



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

FRANCIELI NEUHAUS

**INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO REGIME PLUVIOMÉTRICO
EM ERECHIM/RS NO SÉCULO XXI**

**ERECHIM
2017**

FRANCIELI NEUHAUS

**INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO REGIME PLUVIOMÉTRICO
EM ERECHIM/RS NO SÉCULO XXI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental sob a orientação dos Professores Dr. Fabio de Oliveira Sanches e Dr. Roberto Valmir da Silva.

**ERECHIM
2017**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

Campus Erechim
ERS 135 – Km 72, nº 200
CEP: 99700-970
Caixa Postal 764
Erechim - RS
Brasil

Neuhaus, Francieli
INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO REGIME
PLUVIOMÉTRICO EM ERECHIM/RS NO SÉCULO XXI/ Francieli
Neuhaus. -- 2017.
79 f.:il.

Orientador: Fabio de Oliveira Sanches .
Co-orientador: Roberto Valmir da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Mestrado em
Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA, Erechim, RS ,
2017.

1. Mudanças Climáticas. 2. Chuvas. 3. Testes
estatísticos . I. , Fabio de Oliveira Sanches, orient.
II. Silva, Roberto Valmir da, co-orient. III.
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

FRANCIELI NEUHAUS

**INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO REGIME PLUVIOMÉTRICO
EM ERECHIM/RS NO SÉCULO XXI**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS. Para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, defendido em banca examinadora em 21/06/2017

Orientador (a): Prof. Dr. Fabio de Oliveira Sanches e Dr. Roberto Valmir da Silva.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabio de Oliveira Sanches – UFTM e PPGCTA/UFFS

Prof. Dr. Roberto Valmir da Silva – PPGCTA/UFFS

Prof. Dr. Pedro Germano Murara – UFFS

Prof. Dr. Eduardo Pavan Korf – PPGCTA/UFFS

Erechim/RS, Junho de 2017

Dedico aos meus pais Paulo e Marlice, e ao meu marido Marion, que não mediram esforços e sempre me apoiaram em busca de mais esta conquista.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Professor Dr. Fabio de Oliveira Sanches pela oportunidade em compartilhar seu conhecimento, por acreditar e confiar no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador Professor Dr. Roberto Valmir da Silva pelas sugestões e apoio que contribuíram para a concretização deste trabalho.

Ao MSc. Thiago Adriano dos Santos por disponibilizar os dados do Modelo HadCM3/Eta/CPTEC para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira por auxiliar na cartografia.

A banca examinadora, por ter aceitado o convite para avaliar esta pesquisa.

Agradeço o meu esposo Marion, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e me incentivando para seguir em frente.

Agradeço aos professores do Mestrado que sempre contribuíram com seus aprendizados.

Agradeço aos meus pais, Paulo e Marlice que sempre me incentivaram a não desistir e ir em busca dos meus sonhos.

RESUMO

As alterações dos regimes pluviométricos são ocasionadas por diversos fatores, entre eles de origem natural como a temperatura, a dinâmica de massas de ar, a insolação, a maritimidade, cobertura vegetal, formas do relevo; além de fatores humanos como desmatamento, urbanização, emissão de gases que aumentam o efeito estufa. As Mudanças Climáticas influenciam diretamente na precipitação, sendo que as características das chuvas de uma região podem contribuir de forma efetiva para a compreensão de uma possível mudança do regime pluviométrico. O objetivo do trabalho consistiu em avaliar a influência das mudanças climáticas no regime pluviométrico em Erechim (RS) projetadas por modelos climáticos para o século XXI. Foram analisados dados pluviométricos diários obtidos do Modelo climático HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km para reproduzir o comportamento das chuvas no século XX além de verificar a projeção da chuvas pelo modelo para o século XXI. Testes estatísticos (estatística descritiva, correlação de Pearson, Teste *t* de *Student*) foram aplicados aos dados observados e aos gerados pelo modelo para se verificar a capacidade do modelo em representar o clima passado. O Teste de Mann-Kendall foi utilizado para avaliar a tendência dos dados de saída do modelo climático para o século XXI. Os resultados demonstraram que o modelo HadCM3/Eta/CPTEC sugere aumento nas precipitações principalmente no outono. As análises dos totais anuais da série 2011-2099 sugerem um incremento nas precipitações anuais projetadas pelo modelo. Este aumento poderá estar associado as mudanças climáticas futuras. Os resultados demonstrados revelaram a importância da utilização de modelos regionais e as influências que os mesmos apresentam em relação às características locais.

Palavras-chave: Chuvas, HadCM3/Eta/CPTEC, Testes estatísticos, Alto Uruguai Gaúcho.

ABSTRACT

Changes in pluviometric regimes are caused by a number of factors, including natural sources such as temperature, air mass dynamics, sunshine, sea level, vegetation cover, relief forms; As well as human factors such as deforestation, urbanization, emission of gases that increase the greenhouse effect. Climate change directly influences precipitation, and the rainfall characteristics of a region can effectively contribute to the understanding of a possible change in the rainfall regime. The objective of this work was to evaluate the influence of climatic changes in the pluviometric regime in Erechim (RS) projected by climatic models for the 21st century. Daily rainfall data obtained from the HadCM3 / Eta / CPTEC - 20 km climatic model were analyzed to reproduce the behavior of the rains in the 20th century, as well as to verify the projection of rainfall by the model for the 21st century. Statistical tests (descriptive statistics, Pearson's correlation, Student's t-test) were applied to the observed data and those generated by the model to verify the model's ability to represent the past climate. The Mann-Kendall test was used to evaluate the trend of exit data from the climate model for the 21st century. The results showed that the HadCM3 / Eta / CPTEC model suggests an increase in precipitation, especially in autumn. The analyzes of the annual totals of the series 2011-2099 suggest an increment in the annual precipitations projected by the model. This increase may be associated with future climate change. The results demonstrated the importance of the use of regional models and the influences they present in relation to local characteristics.

Keywords: Rainfall, HadCM3/Eta/CPTEC, Statistical tests, Alto Uruguai Gaúcho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Geral	13
1.1.1.1 Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 AS PRECIPITAÇÕES E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	14
2.2 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E REGIONAIS	16
2.2.1 Modelo Global HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, versão 3)	18
2.2.2 Modelo regional ETA/CPTEC	19
2.3 COMPORTAMENTO DAS CHUVAS EM ERECHIM	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS.....	29
3.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBSERVADOS E OS PROPOSTOS PELO MODELO PARA O PERÍODO DE 1961-1990	30
3.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS CENÁRIOS FUTUROS	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DO MODELO E OS DADOS OBSERVADOS. 35	
4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS CENÁRIOS FUTUROS	42
4.2.1 Análise dos dados 2011-2040	42
4.2.1.1 Totais anuais 2011-2040	42
4.2.1.2 Totais trimestrais 2011-2040	44
4.2.1.3 Totais mensais 2011-2040	46
4.2.2 Análise dos dados 2041-2070	48
4.2.2.1 Totais anuais 2041-2070	48
4.2.2.2 Totais trimestrais 2041-2070	50
4.2.2.3 Totais mensais 2041-2070	52
4.2.3 Análise dos dados 2071-2099	55
4.2.3.1 Totais anuais 2071-2099	55
4.2.3.2 Totais trimestrais 2071-2099	56
4.2.3.3 Totais mensais 2071-2099	58
4.2.4 Análise dos dados 2011-2099	61
4.2.4.1 Totais anuais 2011-2099	61
4.2.4.2 Totais trimestrais 2011-2099.....	29
4.2.4.3 Totais mensais 2011-2099	64
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A condição do Brasil como nação com grande riqueza hídrica sempre levou a uma acomodação quanto aos riscos das variações naturais sobre o desenvolvimento da sociedade. A sofisticação do cenário nacional e internacional atual exige maior conhecimento técnico-científico sobre as mudanças climáticas e seus impactos sobre os recursos hídricos, bem como sobre a vulnerabilidade dos diferentes setores socioeconômicos que dependem essencialmente desses recursos (TUCCI, 2002).

A variabilidade climática, desde os primórdios, foi um fator que influencia na fixação do homem e suas atividades em uma determinada região. Os desastres naturais (secas, enchentes, furacões, tempestades de neve, entre outros), sempre se fizeram presentes como fatores influentes para o desenvolvimento socioeconômico mundial (ALVES et al., 2005).

Em 1988, a problemática relacionada às mudanças climáticas globais levou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a *United Nations Environment Programme* (UNEP) a criarem o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), que tem como objetivo fornecer informações científicas para melhorar o entendimento sobre as mudanças no clima global, de modo a avaliar seus impactos na sociedade e na natureza, e propor alternativas de adaptação e mitigação.

O Quarto Relatório Científico do IPCC (AR4) (TRENBERTH *et al* 2007, MEEHL *et al* 2007) e o Relatórios do Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (MARENGO et al., 2007, AMBRIZZI et al., 2007) apresentaram evidências de mudanças do clima, que poderiam afetar significativamente a disponibilidade hídrica em muitas regiões com grandes impactos nos totais de chuva e nos extremos hidrometeorológicos até o final do Século XXI.

Em setembro de 2013, o IPCC lançou seu Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC e, neste relatório, os pesquisadores de mudança do clima de diferentes disciplinas estabeleceram um processo paralelo de nova coordenação para o desenvolvimento de cenários. O processo paralelo começa com quatro cenários futuros de forçantes radiativas, os RCPs (Caminhos Representativos de Concentrações), onde a palavra “representativos” refere-se a um de muitos cenários possíveis, e a palavra “caminhos”, aos níveis de concentrações de interesse que não apenas a concentração de longo prazo, mas a trajetória ao longo do tempo para alcançar tal resultado. Tal abordagem de cenários de emissões, agora não mais na categoria de cenários

exploratórios, mas em cenários normativos proporcionam um quadro para a modelagem nas próximas etapas de investigação baseadas em cenários (MOSS et al., 2010).

No Brasil, o Painel Brasileiro Sobre Mudanças Climáticas (PBMC) lançou desde 2012 relatórios temáticos: o primeiro relatório (volume 1), que foi atualizado em julho de 2015, tratou da Base Científica das Mudanças Climáticas. O volume 2 foi atualizado em setembro de 2015 e estabeleceu os Impactos, Vulnerabilidades e Adaptações. Já o volume 3 é o relatório mais atualizado até o momento, e trata da Mitigação das Mudanças Climáticas.

Segundo Marengo (2011), as atuais projeções de mudanças climáticas globais indicam que, assim como as demais regiões do mundo, o Brasil também estará vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas. Estudos mostraram que as mudanças climáticas podem resultar em *die-back* (colapso) da Floresta Amazônica, rica fonte de biodiversidade, oxigênio e água doce. Contudo, a característica de mudança climática na região não é o único processo sobre o qual é preciso atuar na floresta. O desmatamento direto é uma ameaça mais imediata e pode afetar o clima não só na Bacia Amazônica como também além de seus limites.

A humanidade é extremamente dependente do clima da região, tendo suas características socioeconômicas moldadas e adaptadas aos diferentes padrões mensais e sazonais das variáveis meteorológicas. Qualquer mudança destes padrões climáticos, assim como nos principais processos físicos envolvidos neste complexo sistema, acarretam modificações ao equilíbrio do meio ambiente (CAMARGO et al., 2011).

As mudanças no clima afetam a economia do Brasil, as reduzidas precipitações que causam estiagens prejudicam extensivamente a produção agrícola, influenciando todos os estágios de desenvolvimento das culturas. Já as inundações bruscas e graduais provocam danos no desenvolvimento das culturas bem como a perda dos grãos no período da colheita (SAITO et al., 2011).

Devido a sua localização geográfica, o estado do Rio Grande do Sul é influenciado, principalmente, por sistemas atmosféricos como frentes frias e os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), os quais afetam e influenciam na ocorrência de desastres naturais. Também é influenciado por fenômenos climáticos de interação oceano-atmosfera como ENOS (El Niño Oscilação Sul), e suas fases positiva (quente) e negativa (fria), as quais possuem forte relação com a ocorrências de inundações e secas severas no estado do Rio Grande do Sul (NEDEL et al., 2010).

O estado do Rio Grande do Sul têm sua economia fortemente baseada na produção agrícola, altamente dependente de geração hidrelétrica e sujeito a inúmeros problemas sociais e ambientais associados com os padrões de desenvolvimento e urbanização. Este conjunto sofre

constantemente com os extremos de temperatura e precipitação, que causam grandes danos econômicos (TORRES e MARENGO, 2013).

No Rio Grande do Sul, estima-se que a ocorrência de estiagem gera uma redução de 9,2 pontos percentuais na variação do produto per capita dos municípios, em média, após controle de diversas outras variáveis que podem afetar a variação do Produto Interno Bruto (COLOMBO e PESSOA, 2014).

Erechim no decorrer dos anos registrou estiagem (2005, 2009, 2011 e 2012). A possível ciclicidade desse fenômeno exige dos gestores públicos planejamento e ações mais efetivas quanto aos recursos hídricos a fim de garantir a oferta de água em termos de qualidade e quantidade necessária ao abastecimento do município, bem como água para atender a produção agrícola.

No verão de 2012, Erechim (RS) enfrentou a pior estiagem já registrada. Com índices pluviométricos baixíssimos e com a barragem da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) em nível crítico, os moradores foram obrigados a se adaptar ao racionamento. Com o racionamento de água, as atividades domésticas, cotidianas e, também as industriais, se tornaram restritas. Nesse período de estiagem foram totalizadas mais de 800 horas (33 dias consecutivos) sem abastecimento de água. Após várias críticas sobre a gestão dos recursos hídricos a unidade regional da CORSAN apresentou a transposição do Rio Cravo, pertencente à Bacia do Rio Passo Fundo, como solução para o problema da falta de água em Erechim (COUTINHO, 2013).

Para Wagener e Franks (2005), as variabilidades do clima bem como a baixa precipitação ameaçam a disponibilidade de água do mundo, afetando não apenas o abastecimento doméstico e industrial, a irrigação e a geração hidroelétrica, como também a segurança e a qualidade dos ambientes naturais e urbanos, por meio do aumento de cheias, secas e da erosão, com conseqüente decréscimo da qualidade, quantidade da água e da diversidade dos ecossistemas existentes no meio.

Murumkar et al. (2001, 2007 e 2013) destacam que a precipitação é um dos principais indicadores nos estudos de impacto de mudanças climáticas, salientando a sua importância frente a gestão dos recursos hídricos.

Segundo o IPCC (2011), em virtude das mudanças da precipitação, deverá aumentar a frequência de eventos extremos meteorológicos, o que inevitavelmente afetará a disponibilidade hídrica para a irrigação, indústrias e principalmente para o consumo humano.

Uma das mais importantes questões relacionadas a eventos extremos em curto prazo é se sua ocorrência está aumentando ou diminuindo com o tempo; isto é, se há uma tendência a

cenários propícios à ocorrência desses eventos ou não (HAYLOCK et al. 2005, VINCENT et al. 2006).

A variabilidade e as mudanças na intensidade e na frequência de eventos extremos dependem não apenas da taxa de mudança do meio de uma determinada variável, mas também da ocorrência de mudanças nos parâmetros estatísticos que determinam a distribuição daquela variável. A análise de tendências mais complexa é a da precipitação extrema, devido ao baixo grau de correlação entre os eventos de precipitação.

Assim, estimativas confiáveis de tendências em eventos de precipitação extrema são possíveis somente para regiões com redes densas, que permaneçam estáveis ao longo do tempo. A falta de observações climáticas de longo prazo, de alta qualidade e homogêneas, ou a dificuldade de acesso a bases de dados, muitas das quais restritas a instituições governamentais em várias partes da América do Sul, são os maiores obstáculos para a quantificação das mudanças extremas durante o século passado (HAYLOCK et al., 2005, VINCENT et al., 2006).

O desenvolvimento e o estudo de cenários de mudanças climáticas em escala regional talvez possa ser o primeiro passo para o entendimento dos impactos climáticos futuros, direcionado para o fornecimento de informações a ser utilizado para avaliações de vulnerabilidade e para estratégias de mitigação e adaptação às alterações climáticas (MARENGO et al., 2011).

Dessa forma, tendo em vista os efeitos que as mudanças climáticas têm exercido no regime pluviométrico, tanto na escala global como na escala local, conhecer os possíveis efeitos dessas mudanças no regime das precipitações locais para o século XXI se mostra necessária para que, por exemplo, o poder público possa adotar ações eficazes para a gestão dos recursos hídricos uma vez que as chuvas constituem o principal mecanismo de abastecimento dos mananciais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho consiste em analisar as projeções climáticas futuras para as precipitações pluviométricas e relacionar com a possível mudança no regime pluviométrico para Erechim (RS), no século XXI.

1.1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a capacidade de saída dos dados do Modelo climático HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km em reproduzir o comportamento das chuvas no século XX;
- Verificar a projeção das chuvas propostas pelo Modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km para o século XXI;
- Analisar a variabilidade dos totais anuais, totais trimestrais e totais mensais projetados para a região de estudo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 AS PRECIPITAÇÕES E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As discussões referentes à variabilidade e às mudanças climáticas se intensificaram nas últimas décadas, através de inúmeras pesquisas que comprovaram significativas alterações na composição da atmosfera e, conseqüentemente, nas variáveis relacionadas ao clima (OLIVEIRA, PEDROLLO, CASTRO, 2015). Nesta temática, deve-se destacar o papel do IPCC (sigla para Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas em inglês), estabelecido em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Como dito anteriormente, o principal objetivo do IPCC é fornecer informações científicas para melhorar o entendimento sobre as mudanças no clima global, de modo a avaliar seus impactos na sociedade e na natureza, e propor alternativas de adaptação e mitigação (IPCC, 2001, MARENGO, 2006; OLIVEIRA et al., 2015).

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos (ALVES, 2011). O Brasil possui uma vasta rede de coleta de dados de precipitação, proporcionando o desenvolvimento de estudos que buscam contribuir para o entendimento de uma possível mudança no clima.

Grande parte dos postos de registros de dados hidrológicos e hidrometeorológicos brasileiros estão sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (NAGHETTINI e PINTO, 2007). O banco de dados hidrológicos “Hidroweb Serviço de Informações Hidrológicas”, mantido pela ANA, disponibiliza gratuitamente séries históricas de dados de precipitação, vazão, cota, perfil transversal, sedimento, clima.

Segundo Bertoni e Tucci (2002), os dados de precipitação podem ser registrados de forma pontual, com a utilização de pluviômetros ou pluviógrafos, ou de forma espacial, através de radares meteorológicos. De acordo com Pinto et al., (2008) as estações pluviométricas são as mais utilizadas no Brasil, por serem simples e agregarem um reduzido custo financeiro. Um posto pluviométrico objetiva quantificar a altura total de chuva acumulada, em um dado intervalo de tempo, em um ponto discreto de uma bacia hidrográfica, enfatizando a importância de se contemplar a variabilidade desse fenômeno atmosférico em mais pontos de uma mesma bacia.

Segundo o IPCC (2001), no século XX, houve um aumento da precipitação de 0,2% a 0,3% na região tropical, compreendida entre 10° de latitude Norte e 10° de latitude Sul. As causas dessas variações podem ser de ordem natural ou antropogênica, ou a soma de ambas.

O efeito projetado das mudanças climáticas no escoamento de água superficial e na recarga de água subterrânea é variável, dependendo da região e do cenário climático considerado, mas se relaciona, em grande parte, com as mudanças previstas para a precipitação (IPCC, 2001).

É previsto que a magnitude e frequência de vazões máximas aumentem na maioria das regiões do planeta, e que as vazões mínimas sejam menores em muitas regiões. A discussão acerca das mudanças climáticas globais tem acarretado uma série de debates mundiais. Não obstante, pesquisas sobre o comportamento da mesma em escalas menores, como regional ou local, têm crescido motivadas pela necessidade de se detectar e compreender os aspectos pontuais de tais modificações, bem como para buscar formas de reduzir o impacto que será causado por estas mudanças climáticas (ALVES, 2011).

No Brasil foram realizados estudos visando identificar variações climáticas em diversas localidades (PAIVA e CLARKE, 1995; GROppo et al., 2001; MARENGO e ALVES, 2005; FOLHES e FISCH, 2006; OBREGÓN e MARENGO, 2007; BLAIN, 2009; 2010; PBMC, 2012; SANCHES et al., 2013,2014, MARENGO et al., 2014; VILANOVA, 2014, MARENGO e ESPINOZA, 2015 entre outros). Porém, segundo Marengo et al. (2007), são raros os estudos sobre a variabilidade climática de longo prazo e seus eventos extremos.

As mudanças climáticas locais são observadas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas. De acordo com as tendências temporais dessas variáveis para um determinado local é observado se ocorreram alteração no clima (ZHANG e YANG, 2004).

Buscando uma análise sobre as mudanças climáticas em escala regional Sanches et al. (2014) realizaram um estudo sobre as precipitações no sudoeste do Rio Grande do Sul, tendo como objetivo reconstruir uma série temporal de dados pluviométricos diários (1928-2009) para o município de Alegrete (RS) e seu entorno, além de avaliarem a tendência dos dias de chuva buscando evidências de mudanças climáticas, sobretudo, em relação ao comportamento dos eventos extremos e sua relação com a dinâmica da arenização.

Ainda neste contexto sobre mudanças climáticas locais, Blain (2009) analisou a variabilidade temporal dos dados mensais de precipitação pluvial de oito localidades do Estado de São Paulo. Foram realizadas investigações sobre possíveis tendências climáticas, esperando que essas análises forneçam contribuições importantes ao estado da arte do conhecimento da

variabilidade temporal desse elemento meteorológico, minimizando o risco climático associado ao agronegócio paulista e brasileiro.

Devido a inexistência de longas séries de dados climáticos para o extremo norte gaúcho, sobretudo pluviométricos, os trabalhos de Chechi e Bayer (2012), Chechi e Sanches (2013a e 2013b) Balen et al., (2013) e Sanches et al., (2015) procuraram reconstruir uma série temporal de dados pluviométricos para parte da região do alto Uruguai gaúcho, utilizando informações de postos pluviométricos regionais.

Chechi e Sanches (2013a) procuraram avaliar a participação do fenômeno ENOS nas chuvas no norte gaúcho utilizando-se o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) a partir de uma série de dados pluviométricos de 1957-2012, reconstruídos por meio de técnicas estatísticas entre estações pluviométricas da ANA nos municípios de Erechim, Erebangó e Quatro Irmãos. Os resultados revelaram que há maior correspondência das precipitações anuais com a fase quente (El Niño) do que com a fase fria (La Niña) do ENOS.

Balen et al (2013), ao analisar os eventos pluviométricos diários para os dados em questão, encontrou evidências de modificações nos dias com chuvas superiores a 1 mm e chuvas intensas (>80mm). As tendências de aumento observadas para esses parâmetros foram consideradas significativas para mudanças de comportamento a partir do teste de Mann-Kendall, demonstrando que houve uma tendência de aumento dos dias com chuvas, sobretudo, dias com chuvas intensas na região, a partir da segunda metade do século XX.

Por fim, Sanches et al (2015) demonstrou por meio da análise das pântadas que a quantidade de dias sequenciais de chuva tem se tornado mais frequente e mais intensa a partir da segunda metade do século XX. Análises sinóticas revelaram que esse aumento nos dias sequencias de chuvas são decorrentes sistemas estacionários entre meados do outono e final do inverno.

2.2 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS E REGIONAIS

Os modelos climáticos são códigos computacionais com centenas de milhares de linhas, que representam aproximações numéricas de equações matemáticas, representativas das leis da física que regem os movimentos da atmosfera e as interações com a superfície. As aplicações incluem a simulação do clima passado (paleoclima), do clima presente (passado recente), bem como estudos de sensibilidade para identificação de processos e entendimentos físicos. A previsão da variabilidade climática de curto prazo e sua mudança na escala sazonal e decenal, na elaboração de projeções do clima futuro e redução da escala espacial (*downscaling*) dessas

projeções, têm como finalidade fornecer mais detalhamento nas escalas regionais e locais (MARENGO et al., 2014).

As projeções de cenários climáticos são realizadas, comumente, através de Modelos Climáticos Globais (GCMs). Trata-se de modelos numéricos capazes de descrever os principais processos físicos e dinâmicos da atmosfera, do oceano e da superfície terrestre, bem como as interações entre esses componentes e os mecanismos de retroalimentação (*feedbacks*), simulando a resposta do clima global às concentrações de gases de efeito estufa e de aerossóis (MARENGO et al., 2012).

Os modelos climáticos globais são usados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, como consequência de futuros cenários de forçantes climáticas. Sabe-se que existe um grau de incerteza do futuro cenário climático do planeta, incerteza muito maior quando se deseja projetá-los para regiões usando modelos globais (CAMARGO et al., 2001; CAVALCANTI et al., 2002; MARENGO et al., 2003).

Considerando as análises e projeções de climas futuros, nos trabalhos de Marengo (2007), Marengo e Valverde (2007) e Nobre, Sampaio e Salazar (2008), Betts et al., (2011), PBMC (2012), IPCC (2013) entre outros, os autores afirmam que as melhores ferramentas para projeção e avaliação dos cenários climáticos futuros, são os Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs). Tais modelos levam em conta de forma quantitativa (numérica e tridimensional) a dinâmica dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, criosfera, vegetação, ciclos biogeoquímicos, etc.) descrevendo os principais processos físicos e químicos.

Para estudos regionais, não é recomendada a utilização isolada dos GCMs, em virtude da capacidade de resolução bastante limitada, geralmente superior a 250 km ou 2,5° (Lat/Long). A limitação da resolução espacial pode ser contornada pelo *downscaling*, seja pela aplicação de modelos dinâmicos regionais ou por técnicas empíricas, que consistem na transferência das informações meteorológicas para escalas de maior detalhamento (ZORITA e VON STORCH, 1999; QIAN et al., 2003; MELLO et al., 2008).

Os Modelos Climáticos Regionais (RCMs) possuem resolução entre 10 e 50 km. A utilização destes modelos, em conjunto com os GCMs, possibilita o detalhamento dos processos climáticos a nível local, detectando as variações e particularidades de uma determinada região (MARENGO et al., 2012).

Para Marengo e Soares (2003), até mesmo os modelos mais sofisticados utilizados são, na verdade, representações aproximadas de um sistema muito complexo, de forma que, ainda,

não são infalíveis na previsão do clima futuro. Esse grau de incerteza do futuro cenário climático é, ainda, maior quando se busca projetá-los para níveis regionais.

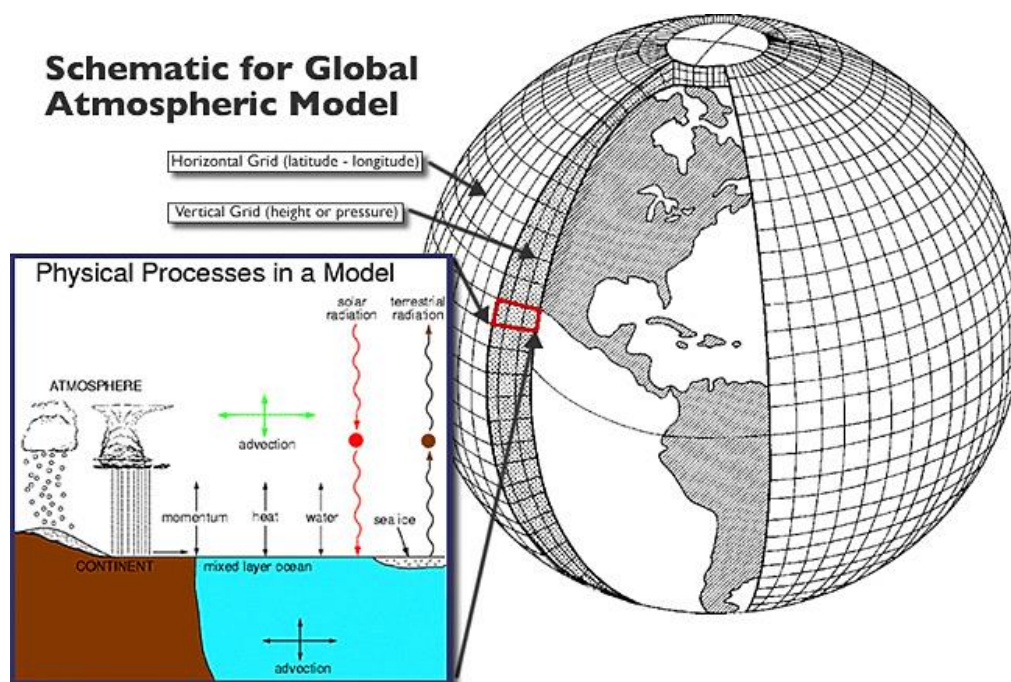
Por outro lado, Nobre, Sampaio e Salazar (2008) acreditam que o avanço do conhecimento científico com relação ao funcionamento do complexo sistema climático levará, em pouco tempo, à diminuição dessas incertezas nas projeções das alterações das mudanças climáticas em escala regional.

As saídas dos modelos climáticos não devem ser utilizadas de forma direta para a estimativa de disponibilidade hídrica no futuro (GRAHAM, 2000).

2.2.1 Modelo Global HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, versão 3)

Segundo o *Global Change Master Directory* da NASA, o modelo HadCM3 (Figura 1) desenvolvido em 1999, é um dos principais modelos utilizados, sendo que forneceu informações para o Terceiro, Quarto e Quinto Relatório de Avaliação do IPCC. O modelo HadCM3 é um modelo acoplado oceano-atmosfera desenvolvido no *Hadley Centre, UK Meteorological Office*, da Grã-Bretanha. O mesmo não precisa de ajustes nos fluxos de energia no oceano para produzir uma boa simulação. Tem-se utilizado este modelo para simulações de 1000 anos ou mais e não foram observados derivas (ou *drifts*).

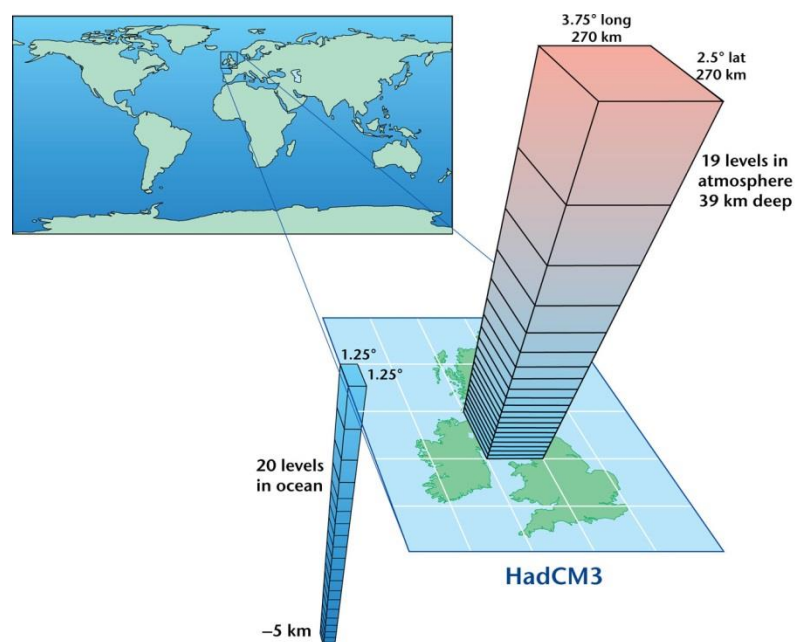
Figura 1: Esquema de um Modelo Global Acoplado Oceano-Atmosfera (AOGCMs).



Fonte: http://www.climatewizard.org/Climate_Models_and_Scenarios/Climate_Models.html

O modelo HadCM3 consiste num modelo de circulação geral atmosfera-oceano desenvolvido pelo *Hadley Centre for Climate Prediction and Research* no Reino Unido. Sua componente atmosférica possui 19 níveis verticais com resolução horizontal de $2,5^\circ$ de latitude e $3,75^\circ$ de longitude, que produz uma grade global de 96×73 células (Figura 2). Cada célula equivalente a uma resolução superficial de aproximadamente $417 \text{ km} \times 278 \text{ km}$ na região equatorial, sendo reduzida para $295 \text{ km} \times 278 \text{ km}$ na latitude de 45° . A componente oceânica do modelo HadCM3 apresenta 20 níveis.

Figura 2: Esquema do modelo climático acoplado oceano-atmosfera HadCM3.



Fonte: Mett Office, 2014

2.2.2 Modelo regional ETA/CPTEC

Segundo o IPCC (2000), os Modelos Climáticos Globais (GCMs) são as principais ferramentas para o estudo da variabilidade do clima no longo prazo. Estes modelos têm uma resolução bastante grosseira, apresentando limitações, já que não seria possível representar ou simular explicitamente detalhes que caracterizam uma região em particular, deste modo, o IPCC recomenda que os cenários de mudanças climáticas globais não sejam usados diretamente nos estudos de impactos em escala regional pela baixa resolução espacial.

Para ter um modelo com melhor resolução é necessário realizar o processo chamado “downscaling” (regionalização) com a finalidade de melhorar a resolução espacial dos modelos globais (MAURER, 2006). A técnica *downscaling* consiste, basicamente, do alinhamento dos resultados de uma modelagem de grande escala servindo de entrada para alimentar um modelo regional de área limitada, com uma resolução da ordem de dezenas de quilômetros (DICKINSON et al., 1989; GIORGI e BATES, 1989; LIU et al., 1994).

A técnica do *downscaling* consiste em uma metodologia para a diminuição da escala espacial a partir de um modelo de grande escala (AOGCMs) para um modelo em escala regional (VALVERDE BRAMBILA et al., 2004). Esta técnica foi desenvolvida dada a necessidade de informações mais detalhadas no tempo e no espaço dos produtos de previsão numérica de tempo e clima.

Valverde Ramirez (2003) afirma que existem duas técnicas de *downscaling*: as dinâmicas, que abordam os modelos numéricos com uma resolução mais detalhada, e as empíricas que utilizam funções de transferências entre escalas. A primeira envolve a utilização de modelos numéricos, de escalas global e regional, requerendo assim, um conjunto detalhado de informações climáticas (dados de superfície), bem como de uma alta disponibilidade computacional. Já as empíricas se utilizam de métodos estatísticos, sendo que os mais empregados são os métodos de regressão (lineares e não lineares), geradores de tempo (análises de componentes principais, análises de correlação canônica, técnica de composição, redes neurais artificiais) e os estocásticos (teoria fuzzy – conjuntos nebulosos, algoritmos genéticos, etc.).

Valverde Ramirez (*ibidem*) e Valverde Brambila et al. (*op. cit.*) afirmam ainda que a grande vantagem de se utilizar o *downscaling* estatístico é que ele oferece uma solução imediata e de baixo custo computacional facilitando sua implementação em centros operacionais.

O Modelo Regional Eta-CPTEC, que deriva do modelo Eta, foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado conjuntamente com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, tornando-se operacional no *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). Este Modelo Regional foi instalado, segundo Chou (1996), no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), em 1996, para complementar a previsão numérica do tempo que vinha sendo realizada pelo modelo de circular geral atmosférico (GCM).

No Modelo Regional Eta-CPTEC a topografia é resolvida na forma de degraus discretos. A coordenada se baseia em pressão, o que a torna aproximadamente horizontal. Esta característica da coordenada Eta reduz consideravelmente os problemas nos cálculos das derivadas horizontais próximas de regiões de montanha, comuns na coordenada sigma, e conseqüentemente os problemas relacionados com o termo importante da força do gradiente horizontal de pressão (AMBRIZZI et al., 2007; PISNITCHENKO et al., 2006).

Pesquero (2009), Chou et al., (2011) e Marengo et al., (2012) utilizaram em suas pesquisas o Modelo Eta. Nos dois primeiros estudos, o modelo foi utilizado para reproduzir o clima presente sobre a América do Sul e atestar a qualidade do modelo. Foi observada uma suave tendência de subestimativa na precipitação sobre a Amazônia na estação chuvosa e na região central do Brasil, no Cerrado Brasileiro. No último estudo (MARENGO et al., 2012), o modelo Eta CPTEC foi usado para estudar as mudanças climáticas nas bacias dos rios Amazonas, São Francisco e Paraná, entre 2011 e 2100. Para a bacia do Paraná, as simulações para o verão (DJF) e inverno (JJA) sugeriram que no século XXI haveria uma redução na participação dos sistemas tropicais em detrimento dos sistemas subtropicais, nesse caso,

aumentando o volume de chuvas no inverno. O potencial aquecimento do continente aumentaria o gradiente de temperatura, entre o continente e o oceano, promovendo mudanças no transporte de umidade e precipitações.

No trabalho de Chou et al. (2011) os autores, também, procuraram avaliar as simulações climáticas para a América do Sul utilizando o modelo regional Eta impulsionado por quatro conjuntos do modelo global HadCM3. Nesse trabalho, o modelo Eta foi modificado para executar interações decadais de longo prazo buscando reproduzir o clima presente (1961-1990) forçados pelo HadCM3 numa resolução de 40 km.

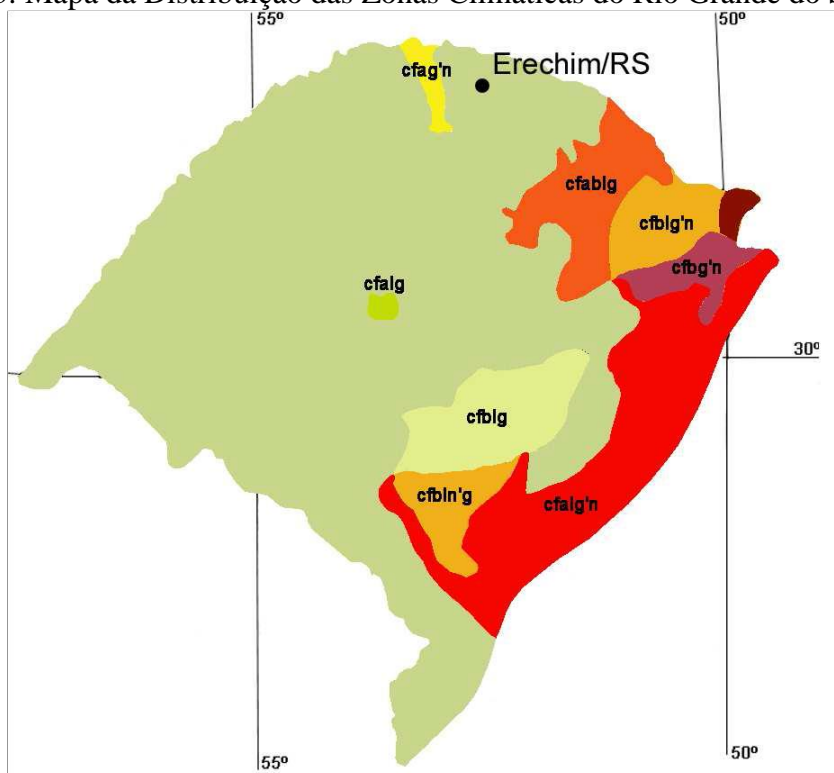
Oliveira, Pedrollo e Castro (2015) em seu trabalho intitulado de “As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo Modelo ETA CPTEC/HADCM3: avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do Rio Ijuí, Brasil” propuseram uma metodologia para avaliar as condições climáticas simuladas através do modelo Eta CPTEC/HadCM3, com ênfase no estudo da disponibilidade hídrica. Este estudo será aplicado à bacia hidrográfica do rio Ijuí, Rio Grande do Sul (RS), Brasil.

2.3 VARIABILIDADE DAS CHUVAS EM ERECHIM

Segundo a classificação de Köppen, Erechim possui o tipo climático *Cfa*, caracterizado por ser um clima subtropical, sem estação seca e com verões quentes (TORRES e MACHADO, 2008). Para Rossato (2011), o clima da região apresenta-se muito úmido, com inverno fresco e verão quente. Segundo Balen e Sanches (2015), as chuvas na região (Alto Uruguai gaúcho) são geradas principalmente pelos sistemas frontais, sendo a região do estado com menor influência dos sistemas polares e com maior atuação dos sistemas marítimos (massa Tropical Atlântica - mTa) e continentais (massa Tropical Continental – mTc e Jatos de Baixos Níveis – JNB) durante o verão e primavera.

A Figura 3 representa as condições climáticas para o estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a Classificação de Köppen.

Figura3: Mapa da Distribuição das Zonas Climáticas do Rio Grande do Sul, RS.

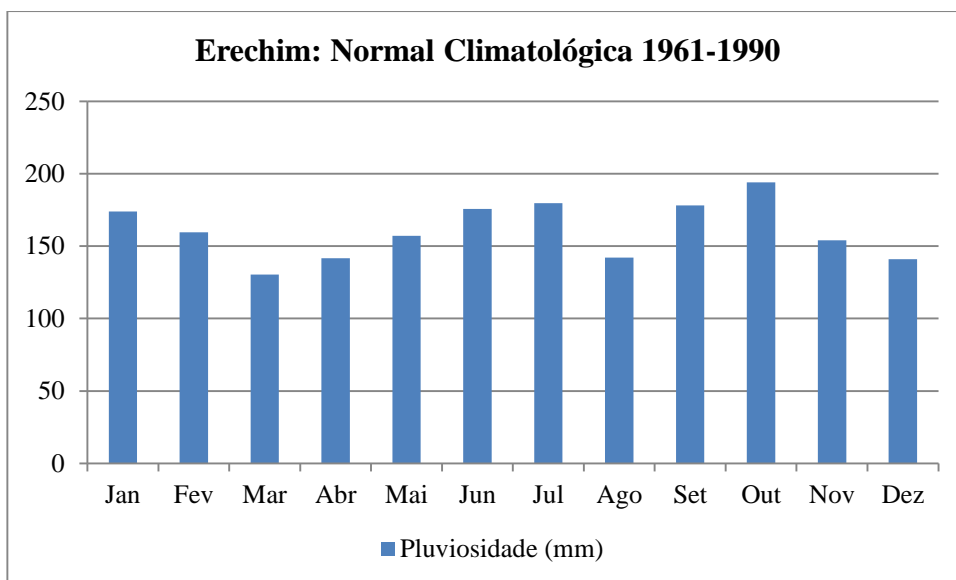


Fonte: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/mapaclima.jpg>.

Ainda, segundo Rossato (2011), nessa região ocorrem precipitações médias em torno de 1700-1900 mm ao ano, sendo distribuídas em média de 110 a 140 dias por ano, sofrendo uma redução das precipitações no inverno.

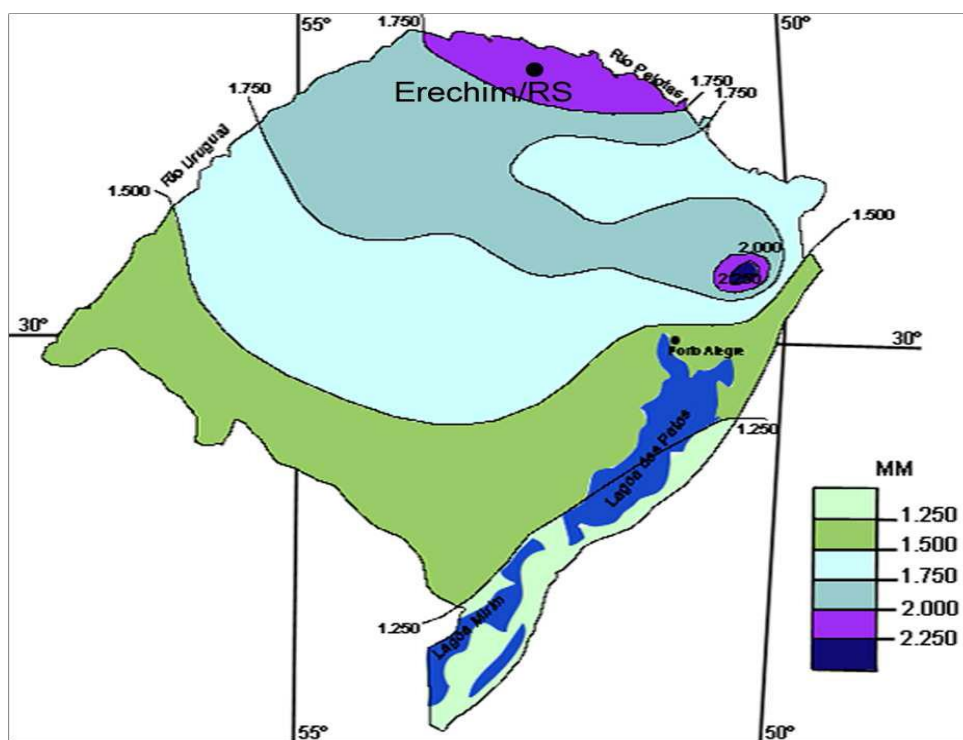
Erechim possui um dos maiores índices de chuvas do estado do Rio Grande do Sul, demonstrando que a precipitação é bem distribuída ao longo do ano (Figura 4) e que segue o padrão regional de pluviosidade conforme a Figura 5. Cera et al., (2007) mostraram que o estado apresenta diferenças durante a estação chuvosa, muitas vezes influenciados pelo relevo.

Figura 4: Normal Climatológica para as Precipitações Pluviométricas mensais em Erechim-RS.



Fonte: INMET/FEPAGRO

Figura 5: Mapa da Distribuição das Zonas Pluviométricas do Rio Grande do Sul, RS.



Fonte: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/mapachuva.jpg>

O Rio Grande do Sul situa-se em uma região latitudinal favorável à atuação de diversos fenômenos meteorológicos que afetam o tempo e o clima do estado como as frentes frias e o fenômeno ENOS.

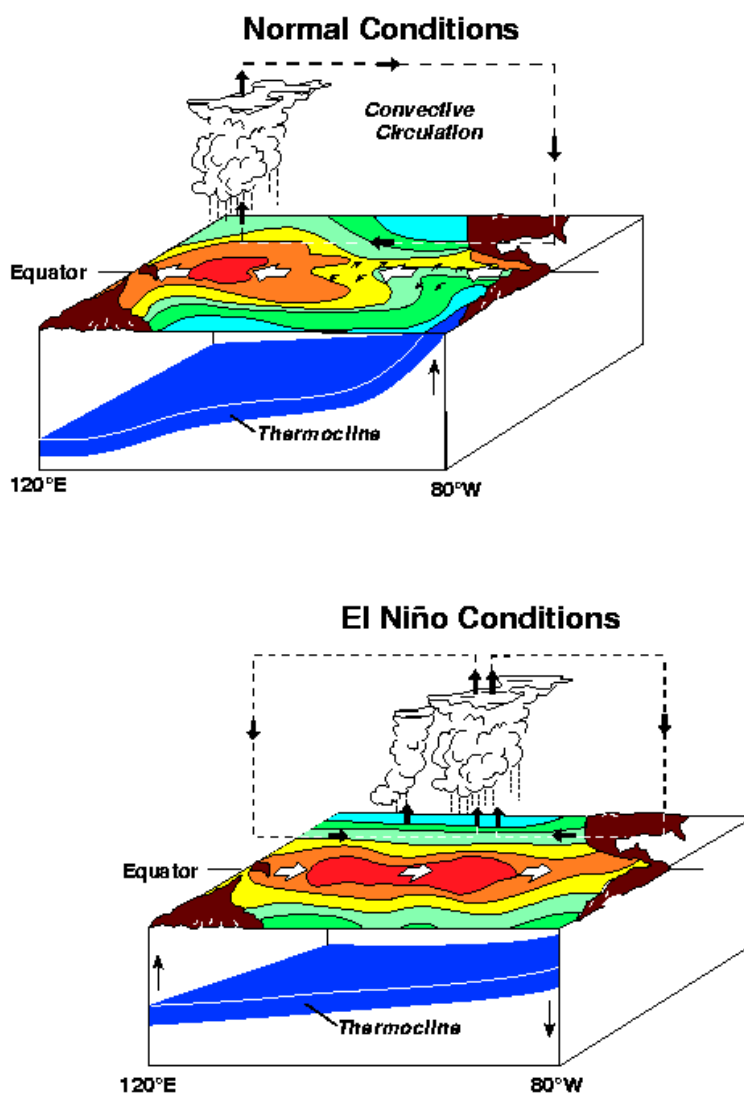
O fenômeno ENOS consiste no mais importante fenômeno de acoplamento oceano-atmosfera, responsável pela variabilidade climática global em escalas de tempo interanuais. Para CPTEC (2016) os processos de troca de energia e umidade entre o oceano e a atmosfera é que determinam o comportamento do clima, e as alterações destes processos podem afetar o clima regional e global. O fenômeno possui duas fases distintas denominada de El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria).

A fase quente (El Niño) se caracteriza pelo aquecimento incomum das águas superficiais das porções central e leste do Oceano Pacífico tropical, próxima à costa peruana. O aquecimento das águas nessa região se dá pelo enfraquecimento da circulação dos ventos alísios, os quais promovem o aumento da temperatura das águas na costa oeste da América do Sul e no Pacífico central (Figura 6).

Uma vez que o Pacífico central esteja aquecido os movimentos convectivos produzem grandes tempestades que acabam por perturbar o fluxo de ar na troposfera superior (Figura 6). Dessa maneira, a atmosfera interatua com as águas superficiais atuando com uma “gangorra barométrica” entre o leste e o oeste do Pacífico – Oscilação Sul (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; ROSSATO, 2011).

Na circulação atmosférica no plano equatorial - Célula de Walker – (CPTEC, 2016), a subsidência do ar ocorrerá sobre a América do Sul (sobre a Cordilheira dos Andes) (Figura 6), afetando os centros de ação atuantes no continente sul-americano, trazendo, dessa forma, secas para o norte e leste Amazônia e para a porção setentrional do Nordeste e chuvas excessivas para o Sul e parte do Sudeste do Brasil (GRIMM, FERRAZ e GOMES, 1998).

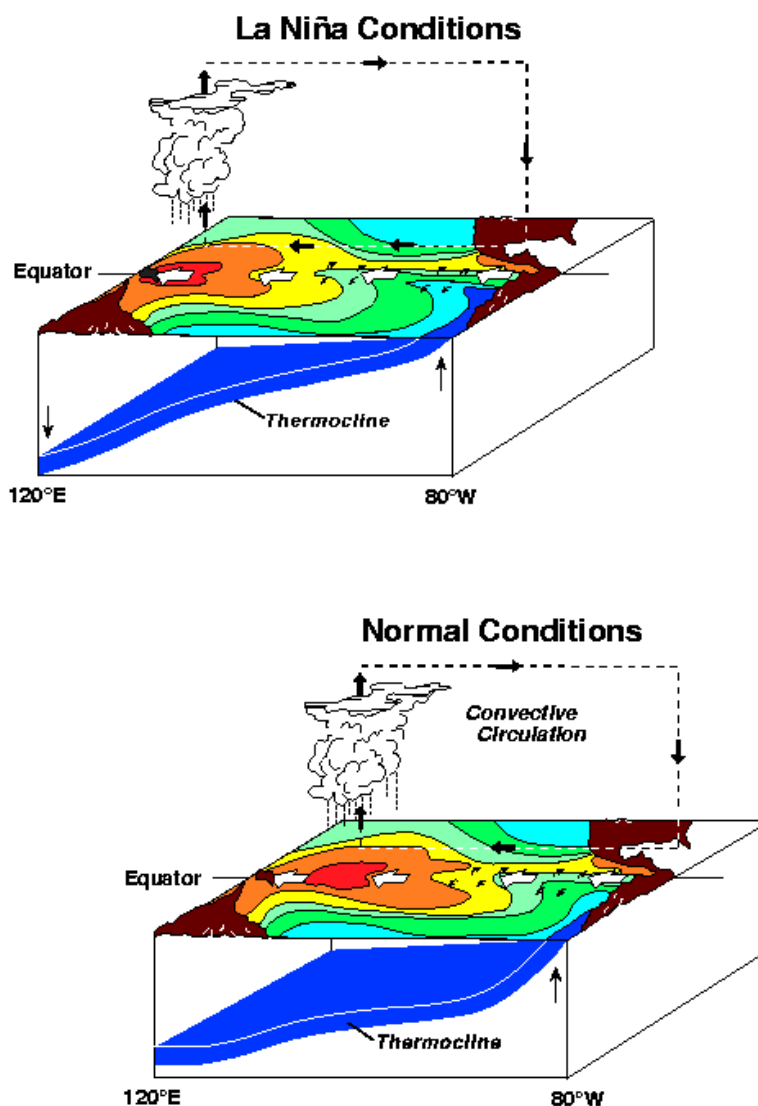
Figura 6: Esquema da circulação oceano-atmosfera na fase positiva do fenômeno ENOS (El Niño).



Fonte: Michael Mcphaden, 2001.

Já em sua fase fria (La Niña), as águas superficiais do Pacífico equatorial se resfriam, devido ao aumento da pressão no setor leste (alta pressão) o que intensifica a atuação dos ventos alísios. A intensificação dos ventos alísios acumulam as águas superficiais aquecidas na porção oeste do Oceano Pacífico modificando a circulação da Célula de Walker intensificando as precipitações sobre a Oceania (Figura 7). Esse fenômeno, na maioria das vezes, é responsável por situações opostas a fase quente do ENOS uma vez que ele é responsável pela diminuição nas precipitações no Uruguai, pelas secas intensas no sul do Brasil, na porção centro-oeste e nos pampas Argentinos e no norte do Peru (ROSSATO, 2011).

Figura 7: Esquema da circulação oceano-atmosfera na fase negativa do fenômeno ENOS (La Niña).



Fonte: Michael Mcphaden, 2001.

Para Grimm, Barros e Doyle, (2000), os eventos severos, no sul do Brasil, nos meses do outono/inverno do ano seguinte ao El Niño, tem consistência com variação de chuvas sazonais sendo coerente com enchentes ocorridas nestas épocas.

Assim como as demais regiões do estado, Erechim também enfrenta problemas relacionados às precipitações. O município é um divisor de águas para duas bacias hidrográficas em termos de Estado do Rio Grande do Sul sendo que esta divisão ocorre na área urbana, onde para Norte, Leste e Sudeste as águas são drenadas em sentido a Bacia Hidrográfica Apuaê-Inhandava (U010) tendo como orientação hidrográfica no sentido Oeste/Leste e posteriormente

para Norte em direção a calha do Rio Uruguai. A porção Oeste e Sudoeste do município apresentam como sentido de drenagem para a Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo (U020), o qual tem como sentido de drenagem Oeste/Leste e posteriormente Norte, desaguardando primeiramente na Barragem do Rio Passo Fundo e posteriormente no Rio Uruguai (Plano Ambiental Municipal. p.74, 2011).

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), o norte do estado do Rio Grande do Sul, onde está inserido o município de Erechim, possui uma situação excelente na relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica. Apesar desta situação, o município já passou por alguns períodos de estiagem que prejudicaram tanto o abastecimento público de água bem como a agricultura da região

Em seu trabalho Chechi e Sanches (2013), avaliaram a participação do fenômeno ENOS na região do Alto Uruguai gaúcho aplicando-se o Índice de Anomalia de Chuva aos totais anuais de precipitação dos municípios de Erechim (RS), Quatro Irmãos (RS) e Erebangó (RS). Com base nos recursos utilizados para análise dos anos sob ação das componentes positivas e negativas do fenômeno ENOS, foi possível observar que a maior parte dos anos da série analisada demonstrou relação com o fenômeno El Niño. Já o fenômeno La Niña parece não ter afetado de modo significativo, a região do Alto Uruguai no período de 1957-2012.

No trabalho realizado por Balen e Sanches (2015) ocorreu uma análise sobre a tendência das chuvas diárias no Alto Uruguai gaúcho entre 1957-2013, sendo que se pode observar que a tendência de precipitações fracas (maiores que 1 mm, 5 mm e 10 mm) foi positiva e significativa para mudança de comportamento na maioria dos meses. Já nas precipitações maiores que 20 mm, 30 mm, 50 mm, 80 mm e 100 mm verificou-se o aumento nas tendências negativas e negativas significativas. Os autores ainda concluíram que embora houvesse uma tendência de aumento nos dias de chuva, a quantidade dos eventos intensos diminuiu no período analisado, e essa conclusão implica em novas hipóteses sobre as mudanças climáticas, as quais ainda deverão ser analisadas.

Por fim, Sanches et al., (2015) buscaram analisar o comportamento das precipitações anuais trimestrais e mensais na região do Alto Uruguai gaúcho, sobretudo na região de Erechim, frente a possíveis mudanças climáticas. Para isso, foram utilizados dados pluviométricos do final da década de 1950 até o ano de 2014, buscando-se identificar as tendências de possíveis modificações no comportamento das séries temporais associando-as a mudanças climáticas. A aplicação do Teste de Mann-Kendall (MK) aos totais anuais, trimestrais e mensais para Erechim demonstraram que não houve mudança considerada significativa nessas escalas de tempo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados dados pluviométricos oriundos do modelo climático HadCM3/Eta/CPTEC para avaliar como o modelo sugere o comportamento das precipitações para o século XXI. Evidentemente que há um grau de incerteza nos resultados sugeridos pelo modelo, uma vez que seus dados estariam condicionados a concentração de gases do efeito estufa (CO₂, CH₄, por exemplo) na atmosfera considerando os atuais níveis e os níveis estimados para esses gases até o final do século XXI. Essa concentração de gases do efeito estufa são considerados na elaboração do modelo como as principais forçantes radiativas para a elevação das temperaturas globais.

A partir da aplicação da técnica de regionalização (*downscaling*) efetuada pelo modelo Eta/CPTEC – 20 km, o modelo produziu um conjunto de dados pluviométricos diários para o entorno de Erechim, agrupados em quatro intervalos de tempo (*time-slices*): 1961-1990 (clima presente) e 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099 (climas futuros).

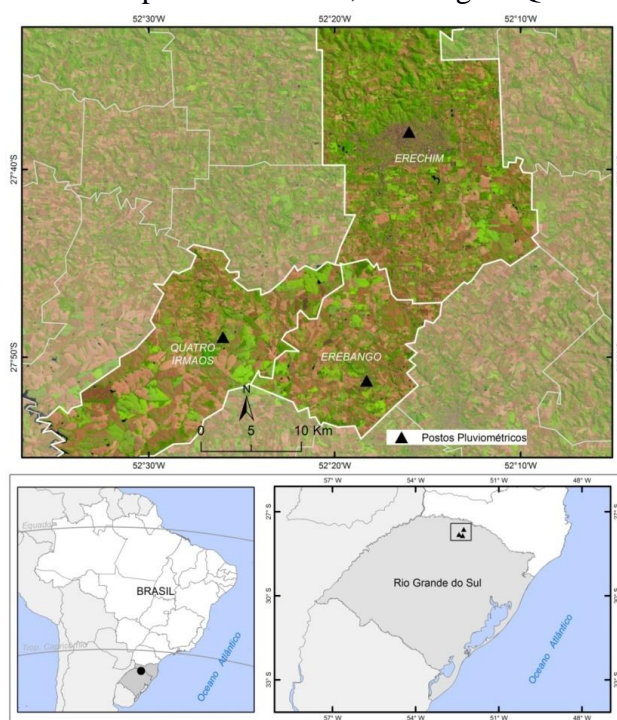
Os dados HadCM3/Eta/CPTEC - 20 km foram gerados para cenários SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*), os quais foram implementadas pelo IPCC para o terceiro (TAR) e quarto (AR4) relatórios. O cenário adotado para os dados utilizados é o SRES A1B.

De acordo com o IPCC (2016) o cenário SRES A1B descreve um mundo onde haveria um equilíbrio entre todas as fontes de energia sem a dependência de uma ou duas matrizes energéticas.

A primeira etapa da análise dos dados consistiu em agrupar os dados diários gerados pelo modelo para o período de 1961-1990, período oficialmente compreendido pela Organização Meteorológica Mundial para uma Normal Climatológica – 30 anos, em totais mensais para, a seguir, compará-los com os dados pluviométricos observados para Erechim.

Os dados pluviométricos mensais observados de Erechim foram obtidos a partir das estações da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizados nos municípios de Erechim, Erebangó e Quatro Irmãos. A organização e preparação dos dados, tratamento estatístico para preenchimento de falhas e análise de consistência estão descritos nos trabalhos de Chechi e Sanches (2013; 2015) e de Balen e Sanches (2015).

Figura 8: Localização dos municípios de Erechim, Erebangó e Quatro Irmãos



Fonte: Elaborado por Ricardo Vicente Ferreira.

A verificação da capacidade do modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 20km em reproduzir as precipitações mensais do clima presente (1961-1990) foi feita comparando os dados de saída do modelo com os dados observados.

3.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBSERVADOS E OS PROPOSTOS PELO MODELO PARA O PERÍODO DE 1961-1990

A comparação entre os dados observados e os dados de saída do modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km foi feita aplicando-se parâmetros de estatística descritiva em ambos os conjuntos de dados (Média, Mediana, Valor Máximo, Valor Mínimo, Amplitude, Desvio padrão e Coeficiente de Variação (%)). Em seguida, os totais mensais (observados e gerados pelo modelo) foram submetidos à técnica do *Boxplot* para comparação entre os conjuntos de dados.

A técnica do *Box Plot* consiste em uma metodologia de descrição de um conjunto de dados, amostra ou uma série histórica. Para Galvani e Luchiar (2012) na elaboração do *box plot* de uma série, alguns parâmetros devem ser considerados: o valor máximo, o valor mínimo e a mediana da série. A partir dessas informações, busca-se dividir o conjunto de dados em quatro partes contendo 25% dos dados da série em cada parte (quartis).

O primeiro quartil consiste na posição intermediária entre o valor mínimo e a mediana da série. Já o terceiro quartil, a posição intermediária entre a mediana da série e o valor máximo.

Para Galvani e Luchiari (2012), o *Box Plot* pode ser elaborado tendo como extremos os valores máximos (V_{\max}) e mínimos (V_{\min}). Contudo, também poderá ser elaborado desconsiderando-se os valores extremos que possam “contaminar” a série de dados.

Pode-se trabalhar com um range de 1% a 99%, de 5% a 95% e até de 10% a 90% da série, ou seja, desconsiderando 1%, 5% ou 10% da série, respectivamente. Tais valores desconsiderados passam a ser denominados outliers (fora da reta). Para esse trabalho foi considerado um range de 5%.

O Teste de Correlação de Pearson foi aplicado a ambos os conjuntos de dados para verificar o grau de correlação do conjunto de dados observados e os gerados pelo modelo. Em seguida, foi aplicado o Teste t de *Student* para a verificação da homogeneidade entre os dados mensais observados e os gerados pelo modelo (SPIEGEL,1993).

No Teste t de *Student* considera-se a ideia de que não existem diferenças entre as duas séries de dados ($\mu_1 = \mu_2$ e $\sigma_1 = \sigma_2$), adotando-se, assim, a hipótese nula (H_0). No entanto, se os resultados observados mostrarem-se diferentes do que os esperados por essa hipótese (H_0), conclui-se que as diferenças observadas são, estatisticamente, significativas.

O nível de significância adotado foi de 0,05, ou seja, 5% de erro do valor que deveria ser aceito. Essa escolha proporciona uma confiança de 95% de que a hipótese seja verdadeira. Entretanto, se essa hipótese (H_0) for rejeitada quando deveria ser aceita, adotamos que foi cometido um erro do Tipo I (rejeição da hipótese nula como verdadeira).

Sendo assim, para se aceitar a hipótese (H_0) como verdadeira, o escore (z) de uma estatística amostral deve ser $-1,96 \leq z \leq 1,96$.

Assim, no Teste t de *Student*, temos que:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma \sqrt{1/N_1 + 1/N_2}} \quad (1)$$

onde

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 s_1^2 + N_2 s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (2)$$

e

$$s^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i - \mu)^2}{N - 1} \quad (3)$$

Dessa forma, considera-se que μ_1 e μ_2 correspondem às respectivas médias mensais dos dados reais e sintéticos, N_1 e N_2 são as amostras mensais analisadas, σ o desvio padrão entre as séries e s_1^2 e s_2^2 as respectivas variâncias de cada série. Já quanto ao grau de liberdade da distribuição t , adotou-se que:

$$v = N_1 + N_2 - 2 \quad (4)$$

Os resultados desta etapa permitiram verificar se os dados do Modelo HadCM3/Eta/CPTEC -20 km conseguiram representar a dinâmica das precipitações no período de 1961-1990 como fase de calibração do modelo regional.

Por fim, como última etapa do processo de verificação entre os dados observados e os gerados pelo modelo, foi adotado a análise de resíduo entre os dados (observados e do modelo).

A técnica consiste em subtrair os valores do modelo dos valores observados para cada ano. Assim, podemos saber se o modelo subestimou ou superestimou o valor para cada mês. Ainda foram inseridos os limites superiores e inferiores do desvio padrão de cada série de modo a facilitar e identificar os anos que foram diferentes do comportamento padrão.

3.3 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS CENÁRIOS FUTUROS

Para analisar a tendência dos dados projetados pelo Modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km foi utilizado um importante teste estatístico recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM): o teste de Mann-Kendall (MK) (SIEGEL, 1975).

O Teste de MK consiste em um teste não-paramétrico para identificação de tendências climáticas em séries temporais longas (PAIVA e CLARKE, 1995; GROppo et al., 2001; MARENGO e ALVES, 2005; ALEXANDER et al., 2006; FOLHES e FISCH, 2006; OBREGÓN e MARENGO, 2007; BLAIN, 2010).

Neste teste, ao adotar-se a hipótese da estabilidade da série temporal (H_0), os valores devem ser independentes e a distribuição de sua probabilidade deve permanecer sempre a mesma.

Dessa forma, ao considerarmos uma série temporal de X_n ($X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$) a ser analisada para a comprovação H_0 (hipótese nula, onde não há tendência positiva nem negativa da série), é necessário calcular a posição de cada elemento X_i em relação aos outros valores da série, de forma que $R_1, \dots, R_i, \dots, R_n$ representam a sequência de números que especificam a ordem relativa da série temporal de X_i . A etapa seguinte consiste em se determinar o sinal para cada número-ordem pelas funções sinal $(R_j - R_i)$ conforme mostram Folhes e Fisch (2006), Obregón e Marengo (2007) e Blain (2010) em que:

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = \begin{cases} 1; \text{para } R_j - R_i > 0 \\ 0; \text{para } R_j - R_i = 0 \\ -1; \text{para } R_j - R_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Assim, considerando a hipótese nula (H_0) o teste consiste no somatório apresentado na equação abaixo:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(R_j - R_i) \quad (6)$$

Partindo da ideia de que a hipótese H_0 seja verdadeira, a estatística S deve apresentar uma distribuição aproximadamente normal gaussiana, com média igual a zero e variância (VAR) conforme a seguinte equação:

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1) \cdot (2n+5)}{18} \quad (7)$$

Para Alexander et al., (2006) e Blain (2010), o uso do Método de Mann-Kendall se mostra bastante robusto quanto aos desvios de normalidade e não-estacionaridade dos valores da série sendo este o motivo de sua ampla utilização em estudos de séries temporais.

Finalmente, o valor da estatística de Mann-Kendall (MK) é dado por:

$$MK = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Ao concluir a análise estatística de Mann-Kendall é necessário se tomar a decisão final de aceitar ou rejeitar a hipótese de que não há tendência na série analisada (H_0) ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa. O sinal da estatística de Mann-Kendall indica se a tendência é crescente ($MK > 0$) ou decrescente ($MK < 0$).

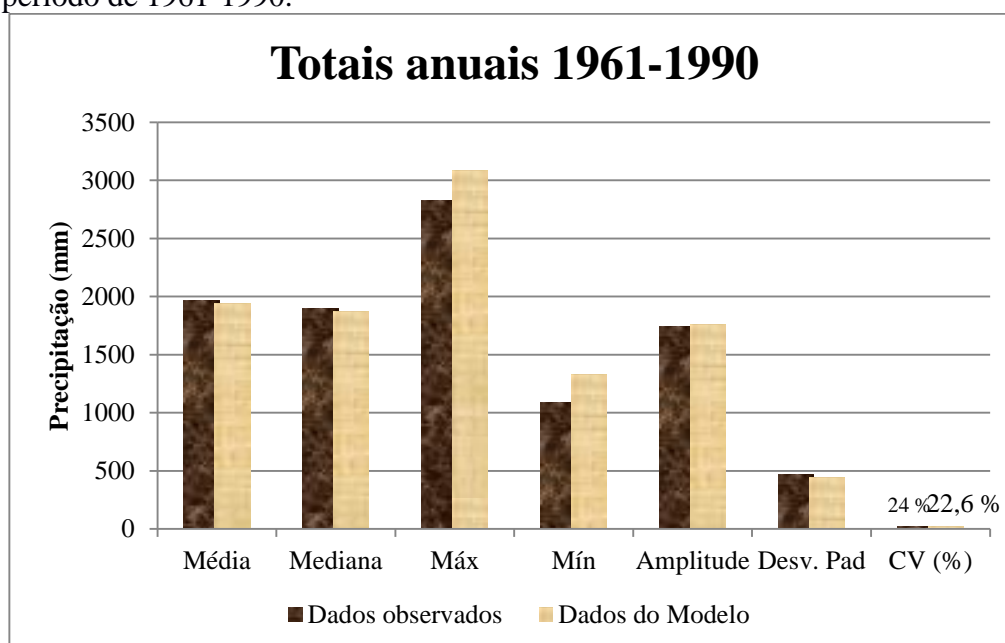
Para Marengo e Alves (2005), Alexander et al., (2006), Folhes e Fisch (2006), Blain (2010) e Sanches et al., (2013) ao se considerar o nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$), a hipótese H_0 (de que não há tendência nem positiva nem negativa na série) deverá ser rejeitada sempre que o valor MK encontrado estiver $-1,96 < MK < +1,96$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DO MODELO E OS DADOS OBSERVADOS.

Seguindo a metodologia descrita e aplicada, a Figura 9 apresenta o gráfico de totais anuais de precipitação dos dois conjuntos de dados (observado e gerado pelo modelo) para o período de 1961-1990. Nele (Figura 9) estão dispostos os resultados da estatística descritiva, resultando em valores de média, mediana, valores máximos e mínimos, bem como a amplitude, o desvio padrão e o coeficiente de variação (%).

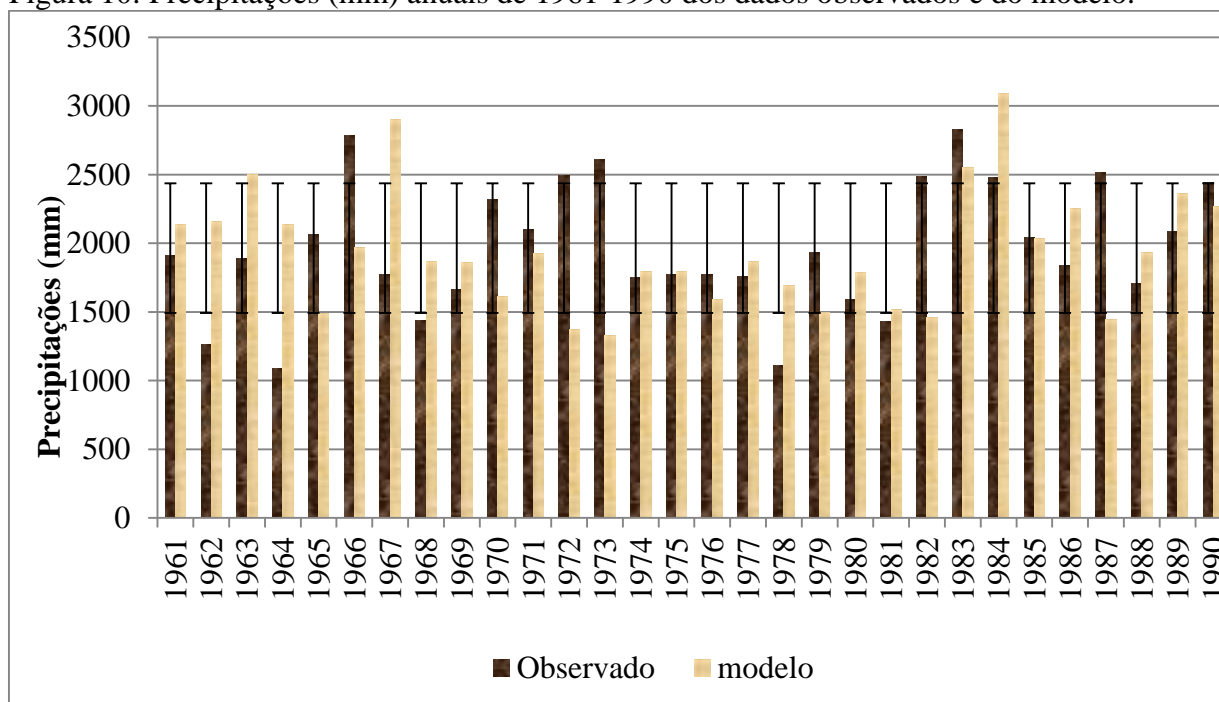
Figura 9: Estatística descritiva dos dois conjuntos de dados (observado e gerado pelo modelo) para o período de 1961-1990.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste gráfico (Figura 9) pode-se observar que alguns dos dados do modelo subestimam os dados observados em relação aos quartis. A média obtida para os dados observados foi de 1963,9mm. Ainda para os dados observados obteve-se uma mediana de 1901,6mm, uma amplitude de 1739,7mm, um desvio padrão de 471,7mm e um coeficiente de variação de 24% (Figura 10).

Figura 10: Precipitações (mm) anuais de 1961-1990 dos dados observados e do modelo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em relação aos dados projetados pelo modelo (Figura 10), obteve-se uma média de 1941,0mm, sendo que o ano de 1984 foi o ano que resultou a máxima precipitação atingindo 3089,9mm. Já o ano de 1973 obteve a mínima precipitação entre os anos analisados, com 1331,4mm. O modelo também resultou em uma mediana de 1869,9mm, uma amplitude de 1758,5, um desvio padrão de 438,5mm e ainda um coeficiente de variação de 22,6%.

De acordo com o gráfico representado na Figura 10 pode-se observar que no decorrer do período em análise existem anos anômalos que fogem aos limites superior e inferior ao desvio padrão da série, como é o caso dos anos de 1962, 1964, 1966, 1968, 1972, 1973, 1978, 1981, 1982, 1983, 1984 e 1987.

Nos anos de 1962, 1964, 1967 e 1984 os valores sugeridos pelo modelo superestimaram a precipitação, já os anos de 1965, 1966, 1970, 1972, 1973, 1982 e 1987, o modelo subestimou as chuvas anuais ocorridas.

O fato do modelo ter subestimado ou superestimado as precipitações pode estar relacionado com a falta de representatividade do modelo com os fenômenos de El Niño e La Niña, deste modo o modelo pode não ter conseguido representar o fenômeno.

A Tabela 1 demonstra a ocorrência do fenômeno ENOS no decorrer dos anos, sendo possível analisar se ocorreu o fenômeno El Niño ou La Niña.

Tabela 1: Classificação do fenômeno ENOS em anos.

ANOS	NOAA
1962	Neutro
1964	El Niño /La Niña
1965	El Niño /La Niña
1966	El Niño
1970	El Niño /La Niña
1972	La Niña / El Niño
1973	El Niño / La Niña
1982	El Niño
1984	La Niña
1987	El Niño

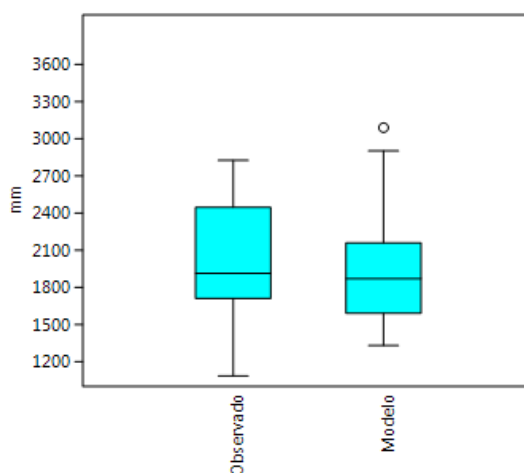
Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE (2017)

Segundo informações da CPTEC os anos de 1965, 1966, 1970, 1972, 1973, 1982 e 1987 são anos que ocorreram o fenômeno El Niño sendo que os anos de 1965, 1966 e 1987 a intensidade foi moderada e os anos de 1972, 1973 e 1982 a intensidade foi forte. Este fato pode justificar os resultados subestimados obtido pelo modelo.

Os anos de 1962, 1964, 1967 e 1984, o modelo superestimou as chuvas ocorridas, este fato pode estar relacionado a ocorrência do fenômeno La Niña, porém segundo informações obtidas da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) apenas os anos 1964 e 1984 estavam sobre influência do La Niña.

Outra ferramenta importante para entender as séries estudadas é a construção e análise dos *boxplot* das séries. Este gráfico (Figura 11) apresenta valores estatísticos como a mediana, representada pela linha interior da caixa, o 1° e 3° quartil, representados pelas linhas inferiores e superiores da caixa e os valores máximos e mínimos representados pelos “bigodes” de fora da caixa para os dados observados e para os dados do modelo.

Figura 11: Boxplot da precipitação (mm) dos totais anuais (1961-1990) dados observados e dos dados do modelo.



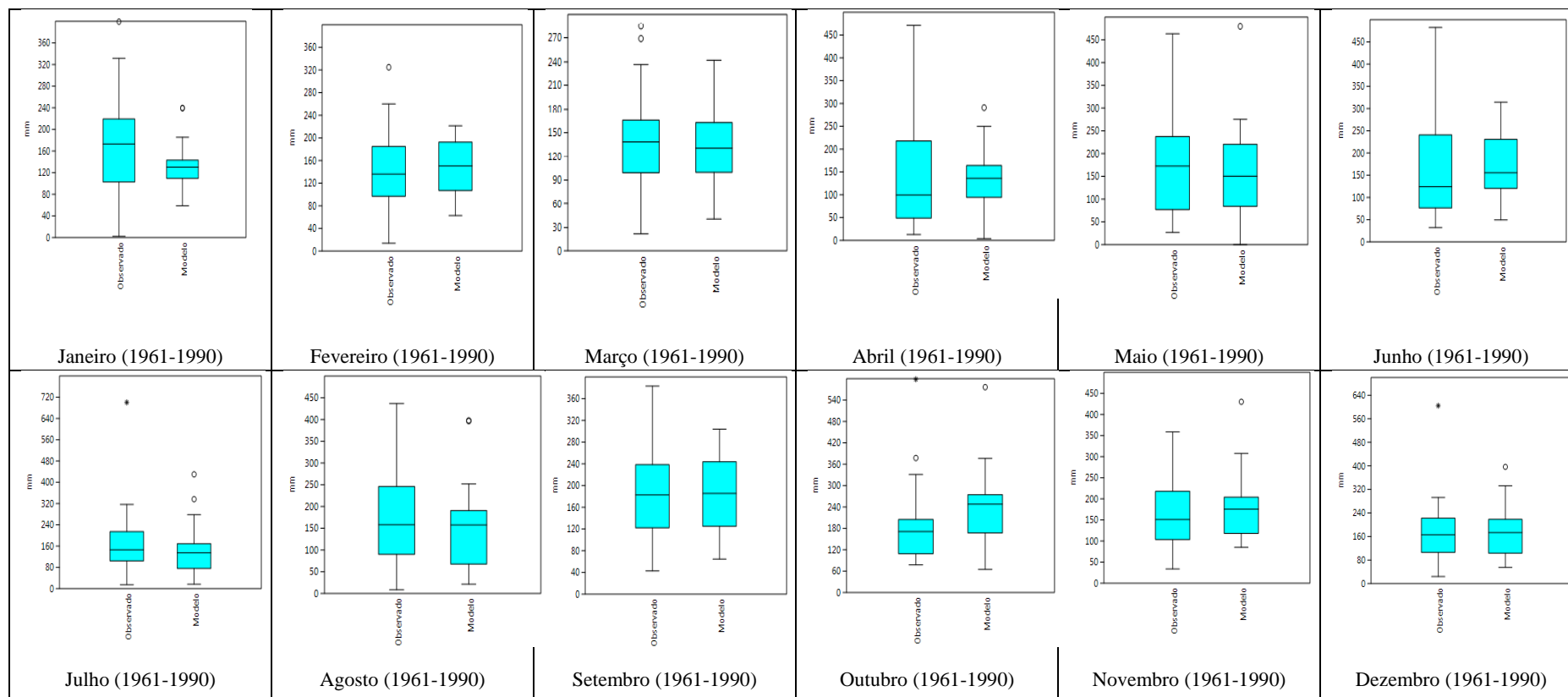
Fonte: Elaborada pelo autor.

O *boxplot* da precipitação dos dados observados e dos dados do modelo permite se observar que os dados do modelo subdimensionam os valores pluviométricos mensais.

No *boxplot* dos totais mensais de precipitação (1961-1990) dos dados observados e dos dados do modelo, pode-se observar que os meses de fevereiro, maio, julho, setembro, novembro e dezembro possuem valores semelhantes de precipitação (Figura 12).

Galvani e Luchiari (2012) chama a atenção para a classificação com escala mensal do tempo, atribuindo importância no que se refere ao regime de precipitações mês a mês auxiliando em estudos de climatologia.

Figura 12: *Boxplot* dos totais mensais de precipitação (mm) dos dados observados e dos dados do modelo (1961-1990).



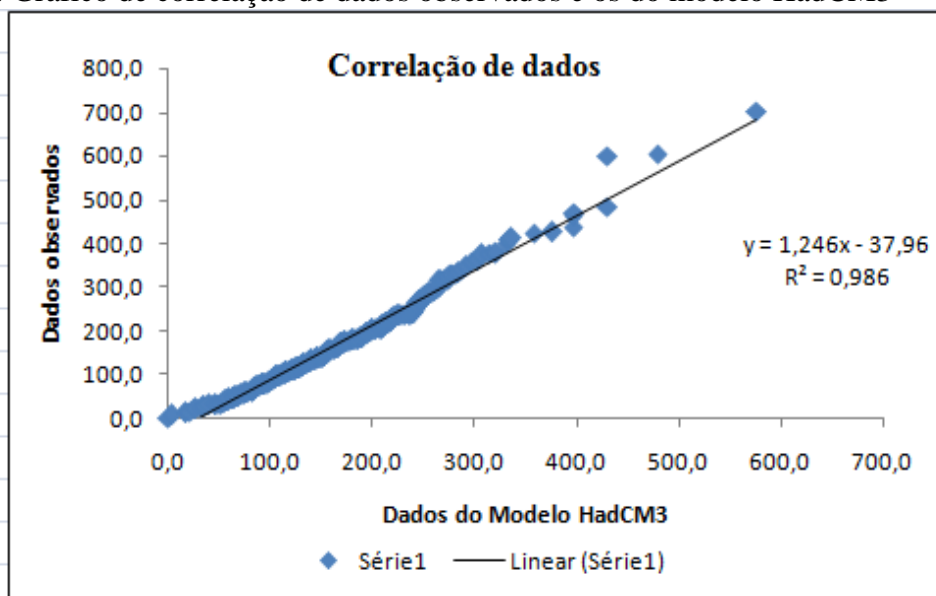
Fonte: Elaborada pelo autor.

Os meses de julho e de dezembro são os meses de menor variabilidade, já o mês de setembro possui os dados com maior simetria tanto nos dados do modelo como no observados.

Quando se relacionam valores simulados com valores observados por análise de regressão pode-se obter informações da precisão e da exatidão que, conjuntamente, indicam a consistência entre os dados estimados com os medidos. A precisão é o grau de variação de resultados de uma medição e tem como base o desvio padrão de uma série de repetições da mesma análise; esse parâmetro é dado pelo coeficiente de determinação (R^2). No entanto, o R^2 indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos. O coeficiente de determinação tem um intervalo variando entre 0 e 1, sendo que valores próximos a 1 mostram o maior proximidade do comportamento das variáveis (CAMPAROTTO et al., 2013).

A etapa de correlação entre os dados observados e dos dados propostos pelo modelo (Figura 13) resultou em um elevado coeficiente de determinação ($R^2=0,98$) demonstrando que a maior parte do conjunto dos dados são homogêneos. A partir dessa informação pode-se extrair um coeficiente de correlação $r=0,99$ entre ambas as séries. Esse teste de correlação também é um forte indicativo nessa fase de comparação e calibração dos dados.

Figura 13: Gráfico de correlação de dados observados e os do modelo HadCM3



Fonte: Elaborada pelo autor.

O teste t de *Student* foi utilizado para obter resultados de homogeneidade dos conjuntos analisados. Assim como descrito na metodologia, para a aceitação de hipótese nula (H_0), os valores obtidos (z) por meio do teste t deveriam ser $-1,96 \leq z \leq 1,96$. Deste modo, o teste demonstrou que apenas os meses de janeiro e outubro é que não foram considerados

significativos para homogeneidade, os demais conjuntos são, estatisticamente, homogêneos (Tabela 2).

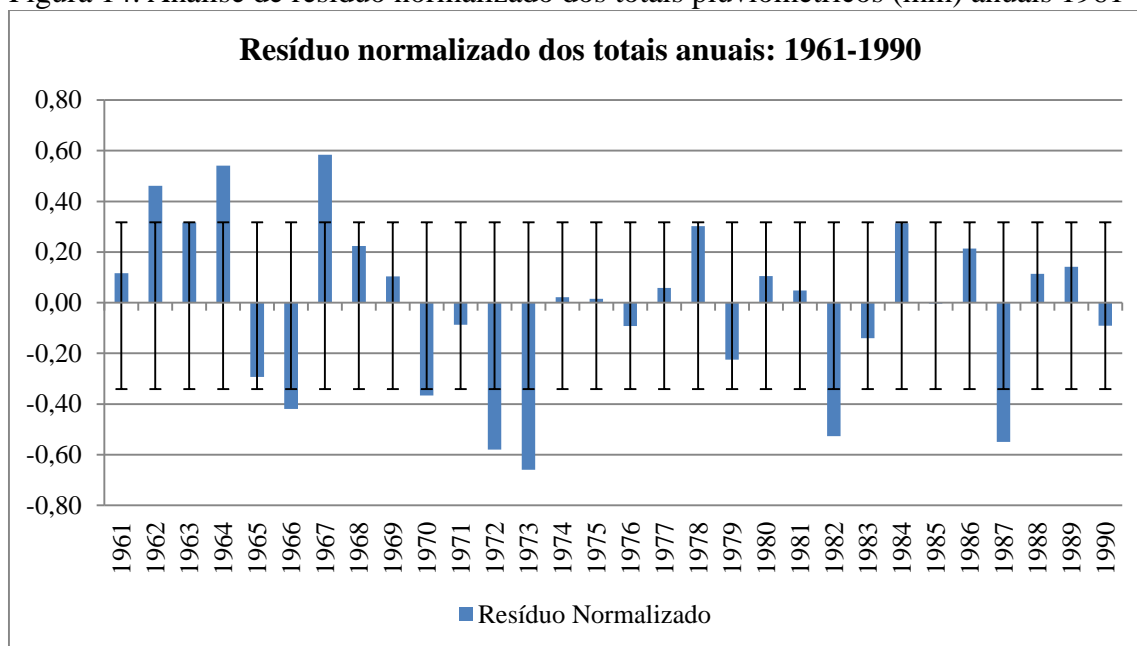
Tabela 2: Estatística (z) do Teste *t* de Student.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2,00	-0,16	0,61	-0,22	0,45	-0,22	0,68	1,33	0,46	-2,52	-1,22	-0,02

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por fim, a última etapa nessa fase de comparação entre os dados observados e os dados gerados pelo modelo consistiu na análise de resíduo. A análise realizada para os totais anuais do período de 1961-1990 (Figura 14) consistiu em subtrair os valores do modelo dos valores observados para cada ano com a finalidade de observar se o modelo subestimou ou superestimou o valor para cada ano.

Figura 14: Análise de resíduo normalizado dos totais pluviométricos (mm) anuais 1961-1990.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tendo o desvio padrão da série os limites de sua normalidade, verifica-se que o modelo subestimou os valores observados apenas para os anos de 1962, 1964 e 1967. Por outro lado, o modelo superestimou os valores pluviométricos anuais para os anos de 1966, 1970, 1972, 1973, 1982 e 1987. No entanto, ocorreram mais resíduos negativos do que positivos ao longo da série. Este fato pode estar relacionado ao fenômeno ENOS que já foi destacado anteriormente.

De um modo geral, o comportamento das simulações do modelo HadCM3/Eta/CPTEC para a precipitação, corrobora as simulações feitas por Chou et al., (2011), que analisaram o

comportamento do modelo HadCM3/Eta/CPTEC para o tempo presente (1961-1990) e identificaram que em algumas regiões da América do Sul, incluindo o Nordeste do Brasil, os membros apresentavam valores subestimados em relação aos observados.

Valverde e Marengo (2010) apontam que os modelos climáticos globais ainda não conseguem reproduzir com alto grau de confiabilidade o padrão sazonal de precipitação que a climatologia observacional apresenta. Além do mais, considerando-se que toda a técnica de regionalização ou *downscaling* contém erros derivados do modelo global, que força o modelo regional (AMBRIZZI et al., 2007), era de se esperar uma maior dificuldade do modelo em representar espacialmente a precipitação regional.

Sendo assim, após a aplicação das técnicas para comparação dos dados gerados pelo modelo com os dados observados é possível considerar que o Modelo HadCM3/Eta/CPTEC-20 Km conseguiu reproduzir razoavelmente bem a dinâmica das precipitações, entretanto o modelo pode não ter conseguido representar o fenômeno ENOS causando falhas na análise em anos que o fenômeno ocorreu.

4.2 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DOS CENÁRIOS FUTUROS

A análise da série de dados permite ainda identificar as possíveis tendências na dinâmica das precipitações no decorrer da série temporal, observando se a mesma sofrerá com uma possível elevação, manutenção ou redução dos volumes precipitados.

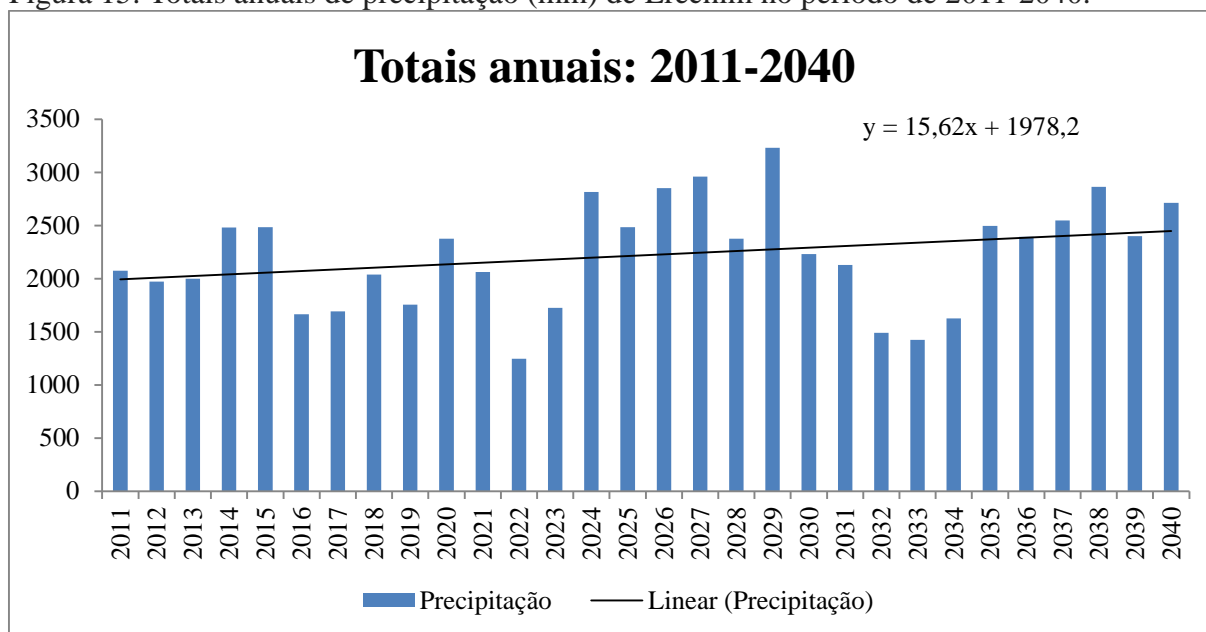
Dessa forma, serão analisadas as tendências dos totais anuais, trimestrais e mensais pluviométricos para os time-slices propostos pelo modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km.

4.2.1 Análise dos dados 2011-2040

4.2.1.1 Totais anuais 2011-2040

Na análise dos totais anuais de precipitação pode-se verificar sua tendência linear ao longo do período. No gráfico da Figura 15 é possível observar que a linha de tendência aponta uma elevação no decorrer da série.

Figura 15: Totais anuais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2011-2040.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O gráfico da Figura 15 permite observar e comparar os totais anuais de precipitação do município de Erechim no período de 2011-2040, identificando os anos com maior e menor precipitação. Os anos de 2022 (1246,3mm), 2032 (1490,9mm) e 2033 (1423,0mm) foram os anos com menores acumulados de chuvas ficando com valores abaixo de 1500mm, já os anos de 2024 (2816,7mm), 2026 (2851,3mm), 2027 (2961,5mm), 2029 (3232,4) e 2038 (2865,3mm) os acumulados de chuvas foram superiores a 2800mm.

Essa variabilidade proposta pelo modelo pode estar associada a participação das fases positiva e negativa do fenômeno ENOS. O fenômeno climático El Niño-Oscilação do Sul (ENSO) possui duas fases: a fase quente ("El Niño") e a fria ("La Niña"), que ocorrem alternativamente. Essas mudanças incluem a modificação da temperatura da superfície do mar (SST) para grandes áreas do oceano Pacífico. As mudanças na SST modificam também o clima em uma vasta área do planeta (SHEINBAUM, 2003). Segundo Grimm (2000) na região sul do Brasil o clima apresenta grandes contrastes na precipitação e temperatura devido a influência do ENOS. O tempo de retorno de ambas as fases não é bem definido, variando entre dois e sete anos

A aplicação do Teste de Mann-Kendall (SIEGEL, 1975) procurou avaliar de maneira qualitativa a tendência positiva encontrada na série analisada. De acordo com Marengo e Alves (2005) ao considerarmos o nível de significância ($\alpha=0,05$), a hipótese H_0 (que não há tendência na série, sendo estacionária a distribuição da chuva) deve ser rejeitada sempre que $-1,96 < MK$

$< +1,96$. Desta forma, em função do coeficiente encontrado ($MK=1,78$), não podemos rejeitar a hipótese H_0 , de que a tendência não é significativa para mudança de comportamento.

Tabela 3: Resultado da análise de tendência dos total anual da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Total anual	1,78	Positiva NS

NS: tendência não significativa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

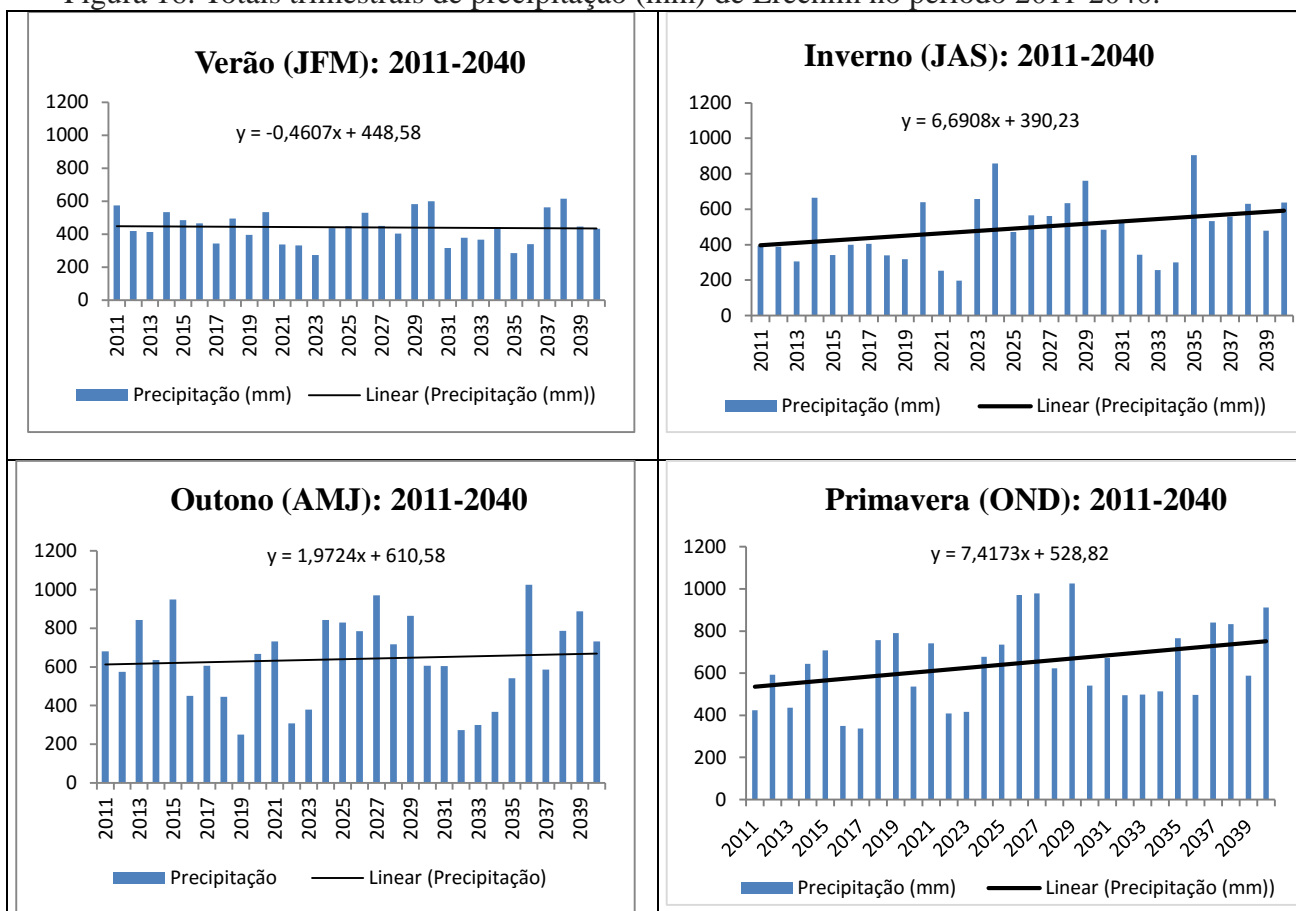
4.2.1.2 Totais trimestrais 2011-2040

Na Figura 16 é possível observar e analisar os totais trimestrais que representam as estações do ano, onde o verão está representado pelos meses de janeiro, fevereiro e março, os meses de abril, maio e junho correspondem ao outono, julho, agosto e setembro ao inverno e outubro, novembro e dezembro a primavera.

Deste modo a Figura 16 apresenta os gráficos onde foram plotados os totais trimestrais referentes as estações do ano para análise de sua dinâmica no decorrer da série.

Observa-se que na estação do verão (JFM) a tendência linear da série praticamente não sofreu alteração, porém demonstrou uma leve tendência negativa. Já as estações outono (AMJ), inverno (JAS) e primavera (OND) a tendência linear da série foi positiva (crescente), principalmente no inverno e na primavera.

Figura 16: Totais trimestrais de precipitação (mm) de Erechim no período 2011-2040.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Figura 16 pode-se observar que as maiores precipitações ocorreram no período que corresponde a primavera, cujo maior volume encontrado foi de 1025,6 no ano de 2029. Também foi na primavera que obteve-se a maior média de acumulados de chuvas, atingindo uma média 643,79mm nos três meses (OND) que correspondem a estação, no período de 2011-2040.

O menor volume foi encontrado no ano de 2022 com uma precipitação de 196,5mm na estação do inverno. Já as menores médias de volume de chuva correspondem a estação do verão, com uma média de 441,44mm nos três meses (JFM) para o mesmo período (2011-2040).

Igualmente, como foi proposto por Marengo e Alves (2005) e Folhes e Fisch (2006), ao considerarmos o nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$) deveríamos aceitar a hipótese H_0 (que não há tendência na série, sendo está estacionária) sempre que $-1,96 < MK < +1,96$.

Em função dos coeficientes encontrados na tabela pode-se afirmar que as séries trimestrais analisadas não apresentam tendência significativa, confirmando a hipótese H_0 . A Tabela 4 demonstra o resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os totais trimestrais da série.

Tabela 4: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Verão (JFM)	0,43	Negativa NS
Outono (AMJ)	0,32	Positiva NS
Inverno (JAS)	1,36	Positiva NS
Primavera (OND)	1,78	Positiva NS

NS: tendência não significativa.

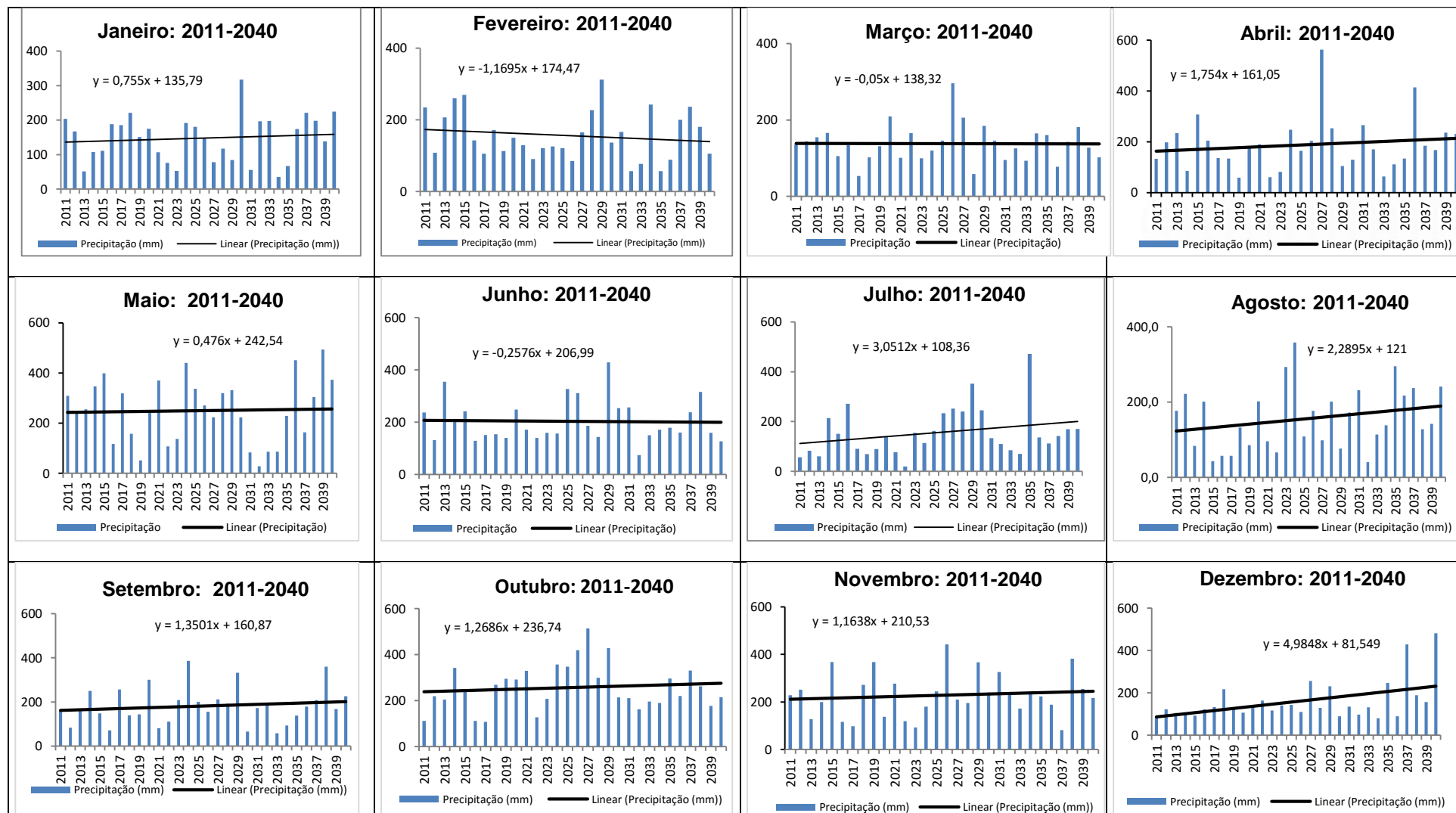
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.1.3 Totais mensais 2011-2040

A análise da tendência dos totais mensais permite concluir que no decorrer dos anos de 2011-2040 ocorreram modificações nos acumulados da precipitação que influenciariam de forma significativa o clima da região de Erechim.

A Figura 17 apresenta os gráficos dos totais mensais de chuva para o período de 2011-2040, bem como as curva de tendência

Figura 17: Totais mensais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2011-2040.



Fonte: Elaborada pelo autor

A análise da tendência linear da série aponta para uma leve tendência negativa para os meses de fevereiro, março e junho, e positiva para os meses de janeiro, abril, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro.

O mês que apresentou o maior volume acumulado de precipitação no período de 2011-2040 foi abril com 562,2mm no ano de 2027, seguido do mês de outubro com 513,7mm (2027) e de maio com 493,1mm (2039). As menores precipitações acumuladas ocorreram no mês de julho com 19,6mm no ano de 2022, seguido do mês de maio com 28,3mm (2032) e do mês de janeiro com 35,6mm (2034).

A maior média encontrada neste time-slice ocorreu no mês de outubro com 256,40mm, seguida do mês de maio com 249,92mm. Já a menor média foi obtida no mês de março com 137,61mm, seguida do mês de janeiro com 147,49mm.

A aplicação do Teste de Mann-Kendall (Tabela 5) permite avaliar de forma qualitativa se as tendências lineares encontradas são significativas ou não. Neste caso apenas o mês de dezembro foi significativo (MK=2,25).

Tabela 5: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Janeiro	0,54	Positiva NS
Fevereiro	0,82	Negativa NS
Março	0,41	Negativa NS
Abril	0,71	Positiva NS
Maió	0	
Junho	0,18	Negativa NS
Julho	1,89	Positiva NS
Agosto	1,71	Positiva NS
Setembro	0,77	Positiva NS
Outubro	0,61	Positiva NS
Novembro	0,36	Positiva NS
Dezembro	2,25	Positiva significativa

NS: tendência não significativa.

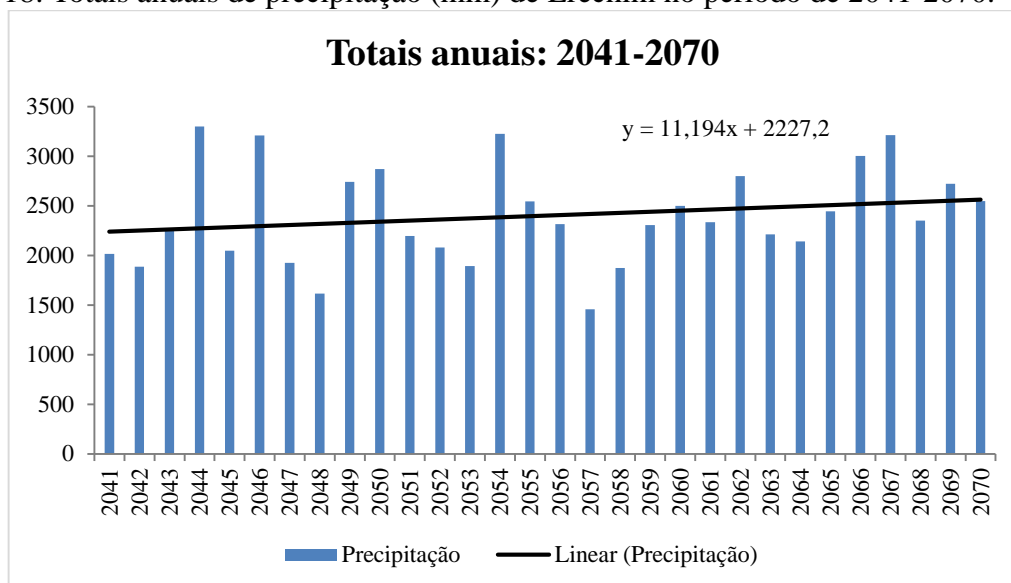
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.2 Análise dos dados 2041-2070

4.2.2.1 Totais anuais 2041-2070

Os totais anuais de precipitação encontrados para o período de 2041-2070 demonstram que a linha de tendência aponta para uma elevação no decorrer da série.

Figura 18: Totais anuais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2041-2070.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os anos de 2044 (3301,5mm), 2046 (3208,7mm), 2054 (3225,3mm), 2066 (3003,2mm) e 2067 (3212,5mm), foram os anos com maiores acumulados de precipitação, todos atingindo volumes superiores a 3000mm. Em contrapartida os anos de 2042 (1886,7mm), 2047 (1923,6mm), 2048 (1615,3mm), 2053 (1894mm), 2057 (1458,1mm) e 2058 (1872,4mm) foram os anos com menores precipitações. Deste modo o maior acumulado de precipitação foi obtido no mês de junho do ano de 2054 com 600,1mm, seguida do mês de novembro do ano de 2044 com 568,1mm. Já o menor volume de precipitação foi de 6,2mm no mês de junho do ano de 2048, seguida do mês de março de 2049 com 14,2mm.

Deste modo observa-se que o mês de junho resultou o maior e o menor acumulado de chuva no período de 2041-2070.

A maior média encontrada para este time-slice foi de 276,64mm no mês de outubro, seguido do mês de novembro com 275,81mm.

Na Tabela 6 pode-se observar que a tendência do total anual encontrada na série foi positiva, porém não significativa (MK=1,50).

Tabela 6: Resultado da análise de tendência dos totais anuais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Total anual	1,50	Positiva NS

NS: tendência não significativa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

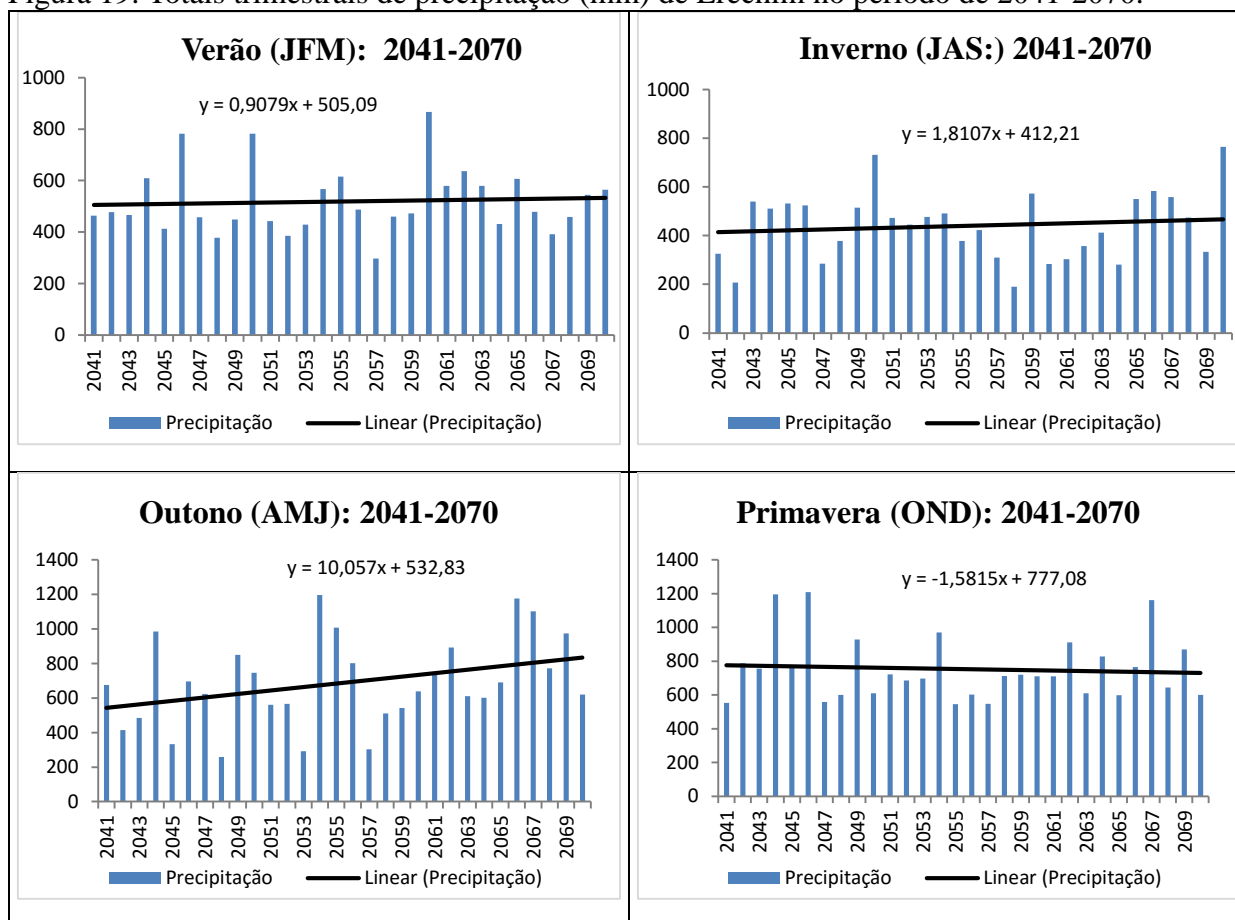
O modelo sugere que no time-slice 2041-2070 haveria, ao menos, cinco anos com acumulado de precipitações superiores a 3000 mm. As causas para esses anos muito chuvosos podem estar associados a possível intensificação da componente positiva do fenômeno ENOS (El Niño). A verificação da possível participação desse fenômeno poderá ser feita analisando-se os totais pluviométricos trimestrais para o período.

4.2.2.2 Totais trimestrais

A Figura 19 apresenta os gráficos onde foram plotados os totais trimestrais referentes as estações do ano para análise de sua dinâmica no decorrer da série no período de 2041-2070.

Observa-se na Figura 19 que na estação da primavera (OND) a tendência linear da série praticamente não sofreu alteração, porém demonstrou uma leve tendência negativa. Já as estações outono (AMJ), inverno (JAS) e verão (JFM) a tendência linear da série foi crescente principalmente no outono (AMJ).

Figura 19: Totais trimestrais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2041-2070.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 7 pode-se observar que as tendências encontradas nas estações verão, outono e inverno foram positivas porém não significativas, já na primavera a tendência foi negativa e não significativa também.

Tabela 7: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Verão (JFM)	0,55	Positiva NS
Outono (AMJ)	1,75	Positiva NS
Inverno (JAS)	0,14	Positiva NS
Primavera (OND)	0,12	Negativa NS

NS: tendência não significativa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

No entanto, mesmo sendo considerada como não significativa pelo Teste MK, a estação do outono demonstrou tendência de aumento nas precipitações. Outonos muito chuvosos podem estar associados a modificações na dinâmica atmosférica associadas às mudanças

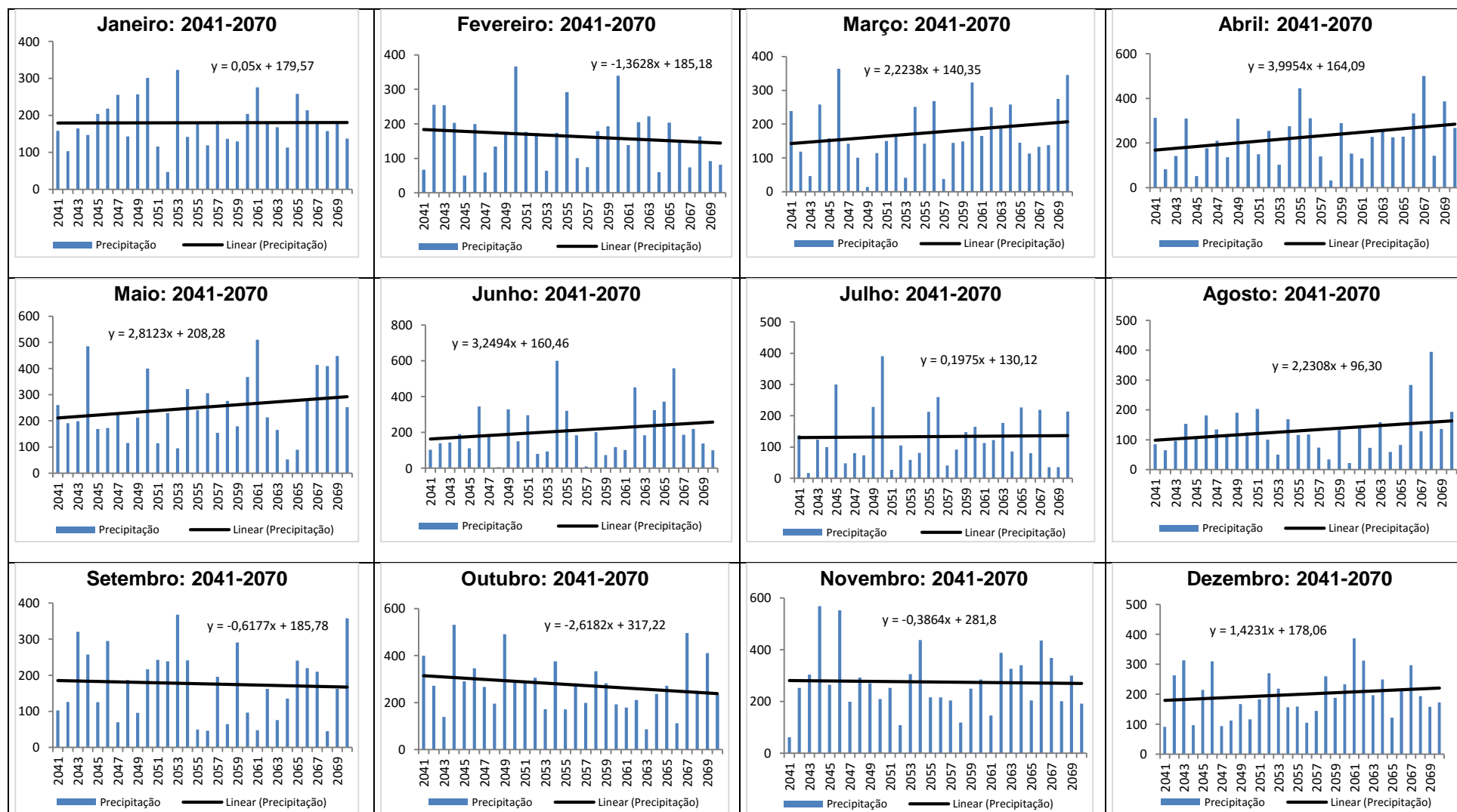
climáticas. Um exemplo das mudanças pode estar associado ao maior tempo de permanência de sistemas estacionários sobre a região Sul do país como os estudados por Sanches et al (2015).

4.2.2.3 Totais mensais 2041-2070

Os gráficos da Figura 20 possibilitam a análise da dinâmica das precipitações mensais para o período de 2041-2070, além das linhas de tendência.

Os meses de janeiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto e dezembro demonstraram uma tendência positiva, em contrapartida os meses de fevereiro, setembro, outubro e novembro obtiveram uma linha de tendência negativa.

Figura 20: Totais mensais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2041-2070.



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com a Figura 20, pode-se observar que no mês de janeiro a precipitação atingiu 6 vezes a precipitação acumulada superior a 255mm, sendo que em 2047 a precipitação foi de 255,5mm, em 2049 (256,9mm), 2050 (301,7mm), 2053 (322,9mm), 2061 (276,2mm) e 2065 (258,4mm). O maior volume acumulado no mês de fevereiro ocorreu no ano de 2050 com 366,4mm, já o menor volume obtido foi no ano de 2045 (49,9mm). No mês de março o maior volume encontrado foi no ano de 2046 (363,8mm), já o menor acumulado foi de 14,2mm no mês de 2049. No mês de abril a variação entre o maior volume encontrado (500,7mm- ano 2067) e o menor volume (32,3mm-ano 2058) foi de 533mm. O mês de maio obteve dois acumulados superiores a 480mm, no ano 2044 (485,5mm) e no ano de 2061(510,1mm).

No mês de junho de 2054 foi obtido a maior precipitação acumulada entre os meses dos anos de 2041 a 2070 com de 600,1mm. No mês de agosto a maior precipitação foi encontrada no ano de 2068 (394mm), setembro obteve 368,1mm em 2053, em outubro as maiores chuvas foram encontradas no ano de 2044 (531,1mm), novembro a maior precipitação foi de 568,1mm no ano de 2044, já em dezembro o maior volume foi encontrado em 2061 com 386,6mm.

Os resultados para esse time-slice sugerem que as precipitações mensais superiores a 200 mm serão muito comuns, exceto no mês de agosto. Destaca-se, mais uma vez, os meses de março, abril, maio e junho, pois suas tendências mostraram-se positivas ao longo do período.

Essa frequência de chuvas mais intensas pode estar associada, como já dito anteriormente, a permanência de sistemas atmosféricos estacionários por períodos maiores de tempo (SANCHES et al., 2015).

Conforme a Tabela 8 demonstra, a análise de tendência dos totais mensais da série temporal 2041-2070, com nível de confiança de 95%, apenas os meses de fevereiro, setembro, outubro e novembro obtiveram uma tendência negativa, já nos demais meses a tendência foi positiva.

Através da aplicação do Teste de Mann-Kendall foi possível avaliar que a tendência não foi significativa no período em análise.

Tabela 8: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Janeiro	0,12	Positiva NS
Fevereiro	0,66	Negativa NS
Março	1,16	Positiva NS
Abril	1,57	Positiva NS
Mai	1,03	Positiva NS
Junho	0,82	Positiva NS
Julho	0,32	Positiva NS
Agosto	0,93	Positiva NS
Setembro	0,54	Negativa NS
Outubro	1,34	Negativa NS
Novembro	0,04	Negativa NS
Dezembro	1,03	Positiva NS

NS: tendência não significativa.

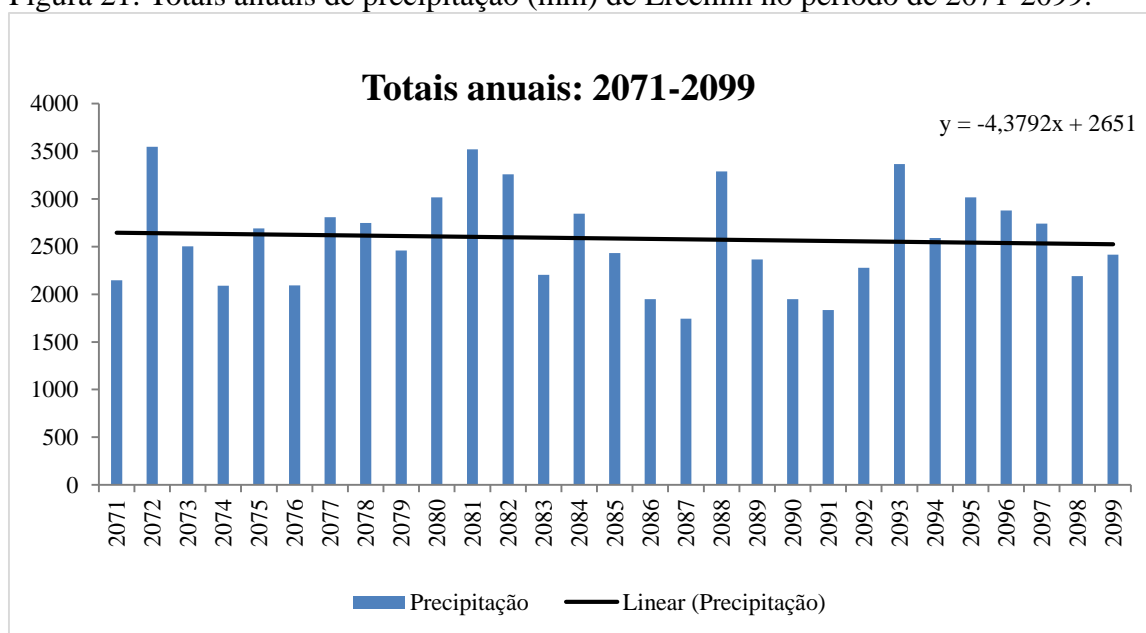
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.3 Análise dos dados 2071-2099

4.2.3.1 Totais anuais 2071-2099

Os totais anuais de precipitação encontrados para o período de 2071-2099 demonstram que a linha de tendência aponta para um declínio no decorrer da série.

Figura 21: Totais anuais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2071-2099.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 9 pode-se observar que a tendência anual foi negativa e não significativa.

Tabela 9: Resultado da análise de tendência dos totais anuais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Total anual	0,32	Negativa NS

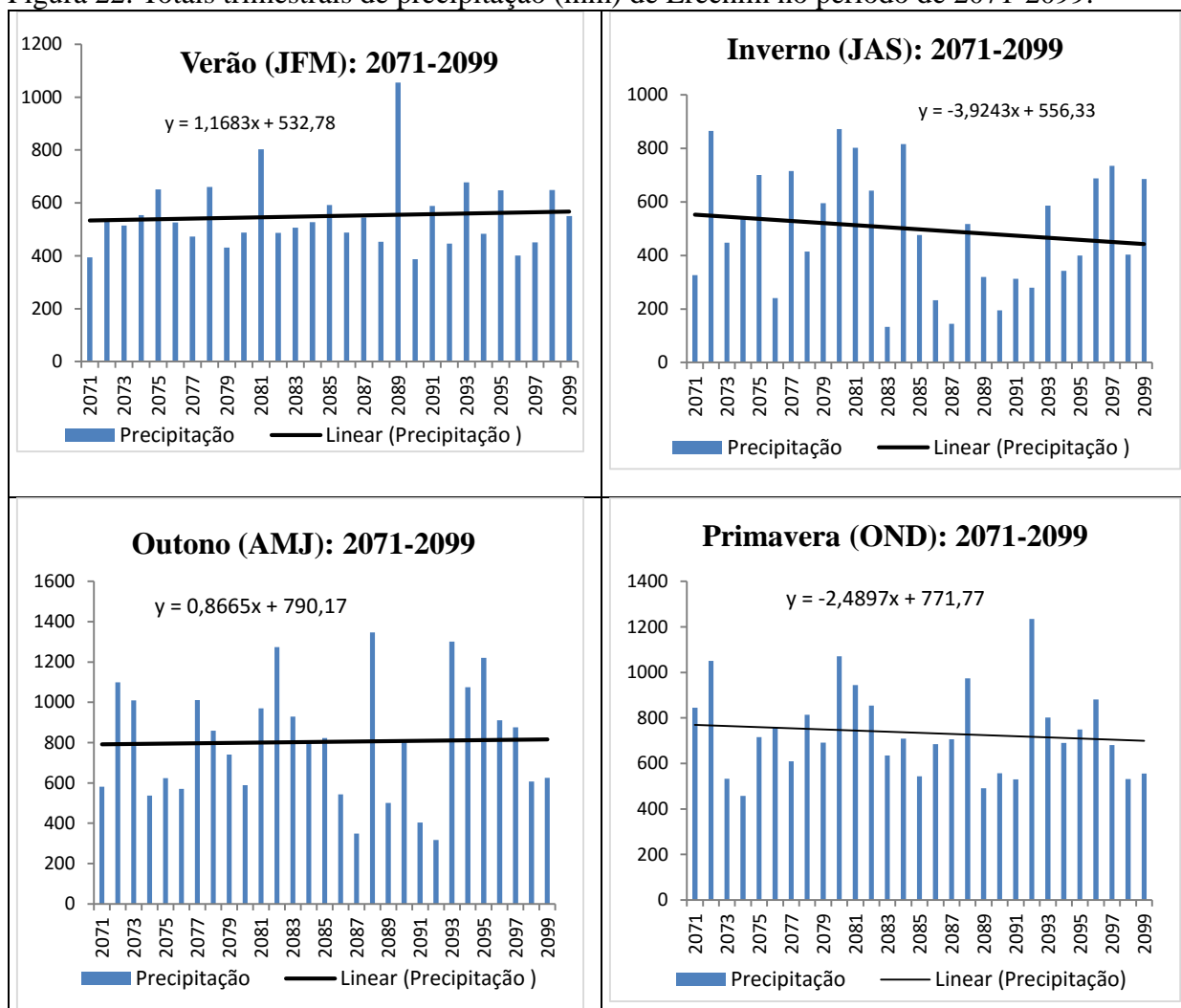
NS: tendência não significativa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.3.2 Totais trimestrais 2071-2099

Os gráficos da Figura 22 possibilitam a análise da dinâmica das precipitações trimestrais para o período de 2071-2099, além das curvas de tendência.

Figura 22: Totais trimestrais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2071-2099.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A maior média encontrada entre as estações no período de 2071-2099 foi no outono (AMJ) com 803,16mm, seguido da primavera (OND) com 734,4mm e do verão (JFM) com 550,3mm, já a menor média foi no inverno (JAS) com 497,4mm.

Na Tabela 10 pode-se observar que as estações verão (JFM) e outono (AMJ) possuem tendência positiva, no entanto o inverno (JAS) e a primavera (OND) possuem tendência negativa. Ambas as estações demonstraram tendência não significativa.

Tabela 10: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Verão (JFM)	0,09	Positiva NS
Outono (AMJ)	0,09	Positiva NS
Inverno (JAS)	0,51	Negativa NS
Primavera (OND)	1,06	Negativa NS

NS: tendência não significativa.

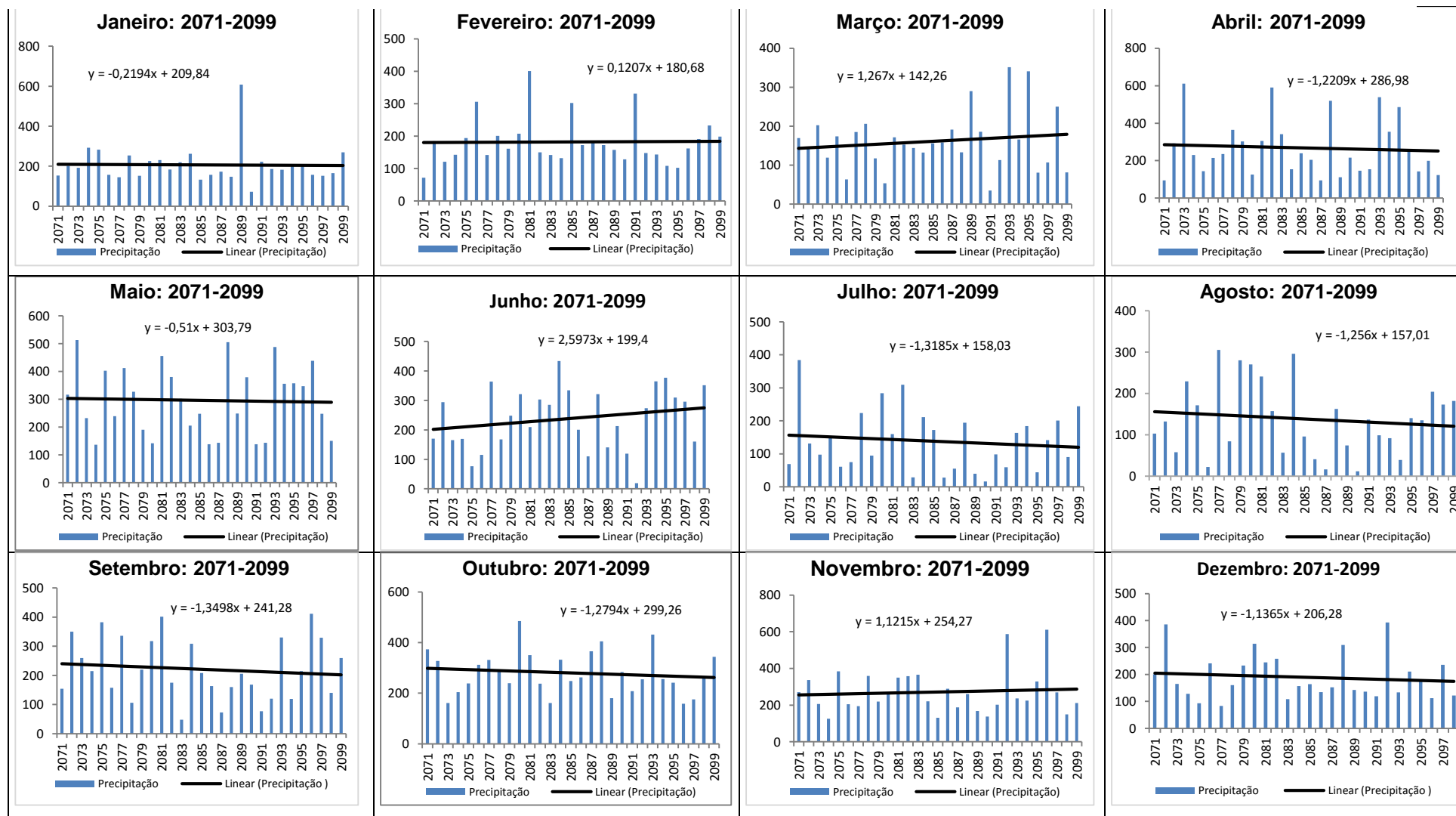
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.3.3 Totais mensais 2071-2099

Os gráficos da Figura 23 possibilitam a análise da dinâmica das precipitações mensais para o período de 2071-2099, além das linhas de tendência.

Os meses de fevereiro, março, junho e novembro demonstraram uma tendência positiva, já os meses de janeiro, abril, maio, julho, agosto, setembro, outubro e dezembro obtiveram uma linha de tendência negativa.

Figura 23: Totais mensais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2071-2099.



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com a Figura 23, o mês que resultou a maior média de chuva foi maio com 296,14mm, sendo que no mesmo mês, o maior acumulado foi de 513,2mm no ano de 2072 e o menor volume foi no ano de 2074 com 136,6mm. Já o mês com a menor média de chuva foi agosto com 138,17mm, no mesmo mês também foi encontrado o menor volume de precipitação, 11,4mm no ano de 2090. O maior acumulado de chuva ocorreu no mês de novembro do ano de 2096 com 611,2mm.

A Tabela 11 possui o resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Assim como nos demais gráficos, o considerarmos o nível de significância ($\alpha=0,05$), a hipótese H_0 (que não há tendência na série, sendo estacionária a distribuição da chuva) deve ser rejeitada sempre que $-1,96 < MK < +1,96$. Desta forma, em função dos coeficientes encontrados não podemos rejeitar a hipótese H_0 , sendo assim todos os meses possuem tendência não significativa.

Tabela 11: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Janeiro	0,53	Negativa NS
Fevereiro	0,21	Positiva NS
Março	0,02	Positiva NS
Abril	0,47	Negativa NS
Mai	0,13	Negativa NS
Junho	1,18	Positiva NS
Julho	0,21	Negativa NS
Agosto	0,28	Negativa NS
Setembro	0,68	Negativa NS
Outubro	0,39	Negativa NS
Novembro	0,21	Positiva NS
Dezembro	0,73	Negativa NS

NS: tendência não significativa.

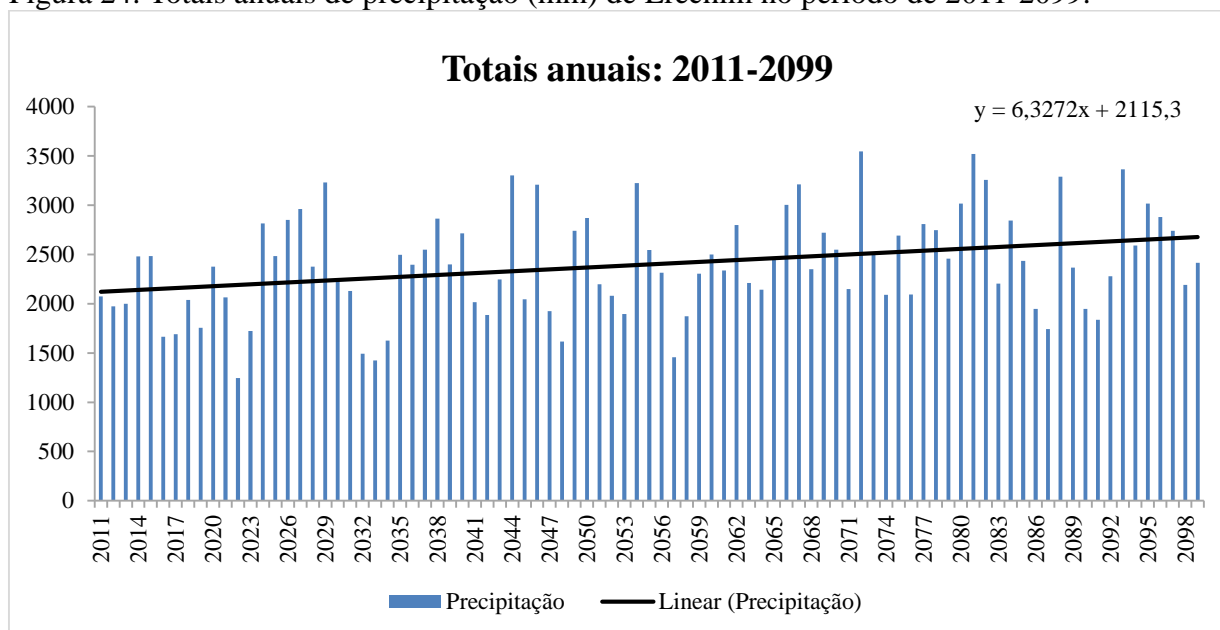
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.4 Análise dos dados 2011-2099

4.2.4.1 Totais anuais 2011-2099

Através da análise dos totais anuais de precipitação da série Erechim foi verificada sua tendência linear ao longo do período. No gráfico da Figura 24 é possível se observar que a linha de tendência aponta para uma elevação no decorrer da série.

Figura 24: Totais anuais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2011-2099.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na série em estudo foi possível observar que ocorreram 13 picos de precipitação acumulada superior a 3000 mm, sendo que os mesmos ocorreram nos anos 2029 (3232,4mm), 2044 (3301,5mm), 2046 (3208,7mm), 2054 (3225,3mm), 2066 (3003,2mm), 2067 (3212,5mm), 2072 (3546,3mm), 2080 (3017,9mm), 2081 (3519,8mm), 2082 (3256,9mm), 2088 (3290mm), 2093 (3365,8mm), 2095 (3016,5mm).

Muito embora a variabilidade seja mantida (anos mais chuvosos, anos menos chuvosos), a análise dos totais anuais 2011-2099 demonstra aumento nos totais anuais ao longo do século XXI, sobretudo dos anos mais chuvosos. O modelo sugeriu um incremento de 550 mm nos totais anuais ao final dos 88 anos da série.

Com a aplicação do Teste de Mann-Kendall (SIEGEL, 1975) foi possível encontrar a tendência, sendo que para esta série em análise a mesma foi positiva. Em função do coeficiente encontrado (MK=2,90) a tendência foi considerada significativa (Tabela 12).

Dessa forma, analisando os totais anuais da série 2011-2099 é possível considerar que o aumento nas precipitações anuais projetados pelo modelo podem ser considerados como associados as mudanças climáticas.

Tabela 12: Resultado da análise de tendência dos total anual da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Total anual	2,90	Positiva Significativa

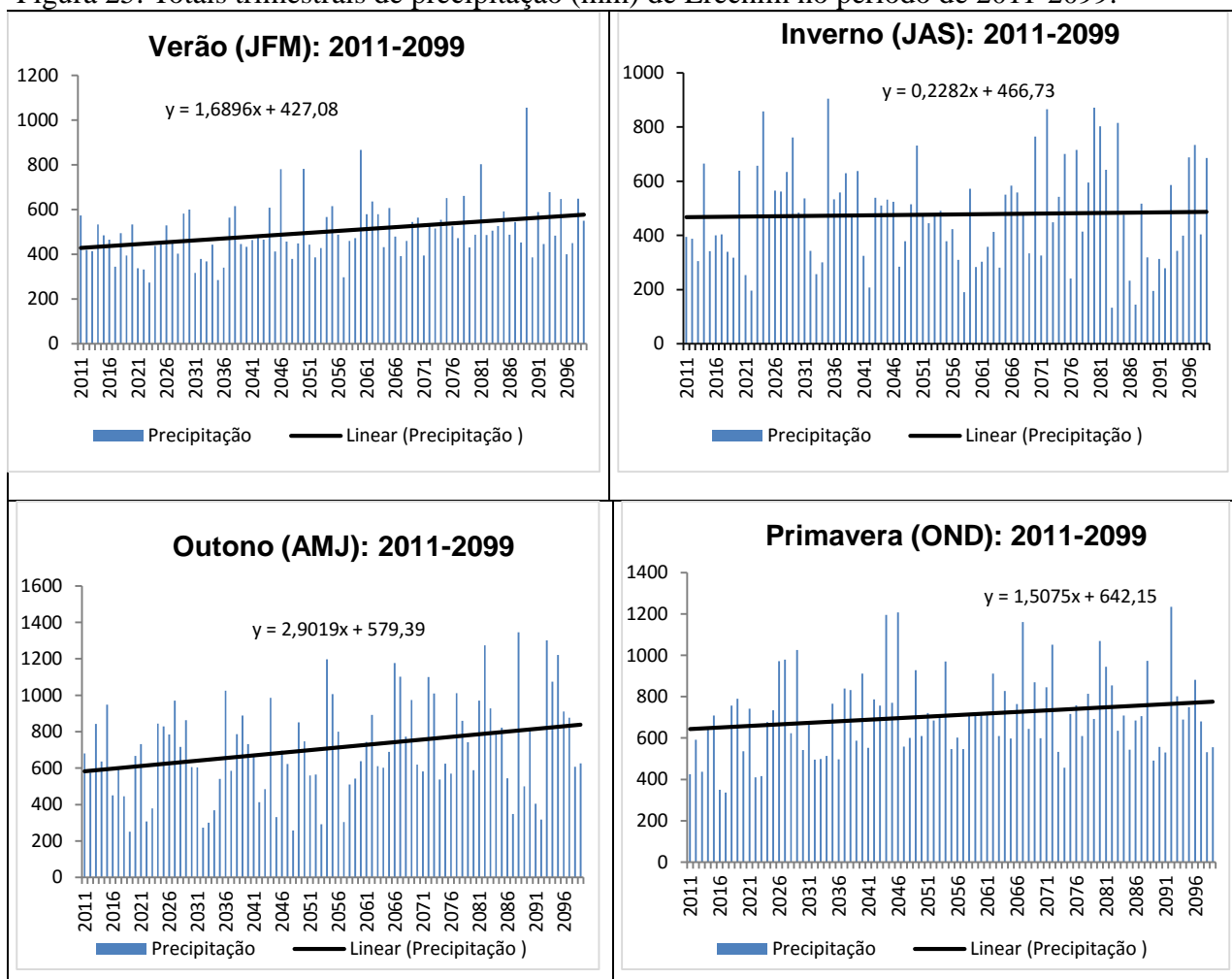
Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2.4.2 Totais trimestrais 2011-2099

A análise do somatório dos trimestrais relativos às estações do ano permitiu observar que no decorrer do período de 88 anos ocorreram mudanças nas precipitações.

A Figura 25 apresenta os gráficos dos totais trimestrais referentes ao verão (JFM), outono (AMJ), inverno (JAS) e primavera (OND) no período de 2011-2099.

Figura 25: Totais trimestrais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2011-2099.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise das tendências lineares apontaram para uma tendência positiva em todas as estações da série em estudo.

Os resultados do modelo sugerem um incremento médio de 147,0 mm no verão, 252,5 mm no outono, 19,9 mm no inverno e 131,2 mm na primavera ao final do século XXI.

A Tabela 13 mostra o resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os totais trimestrais da série Erechim.

Tabela 13: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Verão (JFM)	3,28	Positiva Significativa
Outono (AMJ)	2,27	Positiva Significativa
Inverno (JAS)	0,13	Positiva NS
Primavera (OND)	1,7	Positiva NS

NS: tendência não significativa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

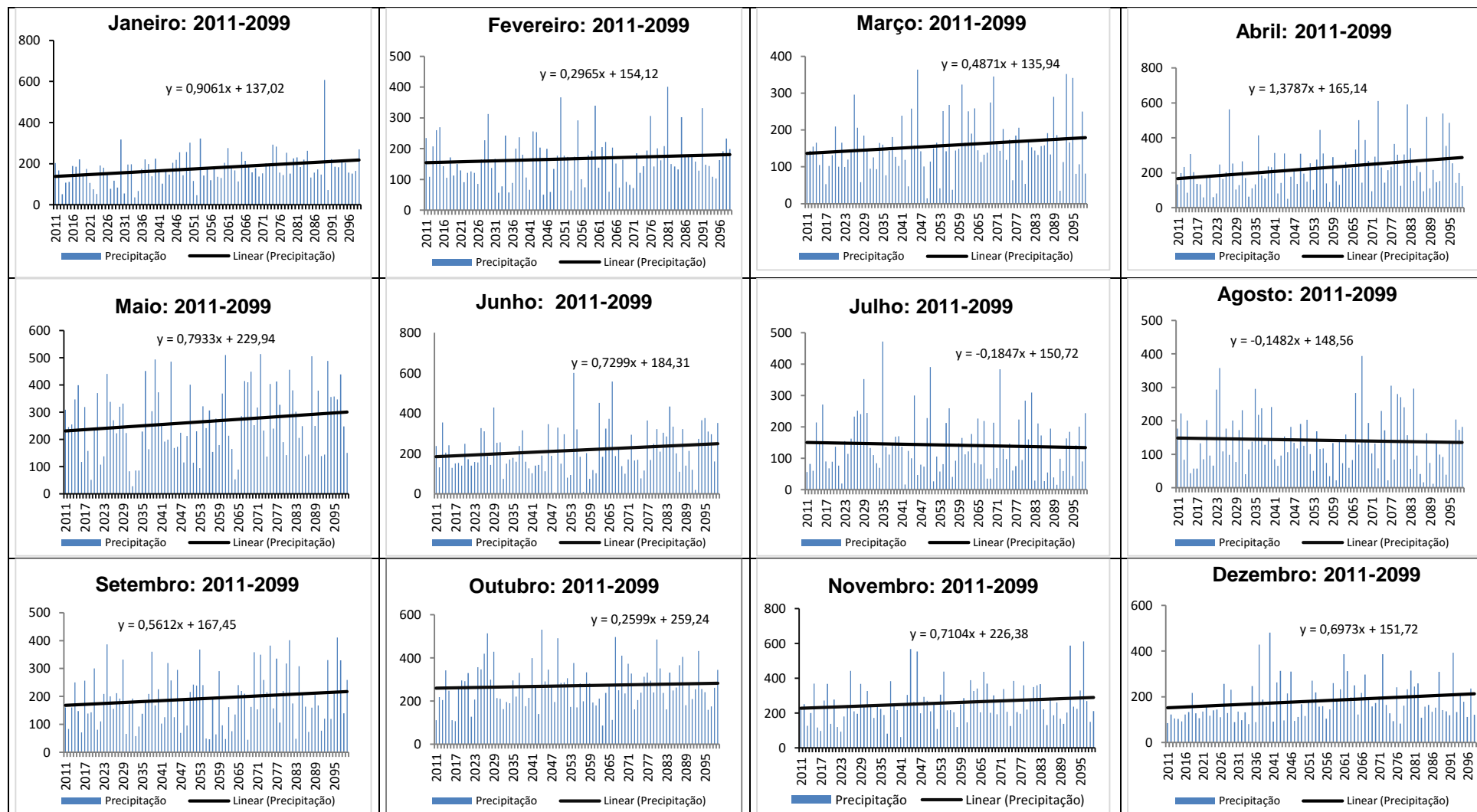
As trimestrais que correspondem às estações verão (JFM) e outono (AMJ) demonstraram tendência positiva e significativa ($MK=3,28$ e $MK=2,27$), já as estações inverno (JAS) e primavera resultaram tendência positiva, porém não significativa ($MK=0,13$ e $MK=1,7$).

4.2.4.3 Totais mensais 2011-2099

A Figura 26 apresenta os gráficos das precipitações mensais para o período de 2011-2099, bem como suas respectivas tendências lineares.

Os valores encontrados apontam para uma variabilidade nos totais mensais, alternando anos muito chuvosos e anos menos chuvosos. Os meses de julho e agosto apontaram para uma leve tendência linear negativa (decrecente), os demais meses demonstraram uma linha de tendência linear positiva (crescente), ou seja, um incremento nas pluviosidades mensais ao longo do século XXI.

Figura 26: Totais mensais de precipitação (mm) de Erechim no período de 2011-2099 .



Fonte: Elaborada pelo autor.

A maior média encontrada entre os anos de 2011-2099 ocorreu no mês de outubro com 270,94mm, o mês que resultou a menor média foi agosto com 141,88mm. O maior acumulado de chuva ocorreu no mês de novembro do ano de 2096, com 611,2mm, seguido do mês de abril com 611,1mm (2073) e do mês de janeiro com 608mm (2089). Já o menor volume encontrado foi no mês de junho com 6,2mm do ano de 2048, seguido do mês de agosto com 11,4mm (2090) e do mês de março com 14,2mm (2049).

Ao longo de toda a série de dados mensais é possível observar a ocorrência de meses muito chuvosos intercalados com a tendência de aumento na maior parte dos meses. Novamente, fica evidente a intensificação das chuvas mensais nos meses de abril (119,9 mm), maio (69,0 mm) e junho (63,5 mm) até o final do século XXI, ou seja, aumento das chuvas nos meses de outono.

A Tabela 14 que possui o resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal com nível de confiança de 95% demonstra que os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro possuem tendência positiva, já apenas, os meses de julho e agosto resultaram uma tendência negativa.

Seguindo a metodologia proposta e desenvolvida ao longo do trabalho, ao considerarmos o nível de significância ($\alpha=0,05$), a hipótese H_0 (que não há tendência na série, sendo estacionária a distribuição da chuva) deve ser rejeitada sempre que $-1,96 < MK < +1,96$. Desta forma, em função dos coeficientes encontrados apenas os meses de janeiro (MK=2,58), abril (MK=2,52) e dezembro (MK=2,48) resultaram em uma tendência significativa, os demais meses obtiveram uma tendência não significativa.

Tabela 14: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha=0,05$)
Janeiro	2,58	Positiva Significativa
Fevereiro	0,79	Positiva NS
Março	1,42	Positiva NS
Abril	2,52	Positiva Significativa
Maió	1,38	Positiva NS
Junho	1,49	Positiva NS
Julho	0,40	Negativa NS
Agosto	0,35	Negativa NS
Setembro	1,20	Positiva NS
Outubro	0,60	Positiva NS
Novembro	1,20	Positiva NS
Dezembro	2,48	Positiva Significativa

NS: tendência não significativa.

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa se propôs, como objetivo geral analisar as projeções climáticas futuras para as precipitações pluviométricas e sua relação com a possível mudança no regime pluviométrico para Erechim (RS), no século XXI. O referencial teórico do presente trabalho buscou evidências científicas sobre as mudanças climáticas e sua relação com a precipitação e para o município em estudo, envolvendo estudos do IPCC e seus relatórios científicos (AR).

Na metodologia a obtenção dos dados pluviométricos foi oriundo do modelo climático HadCM3/Eta/CPTEC. A análise dos dados consistiu em agrupar os dados diários gerados pelo modelo para o período de 1961-1990 em totais mensais e anuais para, em seguida, compará-los com os dados pluviométricos observados para Erechim.

Para comparar os dados observados e os dados de saída do modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km foi aplicado parâmetros de estatística descritiva em ambos os conjuntos de dados, os totais mensais foram submetidos à técnica do *Boxplot* para comparação entre os conjuntos. O coeficiente de determinação, a Correlação de Pearson e o Teste *t* de *Student* foram aplicados a ambos os conjuntos de dados.

Para a análise de tendência dos cenários futuros dos dados projetados pelo Modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 20 km foi utilizado o teste estatístico de Mann-Kendall (MK).

Sendo assim, as tendências anuais, trimestrais e mensais dos times-slices propostos sugerem que as precipitações aumentariam no decorrer do século XXI, principalmente na estação do outono. Esta proposta de aumento representa boas perspectivas quanto a disponibilidade hídrica por meio das precipitações e, conseqüentemente, para a conservação do volume de água nos reservatórios e mananciais hídricos.

Apesar das análises demonstrarem que no decorrer da série as precipitações irão aumentar, este aumento, como já mencionado anteriormente, irá ocorrer no outono. No entanto, este aumento pode sofrer com variações anuais alternando anos em que a estação seria mais chuvosa e outros anos mais secos. Esta alternância possivelmente terá relação com os anos sob efeito do fenômeno ENOS, em sua fase positiva ou negativa.

Os resultados demonstrados revelam a importância da utilização de modelos regionais e as influências que os mesmos apresentam em relação às características locais.

Espera-se que, os resultados obtidos sobre as precipitações no decorrer das séries possam continuar a servir como base para a análise dos cenários climáticos futuros.

Deste modo, julga-se necessário a continuidade dos estudos para compreender as mudanças climáticas para o século XXI, considerando-se que somente após se ter conhecimento sobre estes cenários pode-se buscar medidas para minimizar os danos caso os mesmos vierem a surgir.

Os frequentes cenários de estiagens que já afetaram a região de Erechim demonstram a importância de serem realizados estudos que buscam minimizar os danos causados pela falta de chuva, principalmente quando a mesma compromete a disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, o abastecimento humano.

As informações levantadas neste trabalho possibilitam que ações de planejamento sejam implantadas no município, buscando ferramentas que auxiliem na melhor adaptação e mitigação dos impactos gerados pelas mudanças climáticas .

Sugere-se, que ocorra a continuidade dos trabalhos, com a finalidade de ampliar a área de conhecimento neste campo de pesquisa, uma vez que, as mudanças climáticas influenciam de forma direta os diferentes setores, sejam eles econômicos, ambientais e ainda sociais.

Com trabalhos futuros, recomenda-se que sejam desenvolvidos estudos englobando o papel das temperaturas nos processos de evapotranspiração utilizando-se dados observados e dados de modelagem climática.

REFERÊNCIAS

- ALVES, B.J.M.; CAMPOS, N.B. J.; ASSIS, F. F.; MONCUNNIL, D.F.; SILVA, E. M.; BARBOSA, W.L; FERREIRA, G. A.; SUN, L.; MOURA, A.D. Uma Avaliação Preliminar de Simulações Climáticas de um Modelo Regional Espectral Aninhado em um Modelo Global (ECHAM4.5) Sobre o Setor Norte da Região Nordeste do Brasil (1971-2000). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 191-206, 2005.
- ALVES, E. D. L. Frequência e probabilidade de chuvas no município de Iporá-GO. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 37, p. 65-72, 2011.
- AMBRIZZI, T., ROCHA, R., MARENGO J, A. I. PISNITCHENKO, L. ALVES, 2007: **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais**. Ministério do Meio Ambiente- MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas –SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade –DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade- Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.
- AQUASTAT 2010. Aquastat world data. November 2010 ed. BATES, B. C., Z.W. KUNDZEWICZ, S. WU AND J.P. PALUTIKOF, EDS. 2008. Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat.
- BALEN, D. S.; SANCHES, F. O.; CHECHI, L. Evaluation of trends in rainfall in the Upper Uruguay in Rio Grande do Sul (Brazil) between 1957-2012. In: V Simpósio Internacional de Climatologia. **Anais...** Florianópolis, 2013.
- BATES, B. C.; KUNDZEWICZ, Z.W.; WU, S. and PALUTIKOF, J.P. (EDS). Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat. 2008.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002, 943p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; vol. 4
- BETTS, R.; NOBRE, C.; KAY,G.; SAMPAIO. G.; CHOU, S. Como modelamos o clima. In: MARENGO, J, A.; NOBRE, C, A.; CHOU, S, C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L, M.; OBREGÓN, G, O.; SOARES, W, R. BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil- Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento da Amazônia**. 2011.
- BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas a oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 12-23, 2009. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=920>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016..
- BLAIN, G.C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p.1027-1033, 2010.

BORK, C. K. **Projeções de temperatura e precipitação para detecção de mudanças climáticas na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS.** 2015. 95f. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Federal de Pelotas, 2015.

BORSATO, V. A. A Dinâmica Atmosférica no Centro-Sul do Brasil no Verão e as Influências do El Niño Oscilação Sul (ENOS). **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume 22, 2011. p. 135-157.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778->

CAMARGO, G. C; MALANDRIN, D; BRAGA, H; MACHADO, L. **Análise de Eventos Extremos de Precipitação na Região Sul do Brasil Dados Históricos.** In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011, Guarapari. Espírito Santo, 2011. p.5.

CAMARGO, J. S., ZEBIAK, S. E., DEWITT, D. G., GODDARD, L. 2001: Seasonal Comparison of the Response of CCM3.6, ECHAM4.5 and COLA2.0 Atmospheric Models to Observed SSTs. IRI Technical Report 01-01, 6/21/2001.

CAMARGO, J. S., ZEBIAK, S. E., DEWITT, D. G., GODDARD, L. Seasonal Comparison of the Response of CCM3.6, ECHAM4.5 and COLA2.0 Atmospheric Models to Observed SSTs. IRI Technical Report 01-01, 6/21/2001.

CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. Cálculo do volume do reservatório de sistemas de aproveitamento de água de chuva: Comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar. 2007

CAVALCANTI, I.; MARENGO, J.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; TROSNIKOV, I.; BONATTI, J. P.; A. MANZI, O.; TARASOVA, T.; PEZZI, L.P.; D'ALMEIDA, C.; SAMPAIO, G. CASTRO, C.C.; SANCHES, M.B.; CAMARGO, H. 2002: Global climatological features in a simulation using the CPTECCOLA AGCM. **J. Climate**, 2002, v. 15, p. 2965-2988.

CERA, J. C. **Variações climáticas na precipitação no sul do brasil no clima presente e futuro.** 2011. 129 f. Universidade Federal de Santa Maria. Pós-graduação em meteorologia. Santa Maria, 2011.

CHECHI, L.; BAYER, F.M. Modelos univariados de séries temporais para previsão das temperaturas médias mensais de Erechim, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1321–1329, 2012.

CHECHI, L.; SANCHES, F.O. Análise de uma série temporal de precipitação para Erechim (RS) e um possível método de previsão climática. **Ambiência** (Online), v. 9, p. 43-55, 2013b.

CHECHI, L.; SANCHES, F.O. O uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação do fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.06, n.06, 2013a.

CHOU, S. C.; MARENGO, J. A.; LYRA, A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.; Downscaling of South America present climate drive by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v.32, Issue 3-4, p.635-653, 2011. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8.

CHOU, S, C. Regional ETA model. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, Cachoeira Paulista, v. 11, n. 1, p. 1-27,1996.

COLOMBO, J, A; PESSOA, M, L. Impacto econômico dos eventos de estiagem: evidências a partir dos municípios do Rio Grande do Sul. In: 7º Encontro de Economia Gaúcha, 2014, Porto Alegre. 2014. p.30.

COUTINHO, L. Obra de transposição do Rio Cravo avança ao contrário da infraestrutura do abastecimento em Erechim (RS). **Jornal Ambiental**. EcoAgência. 03 ago. 2013. Disponível em:<<http://www.ecoagencia.com.br/?open=noticias&id=VZISXRIVONIUsPFSjdEeXJFbKV VVB1TP>>. Acesso em 12 de novembro de 2016.

CPTEC- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE- Disponível em <<http://www.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 de novembro de 2016.

DICKINSON, R. E.; ERRICO, R. M. et al. A regional climate model for the western U.S. **Clim. Change**, Berlim, v.15, 383-422. 1989.

FOLHES, M.T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v.1, n.1, p.61-71, 2006.

GALVANI, E.; LUCHIARI, A. Critérios para classificação de anos com regime pluviométrico normal, seco e úmido. In: GALVANI, E.; LIMA, N.G.B. **Climatologia aplicada: resgate aos estudos de caso**. 1.ed. Curitiba, PR: CRV, 2012.

GIORGI, F.; BATES, G. T. On climatological skill of a regional model over complex terrain. **Monthly Weather Review**, Boston, v.117, n.11, p.2325-2347. 1989.

GRAHAM, L. P. **Large-scale hydrological modeling in the Baltic basin**. Division of Hydraulic Engineering, Dept o Civil and Environmental Engineering, Royal Institute of Technology, Report TRITA-AMI PHD 1033, Stockholm, 2000.

GRIMM, A.M.; BARROS, V.R.; DOYLE, M.E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**. V.13. January, 2000. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442%282000%29013%3C0035%3ACVISSA%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em 5 de julho de 2017.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**. v.11. November, 1998. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442%281998%29011%3C2863%3APAISBA%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em 5 de julho de 2017.

GROPPO, J.D.; MILDE, L.C.E.; GUAMERO, M.E.; MORAES, J.M.; MARTINELLI, L.A. Análise de séries temporais de vazão e de precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. **Revista de Ciência & Tecnologia**. V. 8, n. 18, p.109-117, 2001. Disponível em <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct18art10.pdf>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016.

HAYLOCK, M.R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability**. Summary for policymakers. Suíça, 2001. 18p.

IPCC: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016.

LIU, Y. Q.; GIORGI, F; WASHINGTON, W. M. Simulation of summer monsoon climate over east Asia with an NCAR regional Climate Model. **Monthly Weather Review**. Boston, v.122, n.10, p.2331-2348. 1994.

MARENGO J.A. et al. Development of regional future climate change scenarios in south America using the eta Cptec/hadcm3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná river basins. **Climate Dynamics**, v. 38, p. 1829-1848, 2011.

MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology**. Jul, 2015.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenários de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, edição n. 8 - maio, Mudanças Climáticas, Campinas: 2007.

MARENGO, J. A; SOARES, W, Impacto das modificações da mudança climática. Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Chapter 6. In: **Clima e Recursos Hídricos 9**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC- ANA. Porto Alegre, Brasil, 2003. p 209-233.

MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no século XX e cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos Modelos de Clima do IPCC. Relatório nº 1. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a diversidade**. MMA. CPTEC/INPE, São Paulo: 2007.

MARENGO, J.A. et al. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. **Climate Dynamics**, v.38, Issue 9-10, p.1829-1848, 2012.

MARENGO, J.A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade. Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI**. MMA. CPTEC/INPE, Brasília- DF, 2006.

MARENGO, J.A. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil**. Análise Conjunta Brasil-Reino Unido sobre os Impactos das Mudanças Climáticas e do Desmatamento na Amazônia. Maio 2011.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.20, n.2, p.215-226, 2005. Disponível em <<http://www.rbmet.org.br/port/index.php>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016.

MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; TORRES, R.R; GIAROLLA, A.; ALVES, L.M.; LYRA, A. Climate Change in Central and South America: Recent Trends, Future Projections, and Impacts on Regional Agriculture. CCAFS Working Paper no. 73. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Copenhagen, Denmark. 2014.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Sumário Técnico. MMA, 2007.

MARENGO, J., I.F.A. CAVALCANTI, P. SATYAMURTY, I. TROSNIKOV, C.A. NOBRE, J.P.BONATTI, H. CAMARGO, G. SAMPAIO, M.B. SANCHES, A. O. MANZI, C. A. C. CASTRO, C. D'ALMEIDA, L. P. PEZZI, L. CANDIDO. 2003: **Assessment of regional seasonal rainfall predictability using the CPTEC/COLA atmospheric GCM**. Climate Dynamics, 21, 459-475, 2003.

MAURER, E. P. **Downscaling climate models: access science**. New York: McGraw-Hill, 2006.

MEEHL, G. A. et al. Global Climate Projections. In: SOLOMON, S. D. et al. (Ed.) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York: Cambridge University Press, 2007.

MELLO, E. L. et al. Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Paracatu. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 635-644, 2008.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOSS, R. H.; et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**. Vol. 463 (11): 2010. 747-756.

MURUMKAR, A. R.; ARYA, D. S.. Análise de Tendência e Periodicidade no Padrão de Precipitação da Bacia de Nira, Índia Central. **American Journal of Climate Change**, v.3, p. 60-70, 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia Estatística, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 2007.

NEDEL, A.; SAUSEN, T.; SAITO, S. **Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 2003-2009** – Parte I: Seca. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, PA. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Belém. PA: SBMET. p. 1-5, 2010.

NOBRE, A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática pra a América do Sul para o final do século XXI. **Parcerias e Estratégias**. Brasília: n.27, dezembro, 2008. norma-pl.html>. Acesso em: 13 jan. 2017.

OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e Temperaturas Médias Extremas**. Relatório n° 2. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação da Biodiversidade. 2007.

ODY, J. Suspenso racionamento de água em Erechim. **Correio do Povo**. Porto Alegre, 12. Jun. 2012. Caderno Geral. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/2012/6/432492/Suspenso-acionamento-de-agua-em-Erechim>>. Acesso em 12 de fevereiro de 2017.

OLIVEIRA, G.G.; PEDROLLO, O. C.; CASTRO, N.M. As incertezas associadas às condições climáticas obtidas pelo modelo ETA CPTEC/HADCM3: avaliação comparativa entre os dados simulados e observados de precipitação, evapotranspiração e vazão na bacia hidrográfica do rio Ijuí, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, 101 - 121, 2015

Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC – **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, 2012. 391pp.

PAIVA, E.M.C.D.; CLARKE, R.T. Análise de tendência de precipitação na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**. n.10 (1/2), p.37-41, 1995. Disponível em <<http://www.rbmet.org.br/port/index.php>>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016.

PESQUERO, J. F. **Balanço de umidade na região do sistema de monção da América do Sul em cenários climáticos futuros(2071-2100) utilizando o modelo ETA: um estudo de modelagem**. Tese de Doutorado. São José dos Campos. INPE, 2009. 204 p.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2008, 278p.

Prefeitura Municipal de Erechim. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Plano Ambiental Municipal. Primeira edição Revisada/2011. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim. 2011.

QIAN, J. H. et al. Reinitialized versus Continuous Simulations for Regional Climate Downscaling. **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 2857-2874, 2003.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDIS, J. G.; **Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 2.ª Edição Revisada e Ampliada. Escrituras. São Paulo - 2002. Capítulo 02 - Água e o Desenvolvimento Sustentável

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia** (Tese de doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS/PPGEA. 240p. 2011.

SAITO, S. M.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P.; MADRUGRA, R.; JUNIOR, E. R.L. **Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul em 2008**. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba, PR. 2011, INPE p.4828- 4834.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Tendência de Longo Prazo das Chuvas Diárias no Sudoeste do Rio Grande do Sul: os Eventos Extremos e a Arenização (Long-Term Trend of Daily Rainfall in Southwest of Rio Grande do Sul: Extreme Events and the Sandization). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Vol. 7, p. 1100-1109, 2014.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. *Rev. Ambiente & Água*, vol. 8 n. 3 Taubaté - Sep. / Dec. 2013.

SANCHES, F.O.; BALEN, D.S.; SILVA, R.V.; ROSA, K.K.; RADÜNZ, A. Chuvas no Rio Grande do Sul: um estudo sobre as precipitações acumuladas intensas no Alto Uruguai Gaúcho. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 143-162, 2015.

SHEINBAUM, J. 2003. As teorias atuais sobre a oscilação do sul de El Niño: uma revisão. *Geofis. Int.* 42, 297-305.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento**. McGraw-Hill, Brasil. 1975.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. Trad. e rev. de CONSENTINO, P. 3.ed. São Paulo: Pearson Makron Books/McGraw-Hill do Brasil, 1993.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Uncertainty assessments of climate change projections over South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v.112, p. 253-272, 2013.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. **Introdução à Climatologia**. Editora Geographica, 214p. 2008

TRENBERTH, K. E. et al. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: SOLOMON, S. D. et al. (Ed.) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom, New York: Cambridge University Press, 2007.

TUCCI, C. E. M. 2000. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. ANA- Agência Nacional de Água, Brasília 150p.

TUCCI, C. E. M. **Impacto da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. Câmara Temática sobre Recursos Hídricos. 150p. 2002.

VALVERDE BRAMBILA, M.C.; CAMPOS VELHO, H.; FERREIRA, N. J. Downscaling Estatístico para previsão de precipitação sobre o Sudeste do Brasil. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...**, 2004, Fortaleza: Ceará, 2004. Disponível em <www.cbmet.com/cbm-files/22-440906ab2eedfa87cfb99dea25eabff1.doc>. Acesso em 5 de julho de 2017.

VALVERDE, M.C.; MARENGO, J.A. Extreme rainfall indices in the hydrographic basins of Brazil. **Open Journal of Modern Hydrology**, v.4, n.1, 10-26, 2014.

VALVERDE RAMIREZ, M.C. **Previsão e análise da precipitação sobre as regiões Sudeste e Sul do Brasil utilizando redes neurais artificiais**. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos: 2003. Disponível em <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/02.16.14.01/doc/publicacao.pdf>> Acesso em 5 de julho de 2017.

VINCENT, L.A. et al. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, v.18, p.5011-5023, 2005.

WAGENER, T. & FRANKS, S. Regional hydrological impacts of climate change - impact assessment and decision-making. In: WAGENER, T.; FRANKS, S.; GUPTA, H.V.; BGH, E.; BASTIDAS, L.; NOBRE, C. & GALVÃO, C.O., eds. **Regional hydrological impacts of climate change - impact assessment and decision-making**. Wallingford, IAHS, 2005. p.1-8.

ZHANG, X., YANG, F. **RClimDex (1.0) User Guide**. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview (Ontario, Canada), 2004, 22p.

ZORITA, E.; VON STORCH, H. The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. **Journal of Climate**, v. 12, p. 2474-2489, 1999.