os índices analisados. Sendo de 0,71 dias/ano para CDD, 4,93 mm/ano para PRCPTOT, 0,5 dias/ano para R10, 13,6 mm/ano para R95p e 1,09 mm/ano para RX5day.

Para os resultados para P2 adquiridos pelos cálculos com os dados das estações da zona rural do município, os índices evidenciaram quedas significativas, para o período de 1999 a 2012, em CDD, PRCPTOT, R95p e RX5day. Estas diminuições foram de 1,17 dias/ano, 5,73 mm/ano, 14,73 mm/ano e 2,82 mm/ano, respectivamente. Houve um aumento significativo para o índice R10 de 0,33 dias/ano.

Portanto, em análise ao período P1, pode se inferir que a zona urbana de Jacareí apresentou diminuição em seus dias secos consecutivos, mesmo comportamento da zona rural e com uma magnitude semelhante (figura 13A). Outro índice que apresentou comportamento análogo entre zonas rural e urbana foi o R10, apontando para um aumento no número de dias com precipitações maiores do que 10 mm parecido em magnitude (figura 13C). O maior valor acumulado anual em cinco dias seguidos de precipitação mostrou discrepância para P1 entre zona rural e urbana, tendo um aumento na zona urbana (mesmo que ínfimo) e uma diminuição na zona rural (figura 13E).

Já em relação ao período P2, com exceção do índice R10 em que zona rural e urbana se mostram com aumentos significativos (figura 13C), houve inclinações opostas nas tendências para zona rural e urbana (figura 13A, 13B, 13D e 13E), e estas oposições foram, em alguns casos, proporcionais como no índice R95p.

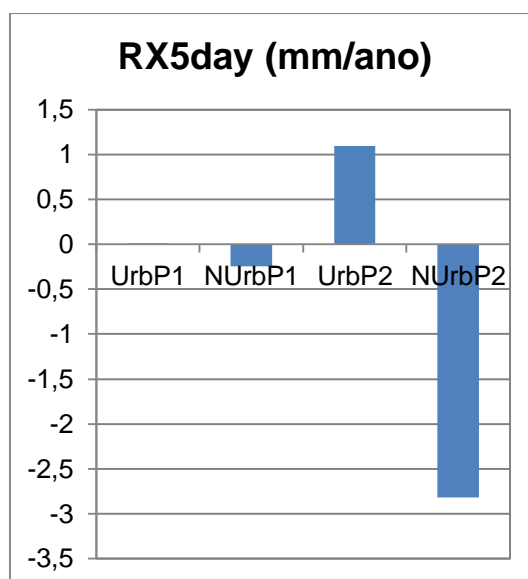
Figura 13 – Magnitude das tendências significativas dos índices climáticos calculados para os pluviômetros da zona urbana e da zona rural nos períodos P1 e P2.



(continua)

Figura 13 - Conclusão

E)



Fonte: Do autor, 2017. Urb: pluviômetros dentro da mancha urbana; NUrb: pluviômetros da zona rural. * Tendências não significativas.

Como salientado por Landsberg (2006), não há, por conta da grande variedade de variáveis modificadas pela mudança superficial da urbanização, como saber a partir de que ponto esse processo começa a influir diretamente sobre o clima de uma localidade. Sendo assim, pela análise dos dados apresentados anteriormente é possível perceber que no período P1 as diferenças entre zona rural e urbana no município, pelos índices calculados, não se apresentam tão evidentes. Já em análise ao período P2, mais recentemente, há diferenças mais evidentes em relação à campo e cidade.

As tendências obtidas apontam para aumentos relacionados ao volume de precipitação na zona urbana do município de Jacareí no período P2, apesar do aumento observado no índice CDD, indicando a maior incidência de dias sem chuva consecutivamente. Portanto, mesmo com menos dias de chuva, há um aumento perceptível na quantidade de precipitação. Resultado também encontrado por Xavier et al. (1994), Coltri et al. (2007) e Gonçalves (2011), que encontraram tendências de aumento de precipitação nas cidades estudadas.

O índice R95p apresentou aumento no período P2 para os dados da mancha urbana em detrimento de uma diminuição proporcional na zona rural para o mesmo índice, indicando assim um aumento em eventos com grande volume de chuva dentro da cidade. Estes eventos estão relacionados, possivelmente, à maior concentração de calor na zona urbana do município, as ilhas de calor urbano, o que acarreta na intensificação de processos convectivos (LANDSBERG, 2006; SOUZA, 2012).

Essa diferença do potencial convectivo também proporcionou aumentos aos índices PRCPTOT, R10 e RX5day. O índice R10 já vinha crescendo significativamente em ambas zonas rural e urbana no período anterior P1 estudado, se mostrando intensificado na mancha urbana no período P2 em relação à zona rural.

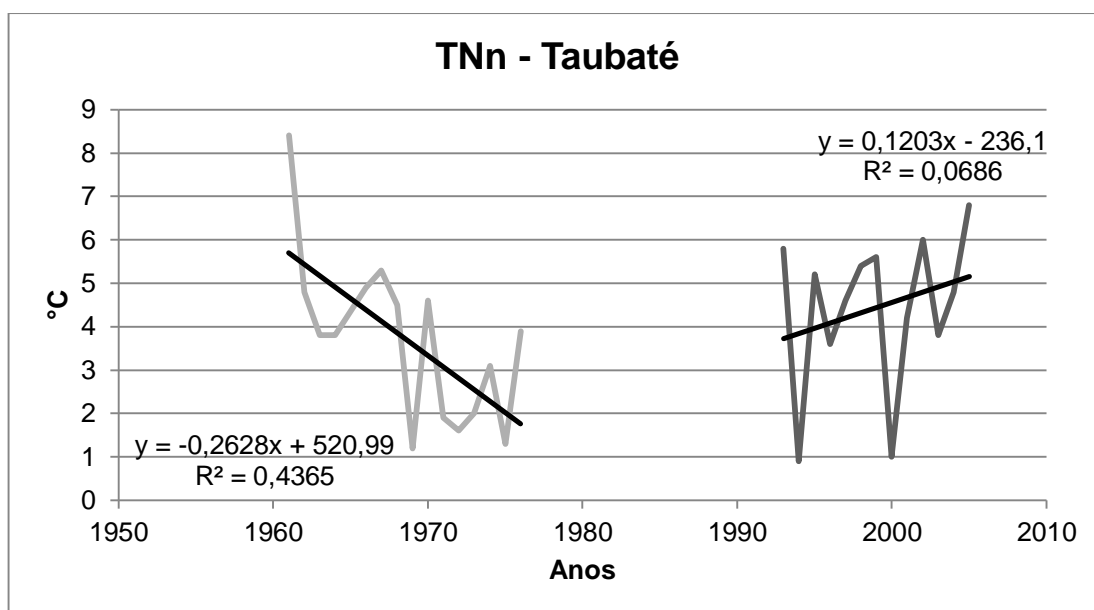
A análise feita para a média dos pluviômetros localizados em Jacareí “mascara” o potencial efeito da urbanização no regime de chuvas da cidade, sendo mais perceptível quando os dados são regionalizados em área urbana e rural dentro da área do município.

4.2.2. Tendências de Temperatura

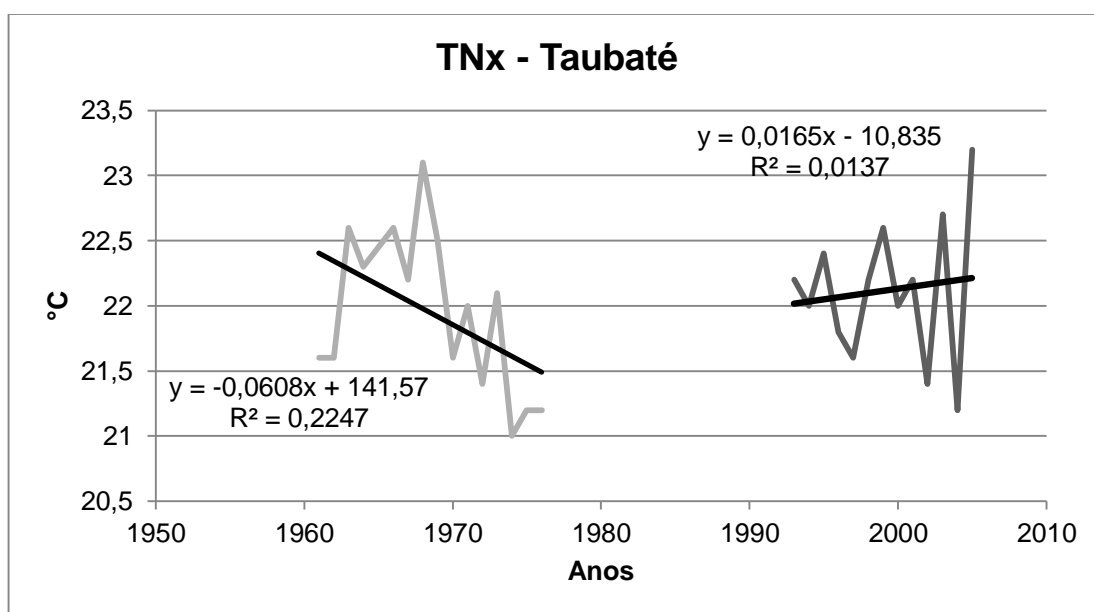
Os dados de temperatura utilizados da estação INMET da cidade de Taubaté apresentaram falhas que impossibilitaram os testes de inclinação e significância de suas tendências. Desta forma foram delimitados dois períodos, um deles de 1961 até 1976 e, o outro, de 1993 até 2005. Os resultados dos índices calculados para as temperaturas da estação de Taubaté são apresentados na figura 14 a seguir.

Figura 14 – Índices de temperatura calculados para Taubaté – SP.

A) Temperatura mínima da mínima (anual)



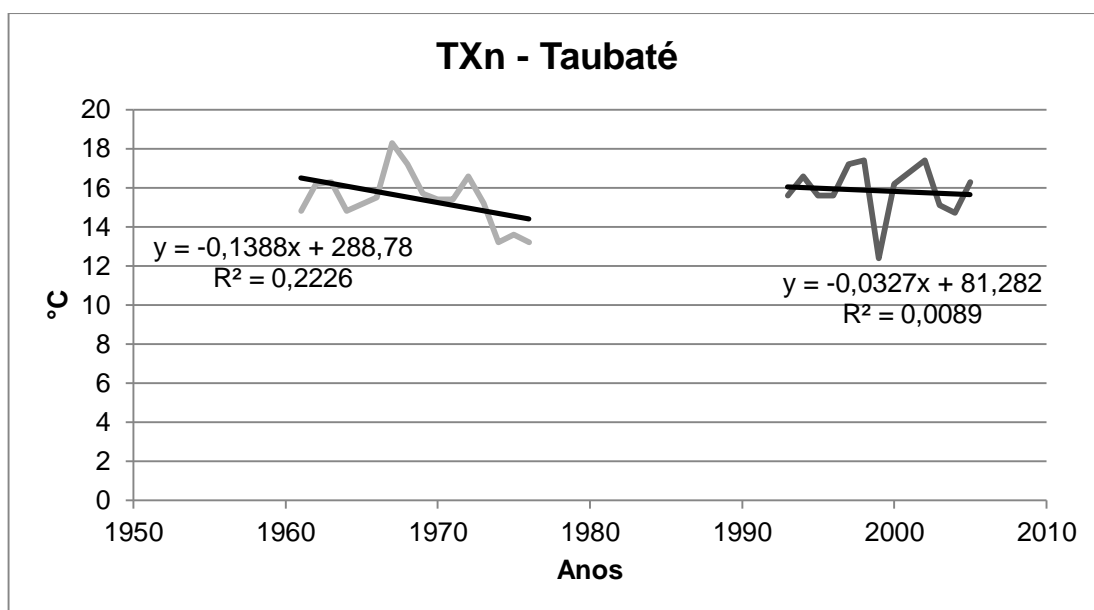
B) Temperatura máxima da mínima (anual)



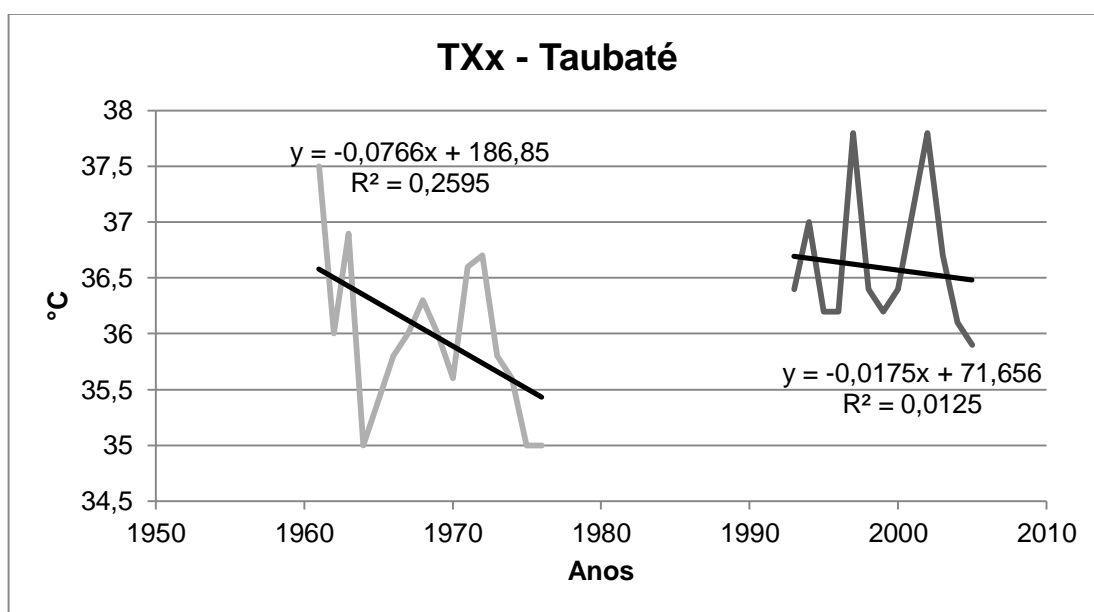
(continua)

Figura 14 - Conclusão

C) Temperatura mínima da máxima (anual)



D) Temperatura máxima da máxima (anual)



Fonte: Do autor, 2017.

Em observação às linhas de tendência dos gráficos é possível perceber que todos os índices apresentaram quedas no primeiro período estudado, enquanto que no segundo período há aumentos nos índices TNn (figura 14A) e TNx (figura 14B) e quedas menos intensas em TXn (figura 14C) e TXx (figura 14D). Sendo assim, no segundo período, a área de influência da estação apresentou um

aumento em suas temperaturas mínimas, e uma diminuição menos evidente de suas temperaturas máximas.

A cidade de Taubaté então estaria tendo um aquecimento, demonstrado pelo aumento em suas temperaturas mínimas, como encontrado também, em outras localidades urbanizadas, por Coltri et al. (2007) e Souza et al. (2011). Fator possivelmente também ocorrido em Jacareí, com um crescimento urbano parecido para o período proposto desta pesquisa além da correlação pluviométrica apresentada na seção anterior deste trabalho (figura 7).

Este fato também corrobora a influência na precipitação acarretada pelo aquecimento ocorrido no interior das cidades, como mostrado anteriormente nas tendências de chuva para a área urbana de Jacareí.

Não foi possível traçar uma relação direta entre os números das tendências de precipitação e temperatura aqui mencionados e os dados referentes à urbanização, não havendo como dizer em que ponto começam a ocorrer com mais intensidade as diferenças observadas nem se elas acompanham o ritmo da ocupação no município. Porém, é percebida, em relação às tendências de precipitação, uma diferença entre campo e cidade, principalmente no que diz respeito ao período P2 das séries estudadas.

As maiores diferenças entre zona rural e urbana nas tendências pluviométricas não acompanham a intensidade do aumento da ocupação no município de Jacareí. É observado que o período de maior crescimento foi entre os anos de 1970 e 1990 e nesse período, com relação às tendências pluviométricas, não houveram diferenças tão evidentes. Já no período subsequente, a partir de 2000, as diferenças entre os dados da mancha urbana e de fora da mesma mostraram diferenças mais notórias, podendo indicar a criação de condições mais favoráveis à diferenciação entre as chuvas dentro e fora da cidade nos anos que compreendem este período.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo possibilitou uma análise de como o sítio urbano pode influenciar no clima de uma localidade, criando suas particularidades em relação ao seu entorno. Pela confecção dos mapas foi possível verificar que a mancha urbana de Jacareí teve um aumento significativo durante o período estudado de 41 anos, entre 1975 e 2016. O crescimento apresentado foi de 284,68%, ou seja, a cidade quase triplicou em área ocupada. O período de mais expressivo crescimento entre os anos estudados foi o de 1975 até 1985, com 89,39% de crescimento.

Os índices calculados a partir da média dos dados pluviométricos de toda a área do município não apresentaram tendências importantes. Em contrapartida, a regionalização dos dados possibilitou notar diferenças entre zona rural e urbana, principalmente no segundo período de análise, mais recente. Essas mudanças dizem respeito ao aumento do volume de chuva dentro da mancha urbana, apesar do aumento dos dias secos seguidos, e a uma diminuição desses valores na zona rural. As temperaturas mínimas, de Taubaté, apresentaram aumento para o período mais recente de análise, o que provavelmente também ocorreu em Jacareí devido à proximidade e semelhança climática das regiões.

Não foi possível constatar uma relação direta entre os aumentos em precipitação observados na zona urbana de Jacareí com a dinâmica do crescimento urbano da cidade constatado nos últimos 41 anos, apesar de haver diferenças significativas entre área rural e urbana, intensificadas mais recentemente, muito possivelmente por conta da influência das mudanças superficiais trazidas pela urbanização.

Dada a importância da questão, é recomendável a extensão da aplicação deste estudo do clima urbano para as outras cidades da região do Vale do Paraíba, constatando assim possíveis diferenças em relação a respostas das variáveis climáticas às condições de cada cidade. Estes estudos direcionam mudanças causadas por nossos hábitos de ocupação urbana, reforçando a relevância do

planejamento nas cidades, podendo haver, em situação contrária, detrimento da qualidade de vida desencadeados por eventos do sistema climático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRETO, Julia de Rezende. **Impactos Pluviais: Um estudo de caso de Jacaréí- SP**. Viçosa: UFV, 2012. Disponível em:

<<http://www.novoscursos.ufv.br/graduacao/ufv/geo/www/wp-content/uploads/2013/05/Julia-de-Rezende-Barreto1.pdf>>.

BOLIGIAN, Levon; BOLIGIAN, Andressa Turcatel Alves; **Geografia: espaço e vivência**. São Paulo: Atual Editora, 2004.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI/UNICAMP. Disponível em:

<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_280.html>. Acesso em: 15 maio 2017.

COLTRI, Priscila P.; FAGNANI, Maria Angela; LABAKI, Lucila C.; FERREIRA, Nelson J.; DEMÉTRIO, Valdemar A. Variabilidade dos principais elementos climáticos e urbanização na região de Piracicaba, SP. **BioEng**, Campinas, 1(2):197-208, mai./ago., 2007. Disponível em:

<<http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/23/25>>.

DGI/INPE. Divisão de Geração de Imagens, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

GILBERT, Richard O. **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1987. Disponível em: <<https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/7037501/>>.

GOOGLE EARTH PRO. 2016. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em 11 dez. 2016

GONÇALVES, Neyde Maria Santos. Impactos Pluviais e Desorganização do Espaço Urbano em Salvador. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. (Org.); DANNI-OLIVEIRA, I. M.; BRANDÃO, A. M. P. M.; GONÇALVES, N. M. S. (Col). **Clima Urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011.

HIDROWEB, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, 2017. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 11 out. 2016.

HIRSCH, Robert M.; SLACK, James R.; A Nonparametric Trend Test for Seasonal Data With Serial Dependence. **Water Resources Research**, v. 20, n. 6, p. 727-732, jun. 1984. Disponível em:

<https://profile.usgs.gov/myscience/upload_folder/ci2012Oct1508284428033A%20NonpaNonparam%20Trend%20Test%20for%20Seasonal%20Data%20With%20Serial%20DepenDepen.pdf>.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE-BR.
Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/v3/cidades/municipio/3524402>>.
Acesso em: 2 maio 2017.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE-BR, Mapas, 2015. Disponível em:
<ftp://geofpt.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/>. Acesso em: 2 maio 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, Ipeadata. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em 17 maio 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 23 out. 2016.

IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 235-336, 2007. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf>.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p, 2013. Disponível em:
<http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf>.

JACAREÍ - Arquivo Público e Histórico de Jacareí. **Informações da cidade.** Jacareí – SP, 2017.

LANDSBERG, Helmut Erich. O Clima das Cidades. **Revista do Departamento de Geografia**, 18, p. 95-111, 2006. Disponível em:
<<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/viewFile/47269/51005>>.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. Teoria e Clima Urbano: Um projeto e seus caminhos. In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. (Org.); DANNI-OLIVEIRA, I. M.; BRANDÃO, A. M. P. M.; GONÇALVES, N. M. S. (Col). **Clima Urbano.** 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011.

NAKAMURA, Joventina Claro da Silva.; NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes. Mapeamento da mancha urbana utilizando imagens de média resolução: sensores CCD/CBERS2 e TM/Landsat5 - estudo de caso da cidade de Rio Branco-Acre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,

12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3843-3850. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.11.30?mirror=dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30.54&metadataarepository=ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.11.30.46>>.

NOBRE, Carlos A.; REID, Julia; VEIGA, Ana Paula Soares. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012.

OBREGÓN, Guillermo. MARENGO, José A. **Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas**. São Paulo: CPTEC/INPE, 2007. Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_2.pdf>.

OBREGÓN, G. O., NOBRE, C. A. Rainfall trend in Brazil. **Bulletin Of the American Meteorological Society**, 84. 1008-1009, 2003.

PIRES, Geison da Veiga. **Estudo da malha urbana e proposta de implantação de um parque tecnológico na cidade de Jacareí**. Guaratinguetá: Unesp, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/120612/pires_gv_tcc_guar_a.pdf?sesequen=1&isAllowed=y>.

REBOITA, Michelle Simões; GAN, Manoel Alonso; ROCHA, Rosmeri Porfírio da; AMBRIZZI, Tércio. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 25, n. 2, p.185 - 204, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n2/a04v25n2.pdf>>.

REBOITA, Michelle Simões; KRUSCHE, Nisia; AMBRIZZI, Tércio; ROCHA, Rosmeri Porfírio da. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **TERRÆ DIDÁTICA** 8(1): p.34-50, 2012. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf>>.

SOUZA, Diego Oliveira de. **Influência da ilha de calor urbana nas cidades de Manaus e Belém sobre o microclima local**. São José dos Campos: INPE, 2012. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/03.20.09.43/doc/publicacao.pdf>>.

SOUZA, Francisco de Assis S. de; MORAIS, Heliene Ferreira de; SILVA, Vicente de Paulo R. da. Influência da Urbanização no Clima da Cidade de Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 01, p.134-145, 2011. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/189/154>>.

TRENBERTH, K.E.; JONES P.D.; AMBENJE P.; BOJARIU R.; EASTERLING D.; KLEIN TANK A.; PARKER D.; RAHIMZADEH F.; RENWICK J.A.; RUSTICUCCI M.; SODEN B.; ZHAI P. Observations: Surface And Atmospheric Climate Change. In: IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 235-336, 2007. Disponível em: < https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4_wg1_full_report.pdf>.

USGS/NASA. EarthExplorer, United States Geological Survey. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

USGS. **What are the band designations for the Landsat satellites?**. United States Geological Service, 2017. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

XAVIER, Teresinha de Maria Bezerra Sampaio; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 9(1), p.44-53, 1994. Disponível em: <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_dl.php?id_artigo=425&id_arquivo=685>.

ZAPAROLI, Dilene. **Plano de ação para valorização do patrimônio cultural do município de Jacareí**. Campinas: UNICAMP, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/280828>>.

ZHANG, X; YANG, F. **RClmDex (1.0) User Manual**. Ontario, Canada: Climate Research Branch Environment Canada Downsview, 2004. Disponível em: <<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>>.