

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLA MILLÉO

**ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS DE TEMPERATURA E
PRECIPITAÇÃO NO BRASIL**

CURITIBA

2017

CARLA MILLÉO

**ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES TEMPORAIS DE TEMPERATURA E
PRECIPITAÇÃO NO BRASIL**

Projeto Final II do curso de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carvalho de Almeida

CURITIBA

2017

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Marilyn Padoan e Péricles Jorge Ferraro Milléo, e irmã, Kariny Milléo, pela dedicação, amor e carinho em todos os anos da minha vida.

Ao meu orientador, Professor Ricardo Carvalho de Almeida por toda explicação, atenção e paciência com seus alunos.

Aos colegas e aos professores da graduação, que fizeram parte do meu aprendizado e da minha vida.

Às amigas que a Universidade me proporcionou, Anna Carolina, Geovana, Raissa, Paola e Mayara. Sem vocês a graduação seria muito mais difícil.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade concedida e a todos aqueles que diretamente ou indiretamente me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal analisar tendências nas séries temporais de temperatura e precipitação mensais em pontos distribuídos pelo Brasil. Para isso, foram utilizados os métodos estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e Mann-Kendall Sazonal. Os testes foram aplicados em dados observados de temperatura de cinco estações obtidos no banco de dados do *Nacional Centers for Environmental Information* (NCEI) e em sete estações pluviométricas coletados no sistema de informações hidrológicas *Hidroweb*. Também foi avaliada a aplicabilidade do estudo de tendência utilizando a base de dados online da *University of Delaware Air Temperature and Precipitation*. Com o intuito de analisar a aplicabilidade da base de dados da Universidade de Delaware em estudos de tendência no Brasil foi realizada a análise exploratória dos dados, que consistiu na construção de gráficos tipo *box plot* e nos diagramas de dispersão, e também as duas bases de dados foram comparadas quantitativamente pelo coeficiente de correlação de Pearson. Além disso, foi aplicado o teste de Mann-Kendall nos dados mensais de Delaware e nos dados mensais observados e verificado as diferenças nos resultados do teste de hipótese. Os resultados mostram que a base de dados de Delaware não é indicada para análise de tendência no Brasil. Para a análise estatística foram estudados dois conjuntos de séries de temperatura e precipitação, uma a análise mensal dos dados e outra a análise sazonal. Para a análise mensal, foi aplicado o teste de Mann-Kendall nas séries de temperatura e precipitação mensais e também foi analisado o grau de dependência entre os dados sucessivos da série histórica, através da aplicação do teste de coeficiente de autocorrelação. Para a análise sazonal, as séries de precipitação e temperatura observadas foram divididas em verão, outono, inverno e primavera e aplicado o teste de Mann-Kendall Sazonal. A análise sazonal foi realizada de duas formas: a primeira, separando as estações do ano e posteriormente somando os resultados, e a segunda analisando separadamente cada estação do ano. Em geral, o efeito da autocorrelação dos dados de temperatura e precipitação no Brasil é pouco expressivo, pois o resultado da análise de tendência divergiu apenas na estação meteorológica do Aeroporto Afonso Pena. As séries de precipitação apresentaram tendências apenas na análise sazonal e para duas estações pluviométricas, indicando que não há sinal generalizado de alterações nos regimes de precipitação de longo prazo nas estações analisadas. As séries temporais de temperatura apresentaram tendência positiva estatisticamente significativa na maioria das estações meteorológicas estudadas, no entanto, não se pode rejeitar a hipótese que as tendências de aumento de temperatura sejam devido ao efeito de ilha de calor, visto que foram analisadas as tendências de temperatura de grandes cidades.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVO GERAL.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	8
3.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL.....	10
3.3 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS.....	12
3.4 COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R).....	14
3.5 TESTES DE HIPÓTESES.....	14
4. MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL.....	20
4.2 DADOS OBSERVADOS.....	23
4.3 BASE DE DADOS DA <i>UNIVERSITY OF DELAWARE</i>	26
4.4 ANÁLISE DE TENDÊNCIA.....	27
5. RESULTADOS	30
5.1 ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DA UNIVERSIDADE DE DELAWARE.....	30
5.1.1 Dados de precipitação.....	30
5.1.2 Dados de temperatura.....	35
5.2 ANÁLISE MENSAL.....	39
5.3 ANÁLISE SAZONAL.....	43
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

As mudanças no clima podem acarretar significativos impactos na sociedade. Entre os impactos causados pelas alterações na temperatura e precipitação média pode-se destacar o efeito sobre a agricultura, a geração de energia, a disponibilidade hídrica e a intensificação de desastres associados a fenômenos meteorológicos (tais como enchentes, deslizamentos e secas drásticas) (CHOU *et al.*, 2005 *apud* MACEDO, 2012).

Eventos climáticos extremos, como as secas na Amazônia em 2010, no Sul do Brasil em 2004-2006, no estado de São Paulo em 2013-2014, as ondas de calor da Europa em 2003, o furacão Catarina no Sul do Brasil em 2004 e os intensos furacões no Atlântico Norte durante 2005 fomentam o interesse da comunidade científica em estudar como o clima da terra está mudando, as causas e as conseqüências para a sociedade (SANTOS *et al.*, 2009).

A tese que o aumento da temperatura da terra está diretamente associado às emissões antrópicas dos Gases de Efeito Estufa (GEE) é defendida por muitos cientistas e pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), que foi estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e que tem o objetivo de avaliar e entender as recentes alterações climáticas e suas possíveis conseqüências sobre os cenários ambiental e socioeconômico. Por outro lado, as conseqüências do efeito-estufa no aquecimento global foram analisadas e discutidas por Molion (2008) e Karl *et al.* (1995) que defendem que o aumento da temperatura não é grande e nem temporalmente consistente para se rejeitar a hipótese de que as mudanças tenham ocorrido por variações aleatórias naturais.

Diante desse cenário de incertezas em relação às alterações climáticas em séries temporais é recomendada a aplicação de métodos probabilísticos, na presença de uma série temporal considerável, ou seja, extensa e com um mínimo de falhas ou dados incorretos (PLOSZAI, 2014). Tendo em vista as dimensões continentais do Brasil, assim como a diversidade de seus regimes climáticos e das influências sobre seu clima, é necessário estudos observacionais para bem conhecê-lo, em termos de características, mecanismos e variabilidade. O conhecimento do clima presente é o primeiro passo para se conhecer o clima futuro (PBMC, 2014).

O teste de hipótese de Mann-Kendall é um método apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas, pois permite a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência (BACK, 2001 *apud* PLOSZAI, 2014). Uma variação do teste de Mann-Kendall é o Mann-Kendall Sazonal, que surgiu com a necessidade de lidar com dificuldades impostas por eventuais sazonalidades em séries temporais de clima (BUCHIR, 2013 *apud* PLOSZAI, 2014)

No presente estudo serão aplicados os métodos já mencionados, Mann-Kendall e Mann-Kendall Sazonal, em séries temporais de temperatura e precipitação no Brasil. Os testes estatísticos foram aplicados em dados observados de temperatura de cinco estações obtidos no banco de dados do *Nacional Centers for Environmental Information* (NCEI), de responsabilidade do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e em dados observados de precipitação de sete estações pluviométricas coletados no sistema de informações hidrológicas *Hidroweb*, mantido pela Agência Nacional das Águas (ANA).

Também foi avaliada a aplicabilidade do estudo de tendência de temperatura e precipitação utilizando a base de dados online da *University of Delaware Air Temperature and Precipitation*. A base de dados da *University of Delaware* apresenta a vantagem de ser uma série temporal extensa, abrange o período entre 1900 a 2014, e sem falhas, pois os valores são estimados através da interpolação das estações disponíveis. A resolução espacial desta base de dados é de pontos de grade com um espaçamento de 0,5° de latitude e 0,5° de longitude para toda área continental da Terra, exceto a Antártica.

Este trabalho está organizado em seis capítulos, incluindo esta introdução. A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do estudo. O capítulo três é dedicado à revisão bibliográfica, onde é detalhado o debate sobre mudanças climáticas e descritos estudos similares na literatura. O capítulo quatro é dedicado aos materiais e método, no qual é descrito a área de estudo, os dados usados para a análise e os métodos utilizados para identificação de tendências. No capítulo cinco são exibidos os resultados obtidos deste estudo bem como a sua discussão. Finalmente, no capítulo sexto são apresentados as principais conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é analisar tendências nas séries temporais de temperatura e precipitação mensais em pontos distribuídos pelo Brasil.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Analisar tendências das séries temporais de médias mensais de temperatura e precipitação utilizando o método Mann-Kendall e avaliar se a autocorrelação serial afeta o resultado.
- 2) Analisar tendências sazonais das séries temporais de médias mensais de temperatura e precipitação utilizando o método Mann-Kendall Sazonal.
- 3) Analisar tendências em cada uma das quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) das séries de temperatura e precipitação médias mensais.
- 4) Avaliar a aplicabilidade de dados de precipitação e temperatura mensal da base de dados da *University of Delaware Air Temperature and Precipitation* em análises de tendência de séries temporais dessas variáveis.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Ao longo dos últimos anos discussões relacionadas às mudanças climáticas vêm se tornando cada vez mais frequentes na comunidade científica. Vários estudos buscam identificar alterações nos padrões climáticos, apontar o principal agente causador (se o próprio homem é responsável pela mudança climática ou se o clima está sendo alterado naturalmente) e avaliar os principais impactos resultantes das mudanças climáticas.

Para identificar os principais impactos resultantes das mudanças climáticas, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) produziu cinco grandes relatórios e alguns outros documentos. Formado por cientistas do mundo inteiro, o IPCC não realiza pesquisas ou monitora dados climáticos, mas revisa as publicações mais recentes na área científica, técnica e sócio-econômica para produzir seus relatórios. O IPCC está organizado em três grupos de trabalho e uma Força-Tarefa. O Grupo de Trabalho I, em inglês *Working Group I* (WG I), avalia os aspectos científicos do sistema climático e de mudança do clima. O Grupo de Trabalho II (WG II) avalia a vulnerabilidade dos sistemas socioeconômicos e naturais diante da mudança climática, assim como as possibilidades de adaptação. O Grupo de Trabalho III (WG III) avalia opções para mitigar as mudanças climáticas através da limitação ou prevenção de emissões da atmosfera. Já a Força-Tarefa foi criada para supervisionar o Programa Nacional de Inventários de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2017)

Entre os principais riscos para o planeta apontados pelo Quinto Relatório está o aumento da frequência das secas até o final do século 21, a redução da qualidade da água não tratada, a ameaça à qualidade da água potável, a extinção de espécies, o aumento de espécies invasoras, os impactos adversos nos sistemas costeiros, tais como submersão, inundação e erosão costeira, e o impacto na produção agrícola, entre outros (IPCC, 2014).

A avaliação dos riscos para o planeta apresentado no relatório do IPCC é baseada em modelos que relacionam as emissões atmosféricas com as mudanças de temperatura. O cenário de baixas emissões, RCPs (*Representative Concentration Pathways*) 2.6, apresenta a menor mudança de temperatura para o período de 2081 a 2100, onde a temperatura média na superfície do planeta irá aumentar de 0,5 a 2 °C. Já o cenário de altas emissões, RCPs 8.5, prevê que a Terra irá aquecer de 2,5 a 6°C (IPCC, 2014).

No entanto, há pesquisadores que contestam a legitimidade dos modelos de circulação geral utilizados pelo IPCC. Por exemplo, Lindzen (1997) conclui que os modelos de circulação geral da atmosfera de então eram inadequados com o objetivo de determinar de forma convincente que as pequenas mudanças no fluxo de energia do topo da atmosfera

associadas a um aumento da concentração de CO_2 são capazes de produzir mudanças climáticas significativas.

Como Lindzen (1997), Molion (2008) também critica os modelos de circulação geral alegando que eles têm dificuldade em reproduzir a temperatura média global, a diferença de temperatura entre equador e pólo, a intensidade e posicionamento das altas subtropicais e das correntes de jato. Molion (2008) conclui que não se pode afirmar que o aquecimento de $0,7^\circ C$ seja decorrente da intensificação do efeito-estufa causada pelas atividades humanas, ou mesmo que essa tendência de aquecimento persistirá nas próximas décadas, como sugere o Quarto Relatório do IPCC. O autor também contesta a relação do aumento da concentração de CO_2 na atmosfera e o aumento da temperatura da Terra defendida pelo IPCC, mostrando que a temperatura do planeta era maior entre 1925 a 1946, época que a quantidade de CO_2 lançada na atmosfera era inferior a 10% da atual.

Schio (2013) questiona o modelo utilizado pelo IPCC para previsão de temperatura e precipitação no Brasil. A autora utilizou a base de dados de observação da *University of Delaware Air Temperature and Precipitation*, do período de 1900 a 2000, e comparou através de análise estatística e análise espectral de energia com os dados simulados do modelo GFDL-CM 2.0 utilizado pelo IPCC. Schio (2013) concluiu que o modelo não é capaz de representar os padrões climáticos de temperatura e precipitação para a maior parte da área do Brasil.

Embora Lindzen (1997), Molion (2008) e Schio (2013) apresentem as limitações dos modelos climáticos do IPCC, Oreskes (2005) afirma que há um consenso da opinião científica que as mudanças climáticas são causadas pelas atividades humanas. Oreskes (2004) analisou 928 resumos, publicados em revistas científicas com referência entre 1993 e 2003, listados com as palavras-chaves “mudança climática”. Os 928 documentos foram divididos em seis categorias: aprovação explícita da posição de consenso, avaliação de impactos, propostas de mitigação, métodos, análise paleoclimática e rejeição da posição de consenso. O resultado foi que 75% dos documentos aceitaram, explicitamente ou implicitamente, a visão de consenso.

Apesar do enorme avanço científico e computacional das últimas décadas tenham possibilitado um maior e melhor entendimento do sistema climático, e assim contribuído para as análises das possíveis causas e futuros impactos das mudanças climáticas globais, as incertezas que permeiam as projeções de clima ainda continuam muito grandes, principalmente em escala regional (SANTOS *et al.*, 2015). Este estudo visa contribuir com a identificação de tendência nas séries temporais de precipitação e temperatura de uma escala regional, abrangendo o Brasil.

3.2. MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

Com o objetivo de reunir, sintetizar e avaliar informações científicas sobre os aspectos relevantes das mudanças climáticas no Brasil, foi estabelecido em 25 de setembro de 2009, pelos Ministérios da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), que baseia-se no *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (PBMC, 2017). O Primeiro Relatório do PBMC apresenta os cenários climáticos futuros no Brasil e revela um aumento dos eventos extremos de secas e estiagens prolongadas, principalmente nos biomas da Amazônia, Cerrado e Caatinga, sendo que tais mudanças evidenciam-se a partir da metade e final do século XXI (PBMC, 2014).

Alguns estudos buscam identificar as causas de eventos extremos ocorridos no Brasil e quais são as ações para mitigar seus efeitos. Recentemente ocorreu uma estiagem em São Paulo que acarretou uma abrupta redução no volume dos reservatórios que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo. O nível dos reservatórios começou a baixar desde 2013 e chegou a ter apenas 10,2% de volume de água disponível para o abastecimento em maio de 2014 (MARTINS, 2014 *apud* SOUZA, 2015).

Souza (2015) estudou a existência de tendência climática a estiagem na região próxima ao Sistema Cantareira, que é o conjunto de seis reservatórios que abastece a Região Metropolitana de São Paulo. A autora utilizou métodos estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall em dados de precipitação anual, mensal e diária para três regiões definidas próximas ao Sistema Cantareira. O estudo conclui que não existe tendência estatisticamente significativa à seca na análise da precipitação anual, enquanto a análise mensal indica tendência à estiagem para apenas o mês de agosto. Souza (2015) levanta a hipótese da ocorrência de um Bloqueio Atmosférico sobre São Paulo nos anos de 2013 e 2014, o que acarretou a estiagem e consequentemente a diminuição do nível dos reservatórios.

A pesquisadora de Ciências Atmosféricas da USP, Maria Assunção Silva Dias, afirma que embora o Sudeste brasileiro tenha sofrido uma seca extrema, os sistemas de abastecimento público devem estar planejados para épocas de estiagem, assim como em países que têm uma ocorrência de seca muito maior que o Brasil e que possuem alternativas para o abastecimento público (Canal DoisP, 2016).

Em 2010 a Amazônia enfrentou a maior seca dos últimos 112 anos. Houve rebaixamento dos níveis de água e seca completa de cursos d'água e tributários de rios na bacia amazônica. O fenômeno causou graves problemas socioambientais, especialmente às populações ribeirinhas, que dependem dos rios para seu deslocamento. Nesse contexto, Serrão *et al.* (2015) analisaram o comportamento pluviométrico na bacia hidrográfica do rio

Solimões nos anos de 2005 e 2010, marcados como as maiores secas do século na Amazônia. Os autores concluíram que a precipitação nos dois anos estudados foi influenciada pelo aquecimento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM), que acarretou na ocorrência do fenômeno Dipolo do Atlântico. A formação do dipolo positivo no Atlântico ocasiona o deslocamento ao norte dos ventos alísios de Sudeste e toda a umidade que estes transportam na formação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Serrão *et al.* (2015) também concluíram que os sistemas hidrológicos da Amazônia necessitam de monitoramento contínuo no auxílio da prevenção e mitigação de eventos extremos.

Paiva e Clake (1995) analisaram a tendência de precipitação da bacia Amazônica. Foi utilizado o teste de Mann-Kendall aplicado em 48 estações pluviométricas com registros superiores a 15 anos, fornecidos pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). O resultado da análise de tendência de precipitação mensal da Amazônia permitiu concluir que tendências positivas e negativas ocorrem aproximadamente com igual frequência sobre toda a bacia. No entanto, tendências significantes negativas são mais comuns do que as tendências significantes positivas.

Giannini *et al.* (2012) analisaram os impactos na população de abelhas causados pelas mudanças climáticas no Brasil. Os polinizadores desempenham um papel essencial ao ecossistema e trazem inúmeros benefícios à sociedade, através da produção de alimentos direta (mel, no caso das abelhas) e indireta (agricultura e reprodução vegetal) e da conservação da diversidade biológica. Os autores citam que há evidências de um declínio global dos polinizadores devido a múltiplos fatores, como a perda e fragmentação dos *habitats*, mudança no uso do solo e práticas agrícolas agressivas ao meio ambiente. O estudo considerou dois cenários diferentes de mudanças climáticas, um otimista e outro pessimista das projeções do IPCC. Os resultados mostraram que o *habitat* diminuirá para todas as espécies de abelhas brasileiras e as maiores reduções em *habitat* são das espécies *Melipona scutellaris* e *Melipona bicolor bicolor* que ocorrem predominantemente na Floresta Atlântica.

Lucena *et al.* (2009) avaliaram o impacto das mudanças climáticas na intensidade do vento no Brasil. Embora a energia eólica não seja totalmente explorada, o Brasil tem um alto potencial eólico, especialmente no Nordeste e em partes do Sul e Sudeste. O estudo analisou possíveis impactos das mudanças climáticas no potencial eólico através de simulações das condições do vento associado com os modelos do IPCC. O resultado indicou que o potencial eólico não seria afetado pela nova condição climática e que em algumas regiões é esperado um aumento, particularmente no Nordeste do país.

O Brasil é um país muito extenso e que contém regiões com diversos biomas, portanto, utilizá-lo como área de estudo será representativa de várias condições

climatológicas. Além disso, é fundamental para o Brasil ter estudos do clima futuro e que os gestores estejam preparados para eventuais mudanças climáticas.

3.3. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Embora existam muitos testes estatísticos para identificar tendência em séries temporais, é fundamental realizar a análise subjetiva dos dados antes da aplicação desses testes. Este exame inicial dos dados é parte de um conjunto de técnicas conhecido como análise exploratória dos dados, tradução livre da expressão de língua inglesa “*Exploratory Data Analysis - EDA*” (ALEXANDRE *et al.*, 2010). A análise exploratória dos dados facilita a detecção de tendências abruptas ou graduais nas séries temporais e é considerado imprescindível antes da aplicação de outros métodos (TOZZI, 2014).

Entre as finalidades de realizar a análise exploratória dos dados estão a identificação de eventuais valores atípicos (*outliers*), falhas nos registros e alterações nas séries temporais (KUNDZEWICZ e ROBSON *apud* PLOSZAI, 2014). Além disso, essa técnica permite estimar a época da mudança na série temporal e também verificar a suspeita de variações contínuas ou periódicas (TOZZI, 2014). A apresentação gráfica dos dados pode auxiliar na criação de hipóteses a respeito da natureza das tendências, que posteriormente devem se sujeitar a aplicação de testes formais de significância.

Diversas metodologias podem ser utilizadas para a análise exploratória dos dados no caso de detecção de tendência em séries temporais, quais sejam: histogramas, gráficos temporais e de correlação, teste de normalidade e dependência temporal, *box plot* e funções suavizadoras (KUNDZEWICZ e ROBSON *apud* TOZZI, 2014).

A análise exploratória dos dados também é usada como forma de confrontar, elucidar e validar duas populações. Os gráficos do tipo *box plot* são úteis para auxiliar nas comparações entre medidas em dois grupos. O gráfico é construído com base em cinco números, que são: valor mínimo, primeiro quartil (Q1), mediana (segundo quartil Q2), terceiro quartil (Q3) e valor máximo, como demonstrado na Figura 1. O conjunto destas medidas fornece evidência sobre localização, dispersão, assimetria e medidas discrepantes (*outliers*).

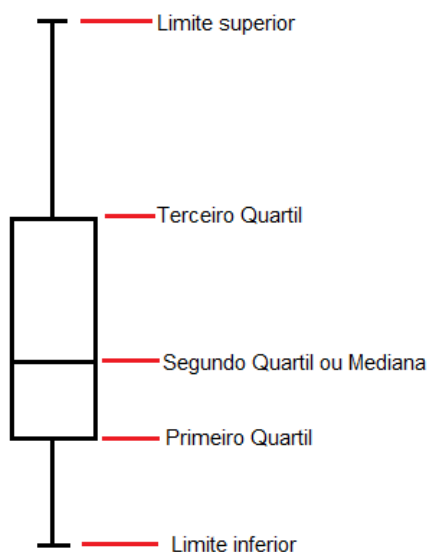


Figura 1: Representação de um gráfico tipo *box plot*

Os quartis são valores em uma escala que divide o conjunto de dados em quatro partes, todas elas com o mesmo número de observações. Isso significa que 25% das observações são menores que o primeiro quartil, 50% são menores que o segundo quartil e 75% são menores que o terceiro quartil. Um valor é considerado atípico (ou outliers) quando estiver fora do Limite inferior e Limite superior.

O diagrama de dispersão é usado principalmente para visualizar a relação/associação entre duas variáveis, mas também é útil para comparar o efeito de dois tratamentos no mesmo indivíduo e verificar o efeito antes /depois de um tratamento.

A Figura 2 representa esquematicamente as correlações positivas em um diagrama de dispersão.



Figura 2: Diagrama de dispersão com as correlações positivas

Fonte: Cantidio, S. (2009)

Após a realização da EDA, é conveniente que as possíveis tendências ou mudanças abruptas observadas graficamente sejam verificadas mediante testes estatísticos, a fim de avaliar o grau de significância dessas alterações na série temporal (ALEXANDRE *et al.*, 2010).

3.4. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON (R)

A correlação entre duas variáveis pode ser medida pelo coeficiente de correlação de Pearson, que também é chamado de “coeficiente de correlação produto-momento” ou simplesmente de “ ρ de Pearson”. O coeficiente de correlação pode variar de -1 a +1, ρ igual a 1 significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis, ρ igual a -1 indica uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis e ρ igual a 0 significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra.

O coeficiente de correlação de Pearson é calculado por:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{cov(X,Y)}{\sqrt{var(X)var(Y)}} \quad (1)$$

Na literatura há uma divergência como os pesquisadores podem interpretar a magnitude dos coeficientes. Para Cohen (1988), valores entre 0,10 e 0,29 podem ser considerados pequenos, enquanto valores entre 0,30 e 0,49 podem ser considerados como médios e valores entre 0,50 e 1 podem ser classificados como grandes. Já Dancey e Reidey (2005) apontam para uma classificação um pouco diferente, para eles o valor de r igual a 0,10 até 0,30 indica uma correlação fraca, r de 0,40 até 0,6 significa uma correlação moderada e r de 0,70 até 1 é uma correlação forte (FIGUEIREDO e SILVA, 2009).

3.5. TESTES DE HIPÓTESES

De acordo com Naghtini e Pinto (2007), os testes de hipóteses são procedimentos usuais da inferência estatística, bastante úteis para analisar características de uma população, da qual se conhece apenas uma amostra de observação. Os testes envolvem a formulação de uma hipótese básica a ser testada (hipótese nula), que consiste em uma afirmação sobre uma característica da população a ser testada. A decisão sobre a hipótese

nula ser, ou não, verdadeira é baseada nos valores de uma estatística de teste calculada a partir dos dados da amostra.

Em um teste estatístico sempre são formuladas duas hipóteses, denominadas hipótese nula (H_0) e hipótese alternativa (H_1). A hipótese nula é a afirmação sobre o valor do parâmetro (exemplo, a média), e que sempre deve conter a condição de igualdade. O teste analisa a hipótese nula que pode ser aceita ou rejeitada, em função da informação contida na amostra. E a rejeição da hipótese nula envolve a aceitação da hipótese alternativa.

A decisão de se rejeitar ou não uma hipótese nula é tomada com base em uma certa probabilidade ou nível de significância α . Por exemplo, pode-se aceitar a hipótese de que houve um decréscimo significativo da vazão média dos últimos trinta anos, em uma certa seção fluvial. No entanto, a eventual variação da vazão média do período, pode ser uma mera decorrência das flutuações amostrais sem consequência para a média populacional em questão. A especificação prévia do nível de significância α , tem o papel de remover o grau de subjetividade associado à tomada de decisão de um teste de hipótese (NAGHTTINI e PINTO, 2007).

Quando uma hipótese é testada tem-se uma decisão (rejeitar ou não H_0) que pode ser a decisão correta ou incorreta. Ao aceitar, ou rejeitar H_0 , dois tipos de erros podem ocorrer, conforme apresentado abaixo, na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado de um teste estatístico

Teste de Hipótese	Situação real	
	H_0 é verdadeira	H_0 é falsa
Rejeitar H_0	Erro Tipo I	Ação correta
Não rejeitar H_0	Ação correta	Erro Tipo II

A probabilidade de rejeitar H_0 , quando H_0 é verdadeira, ou seja, a probabilidade de erro tipo I, é o nível de significância do teste, que pode ser arbitrado ao especificar a região de rejeição e o seu complemento $1-\alpha$. A probabilidade do erro tipo II é designada por β e o seu complemento $1-\beta$ chama-se poder do teste (PINTO, 1976).

Os testes estatísticos podem ser classificados em paramétrico e não paramétrico. O teste é dito paramétrico se os dados amostrais foram extraídos de uma população com distribuição normal ou de qualquer outra população, cuja função de distribuição de probabilidade é conhecida ou previamente especificada por meio de parâmetros, tais como momentos estatísticos. Já os testes não paramétricos não necessitam da especificação prévia

do modelo de distribuição de probabilidade da população, da qual foram extraídos os dados amostrais (ALEXANDRE *et al.*, 2010).

Para Reis e Júnior (2007), os testes paramétricos são mais rigorosos, mas possuem mais pressuposições para sua validação. Já os não paramétricos utilizam postos atribuídos aos dados ordenados e são livres da distribuição de probabilidade dos dados estudados. Em alguns casos pode-se cogitar a extensão dos testes paramétricos para populações não-normais. No entanto, os resultados dessa extensão serão apenas aproximados.

Percebe-se que os testes de hipóteses paramétricos são os mais utilizados. Essa constatação pode ser explicada pela possibilidade de dedução das distribuições de amostragem de variáveis normais, ou pelas amplas aplicações do teorema central do limite. Entretanto, os testes não paramétricos são preferíveis em estudos hidrológicos, em virtude das variáveis hidrológicas não provêm, de forma geral, da distribuição normal. E as variedades dos testes não paramétricos têm crescido enormemente desde que foram introduzidos, no início da década de 1940 (NAGHTTINI e PINTO, 2007).

Exemplos de testes paramétricos aplicados a populações normais são o teste t de Student e o teste F de Snedecor. Já os testes não paramétricos mais utilizados são o coeficiente de Spearman, Mann-Whitney e Mann-Kendall.

O teste de tendência de Mann-Kendall é um dos testes não paramétricos amplamente utilizados para detectar tendências significativas em séries temporais (HAMED, 2008). Este método já foi aplicado em estudos sobre mudanças climáticas em diversas partes do mundo, como pode ser visto em Back (2001), Lindström e Bergström (2004), Liang *et al.* (2011), Ploszai (2014), entre outros.

O teste de Mann-Kendall é um teste não paramétrico baseado num processo de hierarquização (*rank*) dos dados. A hipótese nula, H_0 , é que as observações da série são independentes e identicamente distribuídas, ou seja, não há tendência. A hipótese alternativa, H_1 , é que as observações da série possuem tendência monotônica no tempo.

Sob H_0 , a estatística do teste é dado por:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{ sinal}(R_j - R_i) \quad (2)$$

onde n é o número de observações, R_j é a observação posterior, R_i é a observação anterior. O sinal é definido pelas seguintes condições.

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = \begin{cases} 1, & \text{se } R_j - R_i > 0 \\ 0, & \text{se } R_j - R_i = 0 \\ -1, & \text{se } R_j - R_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Kendall (1975) mostra que S é normalmente distribuída, e a média e a variância de S são calculadas pelas equações abaixo:

$$E[S] = 0 \quad (4)$$

$$\text{VAR}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (5)$$

onde p é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados e t_j é o número de dados com valores iguais em um certo grupo j .

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que mesmo para valores pequenos de n , pode-se assumir uma distribuição normal desde que o valor da estatística Z seja dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Em um teste unilateral, não rejeitamos a hipótese nula H_0 para um certo nível de significância α , se dado o valor do quantil Z_α de uma distribuição normal padrão temos $|Z| \leq Z_\alpha$.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall Sazonal é uma modificação do teste de Mann-Kendall. Os dados são agrupados dentro de blocos sazonais e, a partir de um procedimento de hierarquização, são testados quanto à tendência dentro de cada bloco, e então combinada os resultados (GROPPO *et al.*, 2006 *apud* GUARENGUI, 2004). As estatísticas S_j para cada bloco sazonal são somadas para formar a estatística geral S_k .

$$S_k = \sum_{j=1}^m S_j \quad (7)$$

onde S_j é obtido para cada um dos m blocos sazonais, separadamente, conforme mostrado na equação (2).

Quando o produto do número de estações pelo número de anos for maior que 25, a distribuição de S_k pode ser aproximada de uma distribuição normal, com expectância 0 (HELSEL e HIRSCH, 2002). E a variância de S_k é obtida pela soma das variâncias de cada bloco, ou seja:

$$\sigma_{Sk} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (n_j/18)(n_j - 1)(2n_j + 5)} \quad (8)$$

em que n_j é o número de dados de cada bloco sazonal. O valor final de Z_{Sk} é dado pela equação (9).

$$MKS = \begin{cases} \frac{S_k - 1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S_k + 1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Em um teste unilateral, H_0 não é rejeitada, no nível de significância α , se o valor absoluto de MSK for menor que um determinado valor de Z obtido da tabela da distribuição normal com a probabilidade de Z_α . Adotando-se um nível de significância $\alpha=0,05$, H_0 não será rejeitada sempre que $|MKS| \leq Z_\alpha$.

Quando são realizados os testes estatísticos para detecção de mudanças em séries temporais, três tipos de suposições são comumente feitas para efeito da hipótese nula, entre elas, a especificação da forma da distribuição, a independência dos dados e a homogeneidade dos dados (TOZZI, 2014).

- Especificação da forma da distribuição: esta suposição é essencial nos testes paramétricos e é violada se os dados não seguem a distribuição especificada.
- Independência dos dados: o termo “independência” entre os dados da série significa que nenhuma observação presente na amostra pode influenciar a ocorrência, ou a não ocorrência, de qualquer outra observação seguinte. Vários testes estatísticos podem ser utilizados, por exemplo, o teste de autocorrelação.
- Homogeneidade dos dados: “homogeneidade” significa que todos os elementos de uma certa amostra provêm de uma única e idêntica população, sendo que esta suposição é violada se, por exemplo, existem variações sazonais nos dados.

Para o teste de verificação da independência dos dados é recomendada a aplicação do teste de coeficiente de autocorrelação. A autocorrelação pode ser definida como o grau de variação comum entre uma variável (X) medida no tempo t com ela mesma medida em tempo posterior t+k, onde k é o tempo do intervalo de observação. Quando a autocorrelação é próxima de zero significa que há um processo aleatório ocorrendo sem nenhuma persistência ou regularidade.

Neste trabalho, a autocorrelação entre os dados de temperatura e precipitação será analisada e corrigida por um procedimento chamado de *pré-whitening*, onde o coeficiente de autocorrelação é calculado na série original com um atraso (*lag-one*) e então removido desta série. Desta forma, será criada uma nova série considerada “limpa”, da qual poderão ser calculados os parâmetros de interesse e aplicados os métodos estatísticos. O cálculo é feito por (SOUZA, 2015):

$$Y_t = X_t - r_k X_{t-1} \quad (10)$$

onde Y_t será a série “limpa”, X_t é o valor original do dado e r_k é o coeficiente de autocorrelação para cada defasagem é obtido por (TOZZI, 2014):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2} \quad (11)$$

onde r_k é o coeficiente de autocorrelação amostral para o *lag* k , N é igual ao número de dados da série, e X_t é o t -ésimo dado da série.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. PROJEÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

A área escolhida para a realização deste estudo foi o Brasil, devido as proporções continentais do território brasileiro – o que permite uma grande variabilidade climática entre as diferentes regiões do país, como também a ocorrência de diferentes biomas – que favorecem o estudo de tendência de temperatura e precipitação sob diferentes condições climáticas.

O Brasil é o quinto maior país do mundo em área territorial, sendo cortado pela Linha do Equador, que passa pela região norte do país, e pela Linha de Capricórnio, que atravessa o município de São Paulo. O território brasileiro está localizado entre as latitudes 33°45'03"S e 05°16'20"N e entre as longitudes 73°59'32"W e 34°47'30"W, abrangendo quatro fusos horários, a partir de UTC-5 no Acre e sudoeste do Amazonas até o UTC-2 nas ilhas do Atlântico.

O Brasil apresenta variedade de biomas, devido à sua extensão territorial, variedade de cobertura vegetal e climática, gerando uma enorme diversidade de fauna e flora. Os seis biomas brasileiros são: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampas. O mapa de biomas do Brasil é apresentado na Figura 3.



Figura 3: Mapa de biomas do Brasil.

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE

A descrição de cada bioma brasileiro, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o IBGE, está descrito a seguir.

Bioma Amazônia: a Amazônia é o maior bioma do Brasil, abrangendo uma área de 4.196.943 km². A vegetação predominante na Amazônia é a Floresta Ombrófila Densa, que corresponde a 41,67% do bioma. O clima é quente e úmido, com umidade elevada durante todo o ano, o que favorece a sobrevivência da cobertura vegetal com árvores de grande porte e folhas sempre verdes.

Bioma Caatinga: a Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, com uma área de 844.453 km². A vegetação da Caatinga apresenta adaptações ao clima seco, com árvores de pequeno porte, geralmente com caules retorcidos e espinhosos. Porém, quando chega o período de chuvas, as folhagens voltam a brotar. O clima desse bioma apresenta médias de temperaturas anuais elevadas, geralmente superiores a 25 °C.

Bioma Cerrado: o Cerrado abrange no Brasil uma área estimada em 2.039.448 km². Esse bioma é caracterizado por uma estação seca e uma chuvosa e temperatura média anual entre 22 °C e 27 °C. A maioria das árvores tem pequeno porte, muitas delas com troncos retorcidos.

Bioma Mata Atlântica: a Mata Atlântica, que ocupa toda a faixa continental atlântica leste brasileira e se estende para o interior no Sudeste e Sul do país, é definido pela vegetação florestal predominante e relevo diversificado. Os ecossistemas florestais que compõe a Mata Atlântica são a floresta ombrófila (densa, mista e aberta), a floresta estacional semidecidual e a estacional decidual. Atualmente apenas cerca de 7% da cobertura vegetal original estão bem conservados em fragmentos acima de 100 hectares. Em relação ao clima, a variabilidade climática ao longo da distribuição desse bioma é grande, indo desde climas temperados superúmidos no extremo sul a tropical úmido.

Bioma Pantanal: Em território brasileiro, o Pantanal cobre uma área estimada em 150.355 km² e constitui a maior superfície inundável interiorana do mundo. O Pantanal é caracterizado pela alternância entre períodos de muita chuva, que acontecem de outubro a março, e períodos de seca nos meses de abril a setembro. No período de chuvas, a paisagem do bioma modifica-se drasticamente, com a formação de grandes áreas alagadas, e no período seco, o Pantanal se assemelha a um cerrado.

Bioma Pampa: o Pampa, restrito ao estado do Rio Grande do Sul, cobre uma área aproximada de 176.496 km². A vegetação dominante é de gramíneas entremeadas por florestas mesófilas, florestas subtropicais (especialmente floresta com araucária) e florestas

estacionais. O clima do Pampa é subtropical com as quatro estações do ano bem definidas e com temperatura média anual de 19 °C.

O relatório Volume 1: Bases Científicas das Mudanças Climáticas, contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do PBMC avalia as possíveis alterações nos biomas brasileiros como resposta aos cenários de mudanças climáticas. Para gerar as projeções regionalizadas de clima nos biomas brasileiros foram considerados os períodos de início (2011-2040), meados (2041-2070) e final (2071-2100) do século XXI. As projeções de temperatura e precipitação para cada bioma estão representadas na Tabela 2.a e 2.b, respectivamente.

Tabela 2.a: Projeções de temperaturas divulgadas pelo PBMC considerando início, meados e final do século XXI para cada bioma brasileiro.

	2011 - 2040	2041 - 2070	2071 – 2100
Amazônia	Aumento de 1° a 1,5°C	Aumento de 3° a 3,5°C	Aumento de 5° a 6°C
Caatinga	Aumento de 0,5° a 1°C	Aumento de 1,5° a 2,5°C	Aumento de 3,5° a 4,5°C
Cerrado	Aumento de 1°C	Aumento de 3° a 3,5°C	Aumento de 5° a 5,5°C
Mata Atlântica (NE)	Aumento de 0,5° a 1°C	Aumento de 2° a 3°C	Aumento de 3° a 4°C
Mata Atlântica (SE)	Aumento de 0,5° a 1°C	Aumento de 1,5° a 2°C	Aumento de 2,5° a 3°C
Pantanal	Aumento de 1°C	Aumento de 2,5° a 3°C	Aumento de 3,5° a 4,5°C
Pampa	Aumento de 1°C	Aumento de 1° a 1,5°C	Aumento de 2,5° a 3°C

Tabela 2.b: Projeções de precipitações divulgadas pelo PBMC considerando início, meados e final do século XXI para cada bioma brasileiro.

	2011 - 2040	2041 - 2070	2071 – 2100
Amazônia	Redução de 10%	Redução de 25 a 30%	Redução de 40 a 45%
Caatinga	Redução de 10 a 20%	Redução de 25 a 35%	Redução de 40 a 50%
Cerrado	Redução de 10 a 20%	Redução de 20 a 35%	Redução de 35 a 45%
Mata Atlântica (NE)	Redução de 10%	Redução de 20 a 25%	Redução de 30 a 35%
Mata Atlântica (SE)	Aumento de 5 a 10%	Aumento de 15 a 20%	Aumento de 25 a 30%
Pantanal	Redução de 5 a 15%	Redução de 10 a 25%	Redução de 35 a 45%
Pampa	Aumento de 5 a 10%	Aumento de 15 a 20%	Aumento de 35 a 40%

Como o bioma da Mata Atlântica abrange áreas desde o Sul, Sudeste até o Nordeste brasileiro, as projeções apontam dois regimes distintos, uma considerando a porção Nordeste (NE) e outra as porções Sul/Sudeste (SE).

No Primeiro Relatório do PBMC também consta que estudos observacionais e de modelagem numérica sugerem, que caso o desmatamento alcance 40% na Amazônia, estima-se mudança drástica no padrão do ciclo hidrológico em curto prazo, com redução de 40% na chuva durante os meses de julho a novembro, prolongando a duração da estação seca, além do aquecimento superficial em até 4°C.

4.2. DADOS OBSERVADOS

Para realizar o presente estudo foram selecionadas sete estações pluviométricas e cinco estações meteorológicas, as quais as estações pluviométricas são listadas na Tabela 3.a e as estações meteorológicas na Tabela 3.b e representadas na Figura 4. Essas estações foram escolhidas principalmente pelos seus extensos períodos de observação, qualidade e continuidade de seus registros. Além disso, buscou-se escolher pelo menos uma estação de dados de temperatura e precipitação de cada bioma brasileiro, a fim de comparar se os registros históricos estão apresentando a tendência de acordo com o que foi projetado para o futuro pelo Primeiro Relatório do PBMC, no entanto, não foi possível satisfazer esse objetivo devido à falta de dados adequados.

Tabela 3.a: Estações pluviométricas selecionadas.

	Código	Nome	Localização	Bioma	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período Início	Período Fim	Falhas (%)
Ponto 1	00260007	Presidente Figueiredo	Presidente Figueiredo, AM	Amazônia	-2,041	-60,026	122	mar/1985	dez/2014	2,1
Ponto 2	01556000	Nossa Senhora da Guia	Cuiabá, MT	Cerrado	-15,356	-56,217	240	mar/1971	dez/2014	2,1
Ponto 3	00834007	Recife (Curado)	Recife, PE	Mata Atlântica (NE)	-8,05	-34,917	10	mar/1961	dez/2014	0,0
Ponto 4	02346100	Ermelino Matarazzo	São Paulo, SP	Mata Atlântica (SE)	-23,481	-46,471	730	jan/1963	dez/2014	2,2
Ponto 5	02549075	Curitiba - Prado Velho	Curitiba, PR	Mata Atlântica (SE)	-25,45	-49,25	884	abr/1981	fev/2014	0,0
Ponto 6	00338034	Eusébio	Eusébio, CE	Caatinga	-3,9	-38,5	30	jan/1990	dez/2010	0,8
Ponto 7	00537035	Fazenda Angicos	Mossoró, RN	Caatinga	-5,28	-37,289	16	out/1986	dez/2014	1,5

Tabela 3.b: Estações meteorológicas selecionadas.

	Estação	Localização	Bioma	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Período Início	Período Fim	Falhas (%)
Ponto 1	Aeroporto Eduardo Gomes	Manaus, AM	Amazônia	-3,133	-60,017	80	jun/1977	dez/2014	0,2
Ponto 2	Campo Grande	Campo Grande, MS	Cerrado	-20,45	-54,617	552	jan/1973	dez/2014	0,5
Ponto 3	Aeroporto Guararapes-Gilberto	Recife, PE	Mata Atlântica (NE)	-8,134	-34,917	10	jan/1973	dez/2014	0,4
Ponto 4	Aeroporto Guarulhos	Guarulhos, SP	Mata Atlântica (SE)	-23,432	-46,469	749	jul/1988	dez/2014	0,6
Ponto 5	Aeroporto Afonso Pena	São José dos Pinhais, PR	Mata Atlântica (SE)	-25,531	-49,176	911	jan/1973	dez/2014	1,8

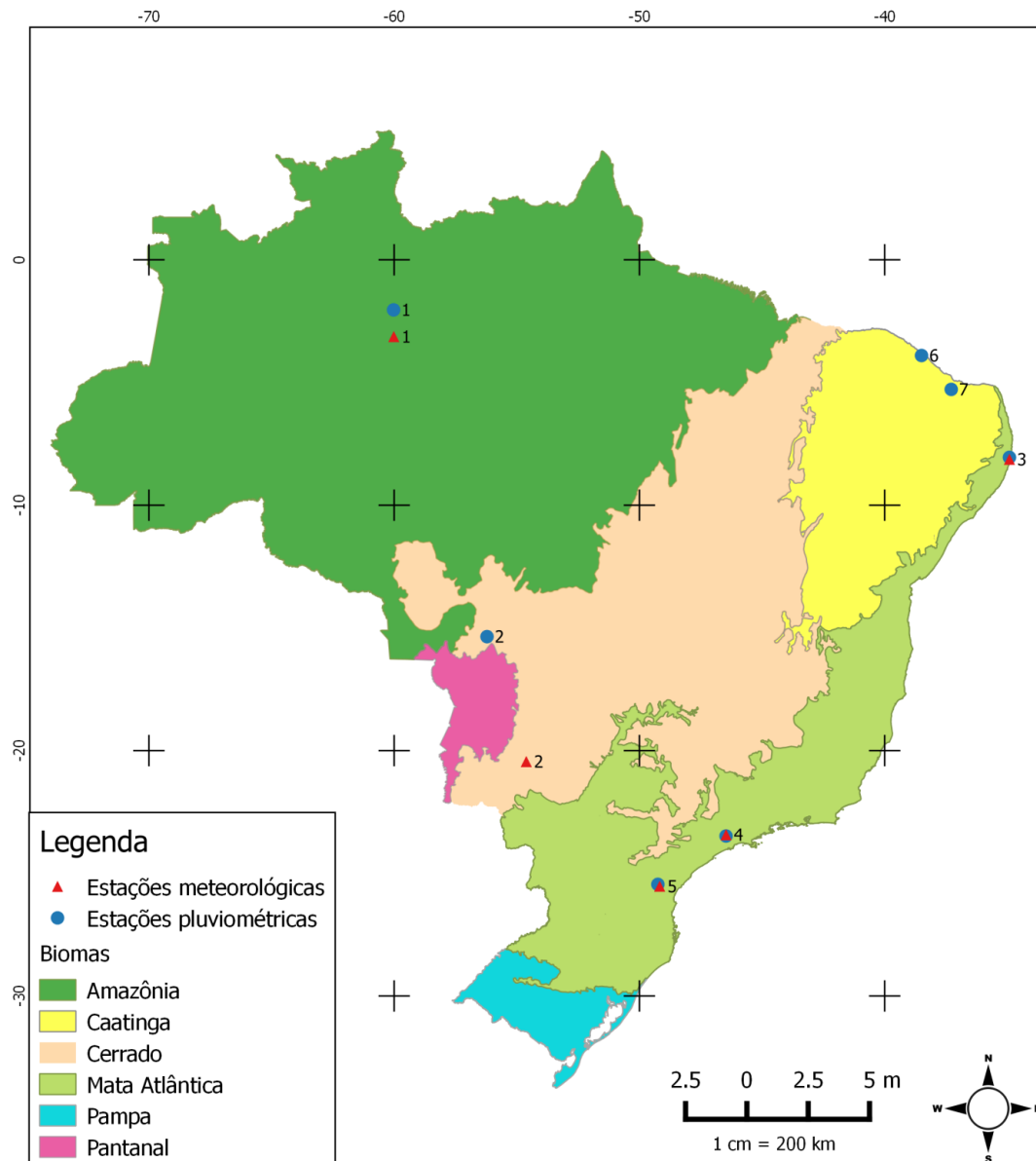


Figura 4: Mapa de localização das estações meteorológicas selecionadas (triângulos vermelhos) e das estações pluviométricas selecionadas (pontos azuis) no Brasil.

Os dados observados de precipitação mensal acumulada foram obtidos a partir dos registros da Agência Nacional das Águas (ANA), disponíveis na internet no sistema de informações hidrológicas *Hidroweb*, que pode ser acessado através do link: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. E os dados observados de temperatura foram obtidos no banco de dados do *Nacional Centers for Environmental Information* (NCEI), de responsabilidade do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), e que pode ser acessado por: <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>.

Os dados de temperatura estão disponíveis na forma de temperatura média diária. Foi calculada a média mensal de temperatura desde que atendido o critério de até 30% de falhas nos dados diários daquele mês. E os dados faltantes das séries mensais de temperatura e precipitação foram preenchidos com a média de todos os meses da série relativos ao dado faltante.

4.3. BASE DE DADOS DA UNIVERSITY OF DELAWARE

Um dos grandes problemas nos estudos climáticos é obter dados meteorológicos de qualidade, pois requerem grandes volumes de dados de qualidade, com séries de longo tempo, contínuas e consistentes. Além do mais, os dados com boa qualidade são de estações que estão localizadas em centros urbanos, tornando-se difíceis estudos climáticos em regiões mais afastadas desses centros urbanos. Por esse motivo, também foi avaliada a longa série de dados da *University of Delaware Air Temperature and Precipitation* para os pontos já selecionados.

A base de dados de temperatura e precipitação da *University of Delaware Air Temperature and Precipitation* é disponibilizada pelo Laboratório de Pesquisas do Sistema Terrestre – Divisão de Ciências Físicas (*Earth System Research Laboratory – Physical Sciences Division*) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

O conjunto de dados da Universidade de Delaware apresenta valores de temperaturas médias mensais e a precipitação acumulada mensal em pontos não amostrados através de interpolação das estações disponíveis. A resolução espacial desta base de dados é de pontos de grade com um espaçamento de 0,5° de latitude e 0,5° de longitude e cobertura global terrestre (leia-se: áreas de terra seca), totalizando uma grade de 720x360 pontos. Em relação a resolução temporal, o período disponível de dados é de janeiro de 1900 a dezembro de 2014.

Os dados de temperatura média mensal e precipitação acumulada mensal da base de dados de Delaware foram interpolados a partir de estações terrestres que fazem parte da *Global Historical Climatology Network* (GHCN2) e de agências locais que apóiam o projeto. Trata-se de uma base geoestatística, ou seja, os dados disponíveis na base foram ajustados para que ficassem dispostos exatamente sobre os pontos de grade.

Na base de Delaware é utilizada uma interpolação dos dados de temperatura média mensal por intermédio do modelo digital de elevação (DEM). Resumidamente, a temperatura da estação é primeiro reduzida ao nível do mar à taxa de resfriamento vertical na troposfera

média da temperatura (6,5 °C/km). A interpolação tradicional é realizada nas temperaturas ajustadas para o nível do mar. A interpolação tradicional foi realizada com uma versão esférica do algoritmo de Shepard, que emprega o método de ponderação por distância. Em seguida, as temperaturas do nível do mar em forma de malha regular são trazidas até a altura da grade do DEM, novamente, à taxa do *lapse rate* média (MATSUURA, 2012).

Em relação à precipitação, a interpolação denominada *Climatologically Aided Interpolation* (CAI) foi utilizada para estimar os campos mensais de precipitação total. O CAI utiliza uma climatologia de base para aumentar a precisão das séries temporais espacialmente interpoladas, que consiste em mesclar duas estações climatológicas para obter a diferença de precipitação mensal em cada estação. Essas diferenças na precipitação são interpoladas para obter um campo de grade usando a versão esférica do algoritmo de Shepard (MATSUURA, 2012).

Para avaliar os erros de interpolação espacial foi empregada a validação cruzada estação a estação. Uma estação é removida de cada vez e a temperatura ou precipitação é então interpolada para o local da estação removida. A diferença entre o valor da estação real e o valor interpolado é uma estimativa local do erro de interpolação (MATSUURA, 2012).

É incomum a existência de estações meteorológicas e pluviométricas com longo período de dados observados e boa cobertura espacial, por isso, o uso dos dados de temperatura e precipitação que usem a interpolação espacial apresenta vantagens para o estudo de tendências por ser uma extensa série de dados e não possuir falhas.

Para este estudo foram coletados os dados de temperatura e precipitação de uma série temporal de cento e catorze anos, utilizando a base de dados da *University of Delaware Air Temperature and Precipitation*. Após a escolha dos pontos para análise de temperatura e precipitação, como mostrada no item anterior, fez-se *download* dos arquivos que estavam hospedados no site da Universidade de Delaware para o ponto de grade mais próximo.

4.4. ANÁLISE DE TENDÊNCIA

São apresentados nesta seção os métodos a serem utilizados para identificação de tendências de temperatura e precipitação no Brasil.

Para aplicação do teste Mann-Kendall, não deve existir dados faltantes na série temporal. Por esse motivo foi feita uma avaliação prévia nos dados de temperatura e precipitação mensais observados em busca de falhas nas séries. Os dados faltantes foram preenchidos com a média de todos os meses da série relativos ao mês faltante.

Primeiro o teste de Mann-Kendall foi aplicado aos dados mensais de temperatura e precipitação sem considerar a correção da autocorrelação, conforme é mostrado na equação (6). Foi definido um teste de hipótese unilateral, pois se busca identificar alterações no clima de acordo com o que foi apresentado no Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do PBMC. A hipótese nula, H_0 , é que as observações da série são independentes e identicamente distribuídas, ou seja, não há tendência. A hipótese alternativa, H_1 , é que as observações da série possuem tendência.

Como as projeções do Primeiro Relatório do PBMC indicam aumento na temperatura em todos os biomas brasileiros, será aplicado o teste unilateral direito nas séries temporais de temperatura. Em relação à precipitação, as projeções do PBMC apontam aumento no regime de chuvas na região Sul e Sudeste do bioma Mata Atlântica, enquanto outros biomas indicam diminuição da precipitação. Sendo assim, será aplicado o teste unilateral esquerdo nas séries temporais de precipitação, exceto para os pontos 4 e 5, onde será aplicado o teste unilateral direito, pois essas duas estações pluviométricas estão localizadas na região Sul e Sudeste do bioma Mata Atlântica.

Neste trabalho será adotado um nível de significância $\alpha=0,05$, quando for aplicado o teste unilateral direito, o H_0 não será rejeitada se o valor de Z , que foi calculado pela equação (6), for menor que o valor obtido da tabela da distribuição normal $Z_{0,05} = 1,645$. E para o teste unilateral esquerdo, a hipótese nula não será rejeitada se o valor de Z for maior que o valor obtido da tabela da distribuição normal $Z_{0,05} = -1,645$.

Em um estudo de tendência climática é recomendado a utilização do teste de coeficiente de autocorrelação para avaliar a existência de autocorrelação entre os dados sucessivos em uma série. Para isso, aplicou-se o teste de coeficiente de autocorrelação nos dados mensais de temperatura e precipitação. A partir da equação (10) obteve-se a série “limpa”, ou seja, removida a autocorrelação da série. Depois deste passo, pode-se aplicar o método de Mann-Kendall como já foi mencionado.

Após a análise de tendência nas séries temporais de precipitação e temperatura média mensais, os dados observados foram submetidos a análise sazonal. Para isto, dividiram-se as séries históricas nas quatro épocas do ano: verão, outono, inverno e

primavera. A estação verão compreende os meses dezembro, janeiro e fevereiro, a estação outono abrange os meses março, abril e maio, a estação inverno compõe-se pelos meses junho, julho e agosto e a estação primavera compreende os meses setembro, outubro e novembro.

Depois de realizado a divisão das séries históricas nas quatro estações do ano, o teste de Mann-Kendall Sazonal foi aplicado de duas formas: uma calculando como descrito na equação (9), que consiste em separar as estação do ano e calcular o S_k , e posteriormente somar os resultados, e outra obtendo a estatística de Mann-Kendall S_j para cada uma das estações do ano.

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS DA UNIVERSIDADE DE DELAWARE

Nesta seção será apresentada a análise exploratória dos dados que foi realizada com a finalidade de fazer uma comparação visual dos dados da base da Universidade de Delaware com os dados observados de temperatura e precipitação, para isto construiu-se os gráficos tipo *box plot* e os diagramas de dispersão para as sete estações pluviométricas e as cinco estações meteorológicas selecionadas. As duas bases de dados também foram comparadas quantitativamente pelo coeficiente de correlação de Pearson.

5.1.1. Dados de precipitação

A seguir serão apresentados os gráficos *box plot*, os diagramas de dispersão e os coeficiente de correlação de Pearson entre os dados de Delaware e observados de precipitação das sete estação pluviométricas selecionadas.

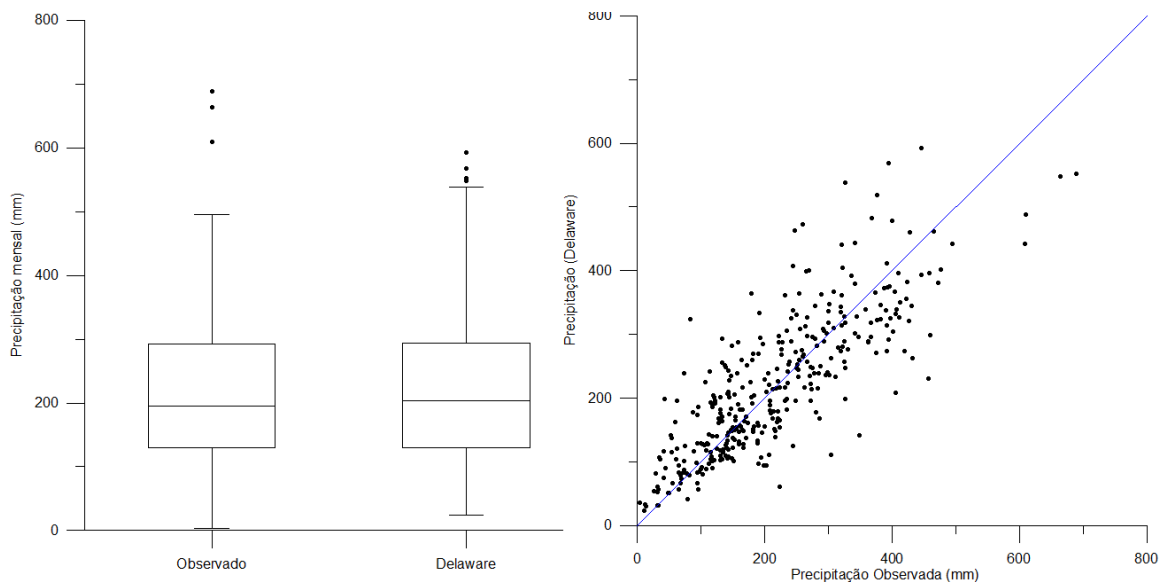


Figura 5: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de precipitação para o ponto 1 (Amazônia). À direita o diagrama de dispersão dos dados de precipitação para o ponto 1 (Amazônia).

A partir do gráfico *box plot* da Figura 5, percebe-se que os dados da Universidade de Delaware estão próximos dos dados observados da estação pluviométrica Presidente Figueiredo, Amazônia. Pelo gráfico *box plot* pode-se notar que a mediana de ambas as

bases de dados são próximas a 200 mm de precipitações mensais e as duas séries apresentam pontos atípicos. Também se pode verificar pelo diagrama de dispersão que os dados da Universidade de Delaware estão bem associados aos dados observados, de forma geral, embora observados alguns pontos discrepantes. O coeficiente de correlação de Pearson entre as duas variáveis é 0,81.

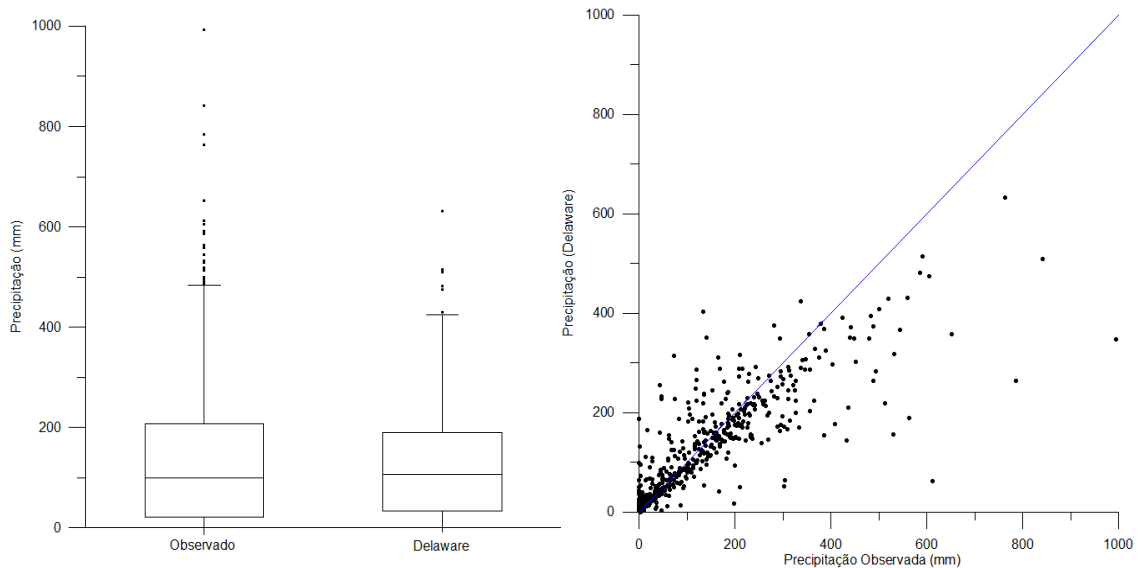


Figura 6: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de precipitação para o ponto 2 (Cerrado). À direita o diagrama de dispersão dos dados de precipitação para o ponto 2 (Cerrado).

Na Figura 6, pode-se perceber no box plot que os dados de Delaware estão representando bem a mediana dos dados observados da estação pluviométrica Nossa Senhora da Guia, localizado em Cuiabá, pois ambas as medianas estão próximas de 100 mm de precipitação mensal. No entanto, a série observada tem mais valores atípicos de precipitação do que os dados modelados. Pelo diagrama de dispersão, nota-se que, em geral, os dados são bem correlacionados, porém alguns valores da série mensal de precipitação observada não foram bem representados pela base de dados da Universidade de Dalaware. E o coeficiente de correlação de Pearson apresenta valor de 0,83.

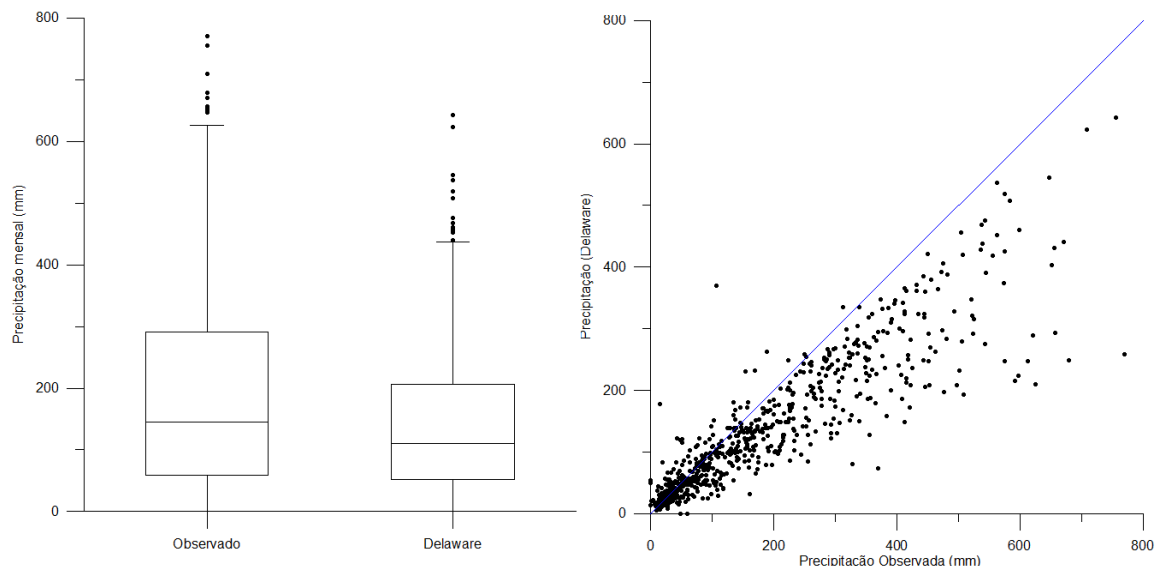


Figura 7: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de precipitação para o ponto 3 (Mata Atlântica NE). À direita o diagrama de dispersão dos dados de precipitação para o ponto 3 (Mata Atlântica NE).

Na Figura 7, percebe-se pelo gráfico *box plot* que os dados da Universidade de Delaware estão levemente subestimando os valores observados de precipitação na estação pluviométrica Recife (Curado), o que também pode ser notado pelo diagrama de dispersão. No entanto, o coeficiente de correlação de Pearson é 0,90.

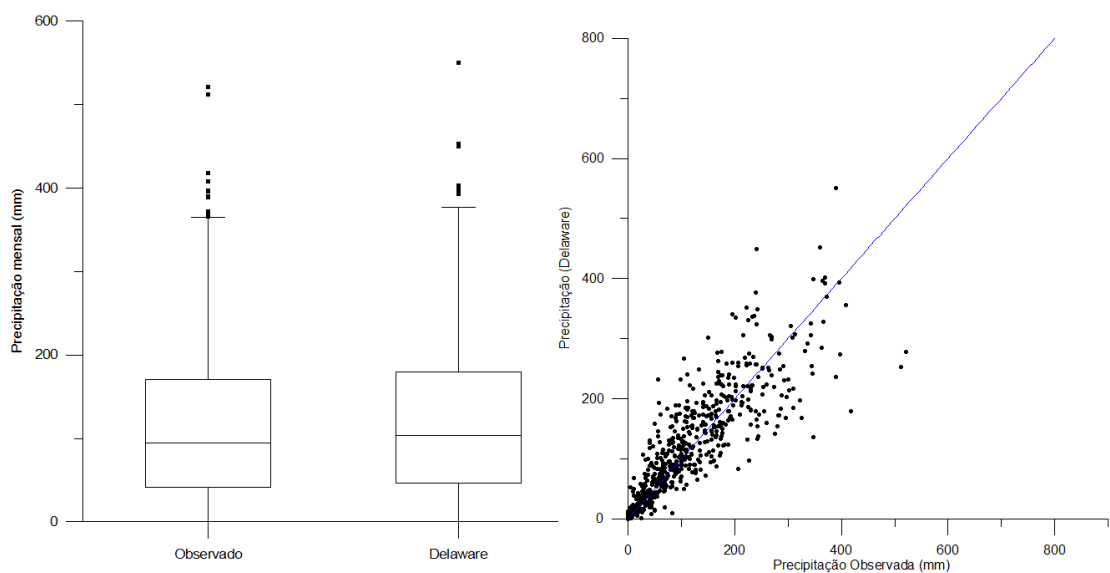


Figura 8: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de precipitação para o ponto 4 (Mata Atlântica SE). À direita o diagrama de dispersão dos dados de precipitação para o ponto 4 (Mata Atlântica SE).

A precipitação mensal acumulada da estação pluviométrica Ermelino Matarazzo em São Paulo é bem representada pelos dados modelados da Universidade de Delaware, como pode-se notar nos gráficos da Figura 8. O coeficiente de correlação de Pearson é 0,85 entre as duas séries históricas de precipitação.

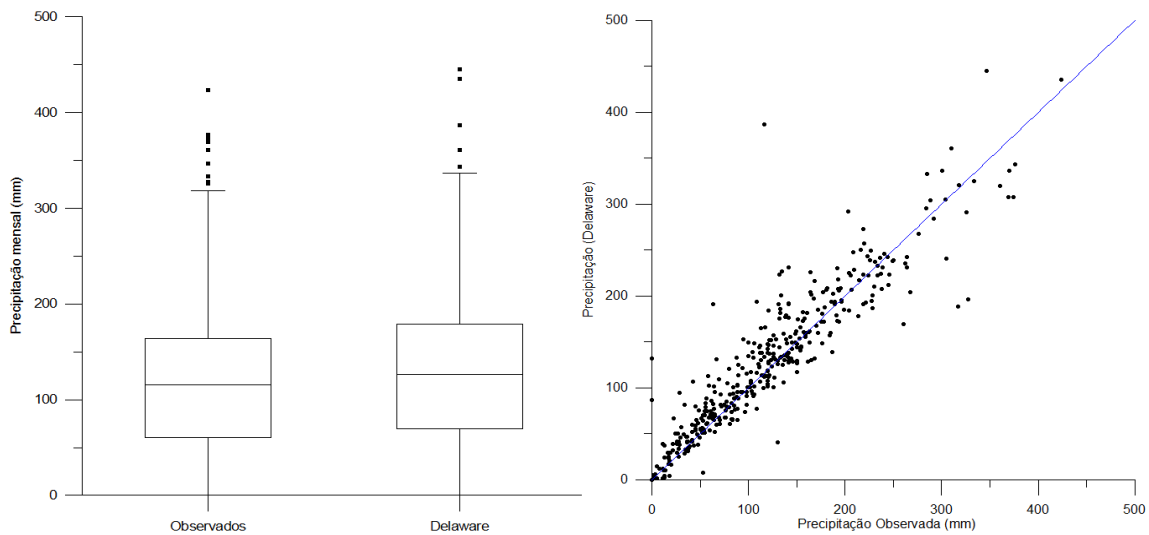


Figura 9: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de precipitação para o ponto 5 (Mata Atlântica SE). À direita o diagrama de dispersão dos dados de precipitação para o ponto 5 (Mata Atlântica SE).

Como pode ser notado no box plot da Figura 9, a mediana dos dados da Universidade de Delaware é muito próxima dos dados observados da estação pluviométrica de Curitiba – Prado Velho e as duas bases de dados apresentam valores atípicos, ou outliers, de precipitação. Pelo diagrama de dispersão pode perceber que os dados estão fortemente correlacionados e o coeficiente de Pearson apresenta valor de 0,92, confirmando correlação dos dados.

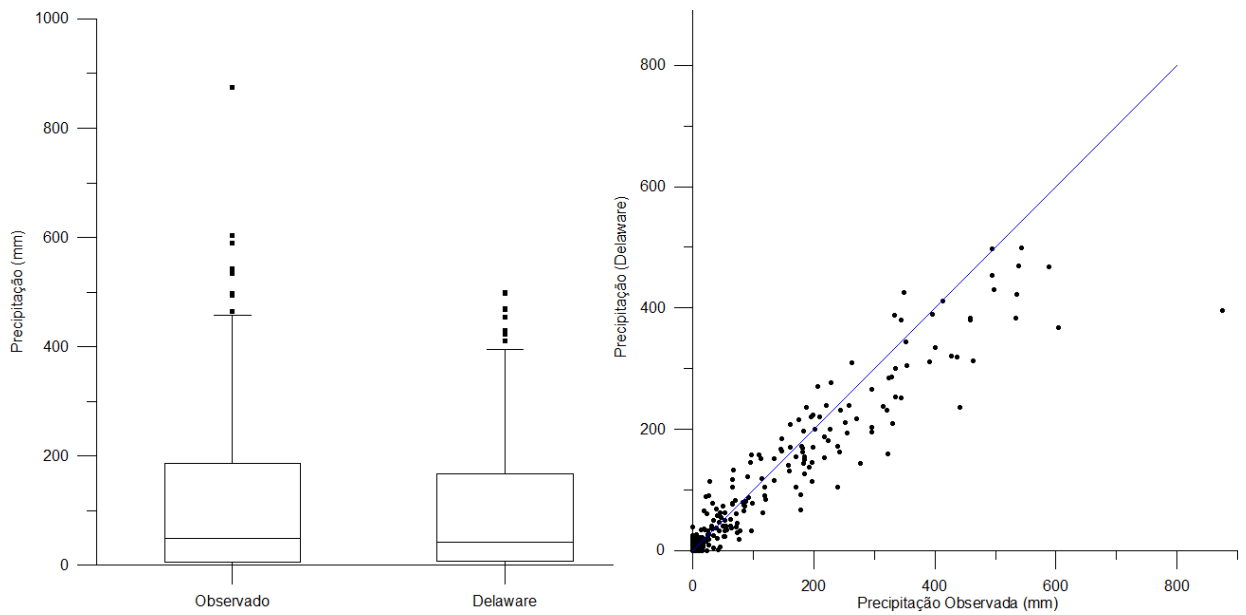


Figura 10: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de precipitação para o ponto 6 (Caatinga). À direita o diagrama de dispersão dos dados de precipitação para o ponto 6 (Caatinga).

Na Figura 10, pode-se observar que os dados modelados apresentaram valores próximos aos dados observados da estação pluviométrica Eusébio, localizada na cidade de Eusébio, no Ceará. No entanto, um valor atípico de precipitação não foi mensurado na base de dados modelados, pois a interpolação que é utilizada para obter a série de precipitação por Delaware pode suavizar os valores atípicos. O coeficiente de correlação de Pearson é 0,94.

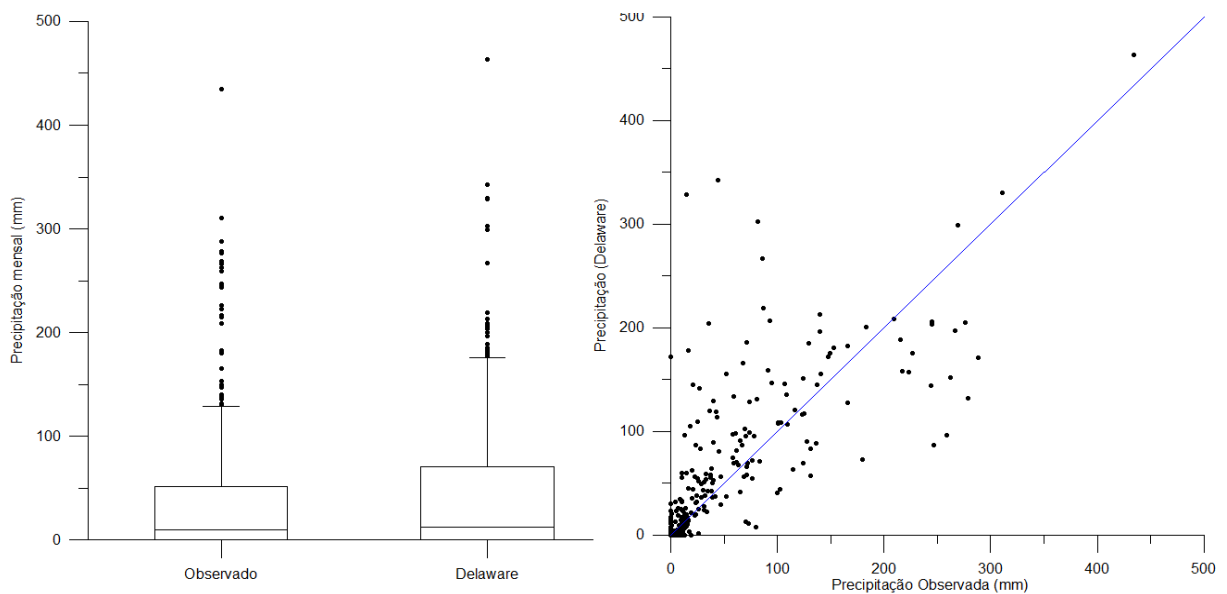


Figura 11: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de precipitação para o ponto 7 (Caatinga). À direita o diagrama de dispersão dos dados de precipitação para o ponto 7 (Caatinga).

Pelo gráfico box plot da Figura 11, nota-se que a mediana da base de dados da Universidade de Delaware é próxima da mediana dos dados observados de precipitação da estação pluviométrica Fazenda Angicos, localizada na cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte. No entanto, o terceiro quartil e o limite superior do gráfico box plot dos dados de Delaware apresentam valores maiores do que no gráfico box plot dos dados observados. Pelo diagrama de dispersão pode-se perceber que a correlação entre os dados é mais fraca que das outras estações selecionadas, o que é confirmado pelo coeficiente de correlação de Pearson que apresentou valor de 0,7.

A princípio, os dados da Universidade de Delaware conseguem representar os dados observados de precipitação na maioria das estações pluviométricas selecionadas. Entretanto, ainda é necessário aplicar o teste de Mann-Kendall nas duas bases de dados para verificar se as diferenças entre os dados sintéticos de Delaware e os dados observados afetam a análise de tendência.

5.1.2. Dados de temperatura

Nesta seção serão aplicados os mesmos métodos de análise da seção anterior aos dados de temperatura das cinco estações meteorológicas selecionadas.

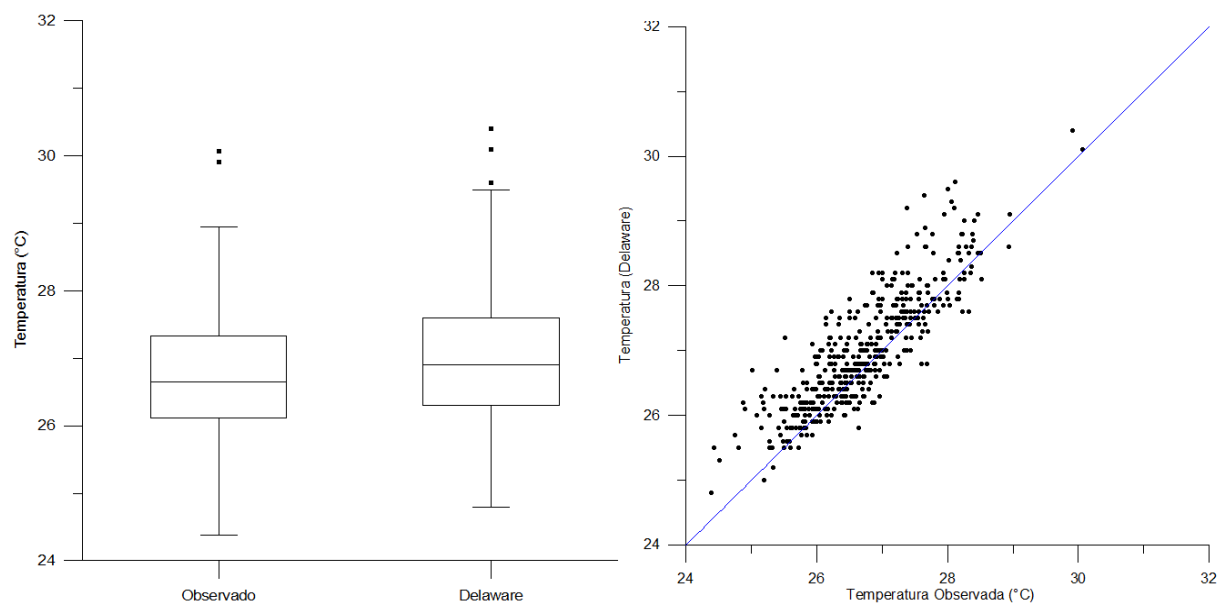


Figura 12: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de temperatura para o ponto 1 (Amazônia). À direita o diagrama de dispersão dos dados de temperatura para o ponto 1 (Amazônia).

Pelo gráfico box plot da Figura 12, pode-se notar que a mediana dos dados observados e dos dados de temperatura média mensais de Delaware estão próximos a 27°C. O diagrama de dispersão mostra que os dados estão fortemente correlacionados, no entanto os dados modelados superestimam os dados observados, o que faz o coeficiente de correlação de Pearson ser 0,86.

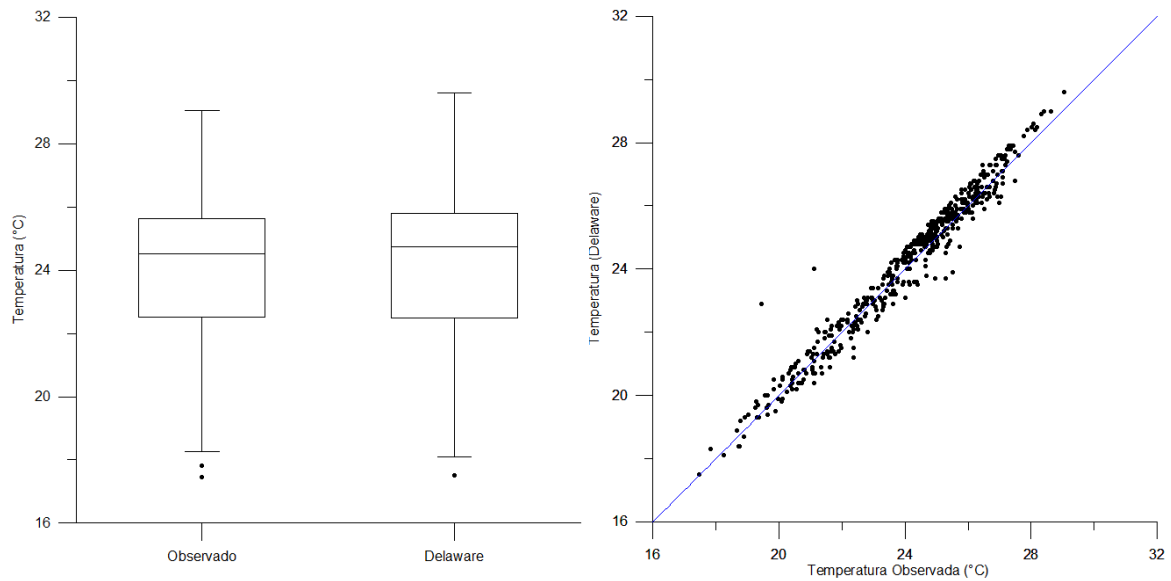


Figura 13: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de temperatura para o ponto 2 (Cerrado). À direita o diagrama de dispersão dos dados de temperatura para o ponto 2 (Cerrado).

Os dados da Universidade de Delaware conseguiram representar os dados observados da estação meteorológica da cidade de Campo Grande, como pode ser observado pela Figura 13. O coeficiente de correlação é 0,98, que indica uma correlação muito forte entre os dados.

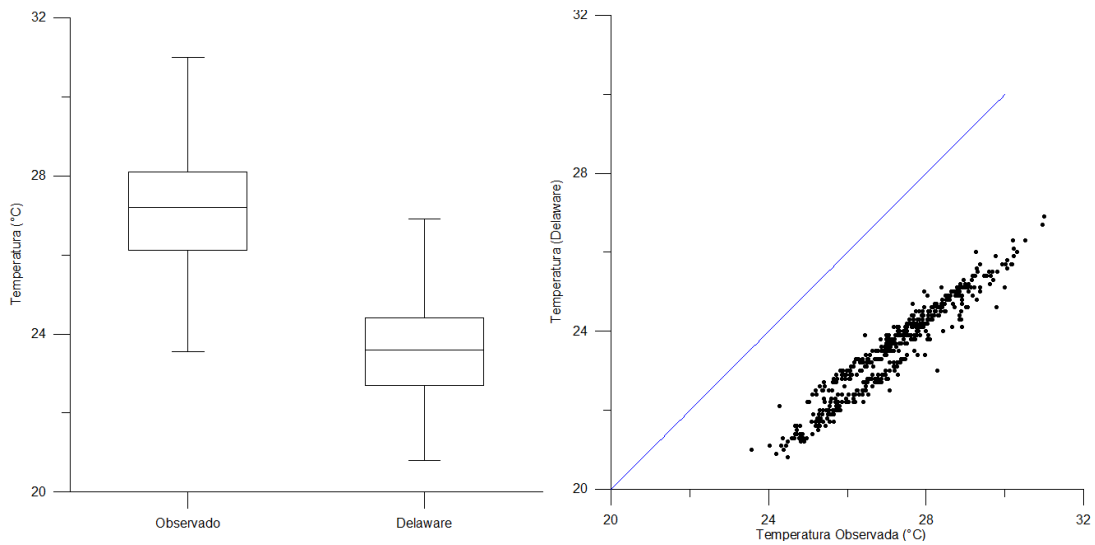


Figura 14: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de temperatura para o ponto 3 (Mata Atlântica NE). À direita o diagrama de dispersão dos dados de temperatura para o ponto 3 (Mata Atlântica NE).

Os dados de Delaware não conseguiram representar os dados de temperatura da estação meteorológica do aeroporto Guararapes-Gilberto Freyre, localizado em Recife. A diferença das medianas entre as duas séries históricas de temperatura é quase 4°C, como pode ser verificado no gráfico *box plot* da Figura 14. As diferenças nos dados das duas séries históricas podem ser explicadas pela dificuldade de obter os dados modelados em pontos muito próximos do oceano, pois a base de dados de Delaware não possui registros em pontos do oceano e a interpolação dos dados próximos a costa oceânica é afetada.

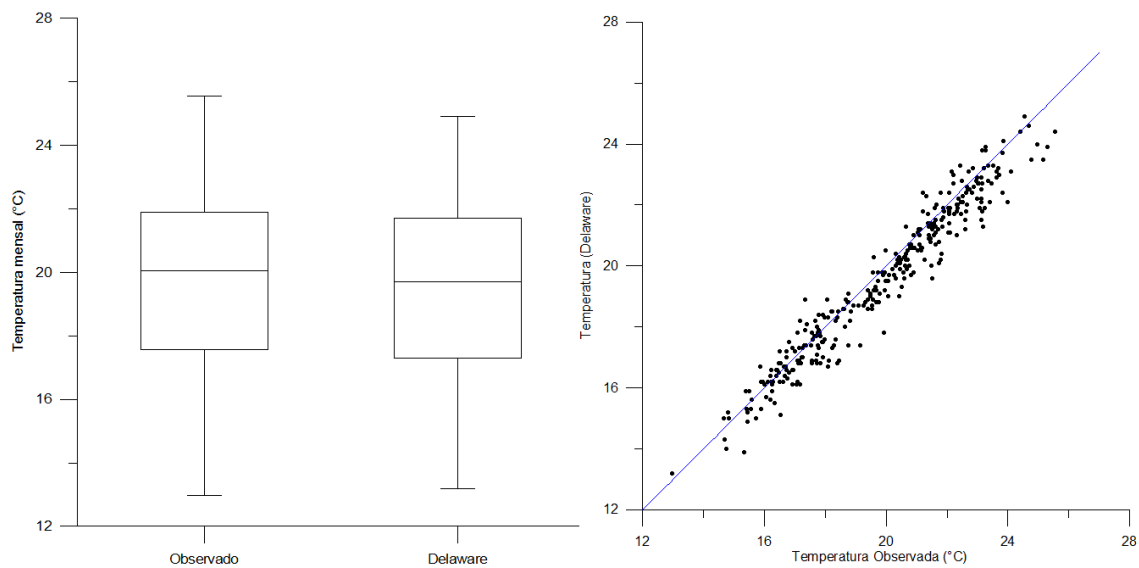


Figura 15: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de temperatura para o ponto 4 (Mata Atlântica SE). À direita o diagrama de dispersão dos dados de temperatura para o ponto 4 (Mata Atlântica SE).

Os dados de temperatura da estação meteorológica do aeroporto de Guarulhos, localizado na cidade de São Paulo, é bem representado pelos dados modelados de Delaware, como pode ser visto na Figura 15. O coeficiente de correlação de Pearson confirma a correlação entre os dados com o valor de 0,97.

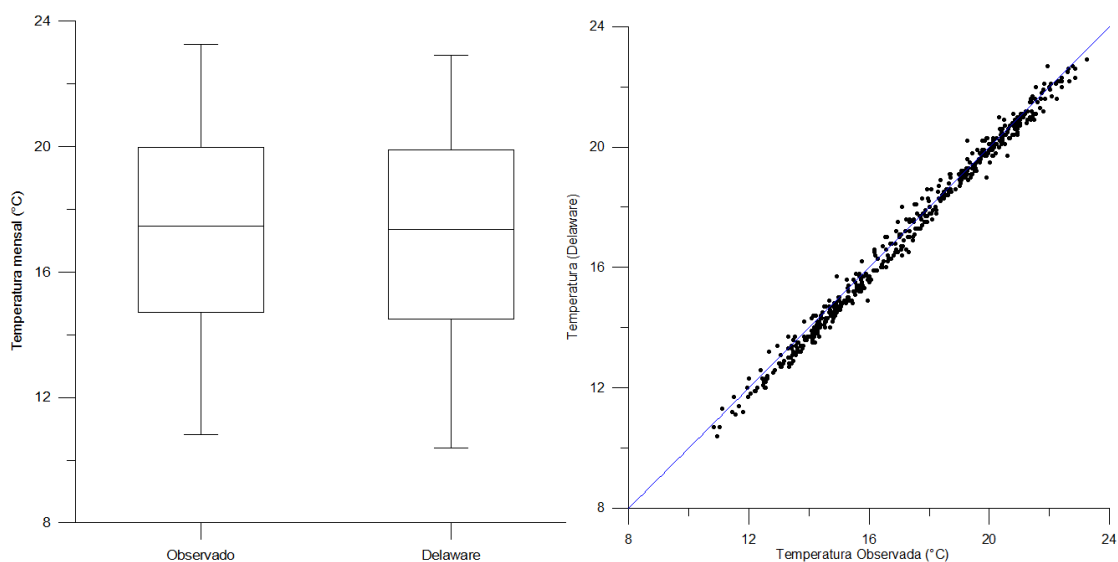


Figura 16: À esquerda o gráfico *box plot* dos dados de temperatura para o ponto 5 (Mata Atlântica SE). À direita o diagrama de dispersão dos dados de temperatura para o ponto 5 (Mata Atlântica SE).

Pela Figura 16, pode-se notar que os dados da Universidade de Delaware representaram bem os dados de temperatura do aeroporto Afonso Pena, localizado na

região metropolitana de Curitiba. O coeficiente de Pearson apresentou correlação muito boa entre os dados, com valor de 0,99.

Pelos gráficos box plot, diagramas de dispersão e coeficientes de correlação de Pearson, os dados de Delaware conseguiram representar bem os dados de temperatura das estações meteorológicas selecionadas, exceto para a estação localizada no Recife. Portanto, será aplicado o teste Mann-Kendall somente dos dados observados da estação meteorológica de Recife.

5.2. ANÁLISE MENSAL

Após a análise exploratória dos dados e do coeficiente de Pearson para verificar a consistência dos dados de Delaware, será aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall nas duas bases de dados. Nesta seção, também será analisado o grau de dependência entre os dados sucessivos da série histórica, através da aplicação do teste de Mann-Kendall de duas maneiras, uma não corrigindo o efeito da autocorrelação na série e outra corrigindo o efeito da autocorrelação.

O teste de Mann-Kendall foi aplicado sobre a hipótese H_0 de estacionariedade das séries de temperatura e precipitação, para um nível de confiança $\alpha=0,05$ e unilateral. A hipótese alternativa H_1 foi determinada de acordo com as projeções do futuro divulgada pelo Primeiro Relatório do PBMC. A variável Z foi obtida pela equação (6) e valor de $Z_{0,05}$ obtido da tabela da distribuição normal para o nível de confiança $\alpha=0,05$.

Os resultados da aplicação do teste aos dados de precipitação e temperatura são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Primeiramente, comparando os resultados obtidos entre a análise de tendência dos dados de precipitação de Delaware e os dados observados da Tabela 4, pode-se notar que os resultados estão divergindo apenas na estação de Curitiba – Prado Velho. No entanto, para os dados de temperatura os resultados da análise de tendência divergiram em duas estações meteorológicas, na estação do aeroporto Eduardo Gomes, localizado em Manaus, e na estação do aeroporto Afonso Pena, localizado na região metropolitana de Curitiba.

Embora a análise exploratória dos dados e o coeficiente de correlação de Pearson indicaram similaridade entre as duas séries históricas na maioria das estações pluviométricas e meteorológicas analisadas, as diferenças dos resultados da análise de tendência entre os dados da Universidade de Delaware e os dados observados indicam que

a correlação elevada não significa necessariamente que a série modelada representa corretamente a tendência. Portanto, antes da utilização de séries sintéticas de temperatura ou precipitação para estudo de análise de tendência é necessário a validação dessa série também pelos testes estatísticos.

Sendo assim, a base de dados da Universidade de Delaware será descartada da análise de tendência do presente estudo, devido à discrepância de seus resultados em relação aos resultados observados em alguns pontos e que torna os dados modelados não confiáveis na aplicação da análise de tendência nos outros pontos analisados.

Em relação à análise da autocorrelação, pode-se observar que o grau de dependência entre os dados sucessivos são poucos expressivos, pois os resultados da análise de tendência não diferem se for corrigido ou não o efeito da autocorrelação. O efeito da correção da autocorrelação é expressivo apenas na série observada de temperatura da estação meteorológica do aeroporto Afonso Pena.

Tabela 4: Resultado da análise de tendência mensal de precipitação.

	Nome	Localização	Variável	Sem correção da autocorrelação		Com correção da autocorrelação	
				Delaware	Observado	Delaware	Observado
Ponto 1	Presidente Figueiredo	Presidente Figueiredo AM	Z	0,547	-0,99	0,519	-1,17
			$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
			Resultado	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita
Ponto 2	Nossa Senhora da Guia	Cuiabá, MT	Z	0,869	-0,711	1,357	-0,884
			$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
			Resultado	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita
Ponto 3	Recife (Curado)	Recife, PE	Z	1,553	-0,367	0,912	-0,792
			$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
			Resultado	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita
Ponto 4	Ermelino Matarazzo	São Paulo, SP	Z	0,548	1,436	0,308	1,615
			$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645
			Resultado	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita
Ponto 5	Curitiba - Prado Velho	Curitiba, PR	Z	1,901	1,159	1,813	1,081
			$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645
			Resultado	Rejeita	Aceita	Rejeita	Aceita
Ponto 6	Eusébio	Eusébio, CE	Z	-0,999	1,487	-1,117	1,058
			$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
			Resultado	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita
Ponto 7	Fazenda Angicos	Mossoró, RN	Z	0,899	1,346	0,642	0,516
			$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
			Resultado	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

Tabela 5: Resultado da análise de tendência mensal de temperatura.

	Nome	Localização	Variável	Sem correção da autocorrelação		Com correção da autocorrelação	
				Delaware	Observado	Delaware	Observado
Ponto 1	Aeroporto Eduardo Gomes	Manaus, AM	Z	5,273	-0,711	6,764	0,078
			$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645
			Resultado	Rejeita H0	Aceita H0	Rejeita H0	Aceita H0
Ponto 2	Campo Grande	Campo Grande, MS	Z	4,724	4,389	6,584	6,302
			$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645
			Resultado	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0
Ponto 3	Aeroporto Guararapes- Gilberto Freyre	Recife, PE	Z		2,768		5,053
			$Z_{0,05}$		1,645		1,645
			Resultado		Rejeita H0		Rejeita H0
Ponto 4	Aeroporto Guarulhos	São Paulo, SP	Z	0,55	-0,853	0,238	-1,719
			$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645
			Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 5	Aeroporto Afonso Pena	São José dos Pinhais, PR	Z	2,1	1,339	3,366	2,025
			$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645
			Resultado	Rejeita H0	Aceita H0	Rejeita H0	Rejeita H0

Agora, analisando apenas os valores do teste de Mann-Kendall dos dados observados de precipitação, pode-se verificar que a hipótese H_0 é aceita em todos os pontos analisados, ou seja, nenhuma estação apresentou, ainda, modificação de longo prazo nas séries de precipitação.

Pela Tabela 5, pode-se observar que as estações meteorológicas Campo Grande e Aeroporto Guararapes-Gilberto Freyre, localizada no Recife, rejeitam a hipótese de não tendência, o que significa a ocorrência de um aumento na temperatura média mensal no período analisado. Quando é corrigido o efeito da autocorrelação, a estação Afonso Pena, localizada na região metropolitana de Curitiba, também rejeita a hipótese H_0 .

5.3. ANÁLISE SAZONAL

Na Tabela 6 e 7, onde estão os resultados dos testes, a coluna identificada como “sazonal” refere-se a primeira maneira que foi calculado o Mann-Kendall Sazonal, que possui a vantagem que retirar a sazonalidade do teste Mann-Kendall tradicional. As colunas identificadas como “verão, outono, inverno e primavera” refere à estatística Mann-Kendall para cada uma das estações do ano, que tem a vantagem de identificar possíveis tendências em uma determinada estação do ano de interesse.

O teste de hipótese foi aplicado de maneira análoga ao item anterior, considerando a hipótese nula de estacionariedade das séries e a hipótese alternativa de diminuição da precipitação, exceto para as estações meteorológicas de Curitiba e de São Paulo. Para os dados de temperatura, a hipótese alternativa é de aumento da temperatura.

Tabela 6: Resultado da análise de tendência sazonal de precipitação

	Estação	Variável	Sazonal	Sazonal			
				Verão	Outono	Inverno	Primavera
Ponto 1	Presidente Figueiredo	MKS	-0,824	1,532	-0,379	-0,993	-1,739
		$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Rejeita H0
Ponto 2	Nossa Senhora da Guia	MKS	-0,913	-0,003	-0,968	0,297	-1,079
		$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 3	Recife (Curado)	MKS	-0,429	0,813	-1,519	-0,103	-0,029
		$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 4	Ermelino Matarazzo	MKS	1,754	2,343	1,563	0,118	-0,518
		$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
		Resultado	Rejeita H0	Rejeita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 5	Curitiba - Prado velho	MKS	1,065	0,553	-0,531	1,112	0,976
		$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 6	Eusébio	MKS	2,328	0,99	0,866	1,647	1,845
		$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 7	Fazenda Angicos	MKS	2,328	1,054	2,696	1,175	-0,649
		$Z_{0,05}$	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645	-1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0

Tabela 7: Resultado da análise de tendência sazonal de temperatura

	Estação	Variável	Sazonal	Sazonal			
				Verão	Outono	Inverno	Primavera
Ponto 1	Aeroporto Eduardo Gomes	MKS	-0,805	-0,115	-2,449	-0,431	1,527
		$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 2	Campo Grande	MKS	5,757	4,223	1,586	2,064	3,634
		$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
		Resultado	Rejeita H0	Rejeita H0	Aceita H0	Rejeita H0	Rejeita H0
Ponto 3	Aeroporto Guararapes-Gilberto Freyre	MKS	4,744	2,901	3,24	1,88	1,46
		$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
		Resultado	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Rejeita H0	Aceita H0
Ponto 4	Aeroporto Guarulhos	MKS	-0,705	-0,785	-1,738	0,947	0,085
		$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
		Resultado	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0	Aceita H0
Ponto 5	Aeroporto Afonso Pena	MKS	2,951	1,322	0,432	2,364	1,776
		$Z_{0,05}$	1,645	1,645	1,645	1,645	1,645
		Resultado	Rejeita H0	Aceita H0	Aceita H0	Rejeita H0	Rejeita H0

Analisando os resultados dos testes de hipótese para os dados de precipitação, pode-se notar que a estação pluviométrica Presidente Figueiredo, localizado no Amazonas, rejeitou a hipótese de estacionaridade na primavera, indicando diminuição na precipitação na primavera para o período analisado. A estação pluviométrica Ermelino Matarazzo, localizado em São Paulo, também rejeitou a hipótese de estacionaridade da série, no entanto a rejeição do H_0 foi na estação verão e aponta um aumento na intensidade da precipitação.

No que se refere ao teste de Mann-Kendall Sazonal aplicado aos dados de precipitação, a estação Ermelino Matarazzo foi a única estação que apresentou uma tendência de sazonalidade. Os outros seis pontos analisados indicam não tendência tanto na aplicação do Mann-Kendall tradicional quanto na aplicação do Mann-Kendall Sazonal.

Em relação aos resultados do teste de Mann-Kendall aplicado aos dados de temperatura de cada estação do ano, pode-se verificar que a estação meteorológica de Campo Grande indicou tendência de aumento na temperatura no verão, inverno e primavera, e também essa estação meteorológica apontou tendência de sazonalidade. A estação do Aeroporto Guararapes-Gilberto Freyre, que está localizado no Recife, também indicou tendência de sazonalidade e tendência de aumento na temperatura no verão, outono e inverno. Assim como a estação de Campo Grande e a estação de Recife, a estação do Aeroporto Afonso Pena, localizado na região metropolitana de Curitiba, indicou tendência sazonal e tendência de aumento na temperatura no inverno e na primavera. As outras estações meteorológicas estudadas aceitaram a hipótese de estacionaridade nos dois métodos de Mann-Kendall Sazonal aplicado, para o nível de significância $\alpha=0,05$.

A rejeição da hipótese H_0 na análise mensal de temperatura das estações de Campo Grande, Aeroporto Guararapes-Gilberto Freyre e Aeroporto Afonso Pena, como podem ser observados na Tabela 5, não implica na tendência de aumento da temperatura em todas as estações do ano.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diversos estudos buscam compreender o comportamento das variáveis climáticas, especialmente porque muitas atividades são altamente dependentes do clima, como a agricultura, a geração de energia, a disponibilidade hídrica, entre outros. A análise de tendência de séries histórica é um método para tentar compreender o comportamento do clima baseado no passado. E o presente estudo buscou contribuir com a identificação de tendência nas séries temporais de temperatura e precipitação em escala regional, abrangendo diversos pontos no Brasil.

Comparando os dados da Universidade de Delaware com os dados observados de temperatura e precipitação, pode-se concluir que a base de dados de Delaware não é indicada para análise de tendência devido à discrepância entre os resultados observados e da base de dados sintética. Embora a análise exploratória dos dados e o coeficiente de correlação de Pearson tenham mostrado similaridade entre as duas séries, ainda é necessário aplicar o teste de hipótese em ambas as bases de dados, a fim de verificar se eventuais diferenças afetam a análise de tendência.

Em relação à autocorrelação entre os dados mensais de precipitação e temperatura, observa-se pelas tabelas 4 e 5 que apenas os dados da estação meteorológica do aeroporto Afonso Pena, localizado na Região Metropolitana de Curitiba, apresentam diferença na aplicação do teste Mann-Kendall quando é corrigido o efeito da autocorrelação, portanto o grau de dependência entre os dados sucessivos da série de temperatura dessa estação são expressivos e capaz de modificar o resultado do teste de hipótese se não for corrigido o efeito da autocorrelação.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall quando aplicado nas séries mensais observadas de precipitação, resultaram na aceitação da hipótese H_0 , ou seja, as séries temporais de precipitação são estacionárias em todas as estações analisadas.

Quando foi aplicado o teste Mann-Kendall Sazonal, a hipótese H_0 foi rejeitada na estação pluviométrica Presidente Figueiredo, Amazonas, na estação primavera, indicando diminuição na precipitação no período avaliado. Também a hipótese nula foi rejeitada na estação Ermelino Matarazzo, em São Paulo, na estação verão, indicando um aumento na intensidade das chuvas. As outras estações pluviométricas analisadas aceitaram a hipótese de estacionariedade na precipitação em todas as estações do ano.

A indicação de diminuição no regime de chuvas na estação pluviométrica da Amazônia na primavera e a indicação de aumento na precipitação da estação pluviométrica

localizada em São Paulo devem ser avaliadas. Também devem ser mitigados os efeitos dessas mudanças, pois alterações na precipitação podem causar impactos nessas regiões. No entanto, os resultados da análise de tendência mostram que nas estações analisadas não há sinal generalizado de alterações nos regimes de precipitação de longo prazo.

Quando o teste de hipótese Mann-Kendall foi aplicado nas séries mensais observadas de temperatura, três estações meteorológicas rejeitaram a hipótese de estacionaridade, indicando tendência ao aumento da temperatura. As estações meteorológicas que rejeitaram a hipótese H_0 da análise mensal foram Campo Grande, aeroporto Guararapes-Gilberto Freyre (localizado no Recife) e aeroporto Afonso Pena (localizado na Região metropolitana de Curitiba). As mesmas estações pluviométricas rejeitaram a hipótese H_0 do teste Mann-Kendall Sazonal.

Através dos resultados deste estudo pode-se concluir que a temperatura apresentou tendência positiva estatisticamente significativa na maioria das estações meteorológicas estudadas, enquanto as séries de precipitação apresentaram tendências apenas na análise sazonal e para duas estações pluviométricas.

O fato de a temperatura apresentar tendência significativa de aumento na maioria das estações analisadas indica que mudanças importantes no clima dos locais analisados estão ocorrendo. Estudos mais aprofundados são necessários para determinar as causas destas mudanças, pois a continuidade dessas tendências poderá resultar em impactos na agricultura, no ciclo hidrológico, e conseqüentemente impactos na fauna e flora e na população (SALVIANO, 2016).

Recomendam-se para futuros estudos nessa área uma avaliação das causas que acarretaram as tendências positivas de temperaturas, se originadas pelas mudanças climáticas, variabilidade natural ou mudanças no uso do solo. Mudanças no uso do solo podem gerar a formação de ilhas de calor e, conseqüentemente, aumentar a temperatura local. Sendo os locais estudados cidades que tiveram um grande crescimento urbano nos últimos anos, não é descartada a possibilidade das tendências positivas de temperatura serem conseqüência da formação de ilhas de calor.

Também é recomendado que este estudo seja realizado em mais regiões do Brasil e com diferentes características de uso do solo, deste modo será possível estimar com maior precisão se as alterações na temperatura estão diretamente ou indiretamente relacionadas às alterações do uso do solo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, G.R.; BAPTISTA, M.B; NAGHETTINI, M. Estudo para identificação de tendência do regime pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, p. 115-126, 2010.

BACK, Á.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BUCHIR, L.M.S.T. **Análise da influência de mudanças climáticas nas precipitações**. [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2013.

Canal DoisP. Crise Hídrica em São Paulo – Maria Assunção Silva Dias. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PsdbhYFJpWw#t=264>>. Acesso em Novembro de 2016.

CANTIDIO, S. **Solução de Problemas com o uso do PDCA e das Ferramentas da Qualidade**. Nov. 2009. Disponível em: <https://sandrocan.wordpress.com/2009/11/03/solucao-de-problemas-com-o-uso-do-pdca-e-das-ferramentas-da-qualidade/>>. Acesso em: nov. 2016.

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DIAS, M.A.F.S.; *et al.* **Tempo e Clima no Brasil**. Oficina de Textos, 2009.

CHOU, S.C., BUSTAMANTE, J.F., GOMES, J.L. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 12, pp. 537-555, 2005.

COHER, J. (1988), **Statistical Power analysis for the bahavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum.

DANCEY, C.; REIDY, J. (2006), **Estatística sem matemática para psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed.

FERREIRA, C.; SOUZA, H.A.; ASSIS, E.S, 2014, **Estudo do Clima Brasileiro: Reflexões e Recomendações sobre a Adequação Climática de Habitações**. In Anais do XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió – AL.

FIGUEIREDO, D.B.; SILVA, J.A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, p. 115-146, 2009.

FILL, H.D., 2011, **Análise da Estacionariedade das Vazões do Rio Iguaçu em União da Vitória**. In Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió – AL.

GIANNINI, T.C.; ACOSTA, A.L.; GARÓFALO, C.A.; *et al.* Pollination Services at Risk: Bee habitats Will decrease owing to climate change in Brazil. **Elsevier (Ecological Modelling)**, v. 244, p. 127-131, jun. 2012.

GROPPO, J.D. **Estudo de tendências nas séries temporais de qualidade de água de rios do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica.** Piracicaba, 2005. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas). Universidade de São Paulo.

GUARENGHI, M.M. **Avaliação dos impactos sobre a quantidade e qualidade das águas devido ao crescimento da atividade canvieira.** Campinas, 2014. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos). Universidade Estadual de Campinas.

HAMED, K.H. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. **Journal of Hydrology**, v. 349, p. 350-363, fev. 2008.

HELSEL, D.R.; HIRSCH, R.M. (2002). **Statistical Methods in Water Resources. Techniques of Water Resources Investigations, Book 4, chapter A3.** U.S. Geological Survey.

HidroWeb- Sistema de Informações Hidrológicas, 2016. Disponível em: hidroweb.ana.gov.br. Acesso em: nov. 2016.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas e de Vegetação. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: jun. 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2017. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: jun. 2017.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

KARL, T.R.; KNIGHT, R.W.; EASTERLING, D.R.; *et al.* Indices of Climate Change for the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n.2, p.279-292, ago. 1995.

KENDALL, M.G. Rank correlation methods. **Griffin: London**, 1975.

KUNDZEWICZ, Z.W.; ROBSON, A. **Detecting trend and other changes in hydrological data.** Geneva: World Meteorological Association, p. 168, 2000.

- LEGATES, D.R.; WILLMOTT C.J. Mean Seasonal and Spatial Variability in Global Surface Air Temperature. **Theoretical and Climatology**, v. 41, p. 11-21, mar. 1990.
- LIANG, L.; LI, L.; LIU, Q. Precipitation variability in Northeast China from 1961 to 2008. **Journal of Hydrology**, v. 404, p. 67-76, jun. 2011.
- LINDSTRÖN, G.; BERGSTRÖM, S. Runoff trends in Sweden 1807-2002. **Hydrological Sciences Journal**, v. 49, p. 69-83, fev. 2004.
- LINDZEN, R.S. Can increasing carbon dioxide cause climate change? **National Academy of Sciences**, v. 94, p. 8335-8342, ago. 1997.
- LOUREIRO, K.; CARLO, J.; LAMBERTS R.,2002, **Estudos de Estratégias Bioclimáticas para a Cidade de Manaus**. In Anais IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu – PR.
- LUCENA, A.D.P. de; SZKLO, A.S.; SHAEFFER, R.; The Vulnerability of Wind Power to Climate Change in Brazil. **Elsevier (Renewable Energy)**, v. 35, p. 904-912, out. 2009.
- MACEDO, H.E. **Previsão de Precipitação Acumulada Mensal para o Estado do Paraná com o Emprego de Métodos Autorregressivos** Curitiba, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Paraná.
- MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, 1945.
- MARTINS, A. Sistema Cantareira e a Crise da Água em São Paulo. **Artigo 19 Brasil**, 2014.
- MATSSURA, K.; WILLMOTT, C.J.; **Terrestrial Air Temperature: 1900-2010 Gridded Monthly Time Series**, 2012. Disponível em: <http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsT2011.html>. Acesso em: dez. 2016.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/10290-biomas>. Acesso em: jun. 2017.
- MOLION, L.C.B.; Aquecimento Global: Uma Visão Crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, p.7-24, ago. 2008.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J. DE A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM Serviço Geológico do Brasil, p. 600, 2007.
- NIMER, E. Um Modelo Metodológico de Classificação de Climas. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.41, p. 59-89, out /dez 1979.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration, National Centers for Environmental Information. Climate Data Online. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/>>. Acesso em: out. 2016.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, University of Delaware Air Temperature and Precipitation, Earth System Research Laboratory, Physical Sciences Division. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel_AirT_Precip.html#detail>. Acesso em: out. 2016.

ORESQUES, N. The Scientific Consensus on Climate Change. **Science**, v. 306, p. 1686, dez. 2004.

PAIVA, E.M.C.D.; CLAKE, R.T. Análise de tendência de precipitação da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.10, p. 37-41, 1995.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2017. Disponível em <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/>>. Acesso em: jun. 2017.

PBMC, 2014: **Base científica das mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp.

PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. (1976). **Hidrologia Básica**. Editora Edgard Blucher LTda. São Paulo – SP.

PLOSZAI, R. **Análise de tendências no regime de chuvas em Curitiba, usando cenários de modelos climáticos regionais**. Curitiba, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná.

REIS, G.M.; JÚNIOR, J.I.R., 2007, **Comparação de Testes Paramétricos e Não Paramétricos Aplicados em Delineamentos Experimentais**. In Anais do III Simpósio Acadêmico de Engenharia da Produção. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG.

SALAS, J.D.; RAJAGOPALAN, B.; SAITO, L.; *et al.* Special Section on Climate Change and Water Resources: Climate Nonstationarity and Water Resources Management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.138, n.5, p.385-388, set. 2012.

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

SANTOS, T.S.; MENDES, D.; CASTRO, A.A.; SILVA, A.R. Incertezas das projeções de mudanças climáticas: Análise preliminar. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM**, v. 37, p. 63 – 68, 2015.

SALVIANO, M.F.; GROppo, J.D.; PELLEGRINO, G.Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n.1, p. 64-73, 2016.

SCHIO, N.T. **Avaliação do Desempenho do Modelo de Circulação Geral GFDL-CM2.0 para Estudos de Regionalização Climática no Brasil**. Curitiba, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Paraná.

SERRÃO, E.; SANTOS, C.; WANZELER, R.; GOLÇALVES, L.; LIMA, A. Avaliação da seca de 2005 e 2010 na Amazônia: Análise da bacia hidrográfica do rio Solimões. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 5-20, 2015.

SILVA, V.P.R. da; PEREIRA, E.R.R.; AZEVEDO, P.V. de; *et al.* Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, no.2, Campina Grande, fev. 2011.

SOUZA, B.P. DE. **Análise de Tendência em Séries Temporais de Precipitação na Região dos Reservatórios do Sistema Cantareira, São Paulo, SP**. Curitiba, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Paraná.

TOZZI, B.K.M. **Verificação da Estacionariedade de Séries Hidrológicas de Vazões na Bacia do Rio Iguaçu**. Curitiba, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná.