

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO DO RIO
GRANDE DO SUL BASEADO EM QUATRO
ESQUEMAS CONVECTIVOS DO MODELO
CLIMÁTICO REGIONAL REGCM3**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Viviane da Silva Guerra

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

**CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO DO RIO GRANDE DO
SUL BASEADO EM QUATRO ESQUEMAS CONVECTIVOS
DO MODELO CLIMÁTICO REGIONAL REGCM3**

Viviane da Silva Guerra

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Área de Concentração em Micrometeorologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Meteorologia**

Orientador: Prof^a. Simone Erotildes Teleginski Ferraz

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Dissertação de Mestrado**

**CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL
BASEADO EM QUATRO ESQUEMAS CONVECTIVOS DO MODELO
CLIMÁTICO REGIONAL REGCM3**

elaborada por
Viviane da Silva Guerra

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Meteorologia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Simone Erotildes Teleginski Ferraz, Dr^a.
(Presidente/Orientador)

Débora Regina Roberti, Dr^a. (UFSM)

André Becker Nunes, Dr. (UFPel)

Santa Maria, 29 fevereiro de 2012.

A Deus,
aos meus pais, Almiro e Lorena
e ao meu esposo Alexsandro
pelo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Á minha orientadora Dr^a. Simone E. T. Ferraz pela orientação, paciência e dedicação durante o mestrado.

Aos professores da minha Graduação em Física e Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria.

A Dr^a Rosemeri Porfírio pela ajuda e instalação da 3^a versão do Modelo Climático Regional RegCM3.

Ao Dr. Brant Liebmann pela cessão dos dados pluviométricos.

A UFSM, ao Centro de Ciências Naturais e Exatas e ao CRS/INPE por possibilitar a realização do curso.

Aos meus colegas de laboratório pela amizade e compreensão.

Aos colegas da Graduação e Pós-Graduação pela amizade, pelo desprendimento em ajudar nas horas de sufoco.

E em especial a minha família amada, meu pai, minha mãe, meu esposo e meus irmãos pelo incentivo e carinho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Universidade Federal de Santa Maria

CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL BASEADO EM QUATRO ESQUEMAS CONVECTIVOS DO MODELO CLIMÁTICO REGIONAL REGCM3

AUTORA: VIVIANE DA SILVA GUERRA
ORIENTADOR (A): SIMONE EROTILDES TELEGINSKI FERRAZ
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de fevereiro de 2012.

O presente trabalho apresenta as climatologias de precipitação para o estado do Rio Grande do Sul utilizando o modelo climático regional RegCM3, 3ª versão do modelo. Foram realizadas quatro climatologias de 30 anos para o intervalo de 1975 a 2005 para os quatro esquemas convectivos presentes no modelo, Grell que possui dois fechamentos, Arakawa e Schubert e Frisch e Chappell, o esquema Kuo modificado por Anthes e Emanuel. Para cada esquema convectivo foram feitas quatro climatologias sendo uma para cada estação do ano: Verão, Outono, Inverno e Primavera. A partir de dados reais retirados de diversas fontes e compilados por Liebmann e Allured, (2005), foram desenvolvidas climatologias trimestrais com dados reais (Observados) o que possibilitou analisar a sensibilidade dos esquemas convectivos através das climatologias simuladas pelo RegCM3. O Trabalho ainda apresenta análises estatísticas para avaliar o comportamento de cada esquema convectivo em relação padrão de precipitação encontrada nas climatologias de dados reais, bem como a variabilidade na distribuição climatológica, frequência de distribuição climatológica, anomalias de precipitação climatológica. Para análise da distribuição diária foram avaliadas médias diárias de precipitação bem como a precipitação máxima diária e mínima máxima diária. Para avaliar a dispersão entre os valores Observados e Simulados, foram feitas medidas de dispersão como correlação a um nível de significância de 99%, cálculo do Quantis, Desvio Padrão, IQR, RMSE e assim foi possível estimar com um nível maior de certeza qual esquema convectivo consegue se aproximar mais da climatologia observada.

Palavras-chave: Climatologia. Precipitação. Rio Grande do Sul.

ABSTRACT

Dissertation
Graduate Program in Meteorology
Universidade Federal de Santa Maria

RAINFALL CLIMATOLOGY OF RIO GRANDE DO SUL BASED ON FOUR CONVECTIVE SCHEMES OF REGIONAL CLIMATE MODEL RegCM3

AUTHOR: VIVIANE DA SILVA GUERRA
GUIDANCE: SIMONE FERRAZ EROTILDES TELEGINSKI
Place and Date of Defense: Santa Maria, February 29, 2012.

This paper presents the climatology of precipitation for the state of Rio Grande do Sul using the regional climate model RegCM3, 3rd version of the model. Four 30-year Climatologies were carried for the interval from 1975 to 2005 for the four convective schemes present in the model, Grell (1993) that has two locks, Arakawa and Schubert (1974) and Frisch and Chappell (1980), the modified Kuo by Anthes (1977) and Emanuel (1991). For each convective scheme were made four Climatologies one for each season: Summer, Autumn, Winter and Spring. From real data drawn from various sources and compiled by Liebmann and Allured, (2005), quarterly Climatologies were developed with real data (Observed) making it possible to analyze the sensitivity of the convective schemes through the Simulated Climatologies by RegCM3. The work also presents statistical analyzes to evaluate the performance of each convective scheme relating to the pattern of precipitation found in Climatologies of real data and also the climatological distribution variability, climatological distribution frequency and climatological precipitation anomalies. To analyze the distribution were evaluated daily average rainfall and maximum daily rainfall daily maximum minimum. To evaluate the dispersion between the observed and simulated values, were made measured dispersion and correlation with a significance level of 99%, the calculus of quantiles, standard deviation, IQR, RMSE and it was possible to estimate with higher degree of certainty which convective scheme can get closer to the observed climatology.

Keywords: Climatology. Precipitation. Rio Grande do Sul.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema representativo da estrutura vertical do modelo com 16 níveis verticais.....	25
Figura 2 – Domínio utilizado e topografia em metros (m) nas simulações numéricas	31
Figura 3 – Esquema das quatro Climatologias geradas para com os quatro esquemas convectivos.....	37
Figura 4 - Precipitação média anual climatológica. (a) Observada, (b) Grell1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.....	38
Figura 5 - Precipitação Acumulada Trimestral-Verão. (a) Grell 1, (b) Grell 2, (c) Ema, (d) Kuo (e) Observado.....	42
Figura 6 - Precipitação Acumulada Trimestral - Outono. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo	44
Figura 7 - Precipitação Acumulada Trimestral - Inverno. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.....	46
Figura 8 - Precipitação Acumulada Trimestral - Primavera. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo	49
Figura 9 - Distribuição Trimestral Acumulada - Verão (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.....	53
Figura 10 - Diagrama de distribuição de frequência para o Verão.	55
Figura 11 - Diagrama da Dispersão – Verão	56
Figura 12 - Anomalia de Precipitação Trimestral baseada em sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.....	57
Figura 13 - Média Diária Trimestral - Verão. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo	59
Figura 14 - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.....	61
Figura 15 - Distribuição em Quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75)..	64
Figura 16 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para o Verão.....	65
Figura 17 - Distribuição Trimestral Acumulada - Outono (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.....	69
Figura 18 - Diagrama de distribuição de frequência para o Outono	71
Figura 19 - Diagrama da Dispersão - Outono.....	72
Figura 20 - Anomalia de precipitação trimestral baseada em sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.....	73
Figura 21 - Média Diária Trimestral - Outono. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo	75
Figura 22 - Precipitação Máxima. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.....	77
Figura 23 - Distribuição em quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75). .	80
Figura 24 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Outono.....	81
Figura 25 - Distribuição Trimestral Acumulada-Inverno (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.....	85

Figura 26 - Diagrama de distribuição de frequência para o Inverno	87
Figura 27 - Diagrama da Dispersão – Inverno	88
Figura 28 - Anomalia de precipitação baseada e sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.	88
Figura 29 - Média Diária Trimestral-Inverno. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo	91
Figura 30 - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo	93
Figura 31 - Distribuição em quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75)..	96
Figura 32 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Inverno.....	96
Figura 33 - Distribuição Trimestral Acumulada-Primavera (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.	101
Figura 34 - Diagrama de distribuição de frequência para o Primavera.....	103
Figura 35 - Diagrama da Dispersão – Primavera.....	103
Figura 36 - Anomalia de precipitação baseada e sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.	104
Figura 37 - Média Diária Trimestral - Primavera. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo.	106
Figura 38 - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo	108
Figura 39 - Distribuição em quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75).	110
Figura 40 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Primavera. .	111
Figura A1 - Média da precipitação trimestral climatológica.....	127
Figura A2 - Mediana da precipitação trimestral climatológica.....	128
Figura A3 - Desvio Padrão Trimestral Climatológico	128
Figura A4 - IQR Climatológico	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.2.1.1 - Índices Estatísticos calculados para o Verão.....	52
Tabela 4.2.1.2 - Percentis médios diários para o Verão	67
Tabela 4.2.2.1 - Índices Estatísticos calculados para o Outono.....	69
Tabela 4.2.2.2 - Percentis médios diários para o Outono	83
Tabela 4.2.3.1 - Índices Estatísticos calculados para o Inverno	84
Tabela 4.2.3.2 - Percentis médios diários para o Inverno	99
Tabela 4.2.4.1 - Índices Estatísticos calculados para a Primavera	100
Tabela 4.2.4.2 - Percentis médios diários para a Primavera	113
Tabela A1 - Número de Acertos e Erros encontrados para o Verão.....	130
Tabela A2 - Número de Acertos e Erros encontrados para o Outono	130
Tabela A3 - Número de Acertos e Erros encontrados para o Inverno	131
Tabela A4 - Número de Acertos e Erros encontrados para a Primavera.....	131

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
AS	América do Sul
BATS	Biospher Atmosphere Transfer Scheme
CCMs	Complexos Convectivos de Mesoescala
EN	El Niño
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
FF	Frente Fria
GISST	Global Ice Sea Surface Temperature
GLCC	Global Land Cover Characterization
HS	Hemisfério Sul
INMET	Instituto Nacional De Meteorologia
IOS	Índice De Oscilação Sul
IQR	Interquartil Range
JBN	Jato De Baixos Níveis
JST	Jato Subtropical De Nível Superior
LN	La Niña
MCGs	Modelos De Circulação Geral
MCRs	Modelos Climáticos Regionais
NCAR	National Center For Atmospheric Research
NCEP	National Center for Environmental Prediction
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OR	Onda De Rossby
PSU	Pennsylvania State University
RMSE	Root Mean Square Erro

RS	Rio Grande Do Sul
SCM	Sistema Convectivo De Mesoescala
TSM	Temperatura Da Superfície Do Mar
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCAS	Zona De Convergência Do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3 DADOS E METODOLOGIA	23
3.1 Dados	23
3.1.1 Reanálise	23
3.1.2 Temperatura da superfície do mar (TSM)	23
3.1.3 Dados de Superfície	24
3.1.4 Dados de Precipitação	24
3.2 Metodologia	24
3.2.1 Descrição do modelo regional RegCM3	24
3.2.2 Descrição dos Esquemas Convectivos disponíveis no RegCM3	27
3.2.3 Execução do Modelo	31
3.3 Simulações Climáticas	32
3.4 Estatística das Simulações	33
4 ANÁLISE DESCRITIVA DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS	37
4.1 Descrição das Análises das Climatologias	37
4.1.1 Algumas Características Climatológicas na sazonalidade da precipitação regional	40
4.1.2 Climatologia Trimestral de Precipitação para Verão	41
4.1.3 Climatologia de Precipitação para o Outono	44
4.1.4 Climatologia de Precipitação para o Inverno	46
4.1.5 Climatologia de Precipitação para a Primavera	48
4.2 Análises Estatísticas das Climatologias	51
4.2.1 Análise Estatística para o Verão	52
4.2.2 Análise Estatística para o Outono	68
4.2.3 Análise Estatística para o Inverno	83
4.2.4 Análise Estatística para a Primavera	99
5 CONCLUSÕES	115
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
Apêndice 1 – Gráficos das medidas de dispersão climatológica	127
Apêndice 2 – Tabelas com os Erros e Acertos encontrados nas anomalias simuladas para cada estação do ano	130

1 INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul (RS) tem parte da sua economia baseada na produção agropecuária o que gera preocupações em torno da variabilidade na distribuição de chuva, visto que esta é determinante para definir o sucesso ou o fracasso das produções agrícolas no estado. Dessa forma a variabilidade na precipitação pode determinar um ano bom ou ruim para a economia e torna-se importante desenvolver estudos que contemplem o regime de precipitação no RS.

O estado gaúcho se encontra em uma posição favorável a precipitação, levando a certa uniformidade na distribuição de precipitação e grandes acumulados anuais chegando a ser acima de 1800 mm/ano nas regiões mais ao norte do estado. No entanto analisar a distribuição interanual facilita avaliar épocas mais ou menos chuvosas e caracterizar melhor cada estação do ano e assim desenvolver climatologias que contemplem tais características.

O RS situa-se em uma região que sofre influência direta de fenômenos que acabam afetando o clima na região como, por exemplo, Sistemas Frontais, Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), o fenômeno El Niño. As Frentes Frias (FF) estão presentes o ano todo e associados a sistemas sinóticos colaboram para a convecção profunda no sul do Brasil. A localização do estado também é favorável a ação sistemas de escala sub-sinótica como os SCM que associados aos Jatos de Baixos Níveis que transportam umidade e calor das baixas latitudes e provocam chuvas intensas na região sul e sudeste do Brasil (Maddox, 1983).

O RS sofre ainda a influência de fenômenos de baixa frequência, tais como os fenômenos cíclicos, El Niño e La Niña (Trenberth, 1997) e os de baixíssima frequência com um padrão de 20 a 30 anos observado por Mantua et al. (1997) e chamado de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) que é uma flutuação da temperatura da superfície do mar do Pacífico. Durante a fase fria a ODP é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Oceano Pacífico Tropical e durante a fase quente por anomalias positivas de TSM no Oceano Pacífico Ocidental. Alguns autores como, Andreoli e Kayano (2007) afirmaram que existe uma relação entre variabilidade das chuvas sobre a AS e o ENOS de acordo com as fases quente, normal e fria da ODP.

Dessa forma algumas ferramentas como Modelos Climáticos tem sido utilizadas no campo da previsão climática devido a dificuldade e complexidade de se estudar a atmosfera e suas interações. Assim, alguns modelos tais como Modelos de Circulação Geral (MCG), Modelos Climáticos Regionais (MCR) são relevantes na pesquisa para alcançar melhores resultados quanto a previsão. Os Modelos de Circulação Geral conseguem simular e reproduzir bem a intensidade e as frequências para cada tipo de sistema sinótico entretanto, não conseguem apresentar uma resolução fina o suficiente para resolver circulações atmosféricas de pequena escala. Para melhorar as simulações climáticas buscou-se a utilização de modelos de área limitada, denominados Modelos Climáticos Regionais (MCRs). Dessa forma utilizou-se pra este estudo o modelo regional RegCM 3^a, de modo que estudos apontam a sensibilidade desse modelo na simulação de temperatura e precipitação. Assim este trabalho tem por objetivo analisar a sensibilidade dos esquemas convectivos existentes no modelo regional RegCM, terceira geração do modelo e desenvolver uma climatologia de precipitação no estado do Rio Grande do Sul para cada esquema convectivo presente no RegCM3 para as estações de Verão, Outono, Inverno e Primavera.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A variabilidade na distribuição de precipitação determina o clima de uma região e afeta diretamente no seu desenvolvimento econômico. É bastante conhecido que existe uma estreita ligação entre a produção agrícola e as condições do tempo que ocorrem durante o ciclo de uma determinada cultura. (Casarin e Kousky, 1986).

A precipitação na região sul da América do Sul (AS) pode ser afetada por fenômenos de alta frequência trazendo variabilidades em escala sinótica, intrasazonais e interanuais para essa região. A alta variabilidade em escala de tempo de alguns dias e até semanas caracteriza a precipitação no sul do Brasil, por exemplo, entrada de Frentes Frias associadas a sistemas sinóticos que migram do norte da Argentina e Sul do Brasil formam-se nas linhas baroclínicas em médias latitudes e são acompanhadas de convecção profunda reforçada ao longo da parte ocidental e Sul da Amazônia o que acaba afetando localização das ZCAS aumentando o fluxo de umidade para o Sul (Kousky 1979, 1985, Silva e Kousky, 2001). As FF provem do Pacífico e se propagam de oeste pra leste devido à presença de sucessivos cavados e cristas que acabam propagando energia nesse sentido (Fortune e Kousky, 1982). Essas Frentes são uma das mais importantes perturbações atmosféricas responsáveis por boa parte da precipitação e do balanço horizontal de temperatura visto que levam ar polar para os trópicos e ar tropical para a região polar. Embora haja uma sazonalidade da intrusão de FF, que ocorrem com maior frequência entre o Inverno e início da Primavera, a passagem de FF pela América do Sul acontece durante todo o ano. Já para a estação de inverno esses sistemas trazem consigo massas de ar frio das latitudes superiores provocando geadas no Sul e Sudeste do Brasil e casos de friagens em latitudes inferiores, conforme Cavalcanti e Kousky, (2009). Associados a essas FF que chegam pela costa oeste da AS, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) vindos do Pacífico podem estar ligados ou até mesmo propiciar Ciclogênes. Gan e Kousky (1986) destacaram que a formação desses Vórtices está ligeiramente ligada a formação da Crista corrente acima e que a intensificação dessa Crista se dá pela advecção de ar quente de níveis inferiores. Para que o ar quente seja advectado é necessário que uma FF se aproxime das latitudes subtropicais. O ar quente advecta no setor leste

da Frente intensificando essa Crista em níveis superiores e conseqüentemente a intensificação a jusante do cavado formando os Vórtices Ciclônicos na alta Troposfera. Quando esses Vórtices se deslocam pra o setor leste atingem o Sul e Sudeste do Brasil provocam instabilidade, ventos fortes e causam muitos problemas nessas regiões.

A precipitação no RS também está associada a sistemas sub-sinóticos como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) que é um tipo de SCM. Segundo Velasco e Fritsch, (1987); Silva Dias, (1987) esses sistemas são fortemente modulados pelo ciclo diurno e transitórios de sistemas sinóticos e ocorrem com freqüência no sudeste da AS, ou seja, oeste do Sul do Brasil, Nordeste da Argentina e Paraguai. Definidos por Fritsch e Maddox (1981), os CCMs são nuvens frias cumulonimbus cobertas por uma camada cirrus de forma circular e profunda com diâmetro de centenas de quilômetros com um crescimento rápido de 6 a 12 horas. A intensificação dos CCMs está associada à posição do Jato Subtropical de Nível Superior (JST) que são ventos fortes com ar mais frio e seco em altos níveis e estão sobre a região Sul da AS durante o Outono e a Primavera. Os JST que caracteriza uma “corrente de jato”, de modo que a sua interação com os Jatos de Baixos Níveis (JBN) intensificam os CCMs conforme Maddox, (1983). Os JBN transportam umidade, calor sensível e latente da região da Amazônica ao longo do lado leste da Cordilheira dos Andes para latitudes inferiores e gera turbulência pelo cisalhamento do vento e funciona como disparador de instabilidade acarretando chuvas intensas na região Sul e Sudeste do Brasil. A fase altamente precipitante dos CCMs ocorre de Outubro a Abril, eles se desenvolvem a Leste do Andes e movem-se em direção ao Sudeste em associação com o Jato de Baixo Nível de norte e da convergência reforçada pelo fluxo de umidade (Machado et al. 2002; Nicoline et al. 2002). Segundo Berbery e Barros, (2002) os JBN estão presentes em praticamente todo o globo terrestre e ocorrem durante todo o ano, e a permanência desses jatos acontece devido ao efeito mecânico de bloqueio provocado pela orografia do terreno, de modo que na AS os Andes promovem esse bloqueio. Tal bloqueio interfere na propagação da Onda de Rossby (OR) deixando-a estacionária na circulação zonal (Byerle e Paegle 2002; Campetella e Vera, 2002). As OR surgem em decorrência da convergência em baixos níveis e sua ascensão que libera calor latente, a coluna de ar expande e resfria adiabaticamente divergindo em altos níveis se propagando horizontalmente para leste seguindo a Circulação de Walker.

Alguns sistemas de característica climatológica que estão presentes o ano todo, como por exemplo, o sistema de baixa pressão localizado na região do Chaco influenciam na precipitação na AS. Grimm et al. (2004) verificaram que durante o Verão no Hemisfério Sul (HS) uma grande zona de aquecimento migra para as regiões subtropicais e um sistema de baixa pressão térmica se desenvolve em torno da região do Chaco, formando a Baixa do Chaco. Esse sistema de baixa pressão sobre o norte da Argentina e parte ocidental do Paraguai dura o ano todo, mas é mais pronunciado durante o verão. Através dessa baixa que se forma no continente sul americano surge um gradiente de pressão noroeste-sudeste, entre a baixa da AS e o noroeste do Saara. Este gradiente faz com que ventos tropicais de nordeste se intensifiquem. Estes ventos são chamados de ventos alísios que penetram no continente transportando umidade. Tais ventos tornam-se de noroeste, ao encontrar a barreira de montanhas dos Andes são canalizados para o sul da AS e passa a girar no sentido horário em torno da baixa do Chaco, propiciando a convecção na região.

A precipitação na AS também sofre influência de padrões de grande escala e de baixa frequência tais como fenômenos cíclicos em escala interanuais: El Niño (EN) e a La Niña (LN) (Grimm et al. 2000; Pezzi e Cavalcanti 2001). O EN (Trenberth, 1997) caracteriza-se pelo aquecimento anômalo das águas equatoriais do Oceano Pacífico chamado de fase quente e a LN é a fase fria com o resfriamento do Pacífico. Durante anos Normais sem a ocorrência dos fenômenos EN e LN o setor oeste do Pacífico equatorial tem sua temperatura mais elevada que no setor leste. Como o lado oeste do Pacífico Equatorial é mais aquecido o ar ascende verticalmente até um certo nível e se desloca para leste até a costa oeste da AS de modo que sofre subsidência e se desloca para o oeste em superfície (ventos alísios). Esta circulação segue a Circulação Geral atmosférica chamada de Circulação de Walker. Em anos sob a influência de EN há um aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial que vai desde a costa do Peru até Pacífico Central. O EN é evento cíclico que tem duração entre dois a sete anos e dura em média seis a dezoito meses.

A intensidade desses fenômenos pode ser medida pelo Índice de Oscilação Sul ou IOS que representa o fenômeno de grande escala e caracterizado pela diferença de pressão a nível do mar entre as regiões do (Taiti) Pacífico Central e (Darwin/Austrália) no Pacífico Oeste. O IOS mede a Oscilação Sul que é a componente Continental, e a anomalia de TSM mede a intensidade do El Niño

(Componente Oceânico) de modo que do acoplamento desses dois fenômenos surge o El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Para IOS negativos tem-se a fase quente do fenômeno que é a fase de El Niño e para valores positivos do IOS tem-se a fase fria do fenômeno chamada de La Niña. A fase quente do ENOS tem-se a presença do El Niño sendo que o aquecimento da temperatura do mar ocorrem simultaneamente com queda da pressão no lado Leste do Pacífico. Esse acoplamento causa significativas mudanças no gradiente de pressão, aumento de anomalias de TSMs e podem modular a intensidade dos jatos e dos escoamentos em escala global e a variabilidade nos regimes de precipitação. Durante a fase quente do ENOS a célula de Walker enfraquece e pode até desaparecer dependendo da intensidade do evento. Devido ao aumento da temperatura no setor Centro-Leste do Pacífico há evaporação e movimentos ascendentes nessa região provocando precipitação. No outro setor, no lado Oeste do Pacífico e Norte da AS o ar mais seco e frio descende causando estiagens nessa região. Grimm, (2004) destacou que fontes anômalas de calor tropical associadas ao evento ENOS perturbam a circulação de Hadley e Walker sobre o sul América do Sul.

Grimm, (2003) destacou que durante eventos de EN um Anticiclone anômalo de baixos níveis predomina sobre a região Centro-Leste do Brasil em regiões tropicais e subtropicais devido a subsidência forçada sobre a Amazônia. A entrada de umidade pelo setor Leste do Atlântico Equatorial poderia favorecer a região da Amazônia mas é desviada para o Norte da AS e Sul do Brasil, propiciando anomalias positivas de precipitação no Sul do Brasil e anomalias negativas na região Norte e Centro-Leste do Brasil. Grimm, (2003) destaca ainda que essas anomalias de precipitação são favorecidas pela perturbação na circulação Walker e Hadley sobre o Leste do Pacífico e América do Sul, e por um trem de onda de Rossby sobre o sul da América do Sul que se origina no leste do Pacífico.

Kousky e Cavalcanti (1984) concluíram que durante o período de EN um jato subtropical bem pronunciado sobre a AS e o Leste do Oceano Pacífico Sul juntamente com várias situações de bloqueios em latitudes médias favoreceram a manutenção de Sistemas Frontais ativos no Sul do Brasil os quais contribuíram para o ocorrência de um excesso de precipitação no Sul do Brasil.

Durante a fase fria do ENOS, tem-se a presença do LN sendo que o resfriamento do mar ocorre simultaneamente com o aumento da pressão no Oceano Pacífico Leste. Eventos de LN também modificam a circulação de Walker com um ramo ascendente no Oeste do Oceano Pacífico e Austrália o que favorece a

precipitação nessa região. Outro ramo descendente está configurado mais a Leste do Oceano Pacífico levando a escassez de chuva nessa região.

Durante os eventos de LN as anomalias de circulação e precipitação são bastante opostas as descritos para eventos de EN, por vezes muda um pouco nas anomalias mais fortes e na magnitude das anomalias (Grimm, 2004).

Diaz et al. (1998) mostraram que sobre a região do Uruguai e o Estado do RS a precipitação sobre essas regiões dá forte suporte para a existência de ligações entre anomalias de precipitação e anomalias de TSM no Oceano Pacífico. Estes autores descobriram que durante o ano a precipitação nestas regiões são distribuídas de maneira uniforme, com máximos em Setembro e Outubro e posteriormente a Novembro e Dezembro Para essa região Ropelewski e Halpert (1987, 1989) demonstraram que a chuva durante o período de Novembro a Fevereiro tende a ser acima da média durante anos de EL Niño, enquanto que para períodos de Junho a Dezembro tende a ser abaixo da média nos anos cujos valores de IOS são altos.

Além dos fenômenos de baixa frequência de variabilidade interanual como o ENOS, existem outros de baixíssima frequência, em escala decadal. Robertson e Mechoso, (2000) mostraram que existem modos de variabilidade interdecadal em conexão regional ou global com as variações de TSM. Foi observado por Mantua et al. (1997) um padrão de 20 a 30 anos chamado de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) que é uma flutuação da temperatura da superfície do mar do Pacífico. Durante a fase fria a ODP é caracterizada por anomalias negativas TSM no Oceano Pacífico Tropical e durante a fase quente por anomalias positivas de TSM no Oceano Pacífico Ocidental. Segundo Andreoli e Kayano (2007) existe uma relação entre variabilidade das chuvas sobre a AS e o ENOS de acordo com as fases quentes, normal e fria da ODP. Eles encontraram que a diferença nas teleconexões de ENOS das chuvas na AS estão relacionadas à ODP, sendo construtiva quando o ENOS e ODP estão em fase ou destrutiva quando não estão.

Um Índice, assim como para ENOS, foi criado para esta oscilação e chamado de IODP (Índice de oscilação Decadal do Pacífico). Este foi desenvolvido por Hare (1996) e Zhang (1996) e definido como a diferença entre as anomalias observadas e a média mensal global da anomalia da TSM.

Segundo Cera et al. (2009) o RS é a região Nordeste que possui a maior influência do IODP no período de 1960 a 1975, período este que compreendeu a fase fria da ODP. Já apartir de 1976 a ODP inicia a inversão de sinal e passa para a

fase quente até 2000. Sabido isto, este trabalho tem por objetivo desenvolver uma Climatologia de precipitação de 30 anos utilizando dados que contemplasse esse período da fase positiva da ODP de 1975 a 2005, utilizando o modelo climático regional RegCM em sua 3ª versão para a construção de tais Climatologias.

Muitos estudos tem sido feitos no âmbito da previsibilidade climática, e buscar técnicas como ferramentas estatísticas, modelos tais como, Modelos de Circulação Geral (MCG), Modelos Climáticos Regionais (MCR) são relevantes na pesquisa no que tange alcançar melhores resultados quanto a previsão. Os Modelos de Circulação Geral conseguem simular e reproduzir bem a intensidade e as frequências para cada tipo de sistema sinótico. Entretanto esses modelos não conseguem apresentar uma resolução fina o suficiente para resolver circulações atmosféricas de pequena escala, como por exemplo circulações afetadas pela orografia, proximidade do oceano, características da própria superfície da terra. Alguns estudos apontam as deficiências dos MCG dentro da previsão climática (p.ex., McGregor, 1997; Misra et al. 2002; Misra, 2003; Aldrian et al. 2004, entre outros).

Uma possível alternativa de melhorar e reproduzir as simulações climáticas detalhadamente é a utilização de modelos de área limitada cuja utilização dessa técnica propiciou vários estudos (p.ex., Dickinson et al. 1989; Giorgi e Mearns, 1991; McGregor et al. 1993; Giorgi, 1995). Tais modelos aninhados dentro dos MCGs são denominados Modelos Climáticos Regionais (MCRs) e são forçados pelos limites laterais fornecidos pelo MGC. Os MGCs embora resolvam os sistemas de grande escala como aqueles responsáveis pela variabilidade na temperatura e precipitação não resolvem os processos na escala de sub-grade devido a grosseira resolução. Os MCGs não são suficientes para avaliar mudanças no clima (Aldrian et al. 2004) causadas pelas características complexas do terreno. Já os MCRs consideram os processos de sub-grade, como a topografia, contrastes na vegetação, contrastes Terra-Oceano e assim conseguem reproduzir um padrão climático regional mais próximo do real. Um exemplo da ação da topografia na modelagem climática sobre a AS pode ser visto no trabalho de Figueroa et al. (1995) no qual mostra a forte influência da cadeia de montanha dos Andes na circulação em baixos níveis nessa região sendo responsável pelo transporte de umidade da Amazônia para as latitudes subtropicais através do JBN. Contudo a acentuada orografia pode trazer limitações aos MCRs devido a precipitação orográfica excessiva acumulada. Alguns modelos para melhorar esse problema filtram a orografia e o tempo médio de aquecimento latente, reduzem a difusão horizontal e diminuem a redistribuição de umidade (Giorgi

1991; Giorgi et al. 1993). Algumas parametrizações contidas nesses modelos podem trazer benefícios para seu uso como resolver melhor a precipitação orográfica de sub-grade.

Alguns estudos utilizando o modelo regional RegCM que é um modelo climático desenvolvido no NCAR (Giorgi e Bates, 1989; Dickinson et al.1989) apontam a sensibilidade desse modelo na simulação de precipitação e temperatura, e avaliam os esquemas convectivos para várias regiões do globo (p.ex., Martínez-Castro et al. 2006; Davis et al. 2009, entre outros).

Este trabalho tem por objetivo analisar a sensibilidade dos esquemas convectivos existentes no modelo regional RegCM, terceira geração do modelo RegCM aperfeiçoado por Giorgi et al. (1989 a-b) melhor detalhado no terceiro capítulo do presente trabalho. Foi desenvolvido uma climatologia de precipitação no estado do Rio Grande do Sul para cada esquema convectivo presente no RegCM3 para as estações de Verão, Outono, Inverno e Primavera. Foram feitas 4 simulações de 30 anos uma para cada esquema convectivo, Grell com fechamentos Arakawa-Schubert e Frisch-Chappell Emanuel e Kuo de modo que todos estes esquemas convectivos do modelo estão melhor especificadas no capítulo 3 desse trabalho.

Inicialmente os esquemas foram analisados para 3 anos diferentes 1988, 1997, 2003, e para a estação de Inverno, por serem anos de LN, El e neutro respectivamente e os melhores resultados encontrados foram para o esquema Grell com fechamentos Arakawa-Schubert e Fritsch-Chappell (Ferraz et al. 2010). Notou-se ainda durante alguns testes que a escolha do domínio pode reproduzir resultados substanciais sobretudo na análise de precipitação, de modo que para um domínio maior a estimativa quanto a precipitação apresenta um melhor resultado na área analisada (RS), isso pode ser devido diminuição nos problemas como difusão horizontal nas bordas da grade principalmente sobre o oceano. Resultados semelhantes foram encontrados por Martínez et al. (2006) sobre a região Caribenha, eles encontram bons resultados nas simulações utilizando as parametrizações Grell e Kuo para um domínio menor.

3 DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dados horários de reanálise das seguintes variáveis: temperatura, altura geopotencial, vento zonal, vento meridional e umidade relativa; dados diários de precipitação e mensais de temperatura da superfície do mar.

Informações sobre a origem, distribuição e resolução dos dados, são apresentadas abaixo.

3.1.1 Reanálise

As condições iniciais e de contorno utilizadas nas simulações numéricas foram retiradas da Reanálises I do NCEP (National Center for Environmental Prediction, Kanamitsu et al, 2002). Estes possuem resolução horizontal de 2,5° x 2,5° (latitude por longitude) e estão disponíveis de seis em seis horas (00:00, 06:00, 12:00, 18:00 UTC) Para essas simulações foram utilizados dados de temperatura, altura geopotencial, vento zonal e meridional e umidade relativa em 18 níveis verticais de pressão. O período utilizado foi de 1974 a 2005 de modo a construir uma climatologia de precipitação de trinta anos para cada esquema convectivo existente no modelo. Esses esquemas convectivos serão detalhados no Capítulo 3.2.2.

3.1.2 Temperatura da superfície do mar (TSM)

Para dados de temperatura da superfície do mar (TSM) utilizou-se uma climatologia mensal de Temperatura Global da Superfície do Mar (GISST) com uma resolução de 1 km (longitude-latitude) disponível pelo Hadley Center, (Rayner et al. 2006).

3.1.3 Dados de Superfície

A topografia e tipos de cobertura do solo usados nas simulações do RegCM3 utilizam arquivos globais com uma resolução de 10 minutos e são fornecidos pelo USGS (United States Geological Survey) e pelo GLCC (Global Land Cover Characterization) que interpolados com o RegCM fornecem as condições de fronteira sobre o continente, mais informações sobre esses dados de GLCC podem ser encontrados em <http://edcdaac.usgs.gov/glcc/glcc.html>.

3.1.4 Dados de Precipitação

Os dados de precipitação usados para avaliar as Climatologias da precipitação gerada por cada Esquema Convectivo disponível no modelo RegCM3 foram compilados e disponibilizados por Liebmann e Allured (Liebmann e Allured, 2005). Esses dados são retirados de diversas fontes do globo e combinados em um campo de grade de 1º a 2,5º para um período de 1940 a 2006. No Brasil as principais fontes de dados são: Agência Nacional das Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e órgãos estaduais. As climatologias foram geradas com dados de 1975 a 2005 para cada estação do ano e assim comparar com as climatologias simuladas para cada Parametrização do modelo regional RegCM3.

3.2 Metodologia

3.2.1 Descrição do modelo regional RegCM3

Para análise de precipitação simulada sobre o estado do Rio Grande do Sul foi utilizado o modelo regional RegCM3, 3ª versão do modelo, sendo a primeira geração desenvolvida sobre o Modelo de Mesoescala versão 4 (MM4) no NCAR-

Pennsylvania State University (PSU) no final de 1980 (Dickinson et al, 1989; Giorgi, 1989). O RegCM é um modelo dinâmico compressível em diferenças finitas, hidrostático e em coordenadas verticais sigma (σ).

O sistema de coordenada sigma define a base do modelo no nível do solo e sua superfície segue o modelo do terreno de modo que em regiões onde o terreno é inclinado o sistema segue o mesmo padrão como pode ser visto na Figura 1. Essa é uma das vantagens desse sistema, pois permite uma boa representação dos campos de advecção de temperatura e ventos em áreas onde o terreno é muito variável.

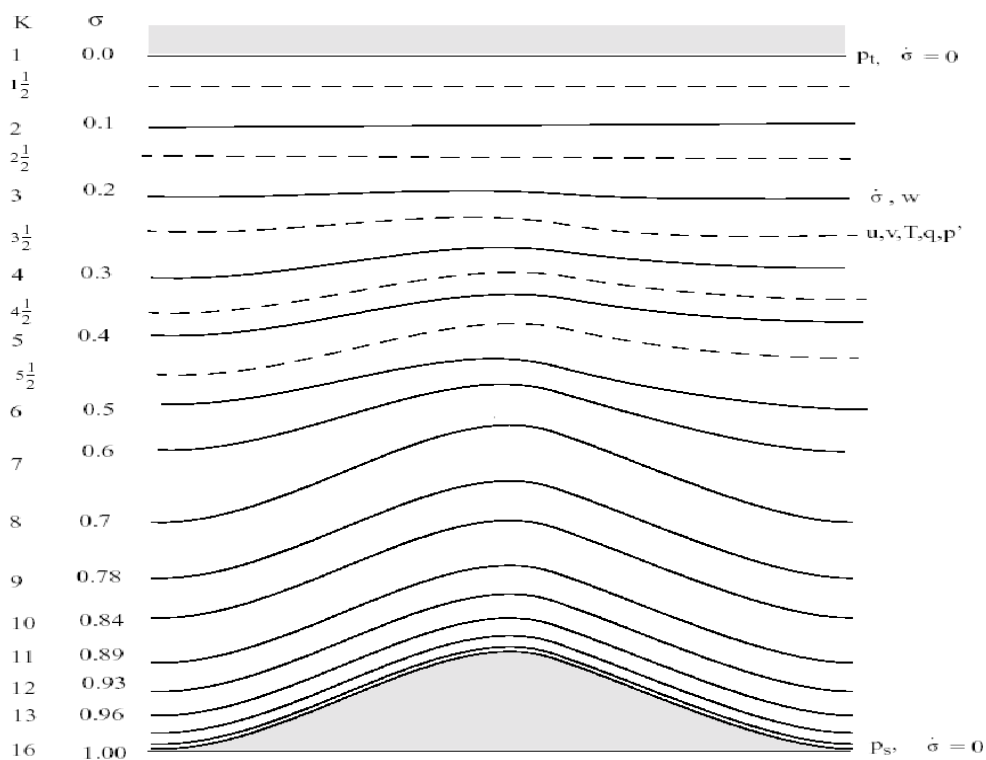


Figura 1 – Esquema representativo da estrutura vertical do modelo com 16 níveis verticais. (imagem retirada do Web Site: <http://users.ictp.it/RegCNET/regcm.pdf>)

Esse sistema aumenta a resolução vertical próximo ao solo permitindo definir melhor os processos da camada limite como o aquecimento diurno, ventos em baixos níveis, turbulência, umidade e estabilidade estática. Uma das limitações desse sistema é que para fazer a previsão de vento é necessário conhecer a Força do Gradiente de Pressão que é simples de calcular por coordenadas de pressão quando a altura é conhecida. Já em coordenadas sigma quando a superfície é inclinada a Força do Gradiente de Pressão deve ser expandida para incluir os efeitos dessa inclinação o que introduz erros porque o lapse rate deve ser aproximado em

pontos que estão entre pressão na superfície e a altura observada (<http://www.met.tamu.edu/class/metr452/models/2001/vertres.html>). Devido à presença de um gradiente topográfico é feito uma integração no tempo que utiliza um esquema “split-explicit” que inclui um algoritmo para reduzir a difusão horizontal (Giorgi et al., 1993 a-b).

Para os processos de transferência radiativa e interação solo-planta-atmosfera Giorgi et al. (1993-a-b) propuseram algumas modificações no MM4 até chegar no RegCM3. O RegCM3 utiliza o esquema Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme, BATS que é descrito com detalhes por Dickinson et al. (1993). BATS é um esquema que serve para descrever o papel da vegetação em interação com o solo nas trocas turbulentas, energia e vapor d'água entre superfície e atmosfera. O esquema tem ainda uma camada de vegetação, uma de neve e três camadas de solo, 10 cm de espessura da camada superficial do solo, 1 a 2 metros na camada da zona de raiz e outra camada de solo profundo com 3 metros de profundidade. As temperaturas do ar no dossel e na folhagem do dossel são calculadas diagnosticamente através do balanço de energia, incluindo fluxo de calor sensível, latente e radiativo. Para a hidrologia do solo são usadas equações de previsão para o teor de água nas camadas do solo. Essas equações representam a precipitação, o degelo, gotejamento das folhagens do dossel, evapotranspiração, escoamento superficial, infiltração na zona abaixo da raiz e troca difusiva de água entre as camadas do solo. Os fluxos de calor sensível, vapor d'água e momento na superfície são calculados usando um padrão de coeficientes de arrastos obtidos da teoria da similaridade aplicada à camada superficial. O coeficiente de arrasto depende do comprimento da rugosidade da superfície e da estabilidade atmosférica na camada superficial e a evapotranspiração na superfície depende da disponibilidade de água no solo.

Para os processos de transferência radiativa o RegCM3 utiliza a nova versão do esquema de radiação do NCAR CCM3 (Community Climate Model 3; Kiehl et al., 1996). No CCM2 os efeitos da H₂O, O₃, O₂ CO₂ são contabilizados pelo modelo e mais tarde com o CCM3 esses efeitos são mantidos, porém inclui novas funcionalidades, tais como o efeito de gases do efeito estufa (NO₂, CH₄, CFC), aerossóis atmosféricos e água das nuvens, resumidamente a componente solar que explica o efeito desses gases segue a aproximação de δ -Eddington de Kiehl et al. (1996). A parametrização de dispersão e absorção é dada por Slingo (1989) no qual

as propriedades óticas das gotículas de nuvem são expressas em termos da quantidade de água líquida contida na nuvem e do raio da gota eficaz.

Para os processos úmidos que resulta em precipitação o modelo regional RegCM3 apresenta os Esquemas Cumulus de convecção profunda e outro referido como SUBEX que é para precipitação na escala de grade descrito por Pal et al.(2000).

Para este estudo foram analisados os quatro esquemas de convecção cúmulos disponíveis no RegCM3 de modo a realizar uma climatologia de 30 anos de precipitação para cada um dos esquemas convectivos presentes no modelo. Os quatro esquemas analisados foram: Grell (1993) que possui dois fechamentos, Arakawa e Schubert (1974) e Frisch e Chappell (1980), o esquema Kuo modificado por Anthes (1977) e Emanuel (1991).

3.2.2 Descrição dos Esquemas Convectivos disponíveis no RegCM3

- Esquema Grell

No esquema Grell (1993) as nuvens são representadas por correntes ascendentes (updraft) e descendentes (downdraft) que só se misturam no topo e na base da nuvem de modo que o fluxo de massa nas correntes é constante com a altura. O entranhamento e desentranhamento do ar ocorrem ao longo das bordas da nuvem.

Os níveis originários das correntes ascendentes e descendentes são dados pelos níveis máximos e mínimos de energia estática úmida respectivamente. O esquema Grell é acionado quando uma parcela de ar ascende do seu nível inicial e atinge a adiábata úmida. A condensação da corrente de ar é calculada durante a ascensão da parcela saturada sem misturar com o ar ambiente de fora da nuvem.

O fluxo de massa ascendente (m_0) é proporcional ao fluxo de massa descendente (m_b) através de um parâmetro β que representa o quanto do condensado da corrente ascendente será evaporado durante a descida.

$$m_0 = \frac{\beta I_1}{I_2} m_b, \quad (01)$$

sendo I_1 a corrente ascendente de condensação normalizada e I_2 corrente descendente de evaporação normalizada.

A chuva é dada por

$$P^{CV} = I_1 m_b (1 - \beta) \quad (02)$$

O aquecimento e umedecimento do esquema Grell são determinados a partir dos fluxos de compensação e desentranhamento de massa no topo e base na nuvem. O esquema ainda inclui o efeito de resfriamento na corrente descendente.

Devido à simplicidade do esquema Grell é possível utilizar dois tipos de fechamento: Fritsch-Chappel que diz que a convecção demora certo tempo denominado período de tempo convectivo τ_c (entre 30 minutos e 1 hora) para atuar

na grade do modelo, removendo a energia potencial disponível durante esse intervalo de tempo. O fechamento Arakawa-Schubert que considera o conjunto de cumuli presente no elemento de grade e remove o excesso de energia de flutuação, gerado pelos movimentos de grande escala, em um passo no tempo de integração do modelo, pois depende da variação temporal das variáveis de grande escala. Esse conjunto cumuli afeta o ambiente de duas formas:

- induzindo a subsidência entre as nuvens aquecendo e secando o ar ambiente;

- através do desentranhamento do ar saturado que contém água líquida no topo da nuvem, o que faz com que o ambiente esfrie e umideça.

- Esquema Kuo

O esquema Kuo utilizado no modelo RegCM3 é o modificado por Anthes (1977) e aqui definido como Kuo. Nessa parametrização a atividade convectiva inicia quando a atmosfera está convectivamente instável e a convergência de umidade M integrada na vertical excede um determinado valor. Uma parte da convergência de umidade precipita e o restante umedece a atmosfera com a seguinte relação

$$P^{CU} = M(1 - \beta) \quad (03)$$

β é uma função da umidade relativa média \overline{RH} da seguinte forma

$$\beta = \begin{cases} 2(1 - \overline{RH}) & \overline{RH} \geq 0.5 \\ 1.0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O termo de convergência de umidade depende do perfil vertical da umidade relativa. O calor latente de condensação é então redistribuído na vertical seguindo um perfil parabólico pré-especificado com aquecimento máximo na metade superior da nuvem, onde se tem o máximo de calor latente

O esquema Kuo tem sido criticado em muitas literaturas, que pela sua técnica simples necessita de muita convergência de umidade para que dispare a convecção visto que particiona essa convergência de umidade em uma parte para umedecer a atmosfera e outra para precipitar e então acaba subestimando os valores de precipitação.

- Esquema Emanuel

O esquema Emanuel (1991) definido como Ema é um esquema com a física mais realista. A convecção é disparada quando o nível neutro flutuante é maior que o nível de condensação por levantamento (na base da nuvem). O ar ascende entre

estes dois níveis e uma fração da mistura condensada forma precipitação enquanto a outra forma nuvem. Esta nuvem se mistura com o ar ambiente de acordo com um espectro uniforme de mistura que levanta ou baixa a parcela para o nível de flutuação neutra. O gradiente vertical de flutuação dentro da nuvem é utilizado para determinar as taxas de entranhamento e desentranhamento.

Para a precipitação na escala de grade tem-se o esquema SUBEX (Subgrid Explicit Moisture Scheme), que é descrito por Pal et al. (2000). Esse esquema é usado para lidar com nuvens não convectivas e precipitação simulada pelo modelo. A precipitação se forma quando o teor de água na nuvem excede o limiar de autoconversão Q_c^{th} de acordo com a seguinte relação:

$$P = C_{ppt} \left(\frac{Q_c}{FC} - Q_c^{th} \right) FC, \quad (04)$$

de modo que, FC é a fração da célula de grade coberta por nuvens e é uma relação entre as umidades relativas. A razão $\frac{1}{C_{ppt}}$ pode ser considerada o tempo

característico para o qual as gotículas da nuvem são convertidas em gotas de chuva, o limiar de conversão é dado pela equação de escala mediana do teor de água líquida contida na nuvem:

$$Q_{thc} = C_{acs} 10^{-0.49+0.013T} \quad (05)$$

Sendo T a temperatura em °C e C_{acs} o fator de escala de autoconversão.

SUBEX também inclui uma formulação simples para a acreção do pingo de chuva e evaporação. A formulação para o acúmulo de gotículas de nuvem, de gotículas de chuva que cai é de acordo com Beheng (1994):

$$P_{evap} = C_{evap} (1 - RH) P_{som}^{\frac{1}{2}} \quad (06)$$

de modo que P_{evap} é a quantidade de precipitação evaporada, P_{som} precipitação acumulada e C_{evap} é o coeficiente da taxa de evaporação.

3.2.3 Execução do Modelo

O modelo RegCM em sua versão 3 possui alguns passos para executar suas simulações.

a) O primeiro passo é chamado de Pré-Processamento e este é dividido em duas partes:

i. DATA: Organização dos dados de entrada em locais específicos. Os dados de entrada podem ser obtidos pelo website: <http://users.ictp.it/~pubregcm/RegCM3/globedat.htm>.

ii. TERRAIN: Definições iniciais das Simulações como espaçamento na grade período de execução, domínio

iii. ICBC: Criação das condições de contorno definidas no DATA na grade do modelo definida no TERRAIN. A Figura 02 mostra a topografia da área de estudo e o domínio utilizado para as Simulações no modelo.

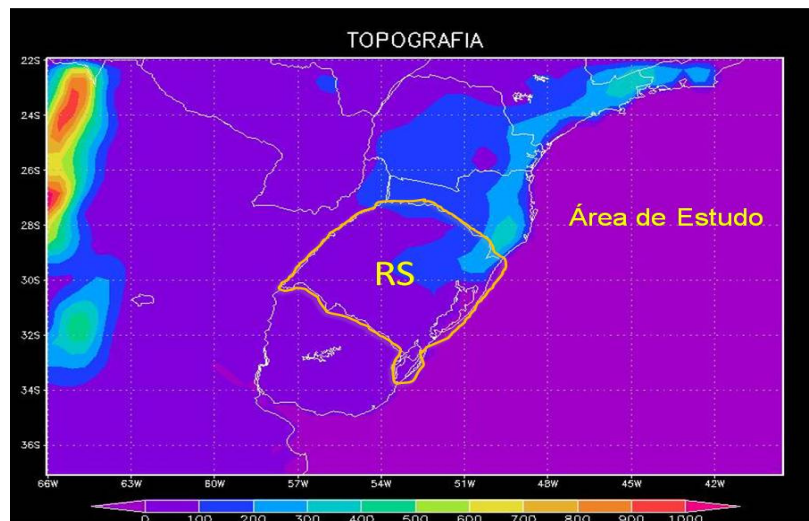


Figura 2 – Domínio utilizado e topografia em metros (m) nas simulações numéricas

b) O segundo passo é a execução do modelo. O modelo RegCm é de fácil execução e roda em qualquer PC que tenha o ambiente Linux instalado. Para a compilação é utilizado o Fortran IFORT disponibilizado gratuitamente pela Intel. Nesta etapa da execução são definidas datas, frequência de saída, os esquemas convectivos a serem utilizados pelo modelo.

c) O terceiro e último passo é chamado de Pós-Processamento e é nesse passo que o pós-processador do RegCM gera as médias diárias (ou alternativamente mensais ou pentadais) e converte para o formato NetCDF.

3.3 Simulações climáticas

As simulações realizadas para a região do Rio Grande do Sul a fim de construir uma climatologia de 30 anos para cada estação do ano foram feitas utilizando dados do período de 1975 a 2005. Período este, escolhido devido a troca de sinal ocorrida a partir de 1976 na ODP que passa a ser positiva até 2000 quando inverte novamente o sinal inicia sua fase negativa. Então se optou utilizar esse intervalo de tempo que vem a ser diferente do utilizado na climatologia apresentada pela OMM (1960-1990), e também pela razão de ter disponíveis dados confiáveis mais atualizados.

Foram feitas quatro simulações de 30 anos (1975-2005) para cada esquema convectivo presente no modelo RegCM o que possibilitou a criação de uma climatologia de precipitação para o RS para cada esquema. Grell com fechamento Frisch e Chappell que nesse trabalho será definida como Grell 1 e Grell com fechamento Arakawa e Schubert definida como Grell2. E as outras duas parametrizações a Emanuel definida como Ema e a Kuo. Depois das rodadas realizadas os arquivos foram separados em trimestres, Dezembro-Janeiro-Fevereiro, Março-Abril-Maio, Junho-Julho-Agosto, Setembro-Outubro-Novembro, que correspondem a estações de Verão, Outono, Inverno e Primavera respectivamente.

As simulações iniciaram um mês antes (novembro do ano anterior) e finalizaram em Dezembro do ano corrente. Este mês inicial foi incluído para cada rodada para o ajuste inicial do modelo devido à componente atmosférica, que necessita alguns dias para fazer o “spin up” como descrito por Giorgi e Mearns, (1999)

As simulações foram feitas com uma resolução de 50 km, com 60 pontos de grade na direção x e 40 pontos de grade na direção y e 18 níveis verticais sigma. O domínio utilizado nas simulações compreende as Latitudes de 35°S – 22°S e Longitudes de 66°W – 39°W e centralizado em 30°S, 53°W.

3.4 Estatística Das Simulações

A fim de analisar as precipitações geradas pelo RegCM3 inicialmente foram comparados os campos médios de precipitação para cada estação com os dados reais.

Além disso, foram verificadas a variabilidade na distribuição de chuva por estação, anomalias com máximos e mínimos e histogramas de freqüência, de modo a verificar como o modelo reproduz os extremos e a variabilidade de precipitação.

Para as análises estatísticas das simulações realizadas foram calculadas medidas de Dispersão como:

- Média
- Mediana
- Correlação de Person, utilizando um teste de significância de 99%
- Anomalias
- Dispersão
- Desvio Padrão
- Quantis
- Interquartil (IQR)
- RMSE (Root Mean Square Error), erro quadrático médio

O coeficiente de correlação é uma medida de dispersão que mostra o quanto dois valores estão correlacionados, e é dado pela correlação de Person (Wilks,1995) na Equação (07).

$$correl = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (07)$$

De modo que todos os x_1, x_2, x_3, \dots são valores simulados e y_1, y_2, y_3, \dots são os observados. \bar{x} e \bar{y} são médias aritméticas.

Os processos que permitem decidir em aceitar ou rejeitar uma hipótese ou determinar se as amostras observadas diferem significativamente dos resultados

esperados, são chamados testes de significância. Para analisar a significância dos valores encontrados nas correlações foi utilizado o teste t de Student (Spiegel, 1979), para um nível de significância de 99%, e foi estabelecido que para correlações inferiores a 0,41 seriam ditas não significativas.

$$correl = \frac{t}{\sqrt{(n-2)+t^2}} \quad (08)$$

de modo que *correl* é a correlação testada e *t* é o grau de liberdade para *n* número de amostras.

A variabilidade proposta pelo Desvio Padrão (*s*) orienta no sentido de que quanto maior a variabilidade nos dados maior será o seu valor, entretanto a variabilidade deve ser entendida como os valores que variam em relação a um único valor (média, por exemplo) e não em relação um ao outro, como mostra a Equação (08).

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (09)$$

Outra medida de dispersão também usada para analisar a variabilidade é o IQR (Interquartil range) é simplesmente a diferença entre os Quartis superiores 0,75 e o inferior 0,25. O Quartil é dado pela separação em quatro partes iguais uma série de dados, de modo que precisamos de 3 Quartis para dividir a série em quatro, Q1(quartil inferior), Q2 (mediana) e o Q3 (quartil superior). O IQR mostra que 50% dos elementos do meio da amostra estão contidos num intervalo com aquela amplitude. Esta medida mais robusta em relação ao Desvio, é não negativa e será tanto maior quanto maior for a variabilidade nos dados. (Wilks, 2009)

$$IQR = Q_{0,75} - Q_{0,25} \quad (10)$$

Foi calculado o RMSE (Root Mean Square Error). RMSE reflete a magnitude da diferença média entre o simulado e o observado.

$$RMSE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (stimulado - observado)^2 \right)^{0,5} \quad (11)$$

Para as Médias, Medianas, Desvio Padrão e IQR Climatológicos foram construídos gráficos (Apêndice 1) de modo a comparar o comportamento de cada esquema convectivo para cada estação do ano.

4 ANÁLISE DESCRITIVA DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

4.1 Descrição das Análises das Climatologias

Desenvolveu-se quatro climatologias de 30 anos (1975-2005) para o RS, nos quatro esquemas convectivos existentes no modelo RegCM3 (Grell 1, Grell 2, Ema e Kuo). As análises foram separadas em estações do ano conforme o esquema abaixo:

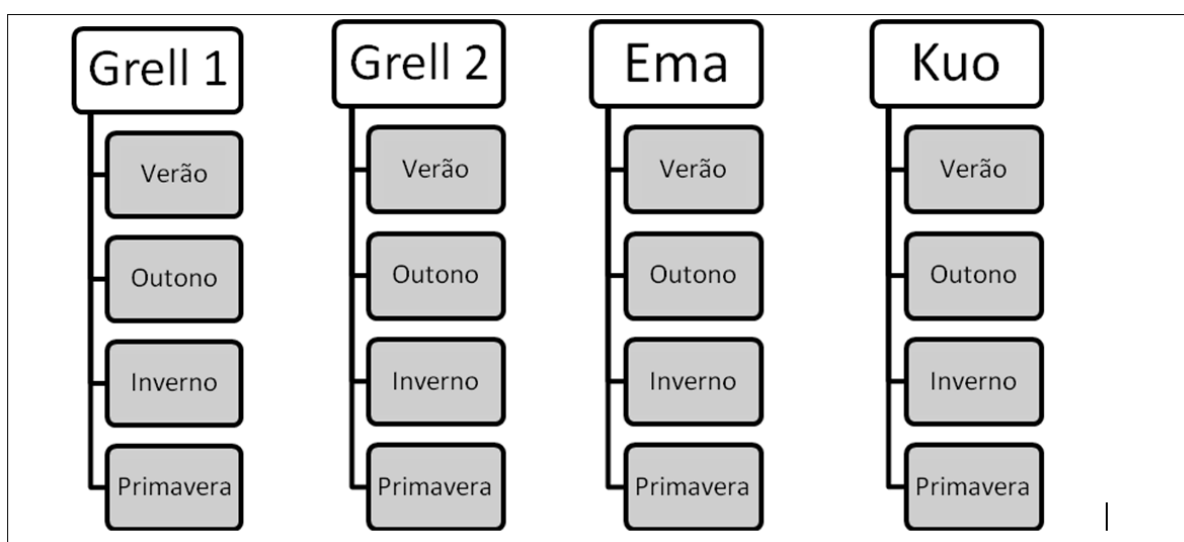


Figura 3 – Esquema das quatro Climatologias geradas para com os quatro esquemas convectivos.

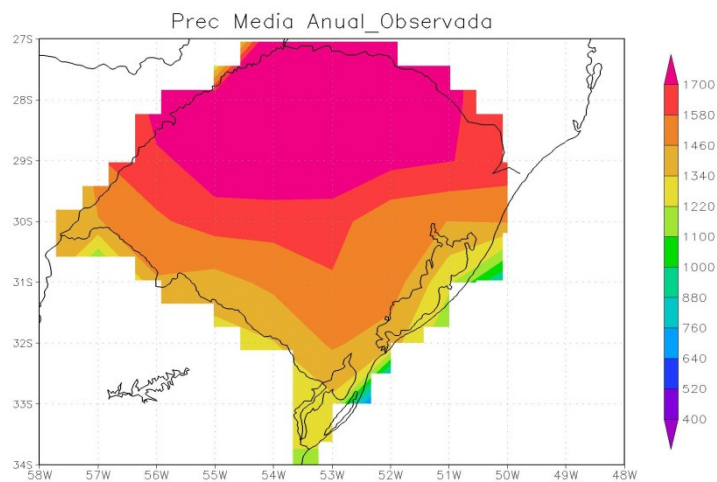
As Climatologias Simuladas foram comparadas com a Climatologia real para cada estação do ano. Conforme descrito no capítulo anterior os dados reais foram obtidos de diversas fontes e compilados por Liebmann e Allured (Liebmann e Allured, 2005) e a partir daqui serão referidas por Observadas.

Para verificar o padrão de distribuição chuva no estado no período (1975-2005 foram geradas médias anuais tanto para a Climatologia Observada quanto para as Simuladas) (Figura 04.)

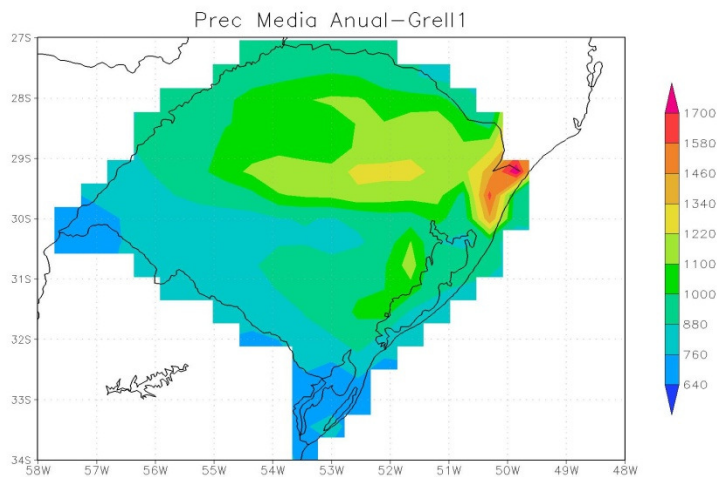
É possível perceber na Figura 4 (a) altos valores na precipitação média anual na região norte do estado, valores que vão decrescendo em direção a região

sudeste, sudoeste e sul o que está de acordo com o padrão também encontrado por Diaz et al. (1998).

Para os valores simulados, os esquemas que se aproximaram mais do padrão observado foram os esquemas Grell 2 e Ema que embora tenham subestimado os valores da precipitação conseguiram apontar o sinal de precipitação mais a norte com o setor nordeste um pouco mais pronunciado se comparado com o restante do estado.

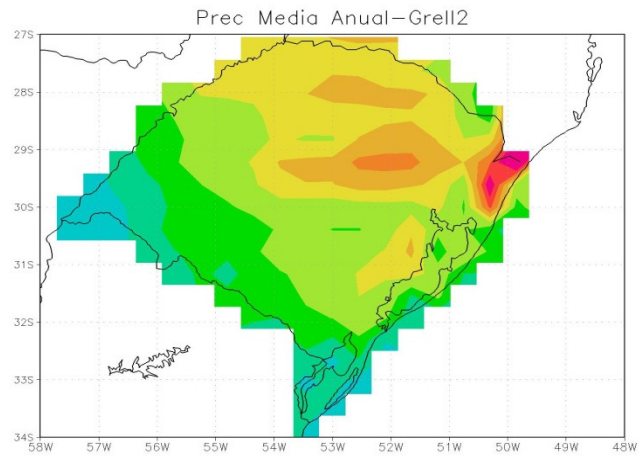


(a)

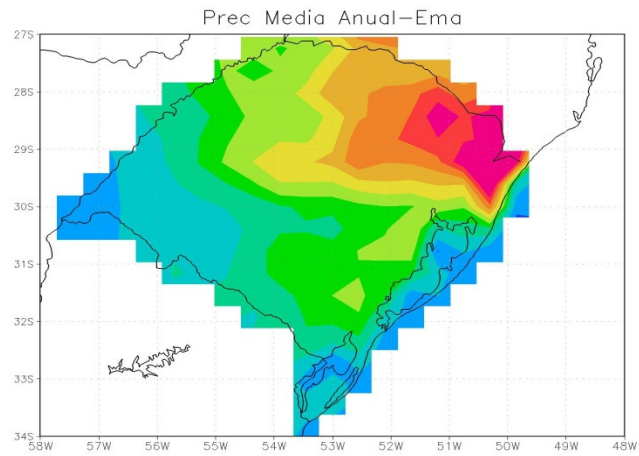


(b)

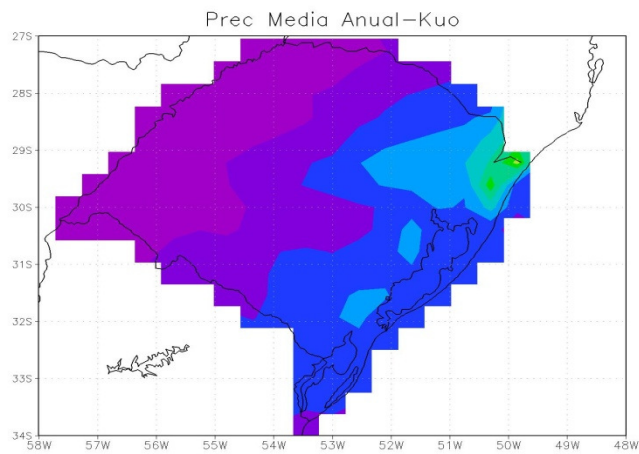
Figura 4 - Precipitação média anual climatológica. (a) Observada, (b) Grell1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.



(c)



(d)



(e)

Figura 4 Continuação - Precipitação média anual climatológica. (a) Observada, (b) Grell1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo

4.1.1 Algumas Características Climatológicas na sazonalidade da precipitação regional

O estado do RS possui uma distribuição anual homogênea da precipitação, no entanto, é interessante avaliar a distribuição quanto à sazonalidade pelo fato da variabilidade de precipitação interanual ser bem maior se comparada com a anual (Gonzalez e Barros, 1997) e também por facilitar a análise de períodos mais ou menos expressivos quanto à chuva.

Alguns estudos tem mostrado a variabilidade espacial do ciclo anual de precipitação para a região sul do Brasil e parte sul da AS (p. ex., Ropelewski e Halpert, 1987; Rao e Hada 1990; Piscionato et al. 1994; Diaz et al. 1998) apresentando uma sazonalidade quanto a distribuição.

Segundo Wang e Paegle, (1996), a leste do Andes existem duas possíveis fontes de vapor d'água no sul da AS que contribuem no desenvolvimento dos sistemas convectivos: O Oceano Atlântico e a Floresta Tropical Amazônia que influenciam no ciclo anual de precipitação com um máximo no Verão nas latitudes subtropicais em que a convecção é favorecida pela advecção de vapor d'água vinda da Amazônia propiciando precipitação no setor ocidental da AS , bem como nas regiões da Argentina, Uruguai ,Paraguai e região sul e sudeste do Brasil. Já para a região leste o abastecimento de vapor d'água pelo Atlântico ocorre o ano todo favorecendo a precipitação nessa região com máximos no Inverno e Primavera.

Alguns sistemas atmosféricos contribuem para gerar precipitação no RS como as Atividades Convectivas que em associação a Sistemas Frontais que migram das altas latitudes são responsáveis pelo abastecimento pluviométrico no estado principalmente durante a Primavera ocasionando maior variabilidade de precipitação no lado oeste do estado. Tais Sistemas quando modulados pela presença do jato subtropical podem sofrer influência na sua trajetória e intensidade. Kousky e Cavalcanti (1984) ressaltaram a importância da presença desse jato na precipitação. Hao e Hada (1990) utilizando dados de precipitação de 21 anos encontraram a estação da Primavera como sendo a mais chuvosa para o RS. Durante a Primavera o sul do Brasil também sofre a influência dos SCMs (Silva Dias, 1987), acarretando forte precipitação nessa região de novembro a abril conforme Velasco e Fritsch,

(1987). Segundo Fernandez e Satyamurty, (1994) também durante a Primavera e Verão sobre o RS há a presença de frequentes cavados o que colabora diretamente na variabilidade do clima no estado.

Já para o período de Inverno a maior variabilidade de precipitação pode estar associada à formação de Ciclogêneses e Frontogênes na AS. De acordo com Satyamurty e Mattos (1989) o sul do Brasil apresenta Sistemas Frontogênicos em quase todo o ano, e assim a maior parte da precipitação acontece por precipitação frontal sendo que na estação de Inverno ocorre o maior número de passagens de frentes no RS. Segundo Gan e Rao, (1991) as Ciclogênes são mais ativas no Inverno acarretando mais chuva na região leste próximo ao litoral, e a região mais a oeste do estado incluindo também os países, Argentina e Paraguai, sofrem subsidência e conseqüentemente períodos de seca durante o inverno de acordo com Grimm, (2000).

Tendo em vista a sazonalidade na distribuição de chuva para os diferentes setores do RS serão apresentadas a seguir as Climatologias trimestrais simuladas desenvolvidas para cada estação do ano. Esta serão comparadas com a Climatologia da precipitação Observada.

4.1.2 Climatologia Trimestral de Precipitação para Verão

A Figura 05 (a) apresenta a Climatologia Observada trimestral encontrada para a estação de Verão. O setor norte do estado apresenta um maior acumulado de precipitação, acima de 440 mm para esse trimestre e decrescendo em direção ao sul. O esquema convectivo Ema (Figura 05 (b)) reproduz esse padrão de precipitação mais ao norte e uma parte do nordeste do RS, superestimando o Observado.

Os esquemas Grell 1 e Grell 2 (Figura 05 (c) e (d)) apresentam uma climatologia de precipitação com melhor distribuição, porém não reproduz o sinal observado ao norte.

O esquema Kuo (Figura 05 (e)) assim como em Grell 1 e 2 aponta um pequeno sinal mais a nordeste do estado e subestima a precipitação em

praticamente todo o restante do estado com um acumulado médio trimestral em torno dos 140-180 mm em praticamente todo o território gaúcho apresentando a mais baixa correlação dentre todas as simulações feitas, de modo que para o nível de significância utilizado (99%), o esquema Kuo para o Verão não apresenta correlação com os valores observados, como pode ser visto na Tabela 4.2.1.1 no item 4.2.1.

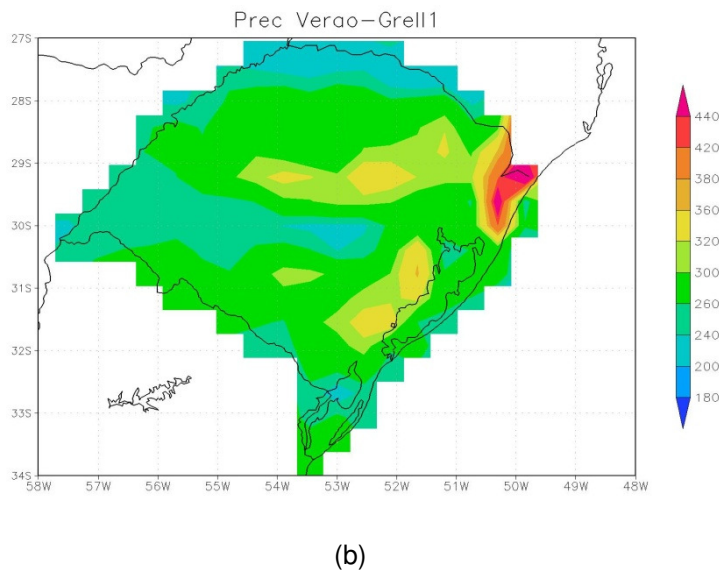
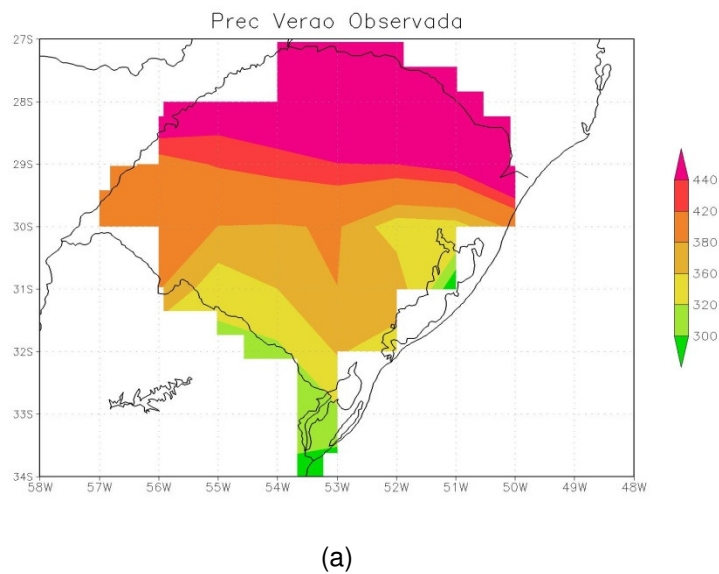
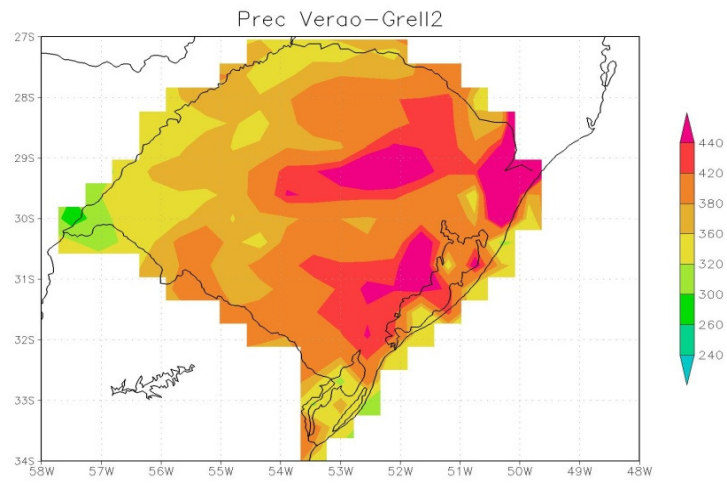
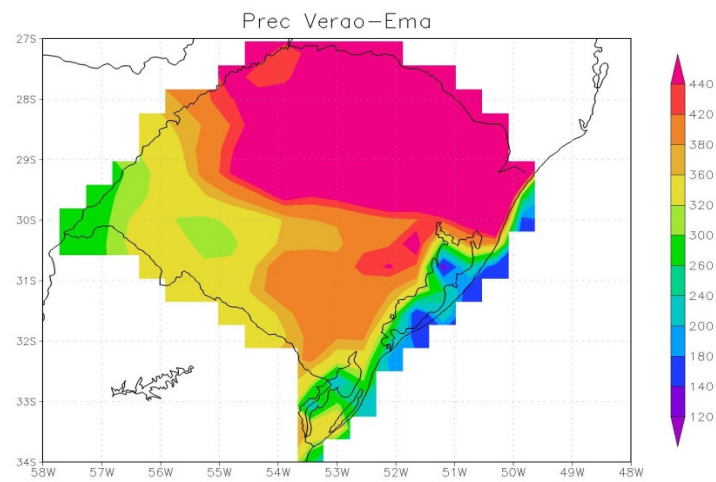


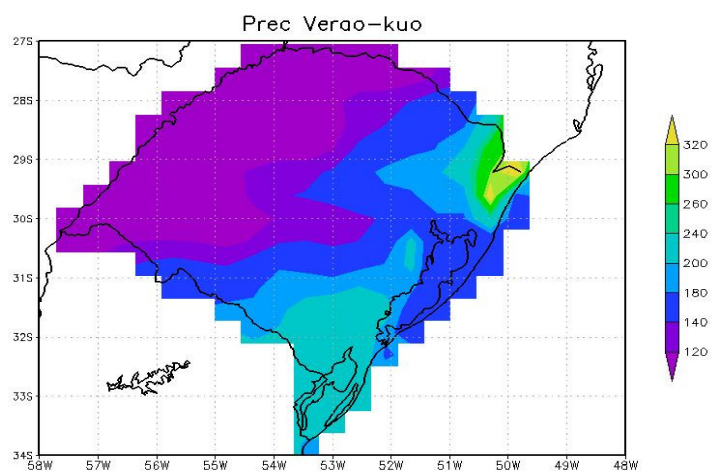
Figura 5 - Precipitação Acumulada Trimestral-Verão. (a) Grell 1, (b) Grell 2, (c) Ema, (d) Kuo (e) Observado.



(c)



(d)



(e)

Figura 05 - (continuação) - Precipitação Acumulada Trimestral-Verão. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.

4.1.3 Climatologia de Precipitação pra o Outono

Para o Trimestre de Outono a Climatologia Observada apresenta um dipolo entre o noroeste e sudeste do estado com um sinal maior de precipitação no noroeste conforme mostra a Figura 06 (a). O modelo mostra certa dificuldade em reproduzir esse dipolo tanto que na Figura 06 (e) o esquema convectivo Kuo além de subestimar os valores, apresenta o sinal de maneira invertida.

A climatologia simulada por Grell 2 (Figura 06 (c)) apresenta levemente o sinal da Observada, e cria uma faixa de precipitação uniforme entre o noroeste e sudeste do RS.

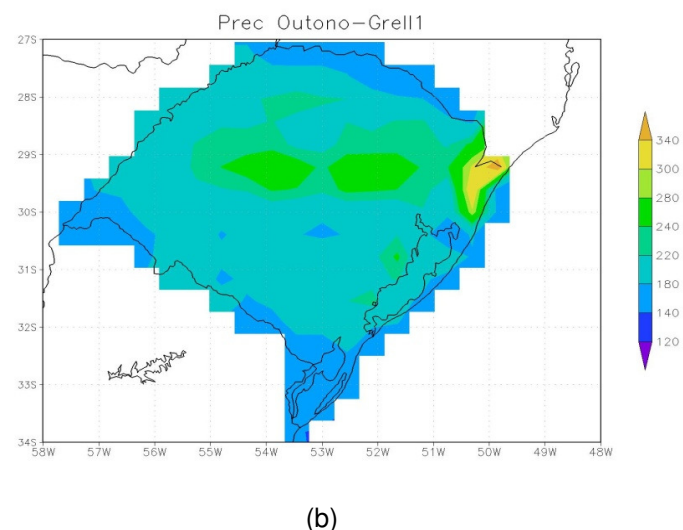
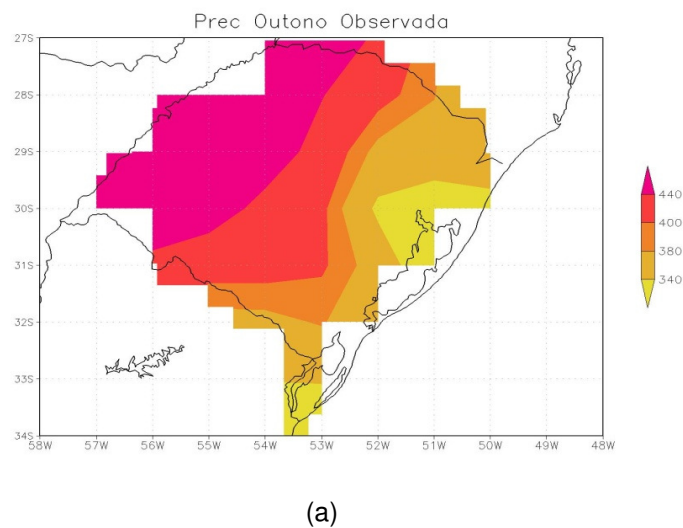
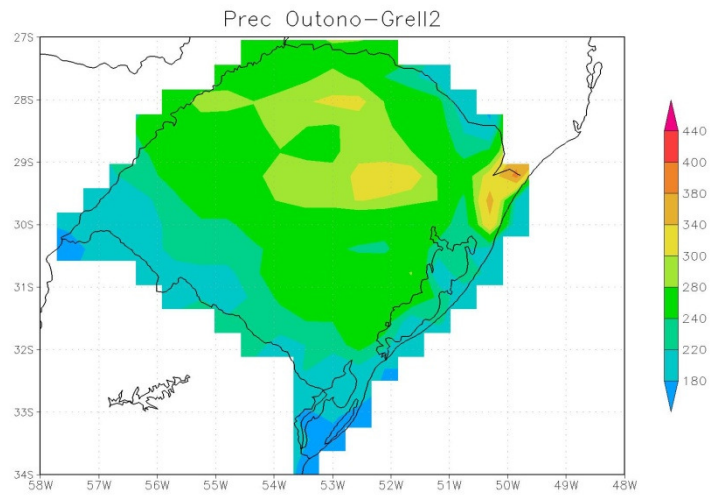
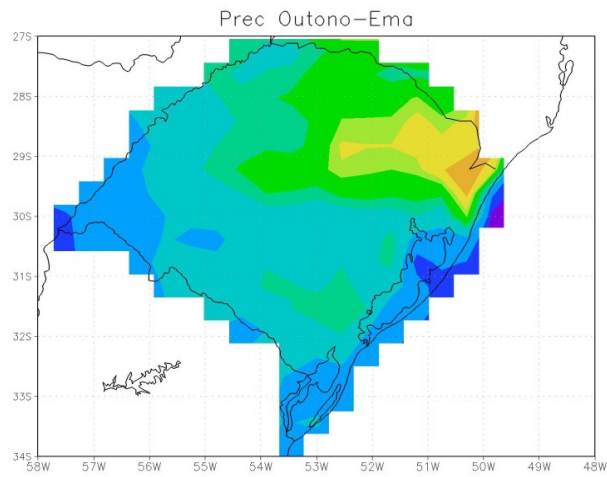


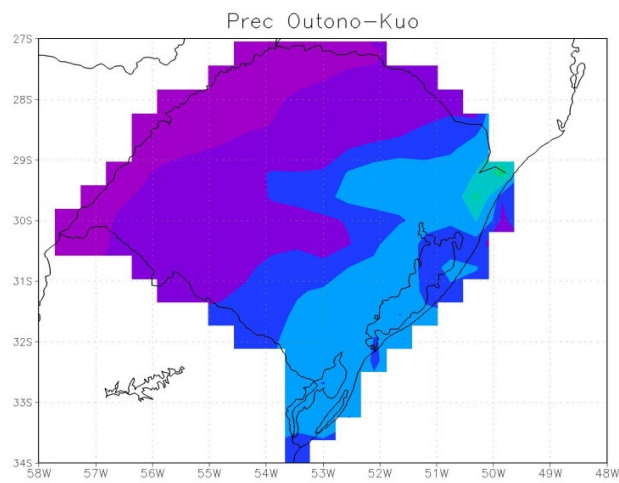
Figura 6 - Precipitação Acumulada Trimestral-Outono. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo



(c)



(d)

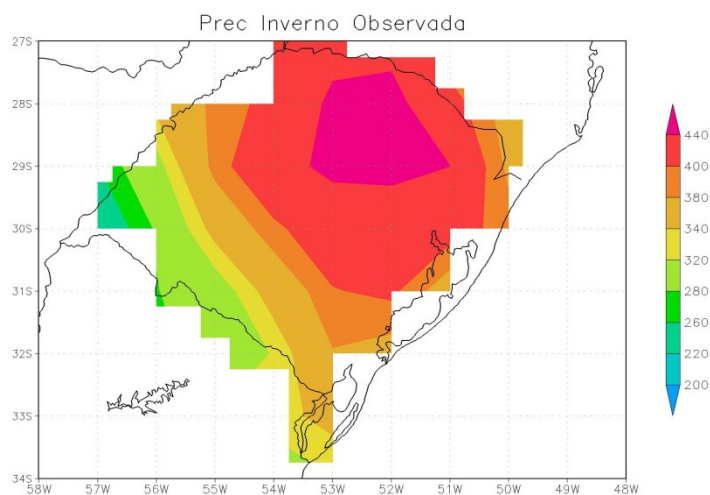


(e)

Figura 06 (continuação) - Precipitação Acumulada Trimestral-Outono. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.

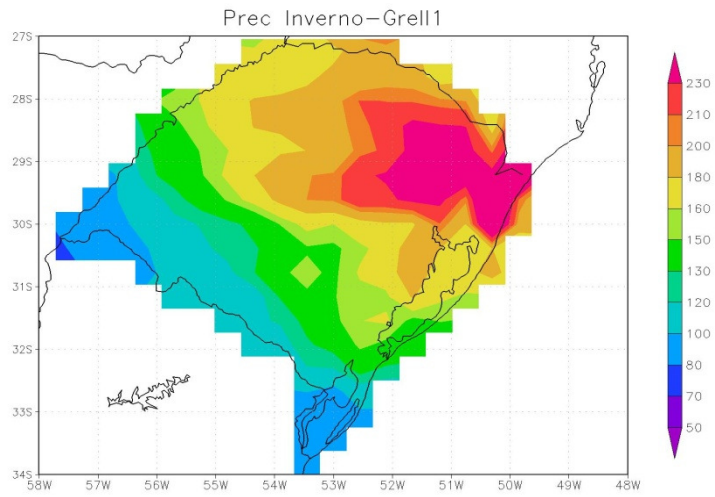
4.1.4 Climatologia de Precipitação para o Inverno

A Figura 07 mostra a Climatologia Observada e sua comparação com as Climatologias Simuladas revela que o modelo reproduz bem o padrão de precipitação e mostra que todas acompanham esse padrão apresentado pela Climatologia Observada que aponta valores mais elevados de precipitação no setor nordeste do estado e menores no setor noroeste. Esse dipolo é bem representado por todos os esquemas convectivos sendo Grell 2 (Figura 07 (a)) o esquema que melhor reproduz esse dipolo, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos de precipitação, levando a uma melhor correlação entre a Climatologia Observada e Simulada. Para todas as outras Climatologias foi encontrado um alto valor de correlação, como pode ser visto na Tabela 4.2.1.2 (no item 4.2.1). Esse padrão de precipitação para o Inverno com um acumulado mais expressivo no nordeste pode estar associado a constantes passagens de Frentes Frias e Ciclones pelo estado segundo Gan e Rao. Grimm, 2000; Grimm et al. 2003 analisando o ciclo anual de precipitação sobre o Brasil e AS encontraram resultados semelhantes, ou seja, maior precipitação a leste e seca a oeste do estado e nos países adjacentes.

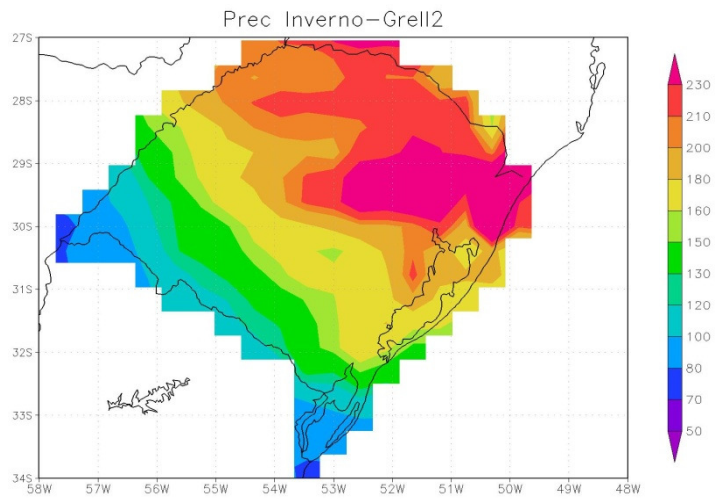


(a)

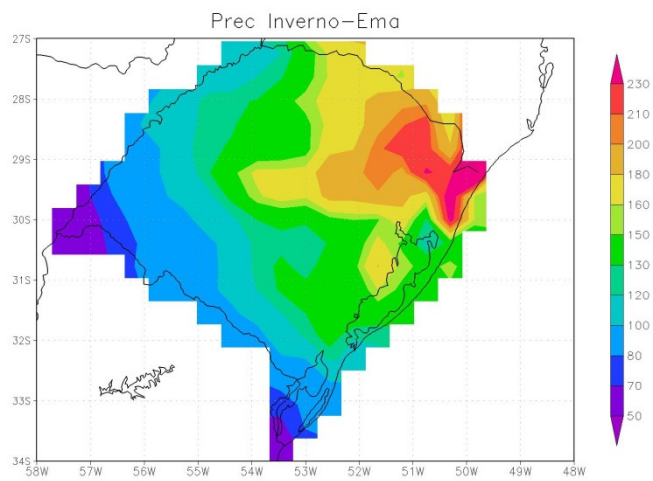
Figura 7 - Precipitação Acumulada Trimestral-Inverno. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.



(b)

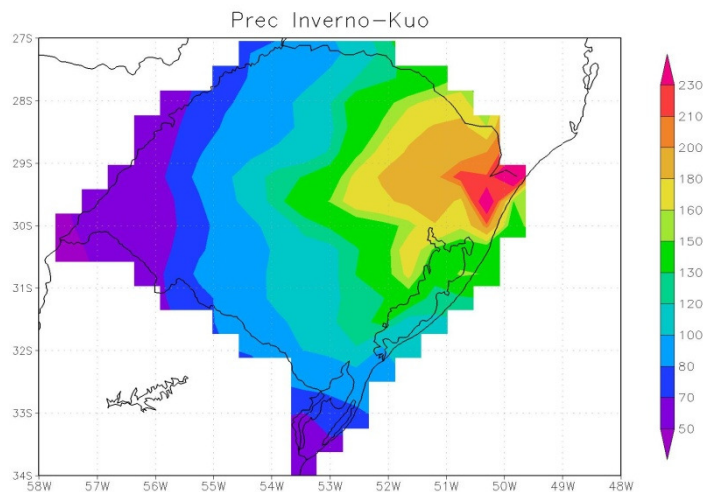


(c)



(d)

Figura 07 (continuação) - Precipitação Acumulada Trimestral-Inverno. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.



(e)

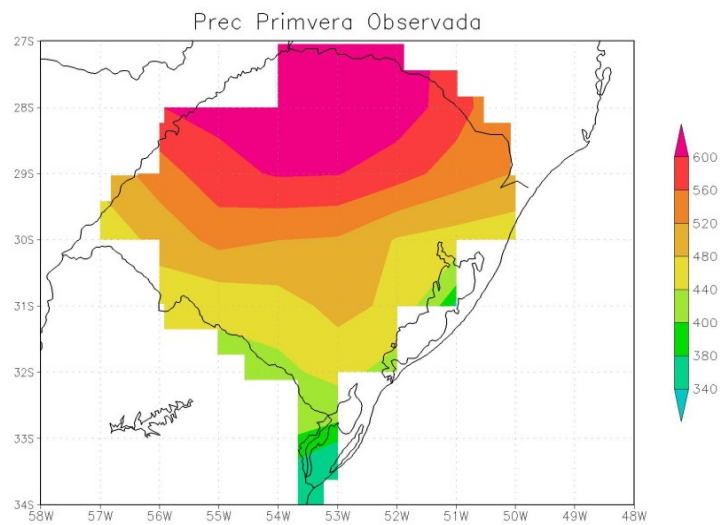
Figura 07 (continuação) - Precipitação Acumulada Trimestral-Inverno. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo.

4.1.5 Climatologia de Precipitação para a Primavera

Para o trimestre correspondente a Primavera é esperado chuva acima da média em relação aos outros Trimestres, isso porque durante esse período ainda há muita atividade convectiva associada presença de FF, Ciclones, SCMs que se desenvolvem sobre o Paraguai e movem-se para o leste. É durante esta estação e a estação de Verão que os JBN que trazem umidade da região equatorial para os subtropicais ganham intensidade. (Silva Dias, 1987). Os acumulados de precipitação anual no RS podem estar conectados aos níveis de precipitação muito acima da média em anos em que o ENOS está em sua fase positiva. Ropelewski e Halpert (1987,1989) ao analisarem a distribuição de precipitação na região sul da AS encontraram durante o período de Novembro a Fevereiro chuva acima da média em anos sob efeito deste fenômeno. Embora o ENOS seja um fenômeno de baixa frequência ele acaba influenciando e causando alterações nas características das circulações climáticas como o fortalecimento do JBN na Primavera e advecção de vorticidade ciclônica sobre o sul do Brasil bem como o aprofundamento do sistema de baixa pressão a oeste do Brasil (Baixa do Chaco) pela advecção de umidade vinda do norte (Grimm et al. 2000). Desse modo, o ENOS influencia nas

características de circulação afetando a caracterização de precipitação no sul do Brasil.

As maiores médias trimestrais acumuladas foram encontradas para esta estação do ano, tendo uma média observada em torno dos 440 mm/trimestre de precipitação, o que está de acordo com o esperado. Na Figura 08 (a) o sinal de precipitação intensa para a Climatologia Observada na Primavera está localizado ao norte do RS e diminui em direção ao sul do estado, esse é o mesmo padrão apontado no Trimestre Observado durante o Verão. No entanto as Climatologias Simuladas apontam um sinal mais ao nordeste do estado gaúcho, um comportamento mais próximo ao encontrado para no Trimestre de Inverno. A Climatologia que se aproxima mais da Observada é a Grell 2 pois acompanha melhor esse padrão de distribuição. O esquema Kuo subestima novamente os resultados observados



(a)

Figura 8 - Precipitação Acumulada Trimestral-Primavera. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo

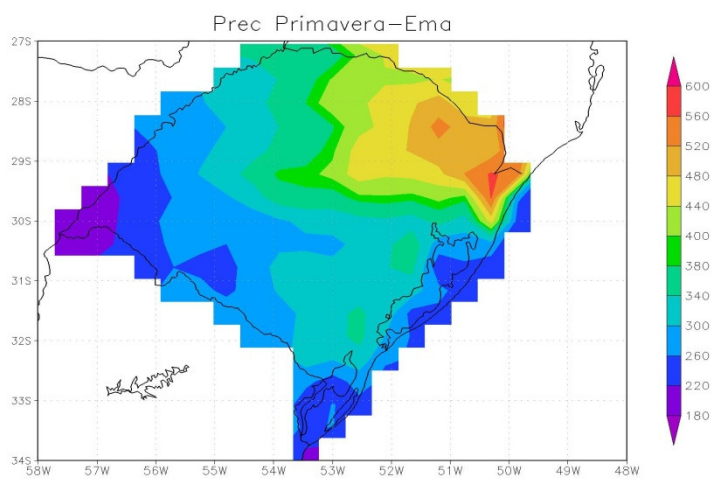
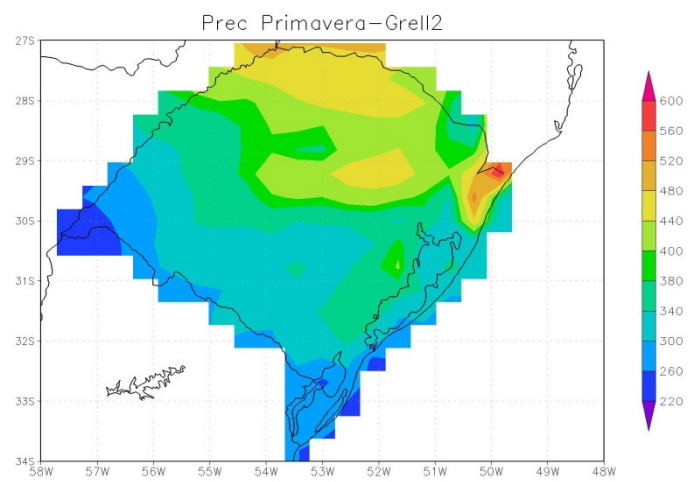
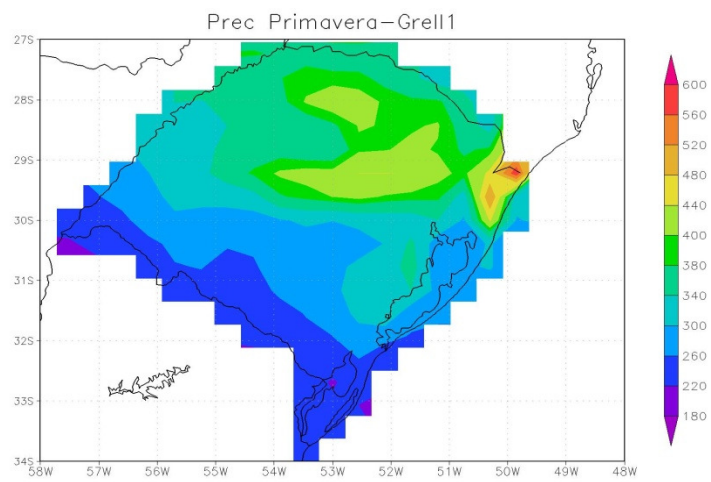
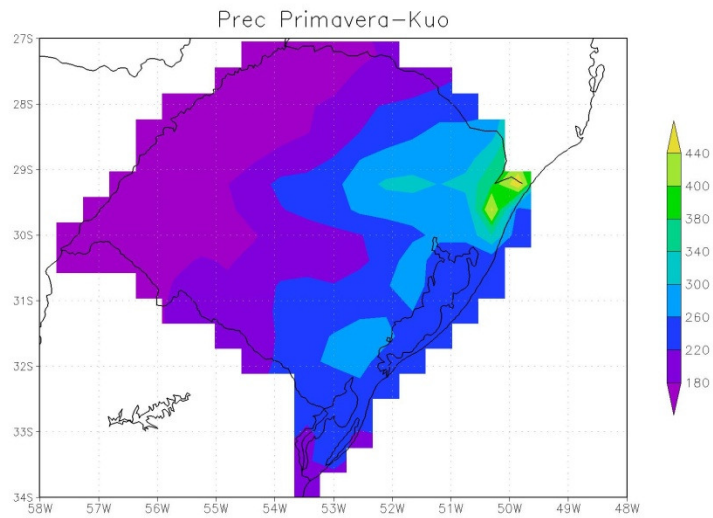


Figura 08 (continuação) - Precipitação Acumulada Trimestral-Primavera. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo



(e)

Figura 08 (continuação) - Precipitação Acumulada Trimestral-Primavera. (a) Observado. (b) Grell 1, (c) Grell 2, (d) Ema, (e) Kuo

4.2 Análises Estatísticas das Climatologias

Embora as análises qualitativas das climatologias tenham sido feitas de maneira mais regional, observando os padrões de precipitação pelo estado do RS, as análises estatísticas foram feitas para todo o estado de maneira mais generalizada. Foram então calculadas as medidas de dispersão como as mencionadas no item 3.4 para os dados acumulados trimestrais e posteriormente para os dados diários para cada esquema convectivo. Para os acumulados trimestrais foram feitas as seguintes análises:

- Distribuição da Precipitação
- Distribuição das Frequências
- Correlação entre a Precipitação Simulada e Observada
- Anomalias de Precipitação
- Dispersão entre Precipitação Simulada e Observada

Para as análises dos acumulados trimestrais de precipitação encontraram-se as medidas de dispersão conforme as Tabelas de Índices Estatísticos para cada estação do ano.

Com as análises de precipitação diária foram feitas para cada estação de cada esquema convectivo os exames:

- Percentis de Distribuição de Precipitação
- Precipitação máxima diária registrada

Para os percentis foram calculadas as médias de cada percentil de modo facilitar a análise comportamental de cada esquema convectivo.

4.2.1 Análise Estatística para o Verão

Na tabela 4.2.1.1 são apresentados os Índices Estatísticos para a estação de Verão. Nota-se que a Média e Mediana estão bem próximas, isso se deve ao fato da pouca variabilidade entre os dados acumulados trimestrais, o que não ocorreria se a média e mediana fossem calculadas para valores diários devido a maior variabilidade na distribuição diária, podendo a mediana ter um resultado bem diferente da média.

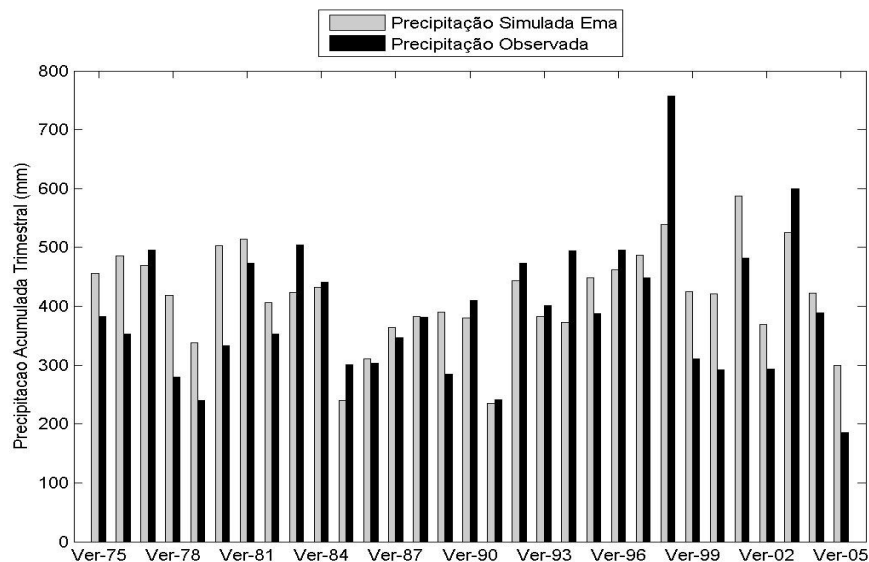
A correlação mais baixa encontrada para o Verão foi para o esquema Kuo (em destaque). Para este trabalho como visto anteriormente foi utilizado um nível de significância de 99%, todos os valores cuja correlação seja acima 0,41 serão significativos, abaixo disso não terão significância estatística.

Tabela 4.2.1.1 - Índices Estatísticos calculados para o Verão

	Média (mm)	Mediana (mm)	Correl	Desvio Padrão(mm)	IQR (mm)	RMSE (mm)
Ema	417,27	422,60	0,68	81,13	93,38	88,77
Grell 1	274,25	268,04	0,71	69,64	79,95	143,17
Grell 2	387,48	371,41	0,64	102,28	148,45	93,01
Kuo	144,65	151,56	0,09	46,52	62,35	274,34
Observado	391,37	382,54	--	117,15	172,20	--

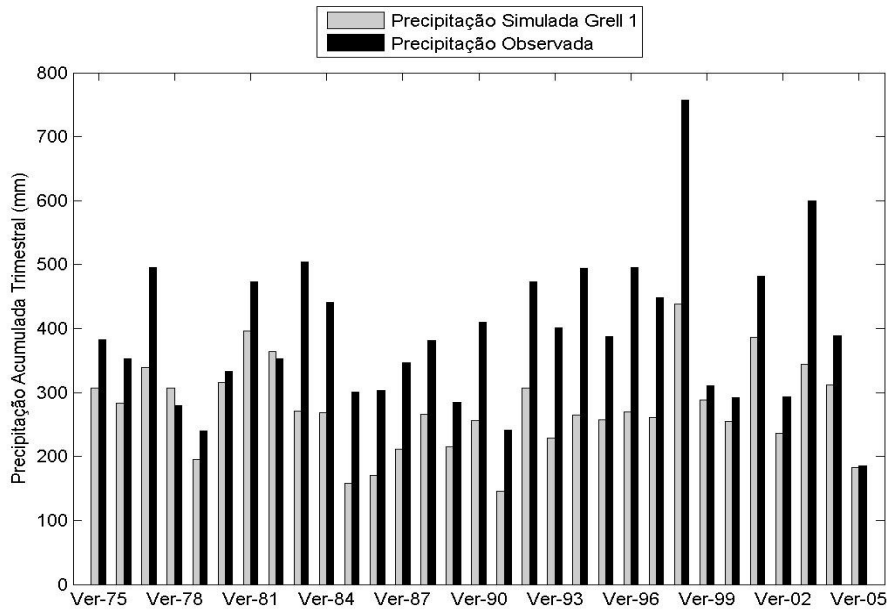
A Figura 09 apresenta a distribuição da precipitação trimestral acumulada para o Verão para cada simulação testada no período de 1975-2005. Para uma análise qualitativa das simulações, observou-se que todos os esquemas convectivos seguiram o mesmo padrão de distribuição, com Ema e Grell 2 superestimando em alguns trimestres e Grell 1 e Kuo subestimando em praticamente todos os trimestres. O menor RMSE encontrado foi para o esquema convectivo Ema, o que também pode ser observado na Figura 09, visto que a precipitação simulada por esse esquema acompanhou melhor a distribuição de precipitação observada, e a frequência de distribuição (Figura 10). A frequência de distribuição para esse esquema convectivo se deu em torno de 350 a 450 mm e está razoavelmente próximo a frequência de distribuição Observada.

O maior RMSE foi encontrado para o esquema Kuo que subestimou os valores observados (Figura 09) corroborado pelo diagrama de dispersão (Figura 11), que mostra os valores pra Kuo bem próximos ao eixo da Precipitação Observada, levando a uma correlação não significativa dentro do nível de significância estabelecido. Já para Ema e Grell 2 a maioria dos valores simulados superestimaram os observados, entretanto foram encontradas correlações dentro do nível de significância estabelecido

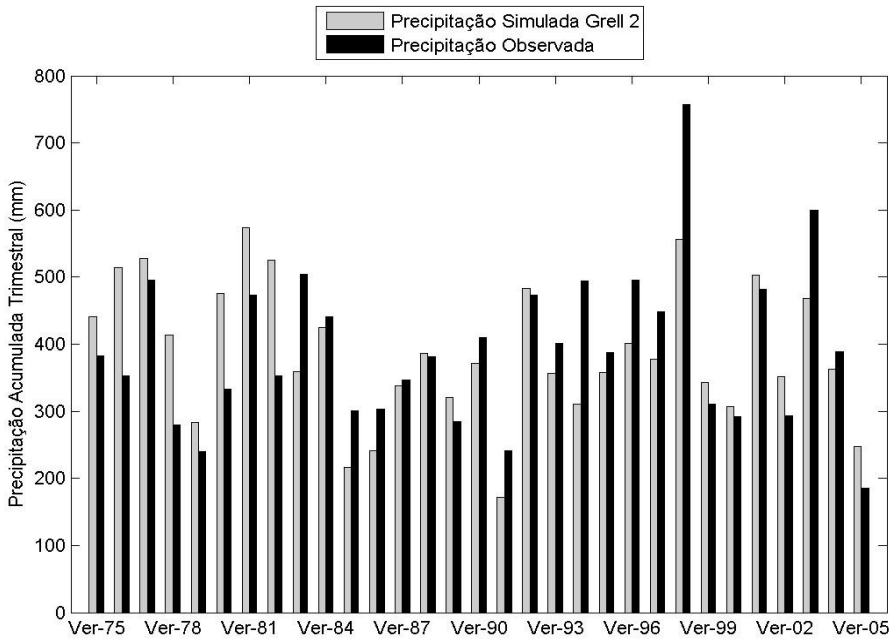


(a)

Figura 9 - Distribuição Trimestral Acumulada-Verão (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

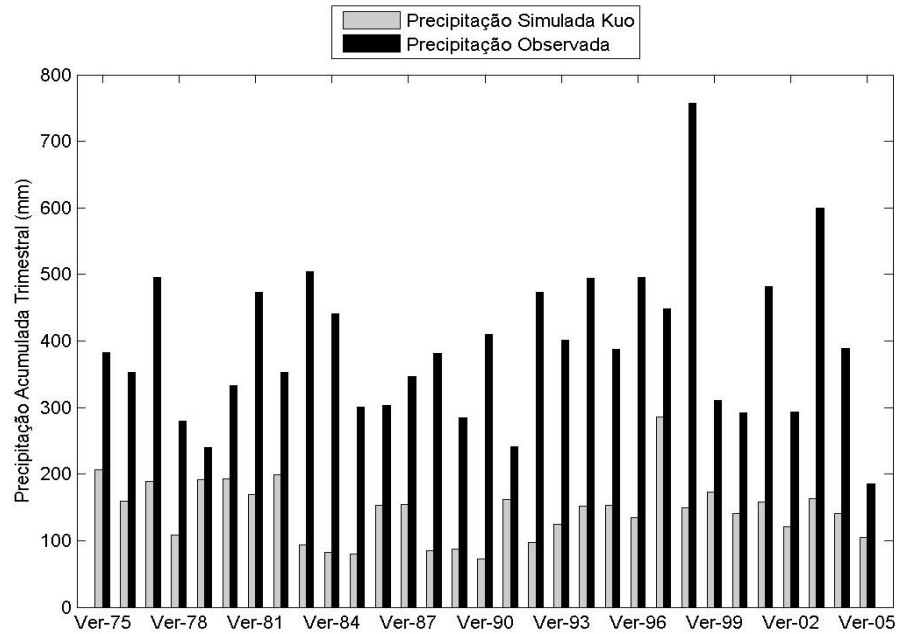


(b)



(c)

Figura 09 (continuação) - Distribuição Trimestral Acumulada-Verão (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.



(d)

Figura 09 (continuação) - Distribuição Trimestral Acumulada-Verão (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

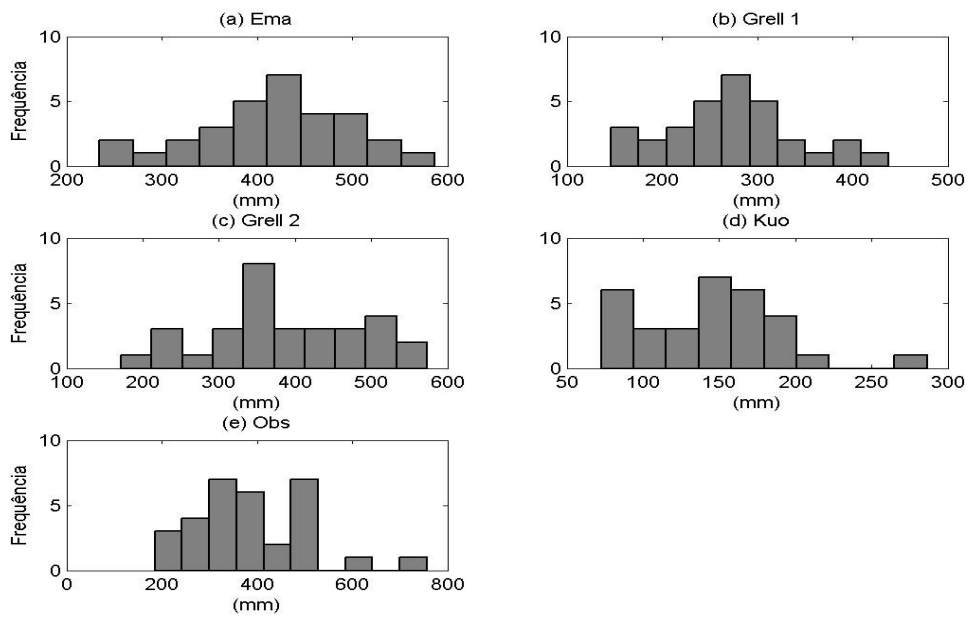


Figura 10 - Diagrama de distribuição de frequência para o Verão.

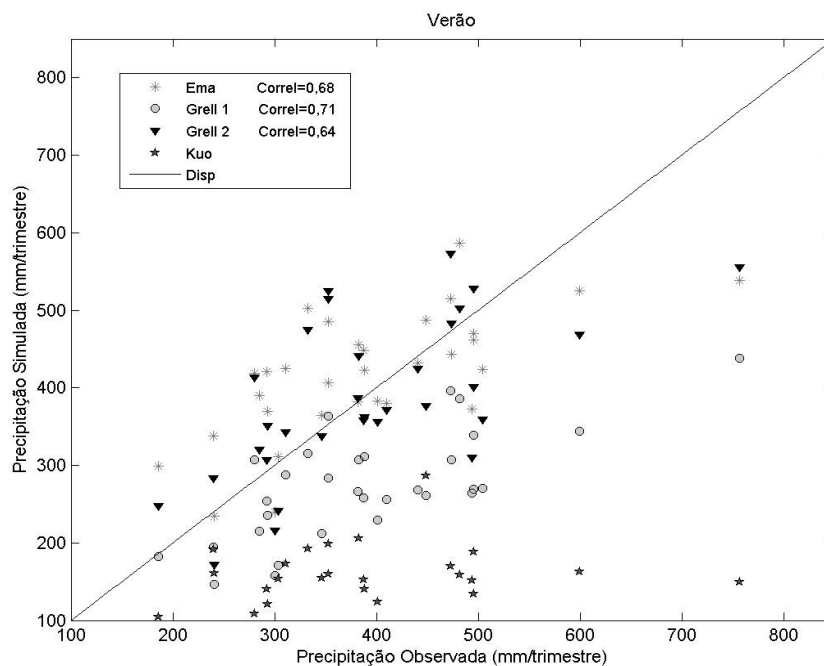


Figura 11 - Diagrama da Dispersão –Verão

A variabilidade de precipitação trimestral durante os 30 anos para cada esquema pode ser analisada na Figura 12, pois mostra a diferença entre o acumulado trimestral pela média dos 30 anos analisados (Anomalias de Precipitação), e deste modo é possível verificar o comportamento da variabilidade na distribuição de chuva durante esse intervalo de anos. As anomalias de mesmo sinal mostram comportamentos semelhantes (p. ex. Verão de 1985 – Figura 12 (a)) e anomalias de sinal contrário (p. ex. Verão de 1980 – Figura 12 (a)) podem representar período chuvoso num caso e seco no outro. Deste modo quanto mais longe a distribuição distar da média compreende-se que maior será a variabilidade naquele ano, tanto para mais quanto para menos.

Durante os anos de 1975 a 1983 a precipitação simulada por Grell 2 esteve bem acima da média dos 30 anos, e a Observada aponta um sinal negativo, ou seja, abaixo da média no intervalo de 1978 a 1980. Já para o intervalo de 1985 a 1992 a precipitação esteve abaixo da média dos 30 anos revelando anos de seca com extremos em 1985 e 1992, tanto para Ema, Grell 1, Grell 2 quanto para a Observada, mostrando que durante esse intervalo o modelo conseguiu reproduzir o padrão Observado, porém superestimando o Observado com exceção a Kuo que além de não seguir o padrão subestimou o resultado. Para o intervalo de 1995 a 1998 a precipitação observada voltou a ser acima da média e apenas Ema

conseguiu reproduzir esse sinal de anos chuvosos, e o restante das simuladas ainda apontam um sinal, ainda que pequeno, de precipitação abaixo da média apresentando anos secos. Para esta estação Ema e Grell2 foram os esquemas que apresentaram um maior número de acertos quanto as anomalias apresentadas pelo observado em torno de 64,52 % e 67,74% respectivamente, conforme mostra a Tabela A1 no Apêndice 2.

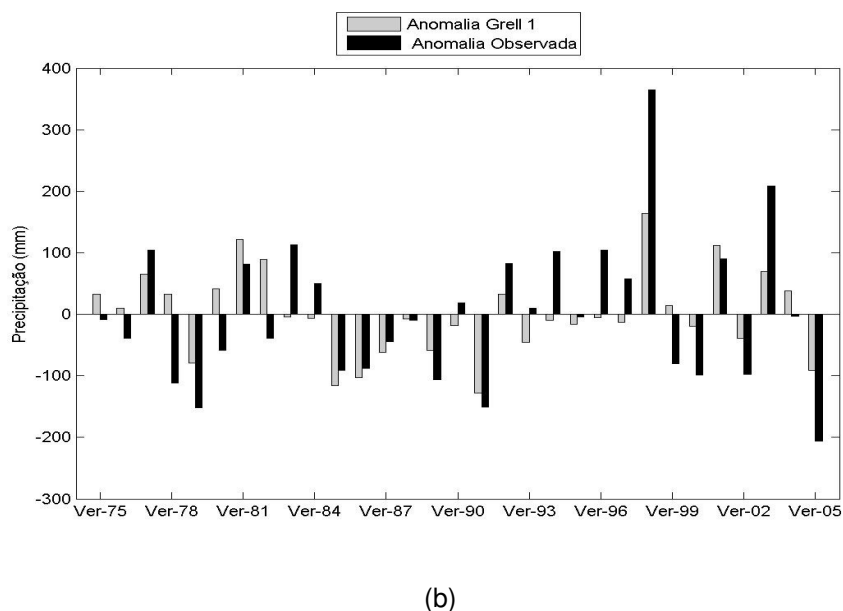
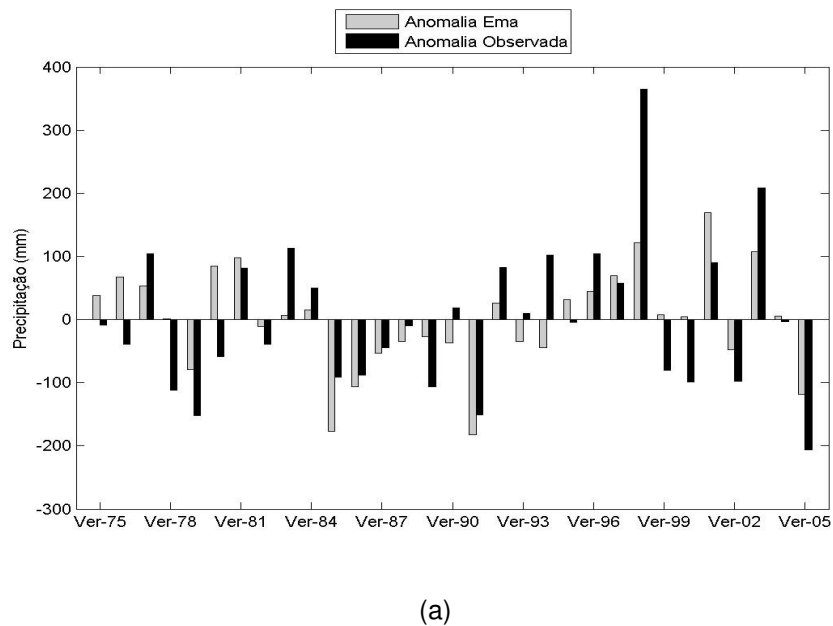
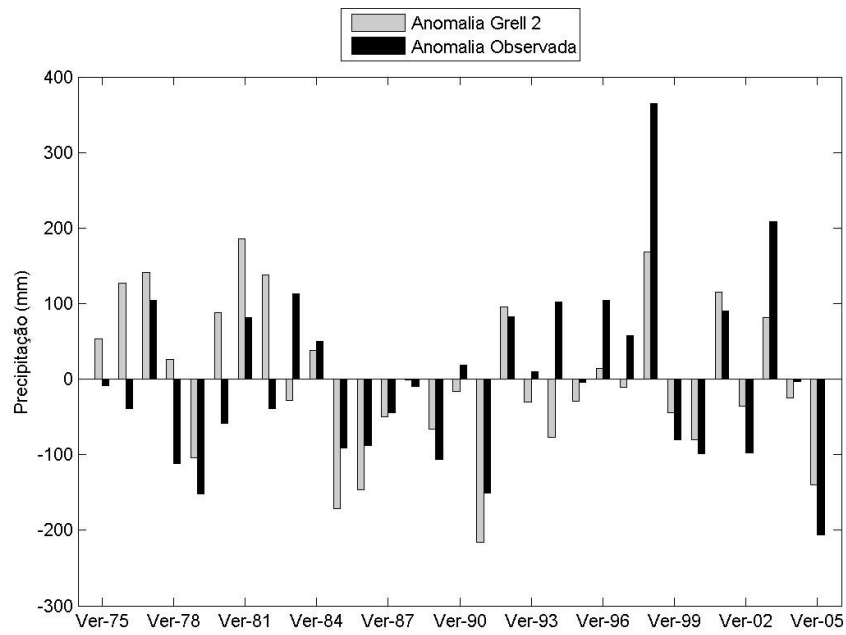
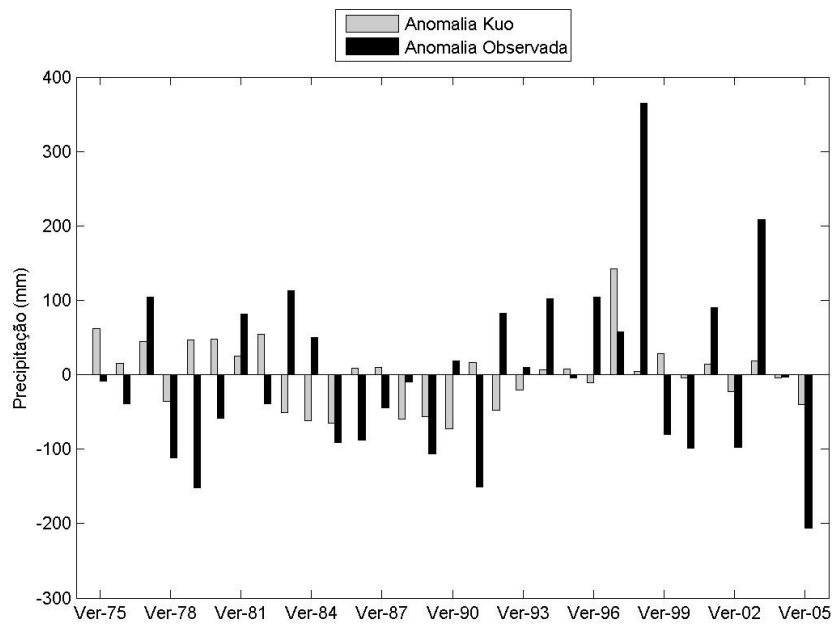


Figura 12 - Anomalia de Precipitação Trimestral baseada em sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.



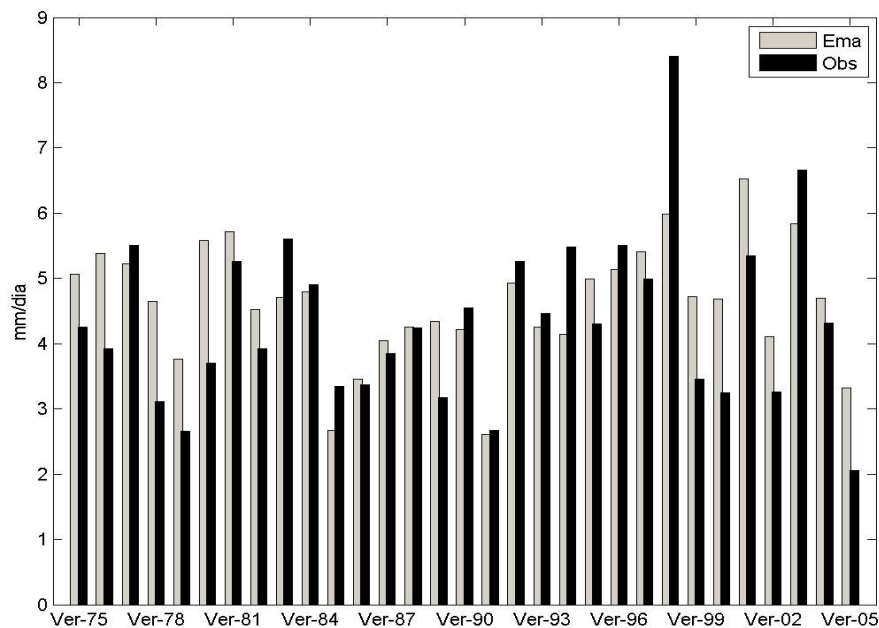
(c)



(d)

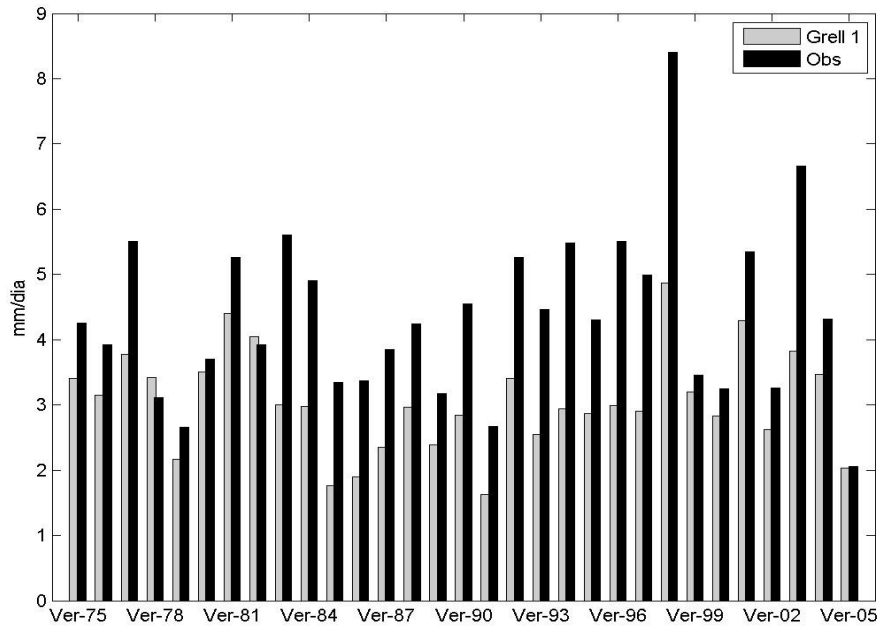
Figura 12 (Continuação) - Anomalia de Precipitação Trimestral, baseada em sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

As Figuras 13 e 14, mostram a média diária de precipitação e a precipitação máxima registrada respectivamente. Na Figura 13 (a) as menores médias registradas foram para o trimestre de 1979, 1985, 1991 e 2005. É possível perceber uma oscilação na média diária de precipitação bem como nas precipitações máximas, tanto simuladas quanto observadas (Figura 14) durante os 31 anos analisados. Nos últimos anos da série, 1992-1998 e 2003, houve um aumento na distribuição de precipitação como pode ser visto na Observada, sendo os anos de 1998 e 2003 os anos mais chuvosos de todos os trimestres e quase todas as simulações apontam esse padrão, com exceção de Kuo. Este resultado pode estar associado a fase positiva do ENOS, principalmente o de 1998 considerado um dos ENOS mais intensos dos últimos anos. Posterior ao ano de 2003 o sinal de precipitação inverte e há um significativo decréscimo nas médias e máximas diárias, esse padrão é seguido por todos os esquemas convectivos.

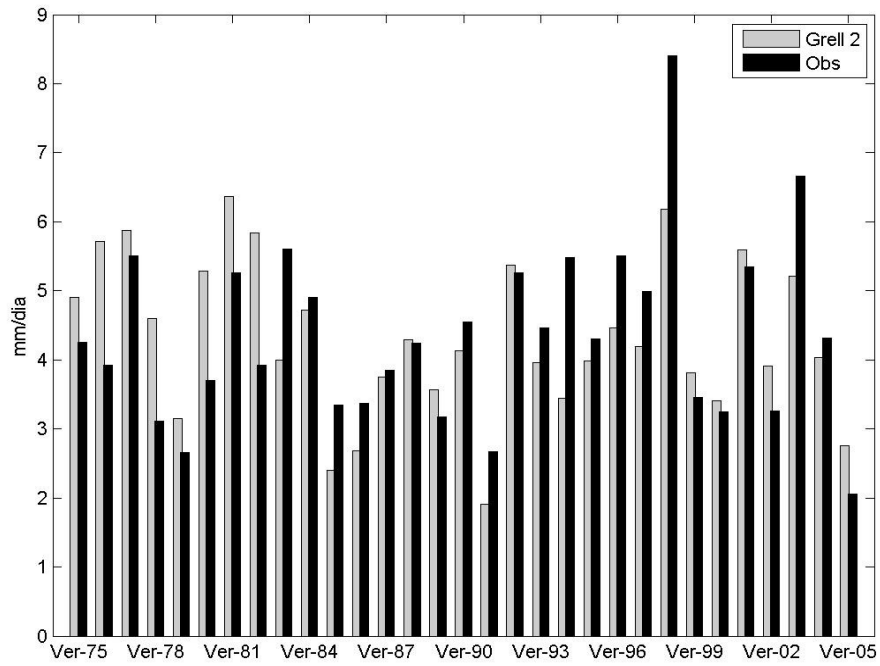


(a)

Figura 13 - Média Diária Trimestral-Verão. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo

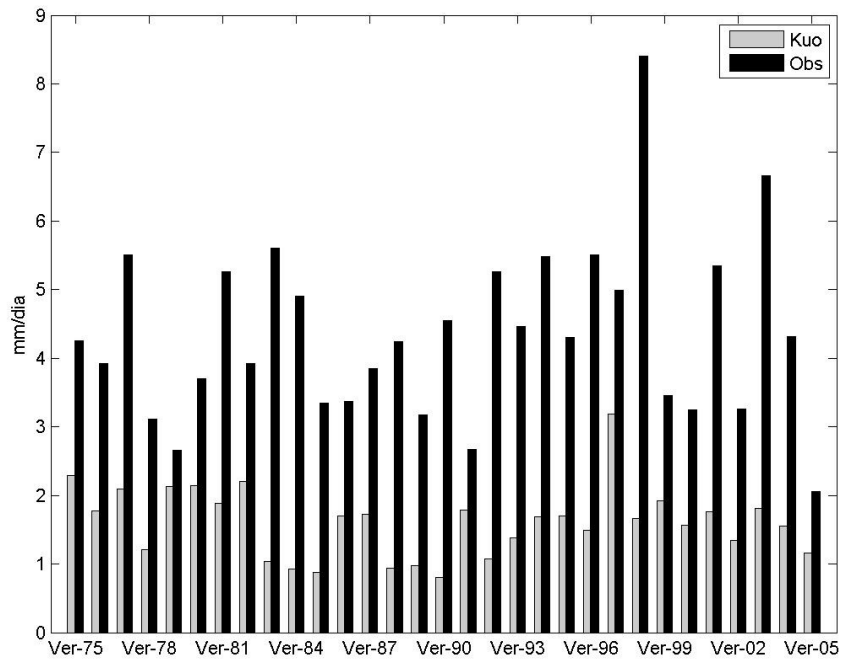


(b)



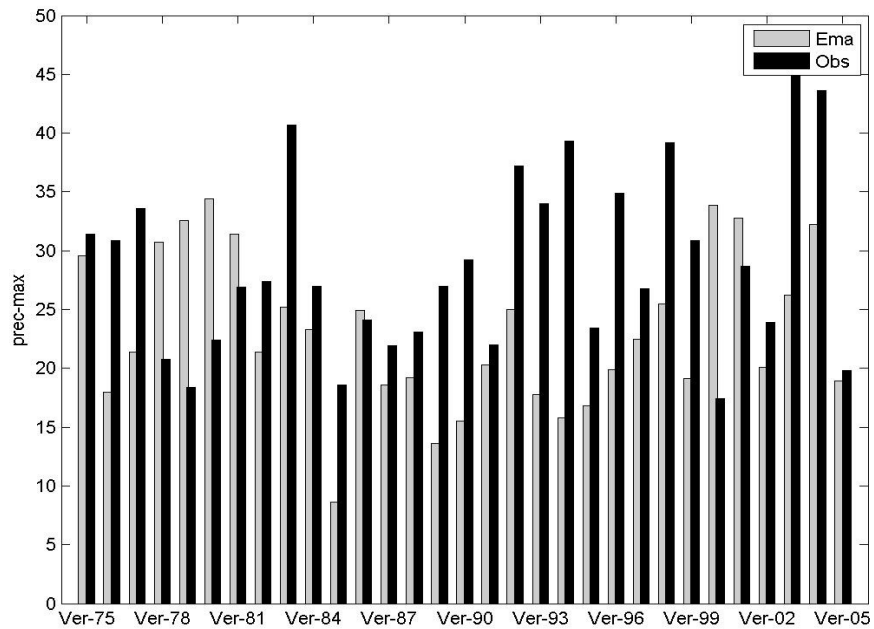
(c)

Figura 13 (continuação) - Média Diária Trimestral-Verão. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo



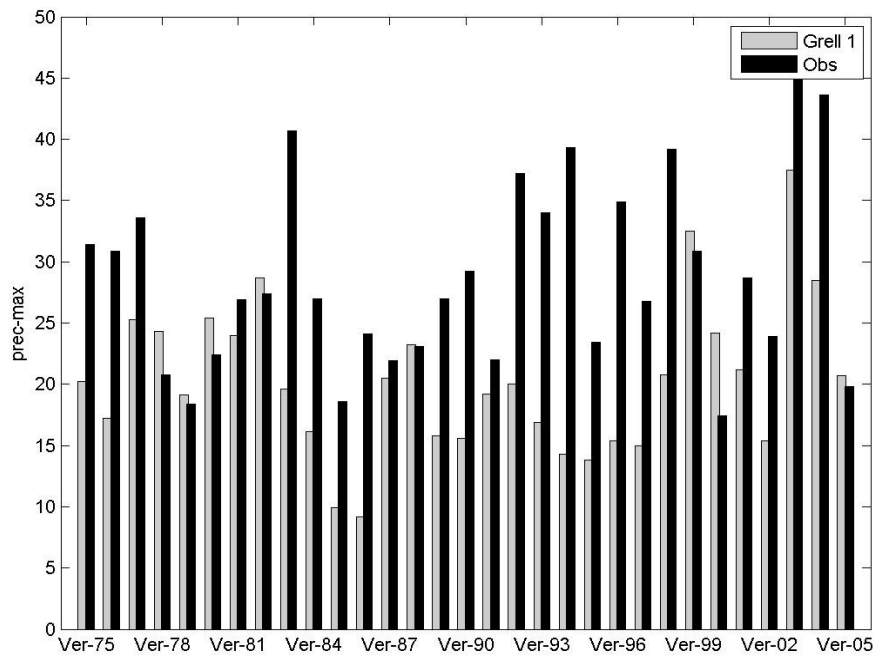
(d)

Figura 13 (continuação) - Média Diária Trimestral-Verão. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo

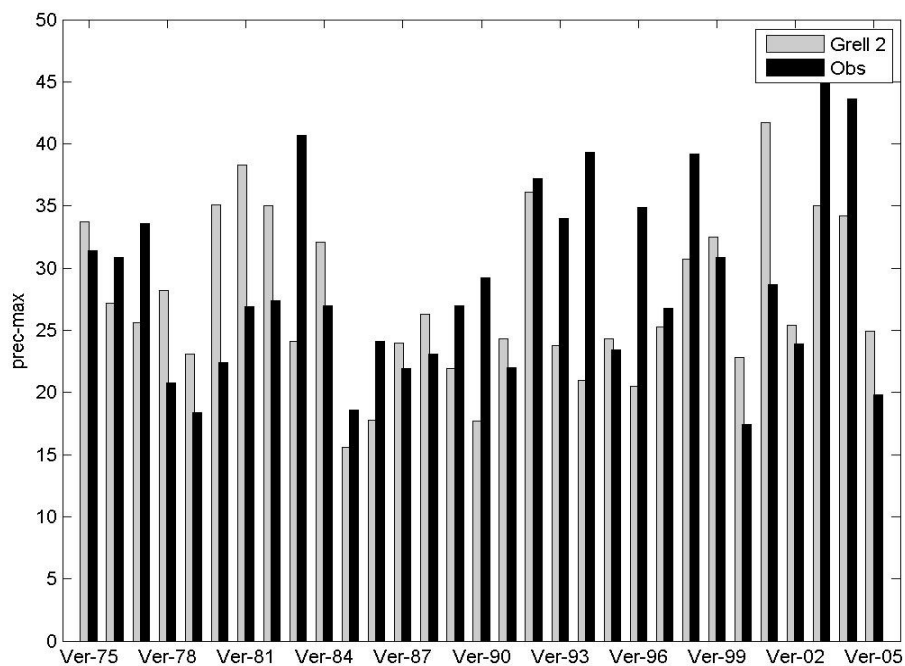


(a)

Figura 14 - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

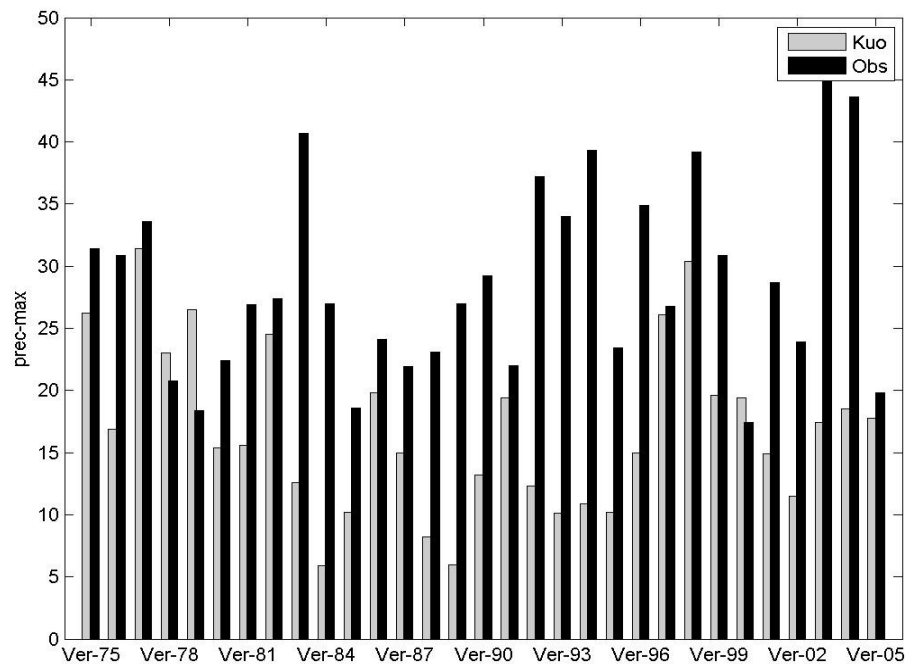


(b)



(c)

Figura 14 (continuação) - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.



(d)

Figura 14 (continuação) - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

Os gráficos das Figuras 15 e 16 apresentam os quantis calculados para cada simulação realizada. Na Figura 15 a convecção Ema superestima os valores observado no 1º e 2º quartil, para Grell 2 apenas no 1º quartil os valores simulados são superiores ao observado. Para o 3º quartil tanto Ema quanto Grell 2 obtiveram praticamente os mesmos valores do Observado.

Voltando aos valores da Tabela 4.2.1.1 notam-se valores baixos no IQR para Ema, o que significa que a diferença entre o 1º e 3º quartil é pequena, pois este esquema também aponta valores bem acima do Observado no 1º quartil, isto pode ser devido a dificuldade do esquema Ema em diferenciar o tipo e o volume de chuva no modelo. Um comportamento semelhante é apresentado em Grell 2 mas não tão pronunciado, visto que o IQR em Grell 2 está mais próximo do Observado. Ou seja, mostra sugere que este esquema consegue reproduzir melhor as características da precipitação Observada no trimestre de Verão, trimestre este com os maiores valores para o percentil 25 em relação as outras estações, como mostra a Tabela 4.2.1.2., que representa os percentis diários médios. Isto por que o Verão no RS é bem caracterizado por chuvas locais que se formam, devido ao calor e alta umidade

do ar. Grell 1 também tem comportamento semelhante, porém subestima no 3º quartil, o que mostra que este esquema tem certa dificuldade em representar chuvas mais torrenciais, com um volume maior de precipitação. Isto se torna mais evidente ao analisar os percentis diários da Figura 16 (Percentil médio diário 25, 50, 75, 95) para o trimestre de 1998, com Ema e Grell 2 bem próximos do Observado enquanto Grell 1 subestima os valores mesmo seguindo o padrão Observado. Este resultado é diferente quando analisado o quartil inferior 25, ou seja, Grell 1 reproduz melhor o tipo de chuva mais fraca, menos expressiva. Esses resultados são corroborados ao analisar a Tabela 4.2.1.2, na qual são apresentados os percentis médios para cada esquema convectivo. Ou seja, para Ema o percentil 25 é superestimado enquanto que para o 95 está abaixo do Observado. Já Grell 1 consegue reproduzir as características de chuva fraca no percentil 25, entretanto não consegue reproduzir chuvas mais fortes no percentil 95. Para Grell 2 nota-se que este esquema consegue reproduzir tanto chuvas mais fracas (percentil 25) quanto chuvas mais fortes (percentil 95) se comparadas com o Observado. Kuo, entretanto, os valores não oscilam muito entre fortes e fracos, e subestima em todos os percentis, o que mostra a dificuldade desse esquema em reproduzir chuva para essa região.

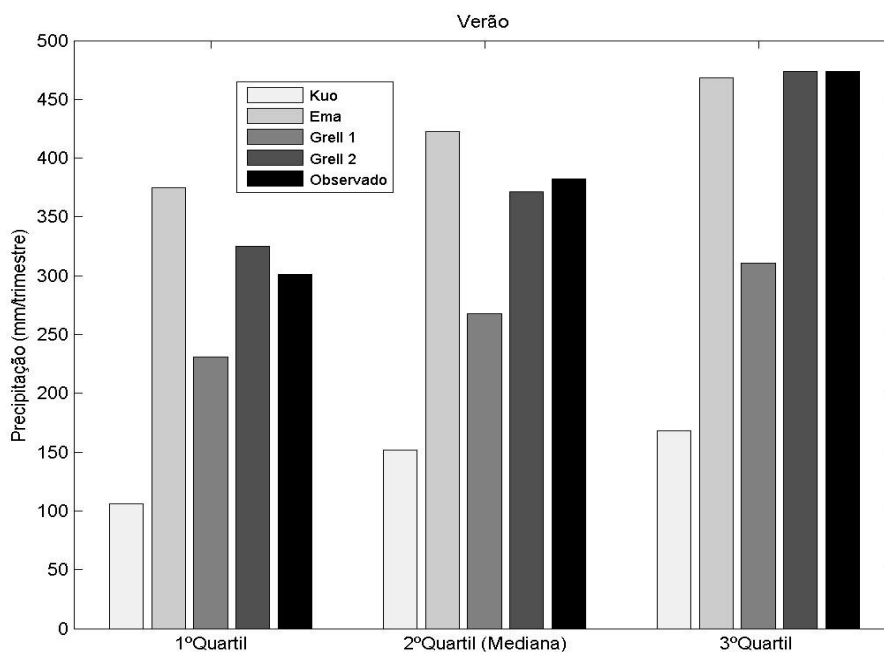
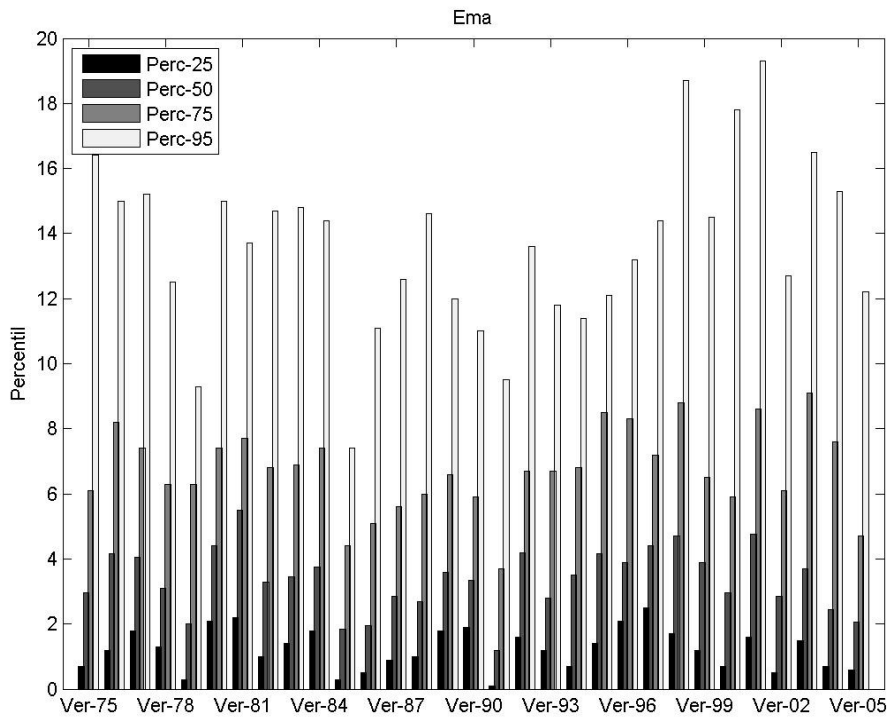
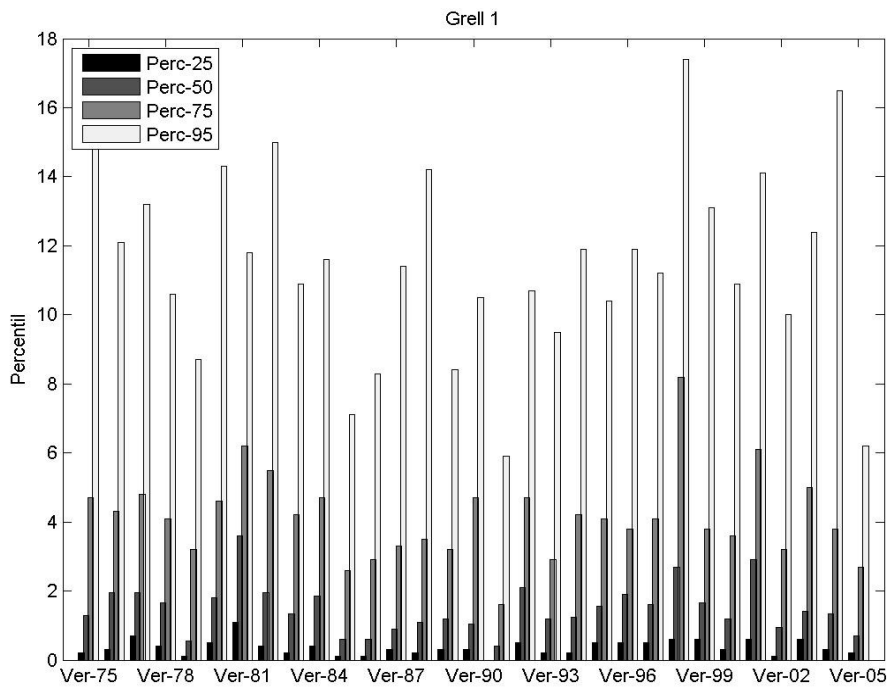


Figura 15 - Distribuição em Quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75).

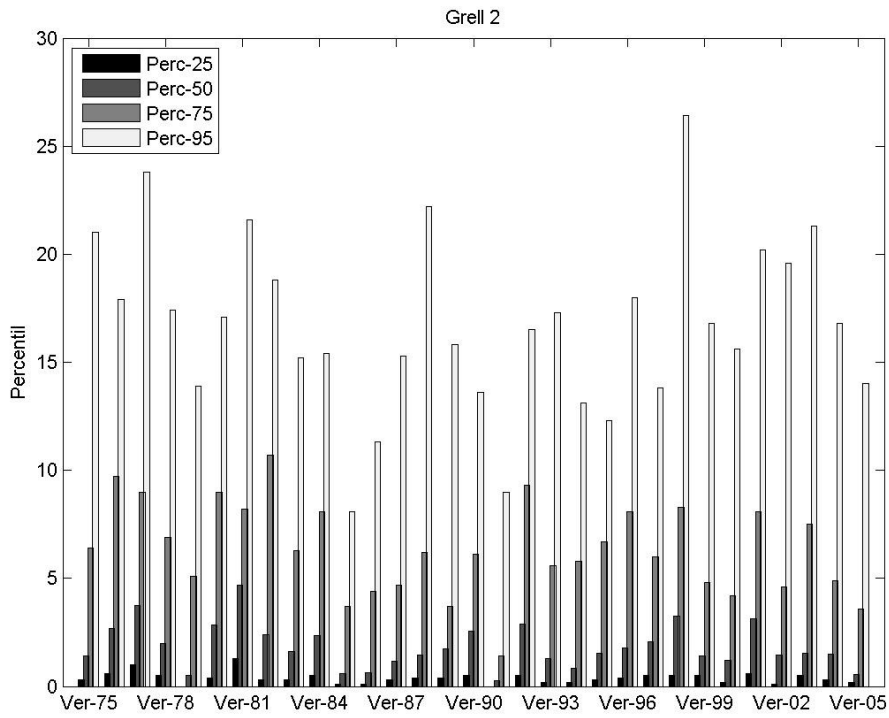


(a)

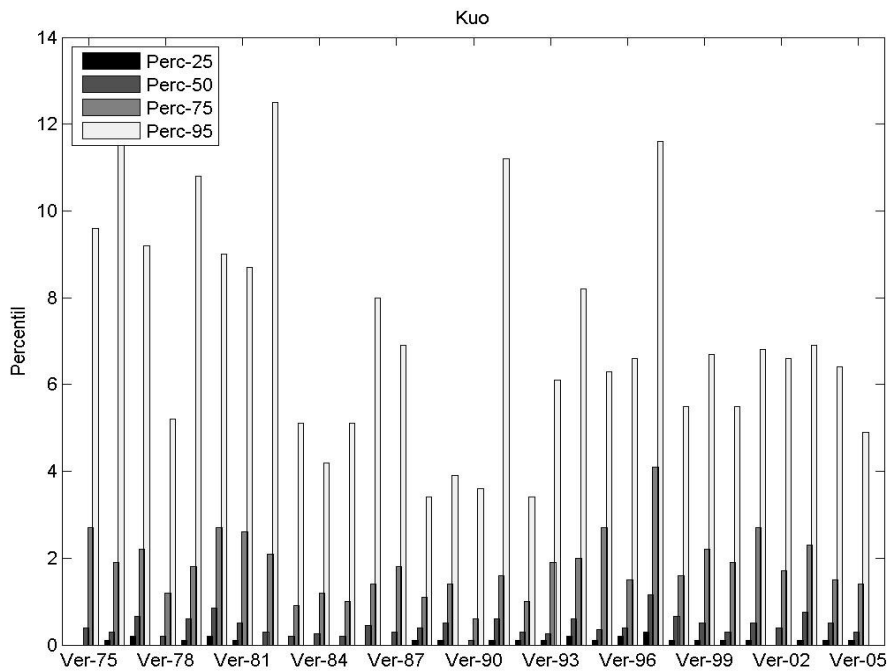


(b)

Figura 16 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para o Verão

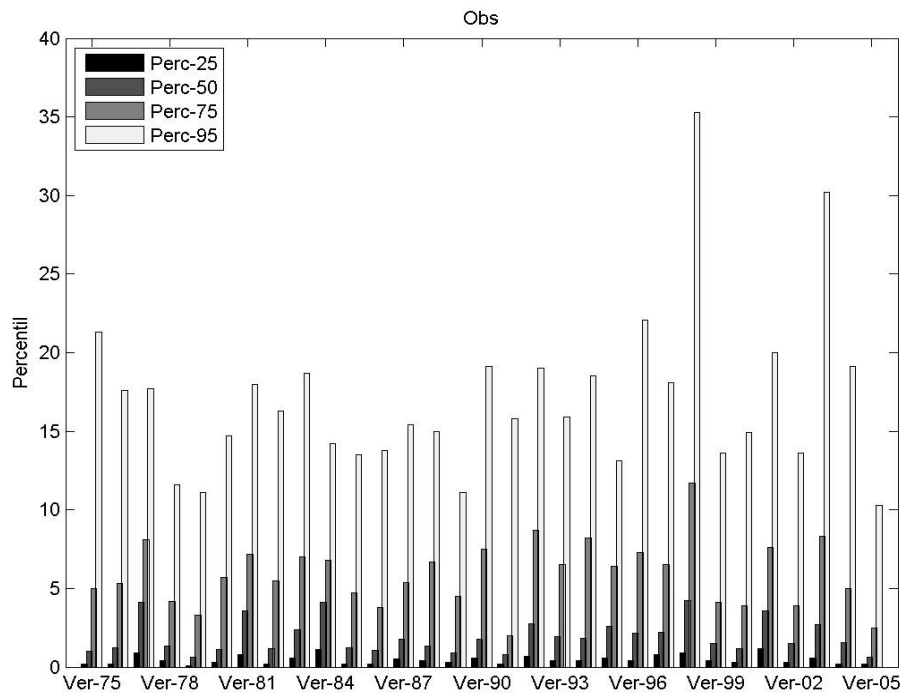


(c)



(d)

Figura 16 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para o Verão



(e)

Figura 16 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para o Verão

Tabela 4.2.1.2 - Percentis médios diários para o Verão

Percentil	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo	Obs
25	1,24	0,36	0,39	0,09	0,47
50	3,37	1,49	1,84	0,44	1,93
75	6,75	4,14	6,36	1,83	5,91
95	13,64	11,47	16,75	7,11	17,05

Tendo em vista os resultados das análises estatísticas para o trimestre de Verão a Climatologia que reproduziu melhor a Climatologia Observada e conseguiu mostrar de maneira mais próxima do real a distribuição de precipitação no Verão no estado do RS foi a Climatologia simuladas pelo esquema convectivo Grell 2. Embora no 3º quartil ambos os esquemas Grell 2 e Ema se equivalem ao Observado, o esquema Ema superestima no 1º e 2º quartil o que sugere pouca dispersão nos dados como havia sido observado no Desvio Padrão e no IQR da Tabela 4.2.1.1. O esquema Grell 1 embora tenha subestimado os valores

observados seguiu bem o padrão de precipitação observado obtendo a melhor correlação dentre as outras correlações. O esquema convectivo Kuo em todas as simulações subestimou os valores observados e não conseguiu reproduzir como os outros esquemas o padrão de precipitação observado, levando uma correlação, pequena e sem significância estatística, não tendo valor significativo (Tabela 4.2.1.1). O maior desvio padrão climatológico foi encontrado para o Observado e Grell 2 bem como os maiores IQR climatológicos. A partir desses valores e também da média e mediana climatológica foram feitos gráficos de modo a facilitar a análise da distribuição climatológica (estes são apresentados no Anexo 1).

4.2.2 Análise Estatística para o Outono

Na tabela 4.2.2.1 são apresentados os índices estatísticos para avaliar o Outono. Todas as correlações estão próximas umas das outras e são significativas ao nível de 99%. Como já esperado para esta estação do ano os valores foram semelhantes aos encontrados para os outros trimestres conforme as Tabelas 4.2.1.1, 4.2.2.1, 4.2.3.1, 4.2.4.1.

Os valores observados apresentaram uma média muito superior às médias dos esquemas convectivos, na maioria delas sendo quase duas vezes maior que a simulada e para Kuo quase quatro vezes maior, resultando em erros maiores significativos.

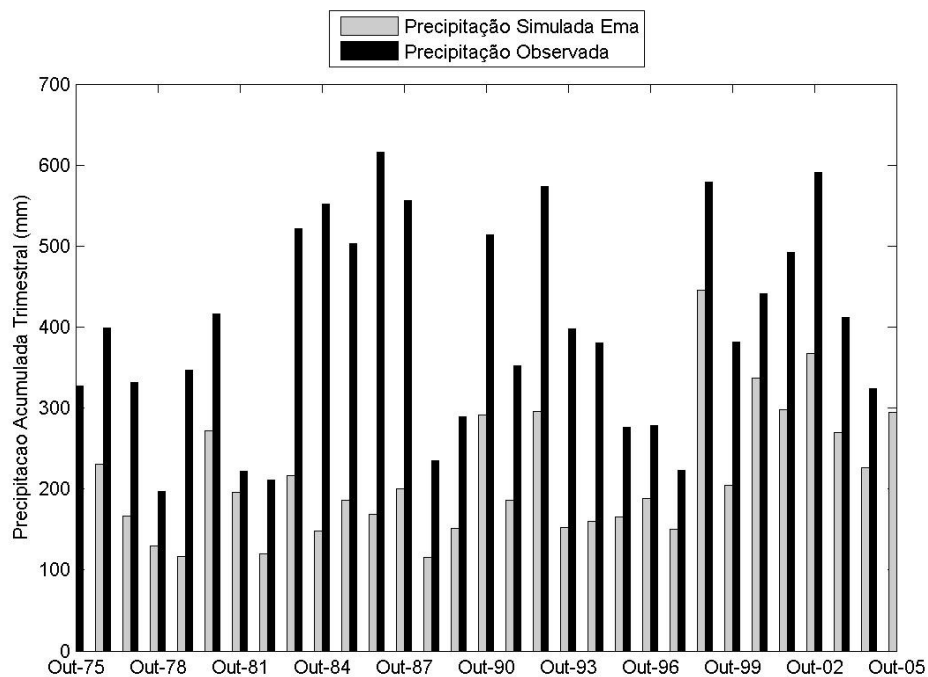
Para todas as simulações feitas para o Outono o modelo teve dificuldade em reproduzir os níveis de distribuição de precipitação, onde todos os esquemas convectivos subestimaram esses valores.

Todas as distribuições trimestrais acumuladas simuladas subestimaram a observada embora tenham acompanhado o padrão de oscilação com trimestres mais chuvosos e outros nem tanto. O esquema que melhor acompanhou esse padrão foi Grell 1 e 2 como mostra a Figura 17 (c), (d). Na Figura 19 pode ser visto que Grell 1 e 2 que apresentam melhores resultados ao em relação ao Observado. As maiores frequência de distribuição em Grell 1 e 2 e Ema, estão entre 150 e 250

mm, o que está de acordo com o Observado porém para o Observado também foram encontrados frequências de distribuição entre 350-450 e 500-600 (mm).

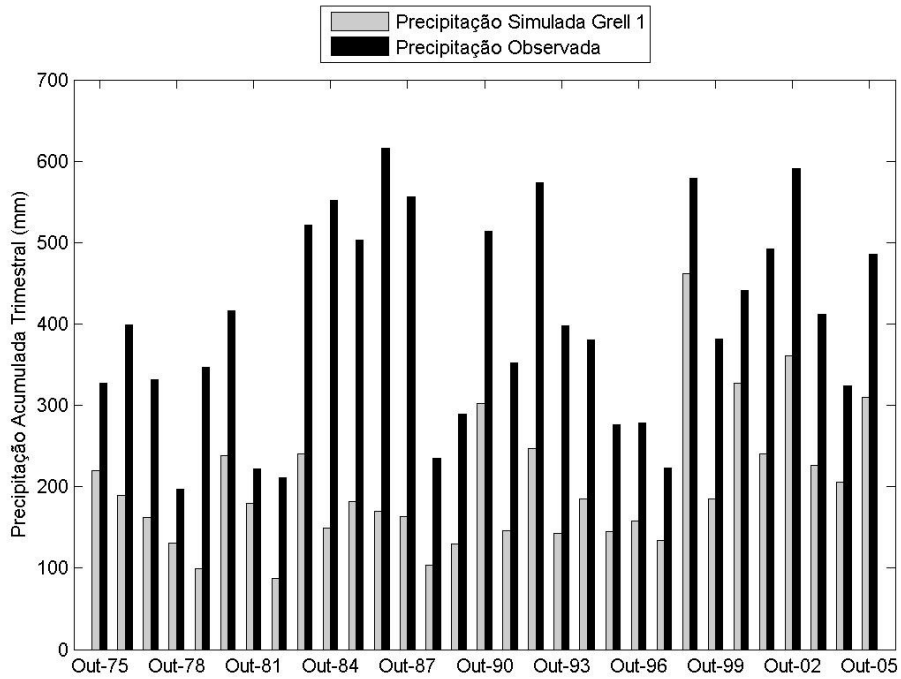
Tabela 4.2.2.1 - Índices Estatísticos calculados para o Outono

	Média (mm)	Mediana (mm)	Correl	Desvio Padrão(mm)	IQR (mm)	RMSE (mm)
Ema	214,49	196,20	0,61	79,46	116,90	210,92
Grell 1	200,56	181,70	0,62	82,82	94,55	222,80
Grell 2	246,12	226,80	0,68	91,15	111,33	179,79
Kuo	114,05	85,20	0,58	74,01	73,78	304,20
Observado	400,85	397,80	--	126,42	212,98	--

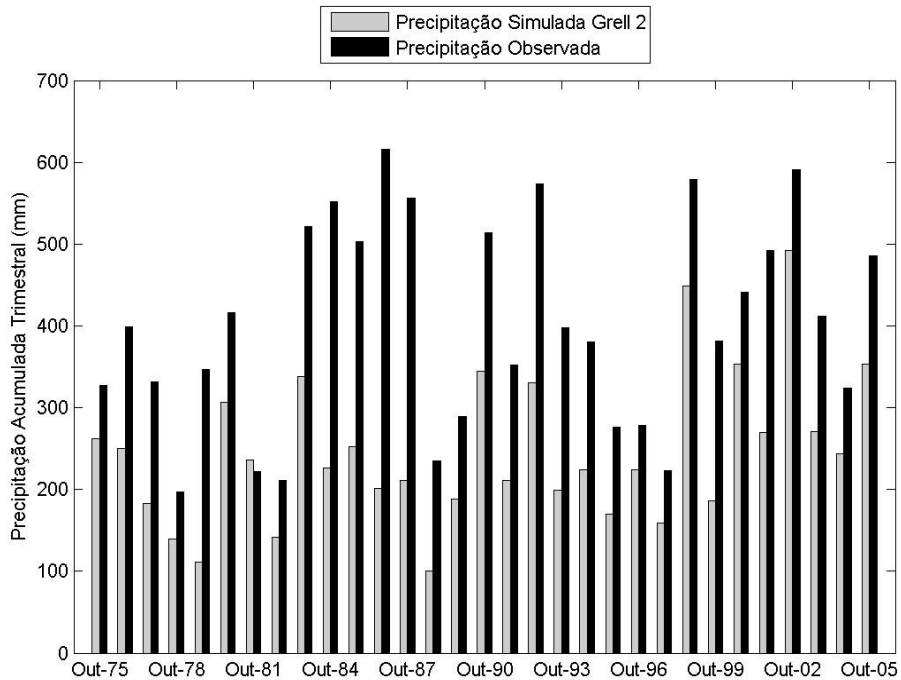


(a)

Figura 17 - Distribuição Trimestral Acumulada-Outono (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

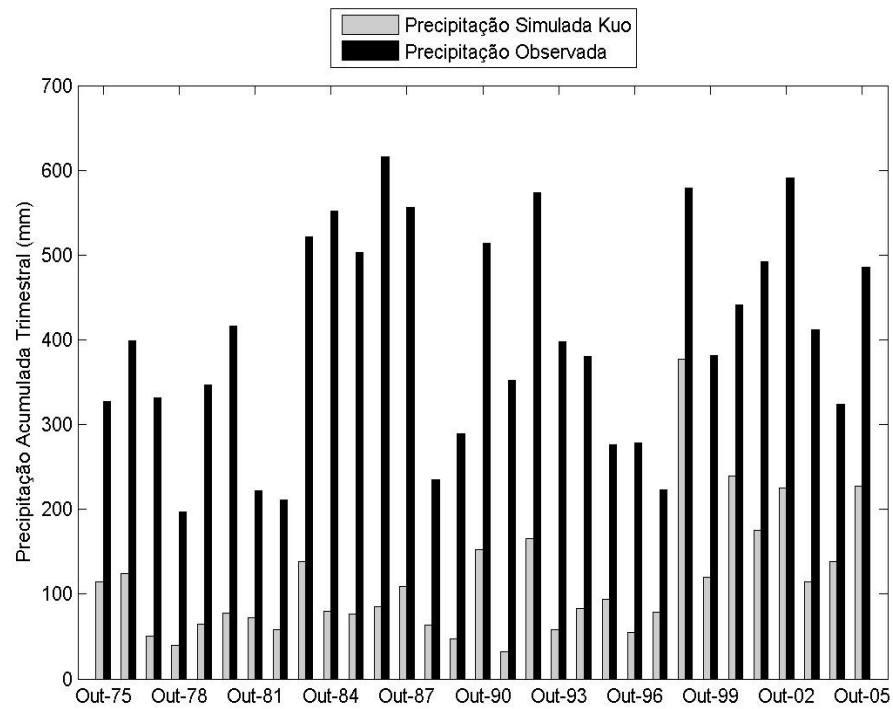


(b)



(c)

Figura 17 (continuação) - Distribuição Trimestral Acumulada-Outono (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo



(d)

Figura 17 (continuação) - Distribuição Trimestral Acumulada-Outono (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

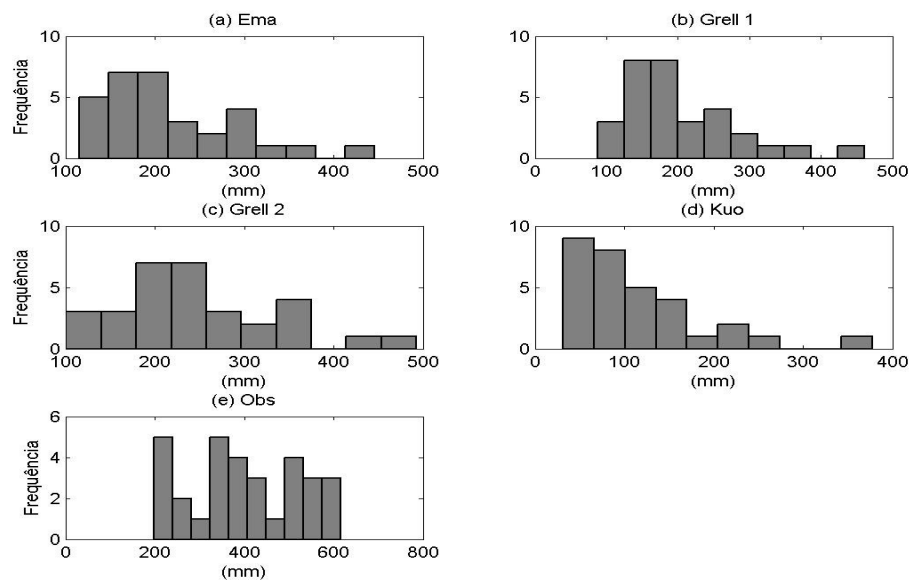


Figura 18 - Diagrama de distribuição de frequência para o Outono

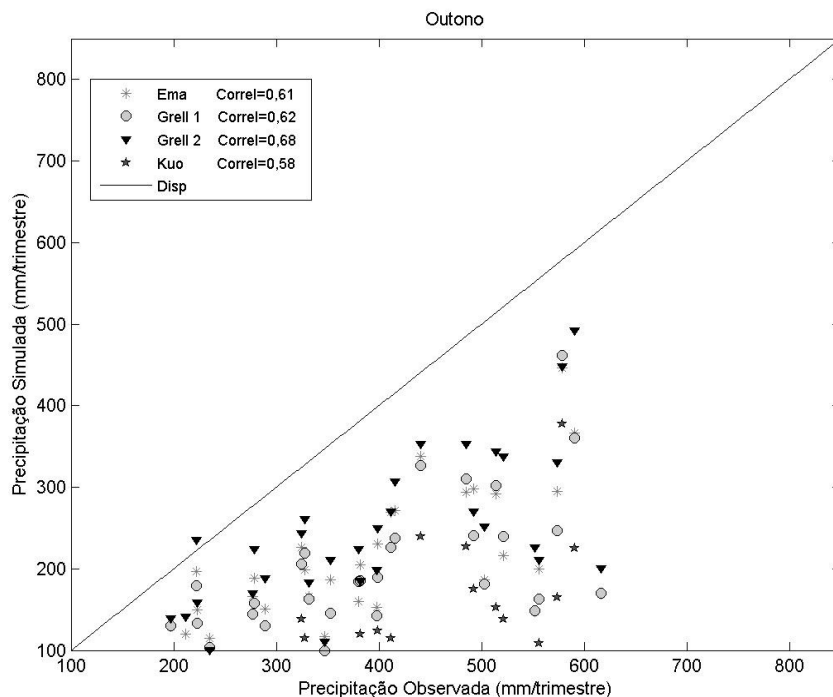
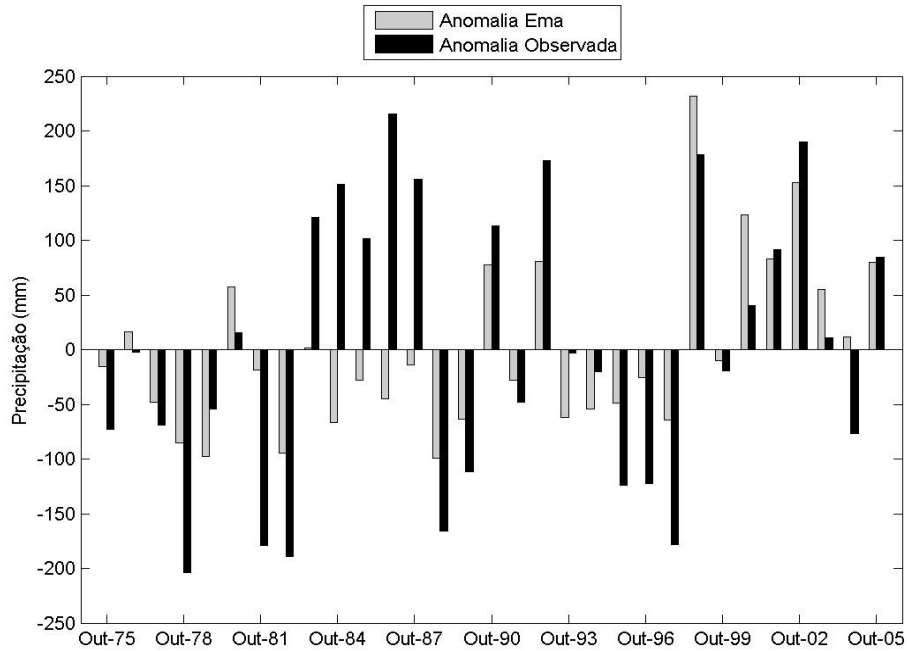


Figura 19 - Diagrama da Dispersão-Outono

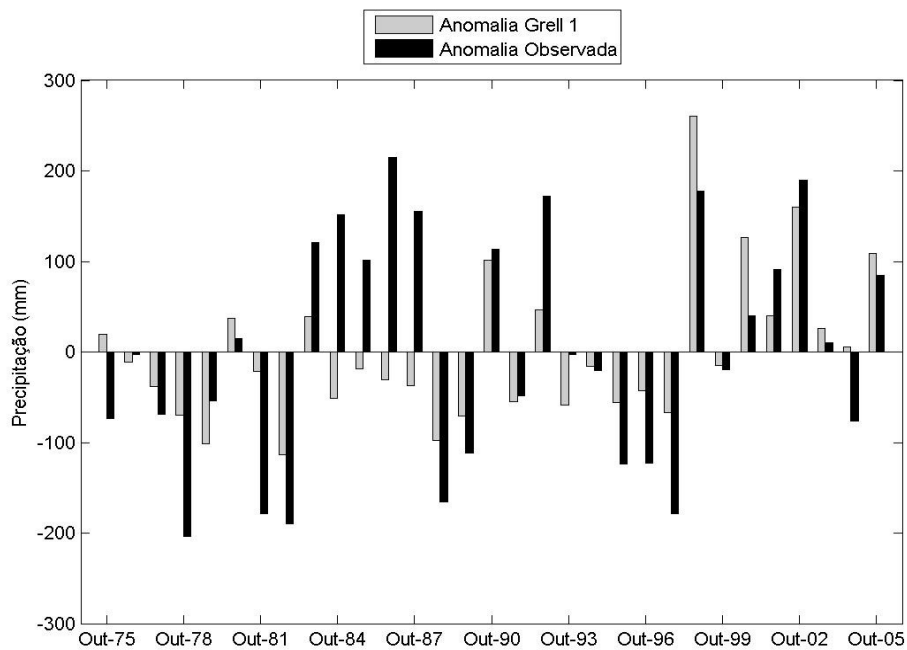
Analisando a anomalia de precipitação (Figura 20) observa-se que o esquema Grell 2, 20 (c), apresenta uma maior anomalia e segue melhor o padrão de precipitação observado, visto que para os períodos de 1975-1982 a precipitação esteve abaixo da média, tanto para os simulados quanto para o observado, o que revela trimestres secos para esse período, com exceção de 1980, onde Grell 2 e o Observado apontam um trimestre úmido. O mesmo resultado foi encontrado em Ema e Grell 1 para o mesmo período.

Para o período de 1983-1987 uma anomalia positiva de precipitação foi encontrada para o Observado, porém as Simulações não conseguiram acompanhar esse padrão Observado com exceção do trimestre de 1983, onde foi registrada uma fase fortemente positiva do ENOS e todos os esquemas convectivos reproduziram esta anomalia positiva para este trimestre. No período de 1988 a 1992 as anomalias de precipitação, tanto para as Simuladas quanto para Observada seguiram o mesmo padrão de oscilação com trimestres secos e úmidos. A partir de 1998 as anomalias passam a ser negativas até 1997, e após 1998 o sinal da anomalia passa a ser positivo para os valores simulados e observados. O maior número de acertos tanto para anomalias positivas quanto para as negativas foi apresentado por Grell 2 com

26 acertos o que corresponde a 83,87% dos anos 31 anos analisados com Ema e Grell 1 apresentando 25 acertos conforme mostra a Tabela A2 (Apêndice 2).

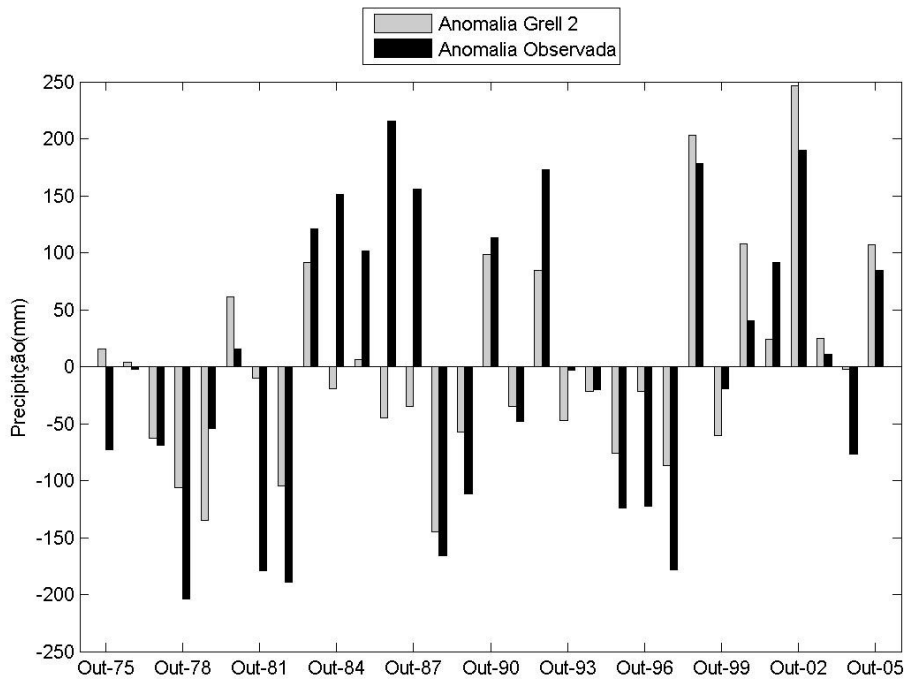


(a)

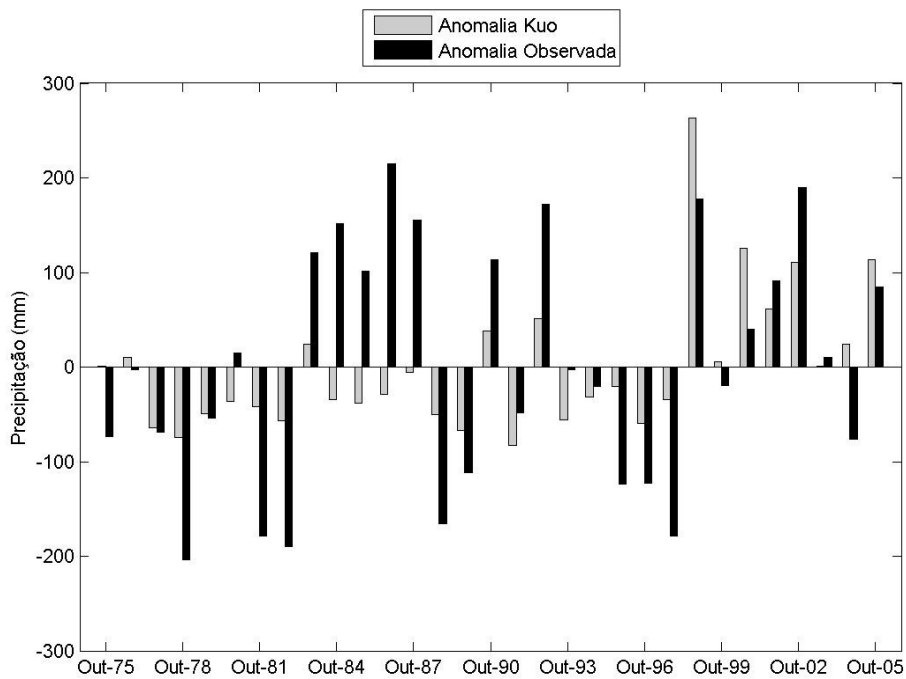


(b)

Figura 20 - Anomalia de precipitação trimestral baseada em sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.



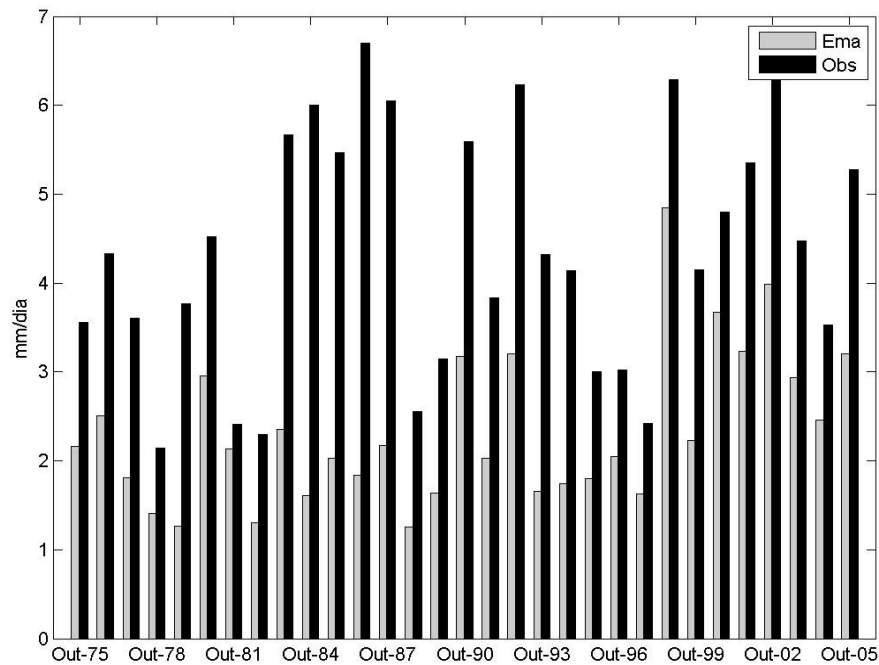
(c)



(d)

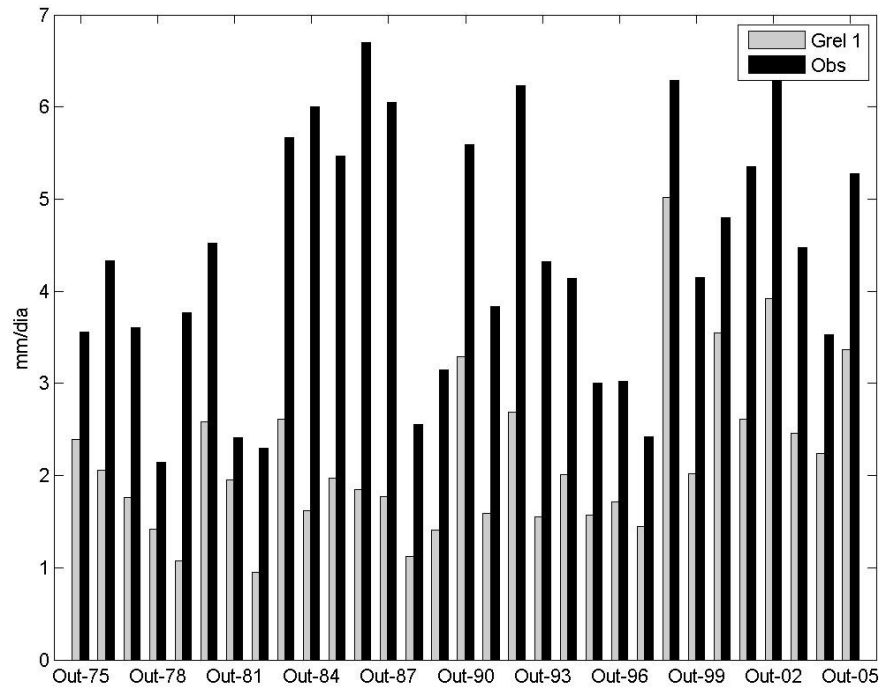
Figura 20 (continuação) - Diferença da precipitação trimestral pela precipitação média dos 30 anos. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

As Figuras 21 e 22 apresentam a média diária de precipitação para cada semestre e a precipitação máxima diária para o trimestre de cada ano. O modelo também apresentou certa dificuldade em reproduzir as médias diárias e precipitação máxima para esta estação do ano, visto que todos os esquemas subestimaram os valores observados. O padrão de precipitação apresentado no período de 1983-1987 pelo Observado não foi bem representado por nenhum dos esquemas convectivos, entretanto, para os anos de 1983, 1992, 1998 e 2002-2003 anos esses em que o El Niño esteve bem configurado, Grell 2 reproduziu esse sinal positivo na precipitação.

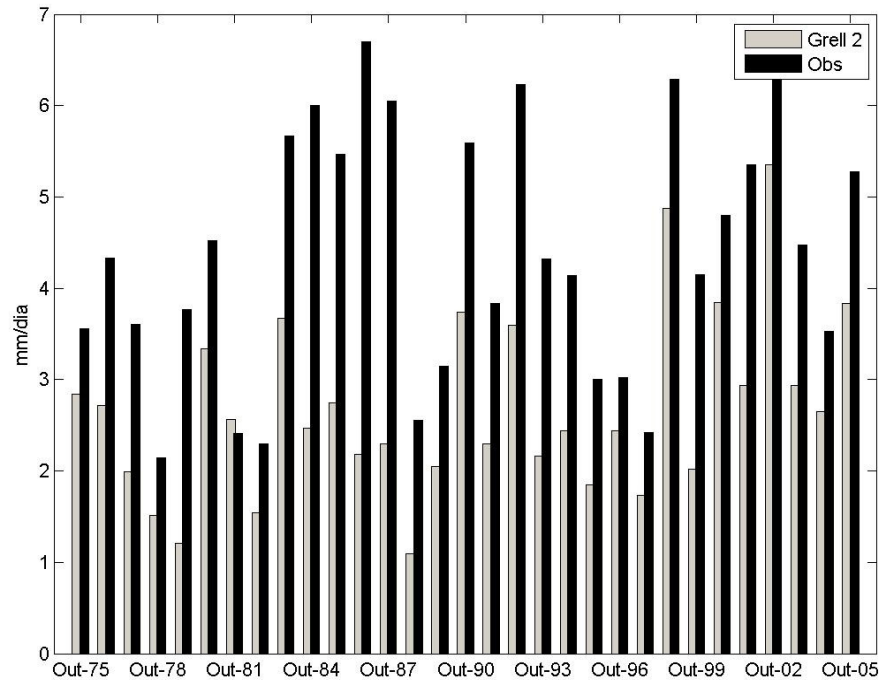


(a)

Figura 21 - Média Diária Trimestral-Outono. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo

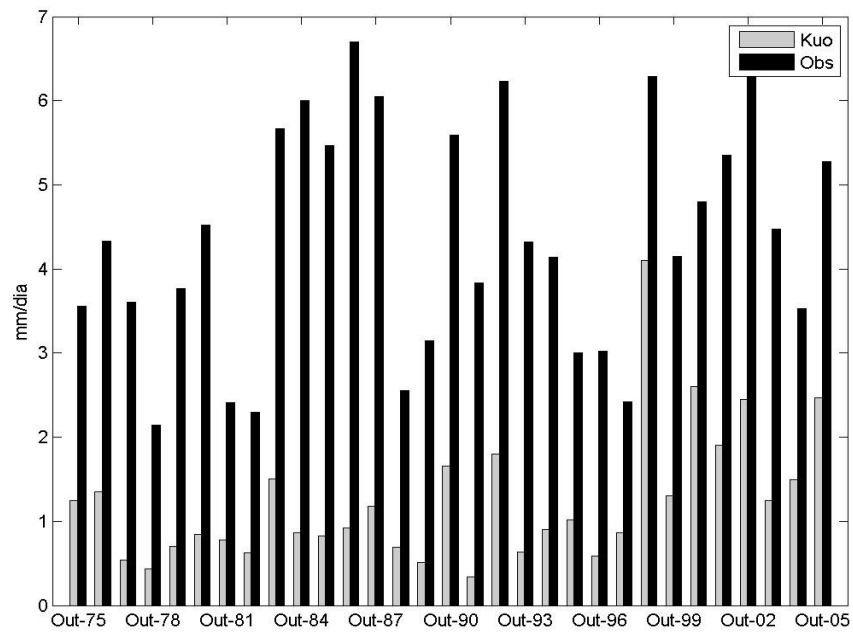


(b)



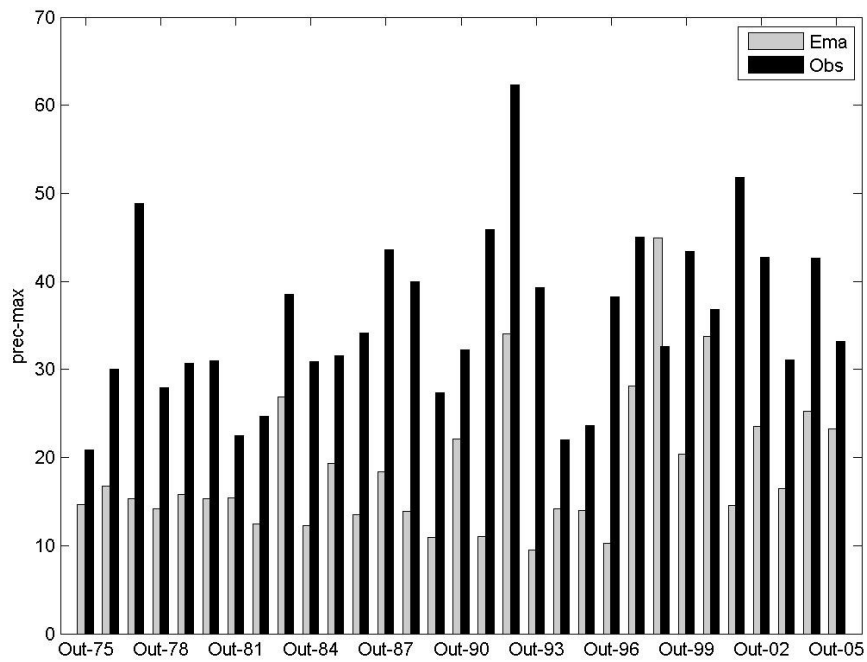
(c)

Figura 21 (continuação) - Média Diária Trimestral-Outono. (a) Ema; (b) Grel1; (c) Grel 2; (d) Kuo



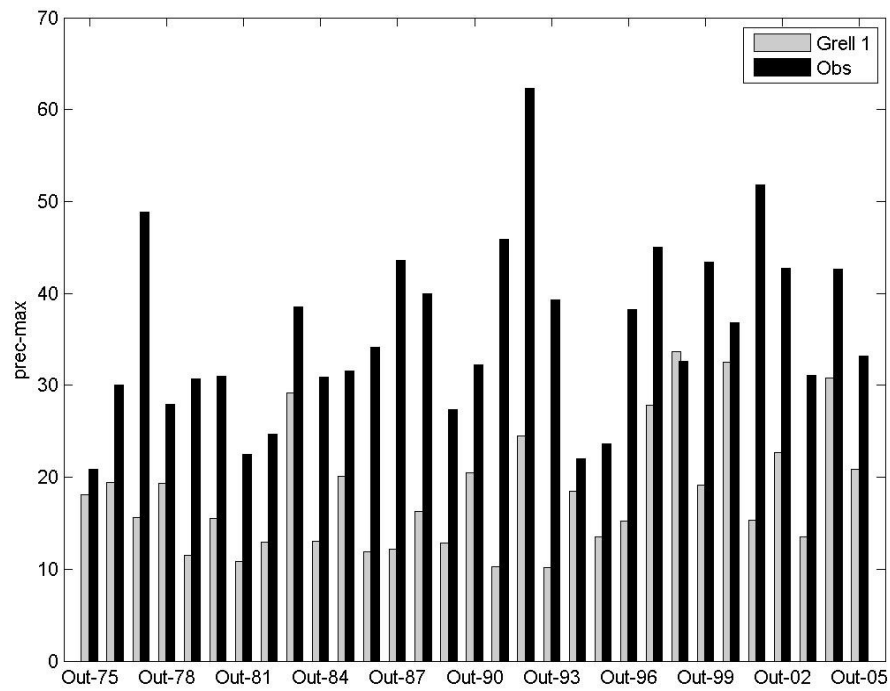
(d)

Figura 21 (continuação) - Média Diária Trimestral-Outono. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo

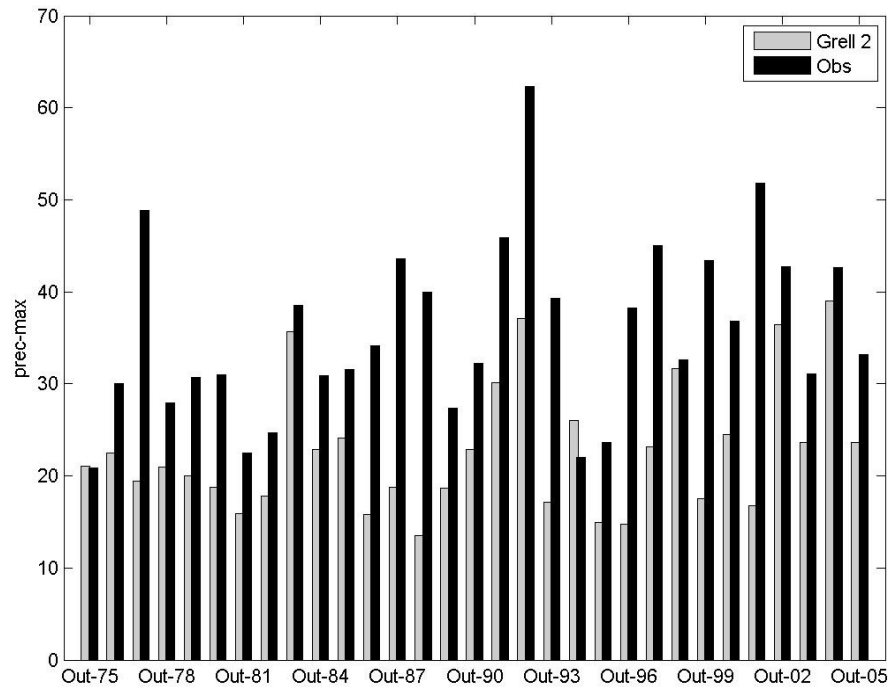


(a)

Figura 22 - Precipitação Máxima. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

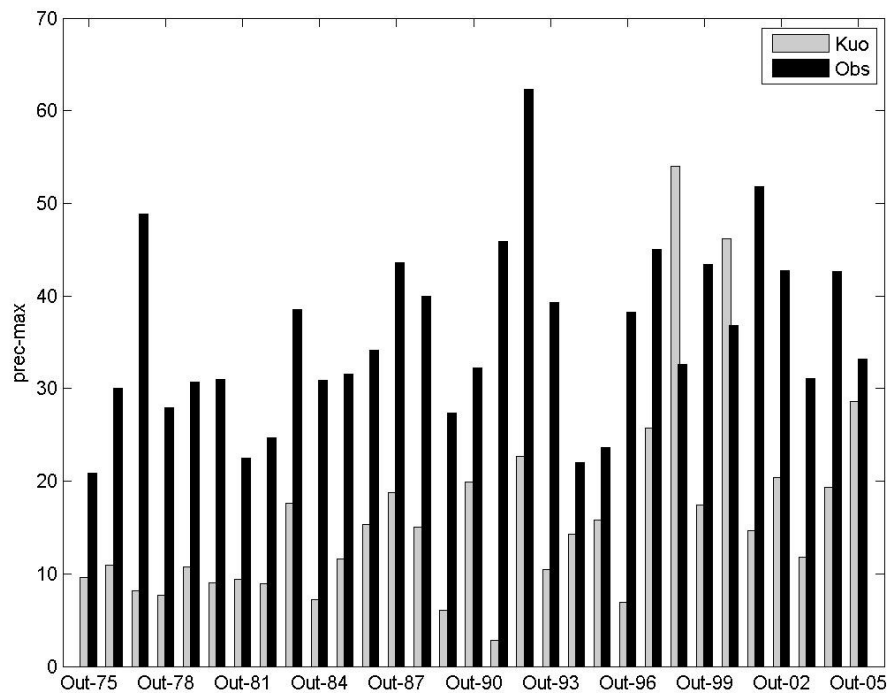


(b)



(c)

Figura 22 (continuação) - Precipitação Máxima. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo



(d)

Figura 22 (continuação) - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

Foram calculados quartis climatológicos para cada trimestre como mostra a Figura 23. Para todos os quartis (25, 50 e 75) o Observado e Grell 2 apresentaram valores superiores ao restante dos simulados. Para o quartil superior Observado foram encontrados valores acima de 500 mm, no entanto para os simulados Grell 2 e Ema os valores no quartil superior não ultrapassaram os 300 mm, com o esquema Kuo subestimando os valores observados forçando a um elevado RMSE, como visto na Tabela 4.2.2.1. Embora os valores Simulados tenham subestimado os Observados notou-se que pelos valores do IQR (Tabela 4.2.2.1) para Ema e Grell 2 estes esquemas conseguiram diferenciar chuvas mais fracas de chuvas mais fortes, diferentemente como foi visto para o Verão.

Os percentis (25, 50, 75, 95) da distribuição diária de precipitação para cada trimestre de cada ano são apresentados na Figura 24. O percentil 95 observado Figura 24 (e) mostra que os dias com maiores índices de precipitação no observado aconteceram no período de 1983-1987 e 1998-2003 e alguns picos máximos em 1990 e 1992 com precipitação entre 20-25 mm. Esse mesmo resultado Ema, Grell 1

e Grell 2 conseguiram prever com valores bem abaixo do Observado para Ema e Grell 1. Ema se aproxima mais dos resultados observados durante o período de 1998-2003, nos períodos anteriores conseguiu acompanhar o padrão de oscilação de precipitação, mas subestima bem mais que em Grell 2, o mesmo acontece com Grell 1 e Kuo como pode ser visto na Tabela 4.2.2.2 que apresenta os percentis médios diários para o Outono. O maior Desvio Padrão Climatológico para o Outono foi encontrado em Grell 2 e o maior IQR Climatológico foi para Ema como mostra a Figura 44 no Apêndice 1

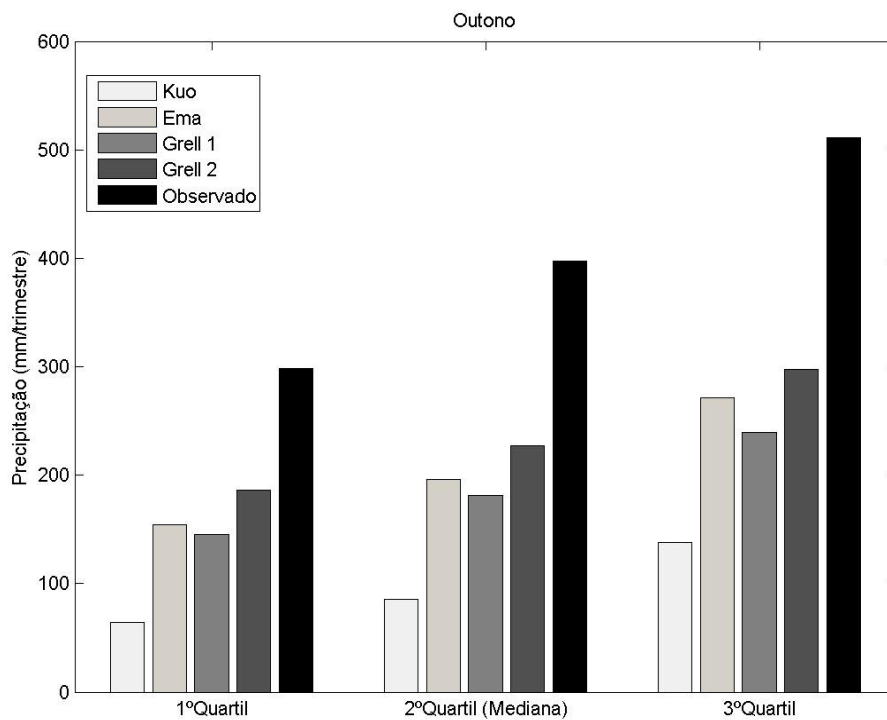
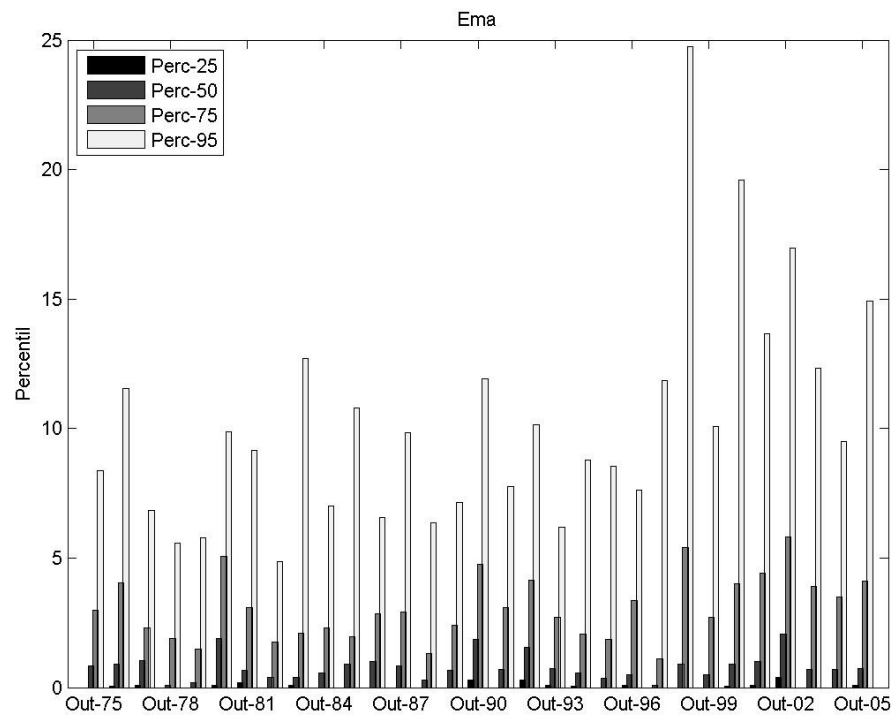
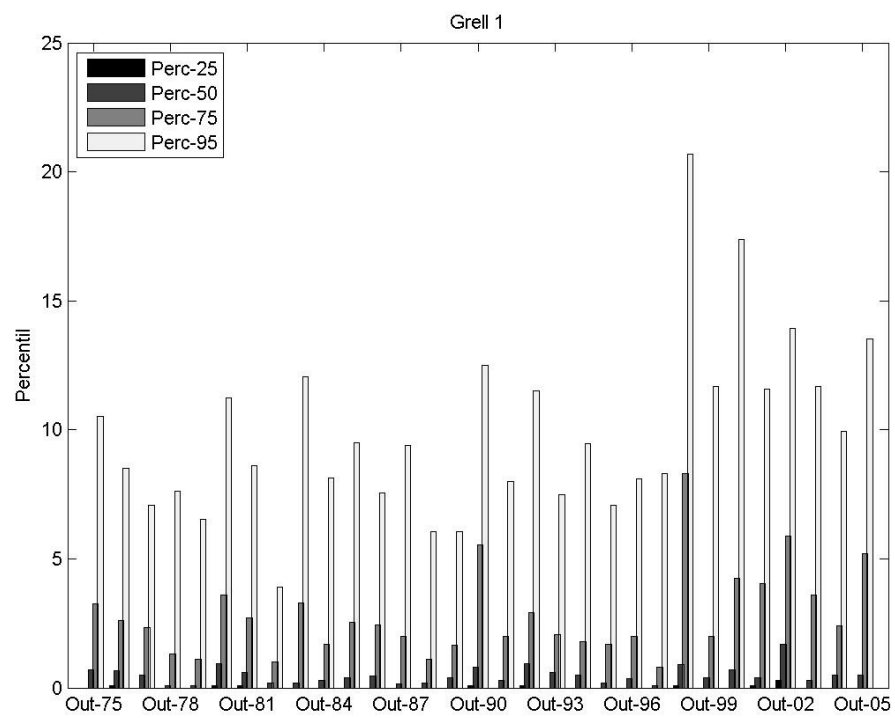


Figura 23 - Distribuição em quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75).

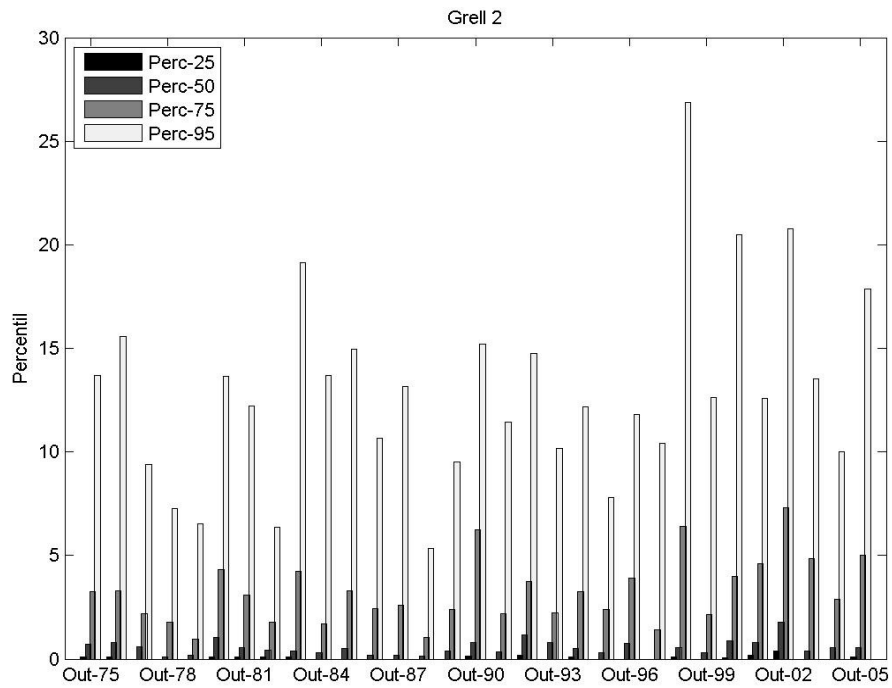


(a)

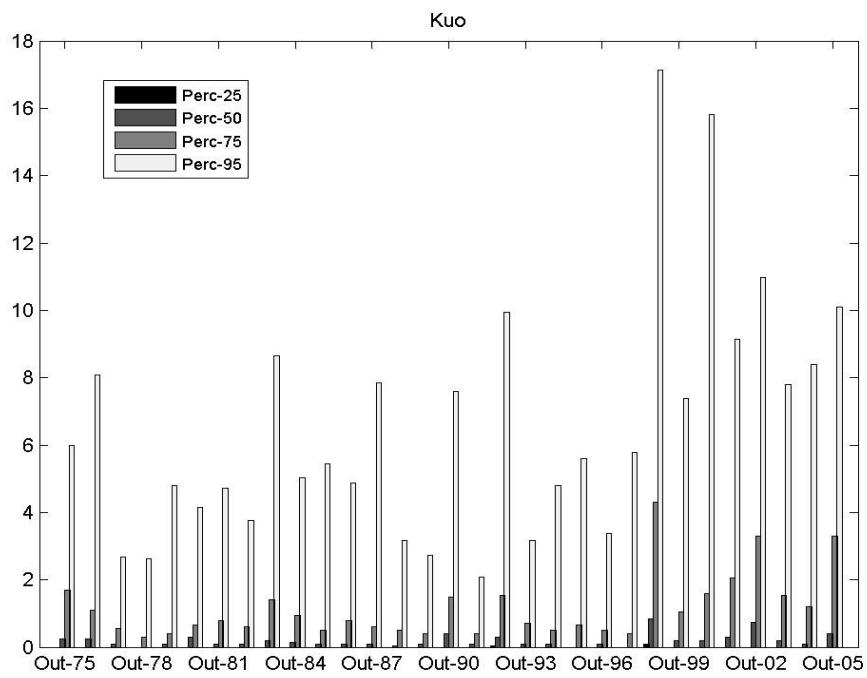


(b)

Figura 24 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Outono

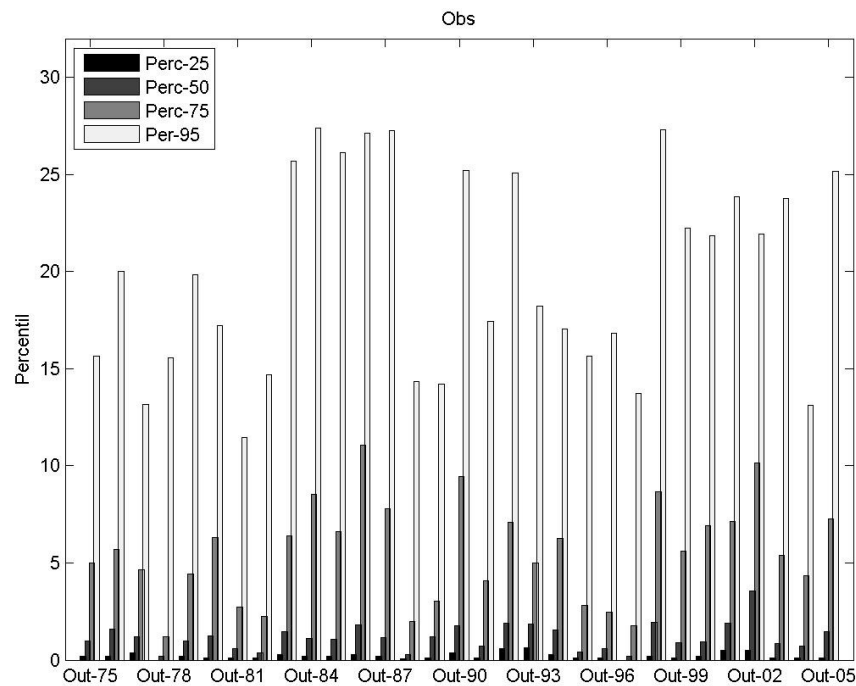


(c)



(d)

Figura 24 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Outono



(e)

Figura 24 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Outono

Tabela 4.2.2.2 - Percentis médios diários para o Outono

Percentil	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo	Obs
25	0,07	0,03	0,06	0,01	0,21
50	0,79	0,49	0,55	0,20	1,18
75	3,07	2,81	3,26	1,15	5,55
95	10,23	9,86	12,89	6,57	19,94

4.2.3 Análise Estatística para o Inverno

A Tabela 4.2.3.1 apresenta os Índices Estatísticos para o Inverno, e notou-se que para a Média e Mediana os valores Observados foram consideravelmente maiores que os Simulados forçando a um alto RMSE. Os baixos Desvios Padrão encontrado constata a pouca variabilidade de precipitação para a Estação de Inverno, como pode ser visto na Figura 25. A maior diferença entre a Média e

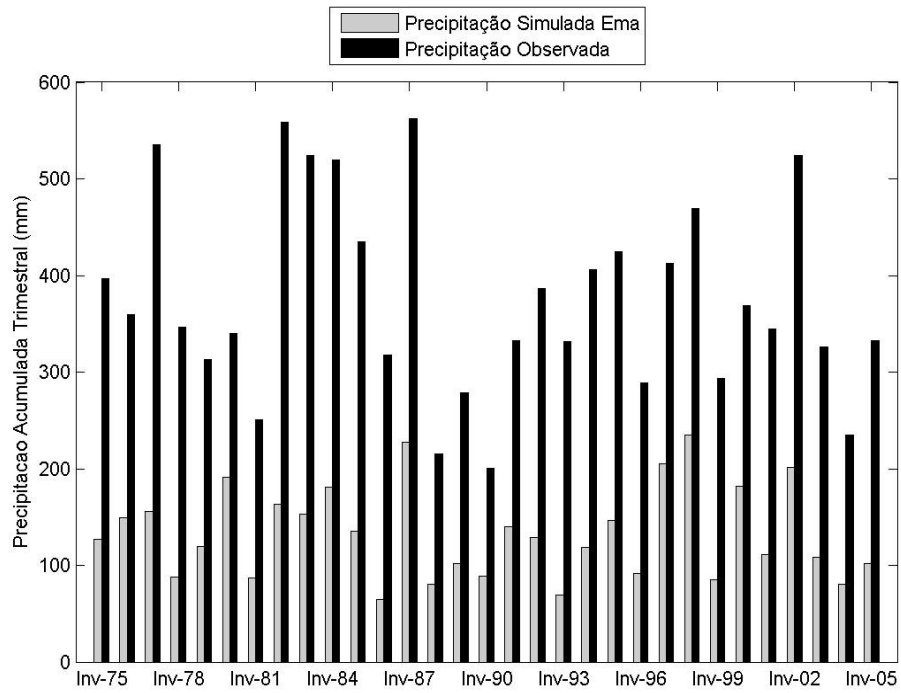
Mediana foi encontrada no Observado o que confirma o fato de que a variabilidade de distribuição de precipitação ter sido bem maior no Observado, com trimestres ora acima da média e ora abaixo.

Tabela 4.2.3.1 - Índices Estatísticos calculados para o Inverno

	Média (mm)	Mediana (mm)	Correl	Desvio Padrão (mm)	IQR (mm)	RMSE (mm)
Ema	132,92	127,30	0,75	47,40	71,23	252,81
Grell 1	161,61	156,60	0,81	62,40	101,50	222,45
Grell 2	174,79	173,0	0,81	61,51	111,43	209,77
Kuo	113,13	106,80	0,71	45,04	60,03	272,43
Obs	375,18	313,85	--	101,79	118,30	--

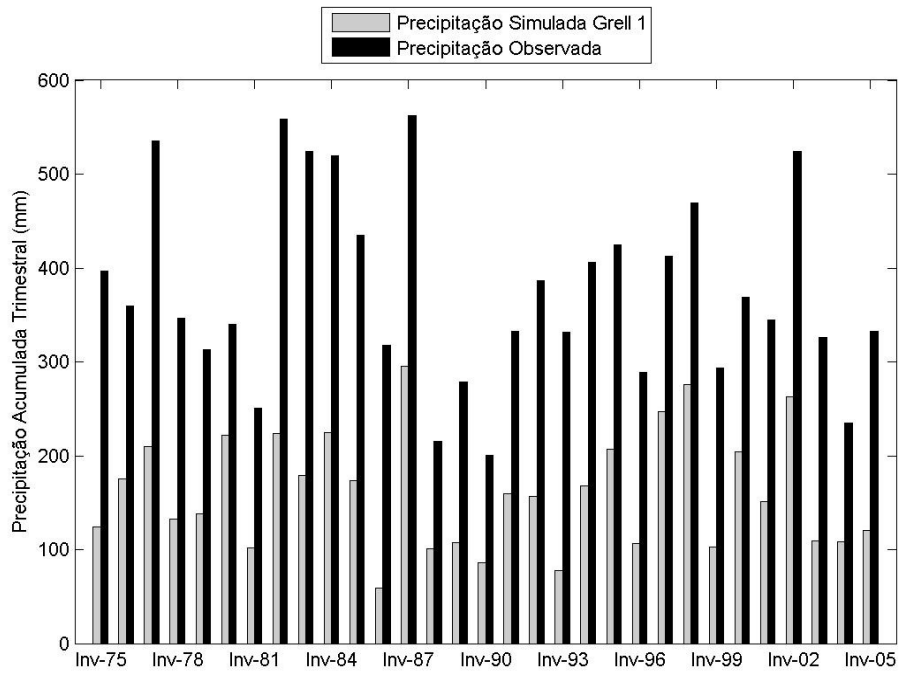
A Figura 26 mostra que as maiores frequências de distribuição para as Simulações estão entre 100 e 150 mm enquanto que para o Observado se encontra entre 300 e 350 mm. Este resultado também pode ser visto ao analisar o gráfico de dispersão (Figura 27) no qual se observou que todos os esquemas estão próximos do eixo dos valores Observados. Por eles estarem subestimando os valores de acumulado trimestral, foram encontradas correlações significativas para todos estes esquemas como foi visto na Tabela acima.

Ao analisar as Anomalias de precipitação acumulada trimestral na Figura 28, é possível notar anomalias na precipitação observada, tanto para valores positivos quanto para valores negativos com o modelo subestimando essas anomalias, mas seguindo os padrões de trimestres secos e chuvosos praticamente em todos os trimestres. Entretanto, nos anos de 1975, 1992, 1993 foram encontrados sinais diferentes no padrão de precipitação para a Observada, ou seja, anomalias positivas Observadas (trimestres chuvosos) e negativas Simuladas (trimestres secos). Já para os anos de 1976, 1992, 1993, foram encontradas Anomalias negativas Observadas e positivas Simuladas. Entretanto de maneira geral todos os esquemas convectivos conseguiram simular bem as Anomalias de precipitação Observadas para esta estação com Grell 1 e 2 e até mesmo Kuo apresentando acertos acima de 83%, com apenas Ema apresentando 24 acertos (77,42%) para os 31 anos analisados, como podem ser vistos na Tabela A3 do Apêndice 2.

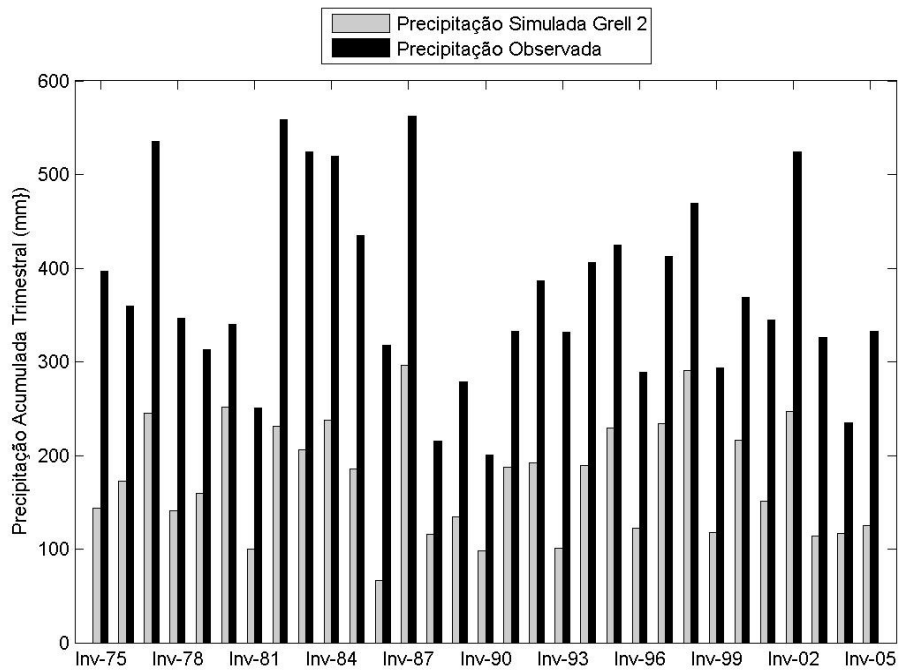


(a)

Figura 25 - Distribuição Trimestral Acumulada-Inverno (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

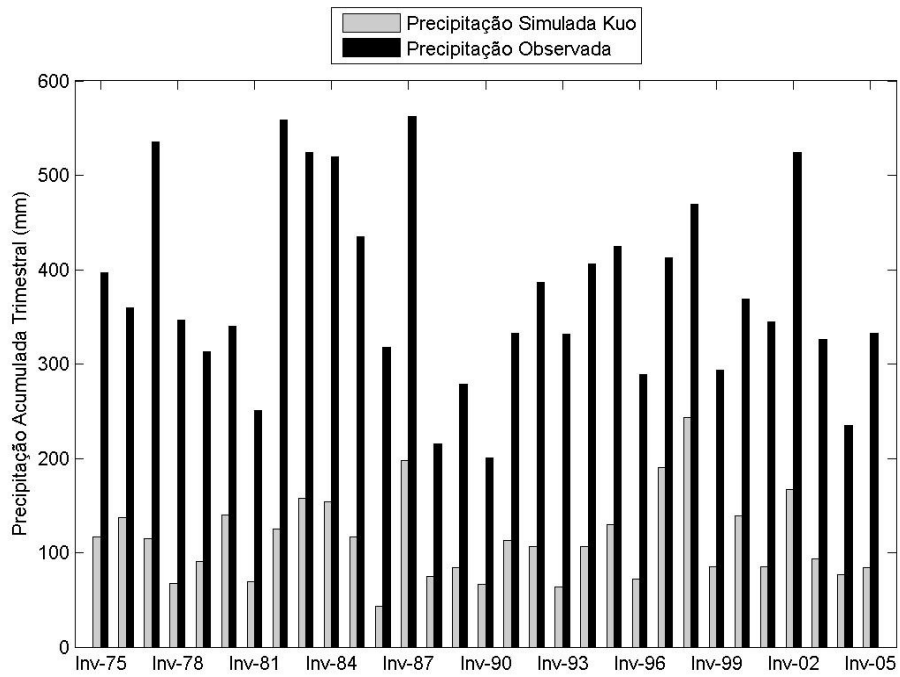


(b)



(c)

Figura 25 (continuação) - Distribuição Trimestral Acumulada-Inverno (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo



(d)

Figura 25 (continuação) - Distribuição Trimestral Acumulada-Inverno (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

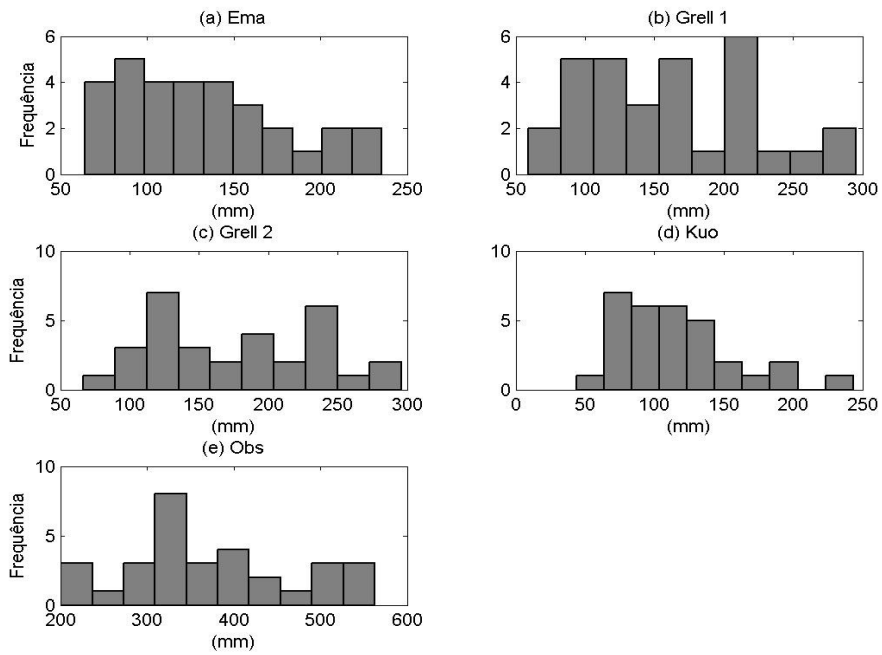


Figura 26 - Diagrama de distribuição de freqüência para o Inverno

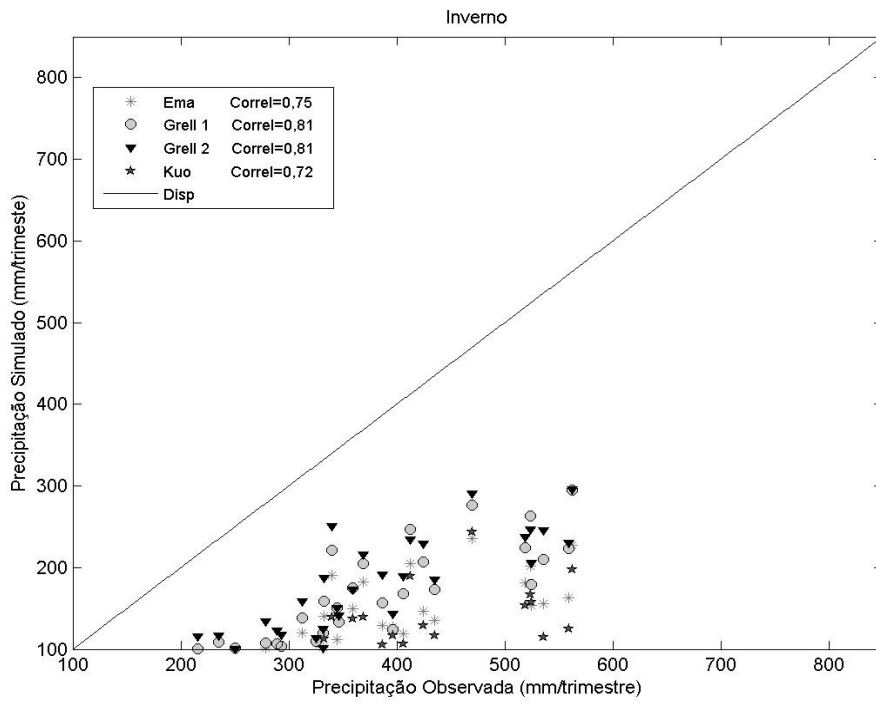
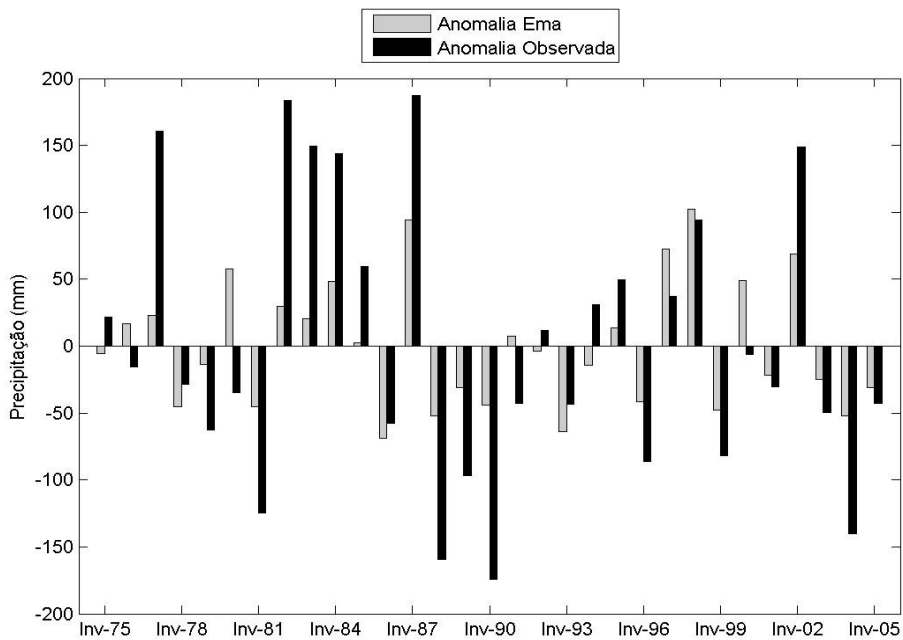
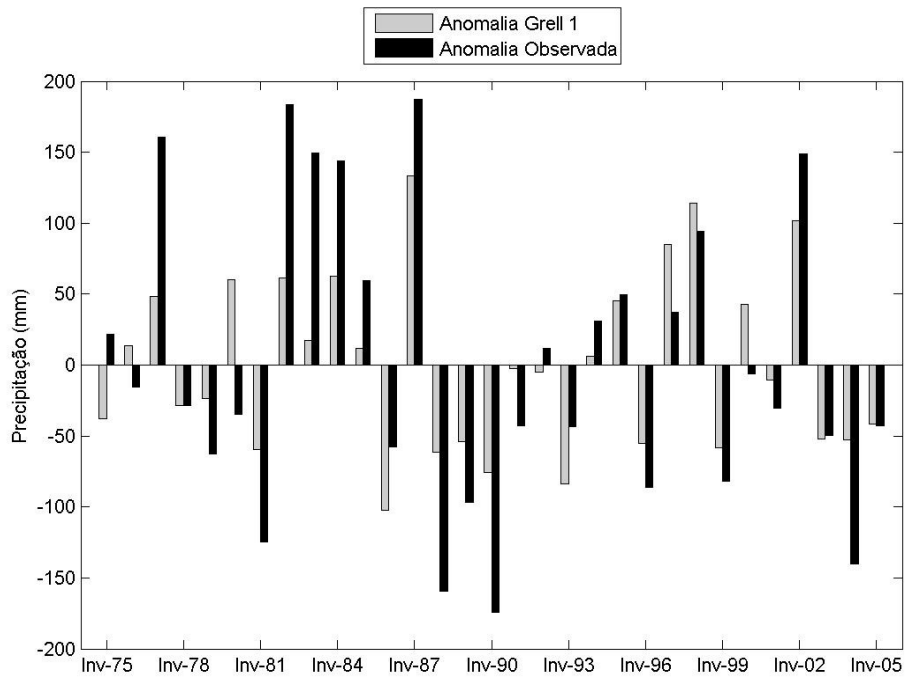


Figura 27 - Diagrama da Dispersão–Inverno

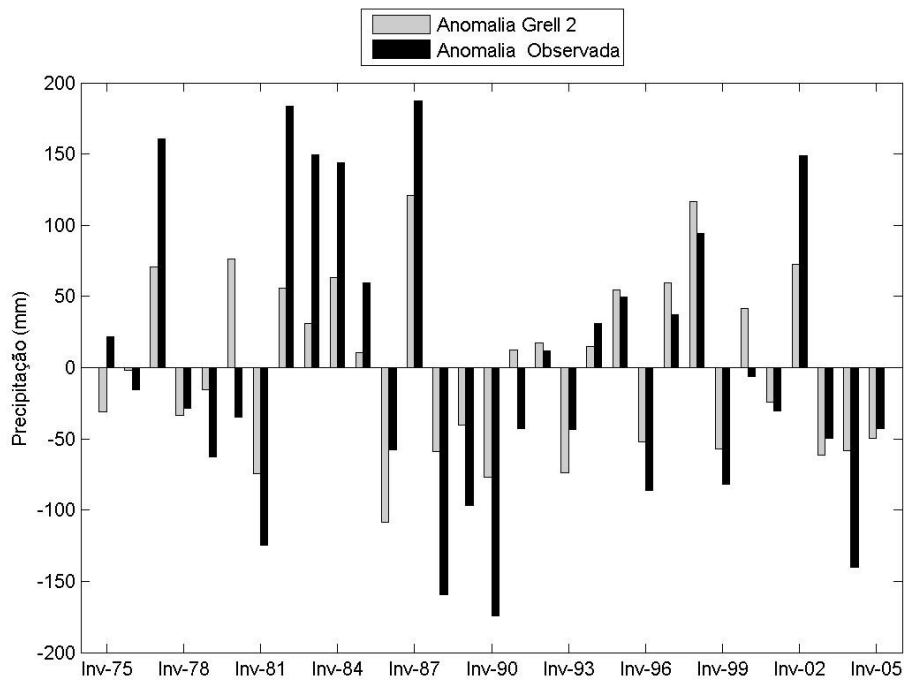


(a)

Figura 28 - Anomalia de precipitação baseada e sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

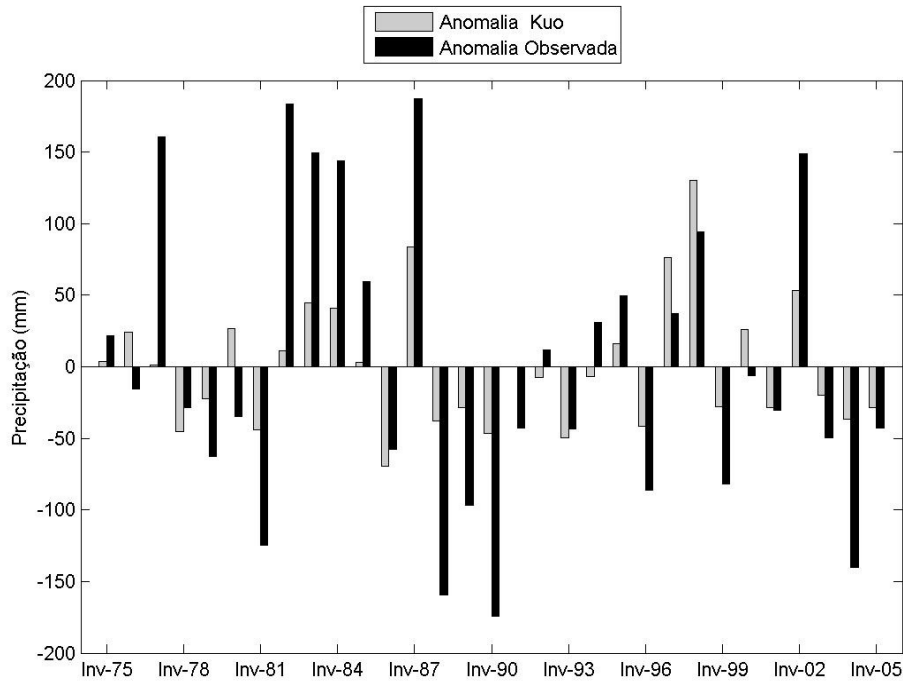


(b)



(c)

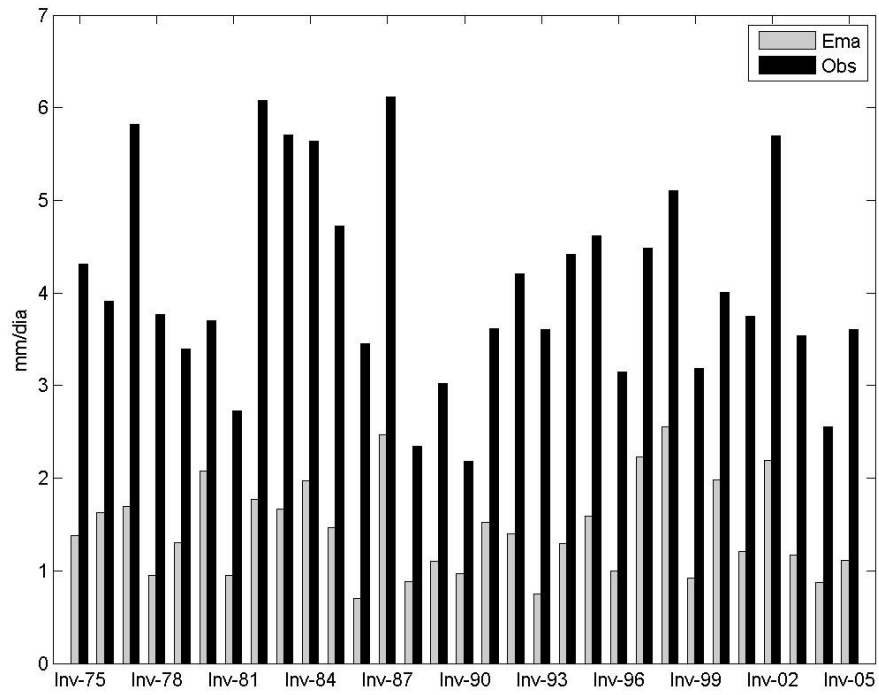
Figura 28 (continuação) - Anomalia de precipitação baseada e sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.



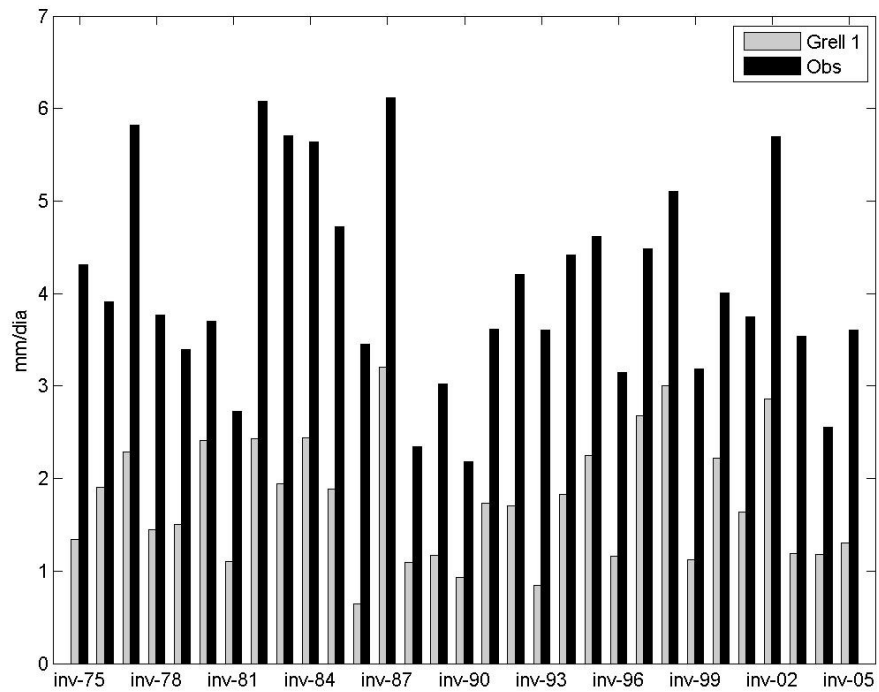
(d)

Figura 28 (continuação) - Anomalia de precipitação baseada e sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

As análises para os acumulados trimestrais apresentaram certa dificuldade em representar as distribuições devido a pouca variabilidade encontrada no Inverno as frequências de períodos mais ou menos chuvosos nos simulados. No entanto, ao avaliar as médias diárias e máximas diárias de precipitação, observa-se que os esquemas Grell 1 e Grell 2 conseguiram reproduzir satisfatoriamente a precipitação média diária em quase todos os trimestres, por exemplo, durante o período de 1990-1998 período no qual as precipitações médias diárias sofreram um considerável aumento até 1998 e em seguida passaram a diminuir até 2002. Sugere-se que este comportamento possa estar relacionado com forte Niño registrado nesse ano. Estes esquemas conseguiram reproduzir adequadamente as médias máximas (Figura 29 (c)) e razoavelmente bem as máximas diárias registradas, mas não tão bem as mínimas máximas como mostra a Figura 30 (c) no qual o modelo para a estação de Inverno aponta indícios de seca. Isto pode ser notado também ao analisar os quartis inferiores na Figura 31 que também apresentam valores bem a baixos do Observado.

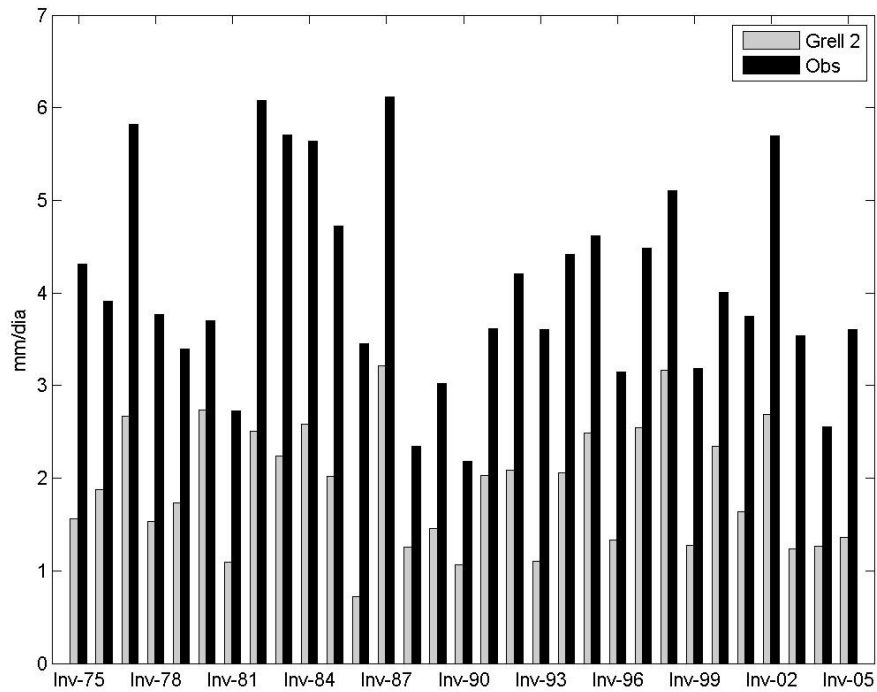


(a)

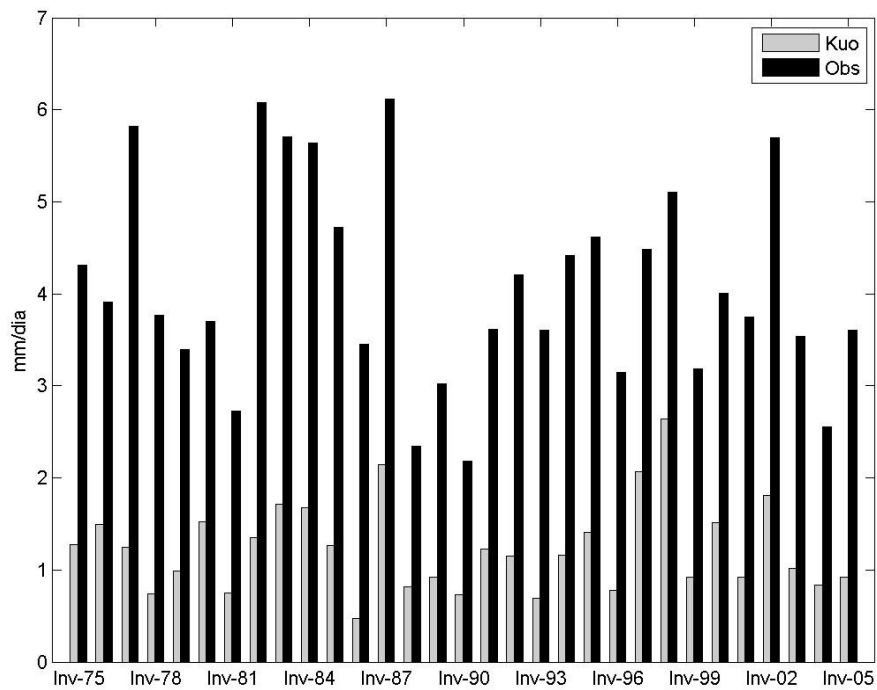


(b)

Figura 29 - Média Diária Trimestral-Inverno. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo

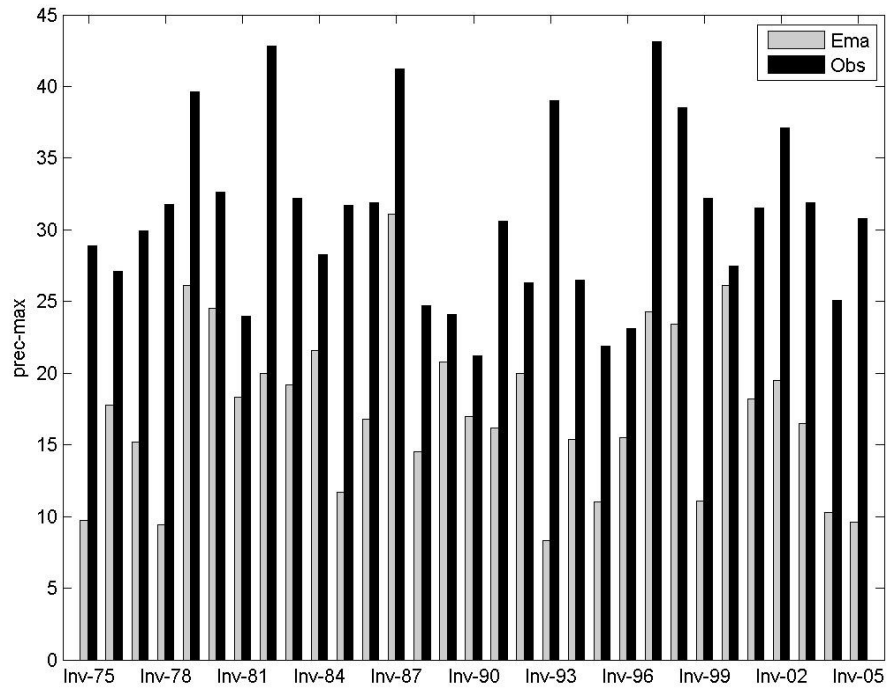


(c)

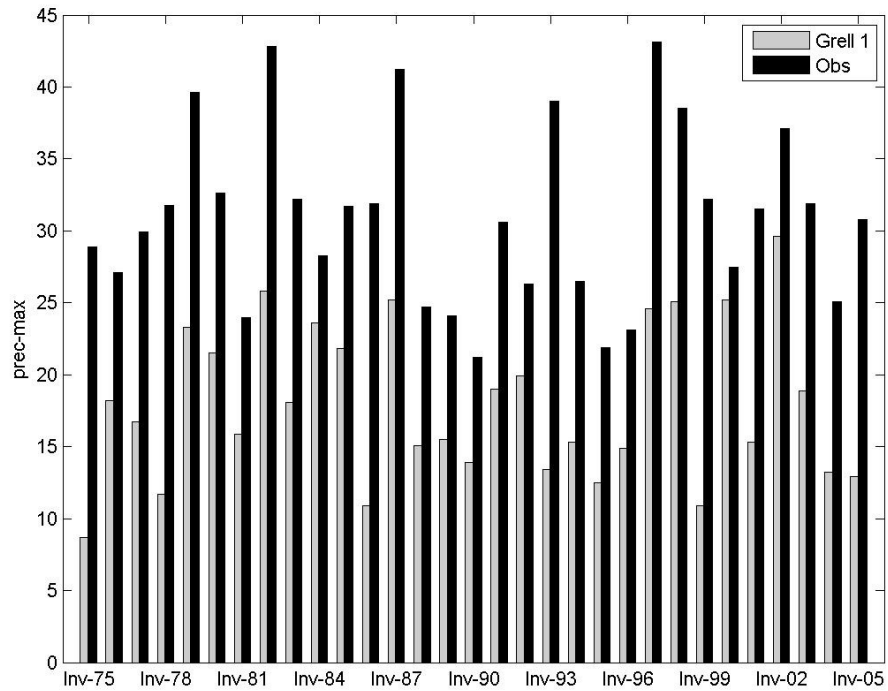


(d)

Figura 29 (continuação) - Média Diária Trimestral-Inverno. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo

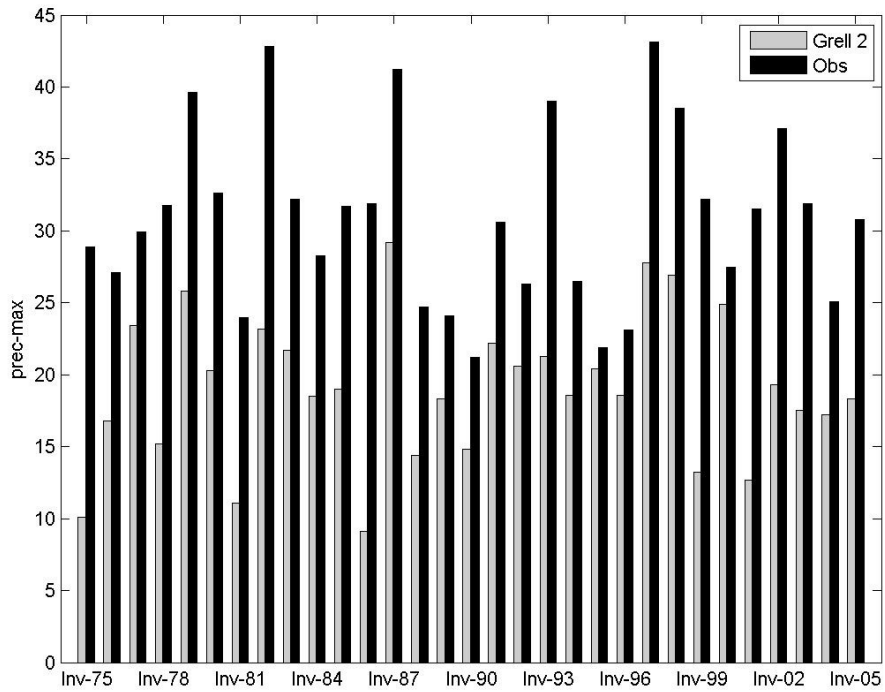


(a)

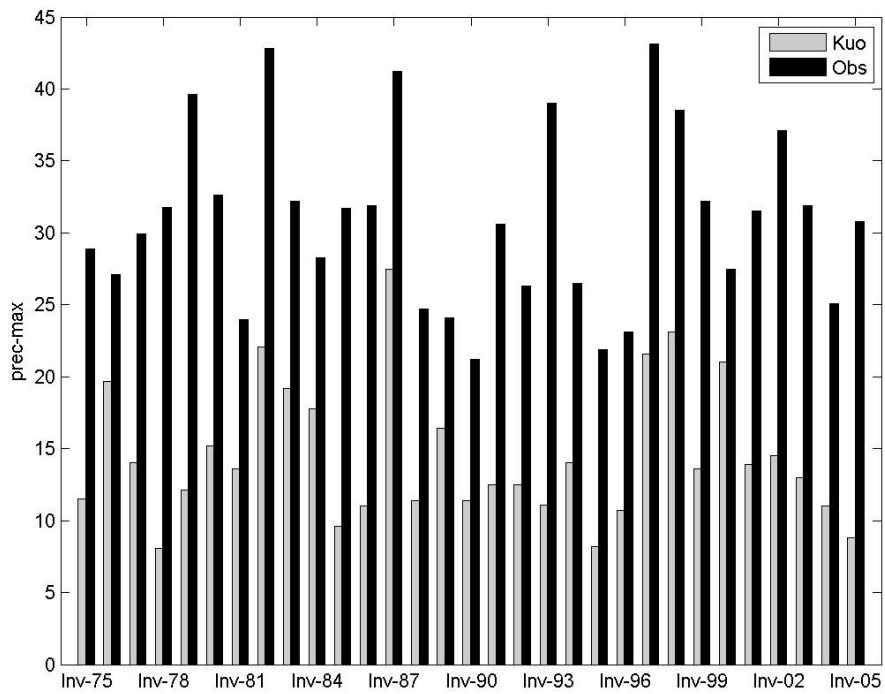


(b)

Figura 30 - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo



(c)



(d)

Figura 30 (continuação) - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

A Figura 31 apresenta os quantis calculados para esta estação, e corrobora os resultados de que as Simulações subestimaram os valores Observados, simulando em torno dos 50% os valores Observados. No quartil climatológico superior (75) o Observado registrou precipitação acima de 420 mm por trimestre enquanto que Grell 2 (maiores valores simulados) mostrou valores de precipitação em torno de 225 para esse quartil, o que equivale chuva um pouco acima dos 70 mm mensais, considerado um valor baixo para esse quartil, com tendência para invernos secos, o mesmo acontece para os outros esquemas convectivos que subestimaram ainda mais os valores observados. Os menores IQR foram encontrados para Ema e Kuo devido a baixa variabilidade entre os quartis superiores e inferiores, constatando que estes esquemas simularam uma distribuição uniforme de chuva, porém abaixo dos valores Observados. Grell 1 e 2 também subestimaram os valores, mas tiveram um IQR semelhante ao Observado o que revela que esses esquemas conseguiram minimamente seguir o padrão de distribuição Observado. Notou-se que para a estação de Inverno os valores nos quartis 50 e 75 são inferiores aos registrados para o Verão e Outono, porém no quartil inferior (25), os valores registrados no Observado são maiores acima dos 310 mm por trimestre, mostrando que não se tem Invernos secos no Estado, sendo essa a dificuldade encontrada pelos esquemas convectivos em reproduzir esse detalhe.

Os percentis médios diários calculados na Figura 31 mostram que o percentil médio diário 95 Observado (Figura 31 (e)) esteve em torno dos 18 mm por dia (Tabela 4.2.3.2) e a maioria dos esquemas reproduziram abaixo da metade desse valor observado nesse percentil.

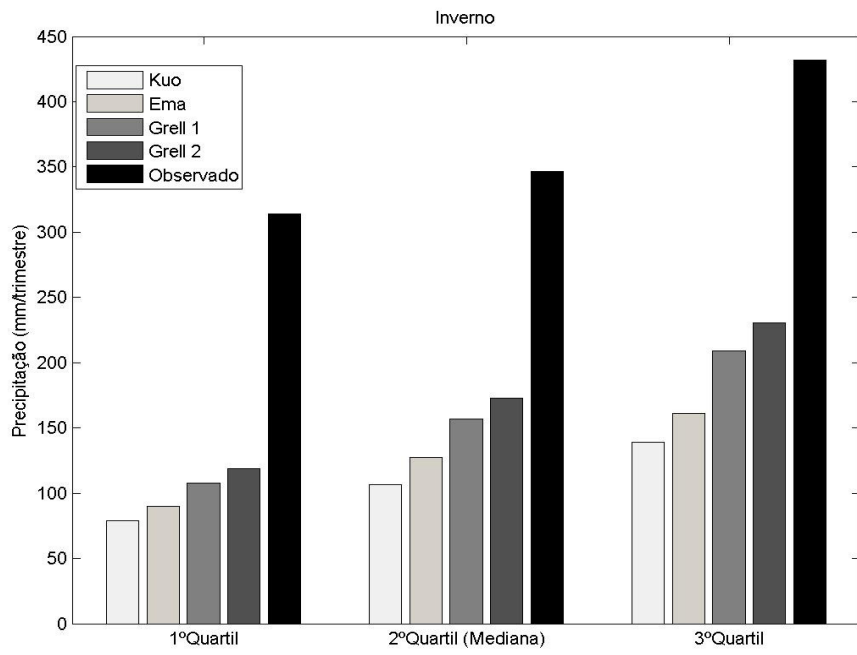
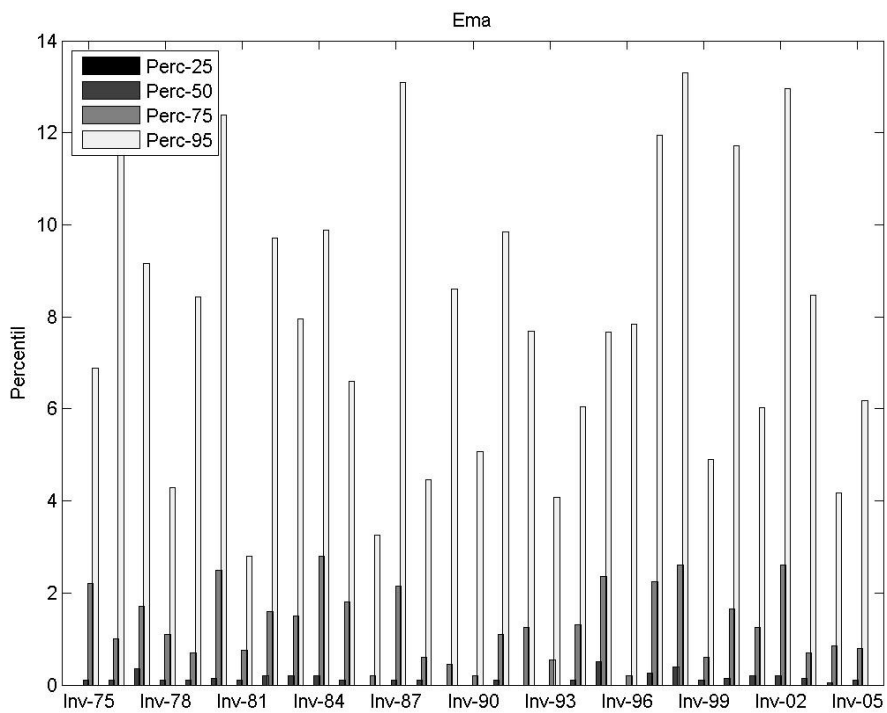
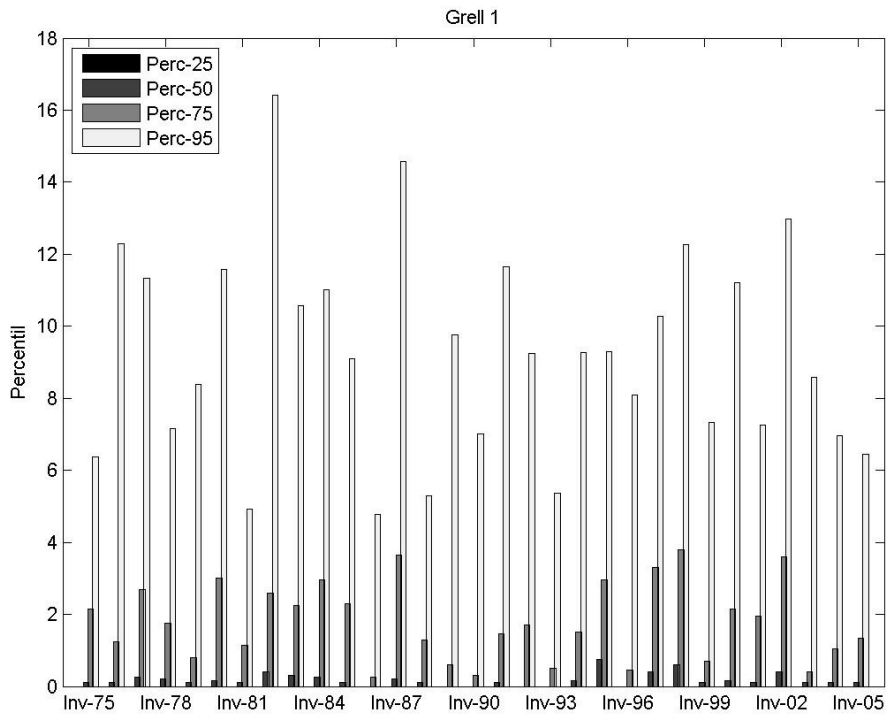


Figura 31 - Distribuição em quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75).

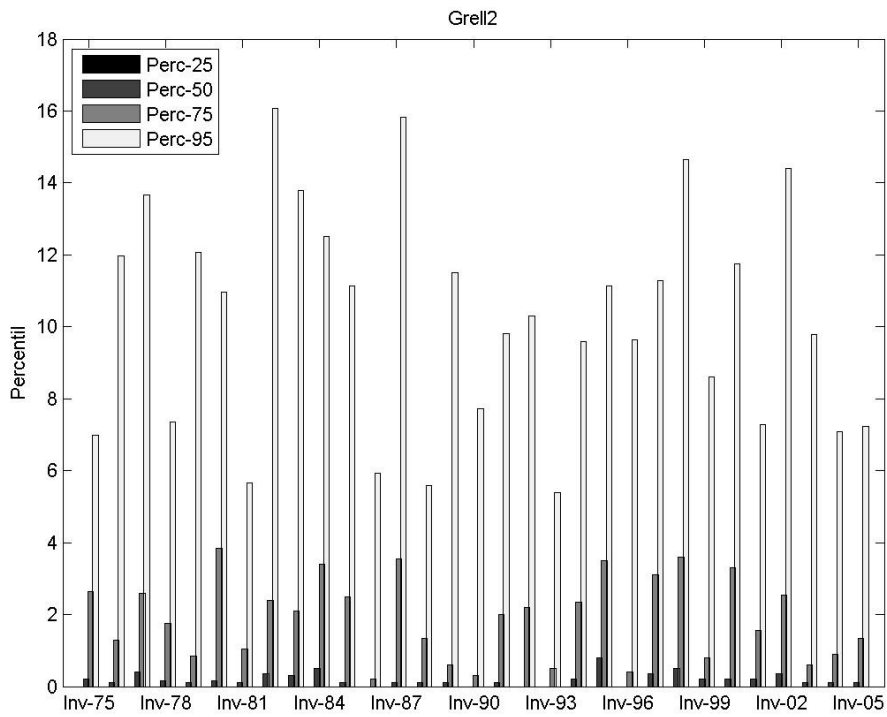


(a)

Figura 32 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Inverno

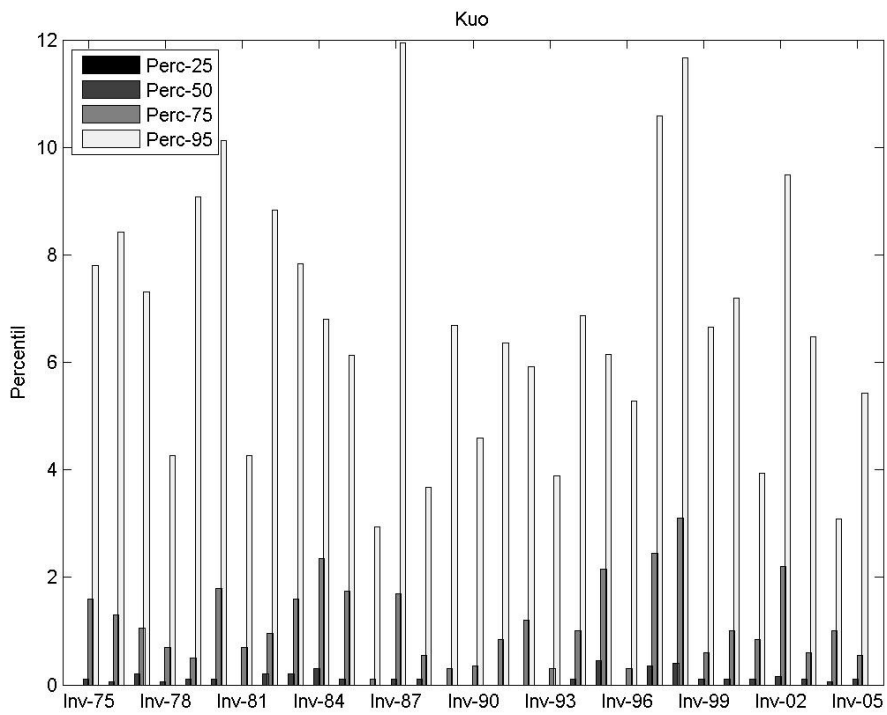


(b)

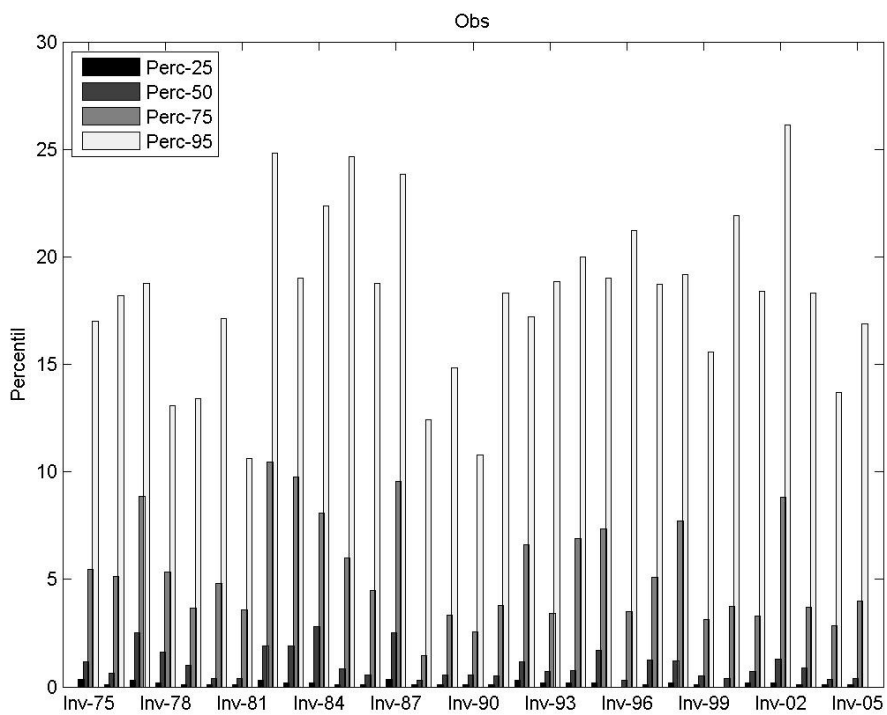


(c)

Figura 32 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Inverno



(d)



(e)

Figura 32 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Inverno

Tabela 4.2.3.2 - Percentis médios diários para o Inverno

Percentil	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo	Obs
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16
50	0,14	0,17	0,19	0,12	1,02
75	1,33	1,80	1,91	1,14	5,37
95	7,97	9,25	10,21	6,76	18,16

4.2.4 Análise Estatística para a Primavera

Para esta estação esperam-se valores de acumulados trimestrais maiores que os registrados nas outras estações do ano como discutido anteriormente. A Tabela 4.2.4.1 apresenta os Índices Estatísticos com uma Média de precipitação acumulada trimestral maior que as apresentadas nas estações anteriores. As médias simuladas também reproduziram esse aumento no regime de precipitação, com exceção a Kuo que registrou a metade da média Observada.

Na Figura 33 observa-se que os esquemas convectivos conseguiram seguir bem o padrão de distribuição de precipitação. Mesmo o esquema Kuo que subestimou seus valores, conseguiu seguir o padrão apresentado para esta estação. Nos trimestres em que os acumulados trimestrais observados foram mais baixos, por exemplo, Primavera de 1985, todos os esquemas convectivos consideraram essa queda no acumulado trimestral. O contrário também é verdadeiro, nos trimestres em que foram registrados os maiores acumulados trimestrais Observados, os Simulados também apontaram esse sinal, por exemplo, nos trimestres de 1997 e 2002. As maiores frequências de distribuição de precipitação para o Observado se encontram entre 350 e 450 mm enquanto que para as Simuladas em torno de 250 a 300 mm (Figura 34).

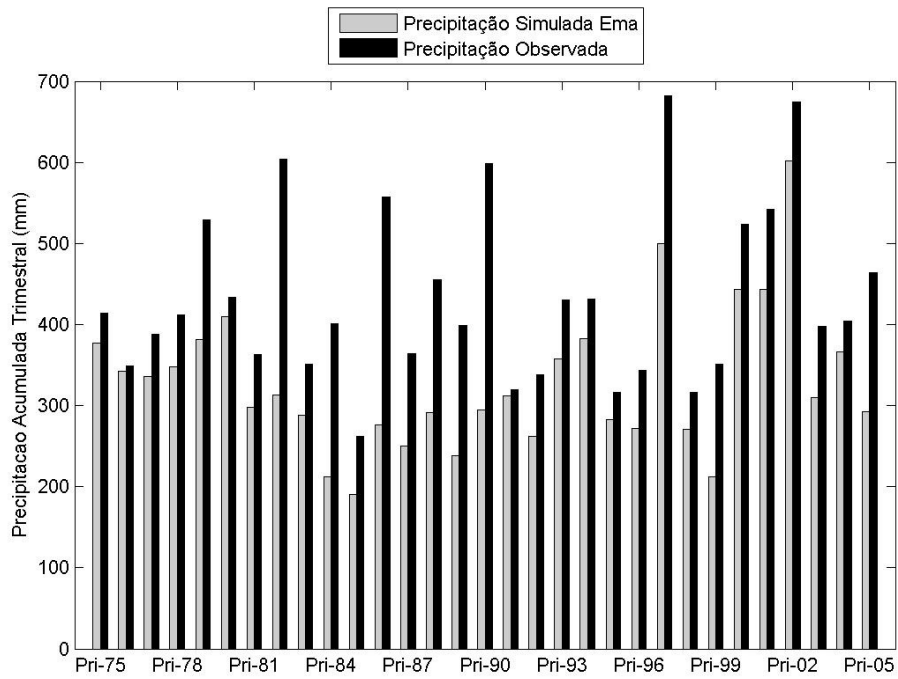
Durante a Primavera notou-se altas anomalias (tanto positiva, quanto negativa) de precipitação (Figura 36) no Observado, isso pode ser devido ao fato de que durante os trinta anos analisados terem apresentado casos de Primaveras menos chuvosas e outras apresentando extremos de chuva, que é o esperado para essa estação, fazendo aumentar a média de precipitação e apresentar anomalias positivas bem maiores que as negativas.

Os esquemas convectivos apresentaram anomalias de precipitação diferentes das Observadas em alguns trimestres (Figura 36), por exemplo, Ema, Grell 1 e Grell

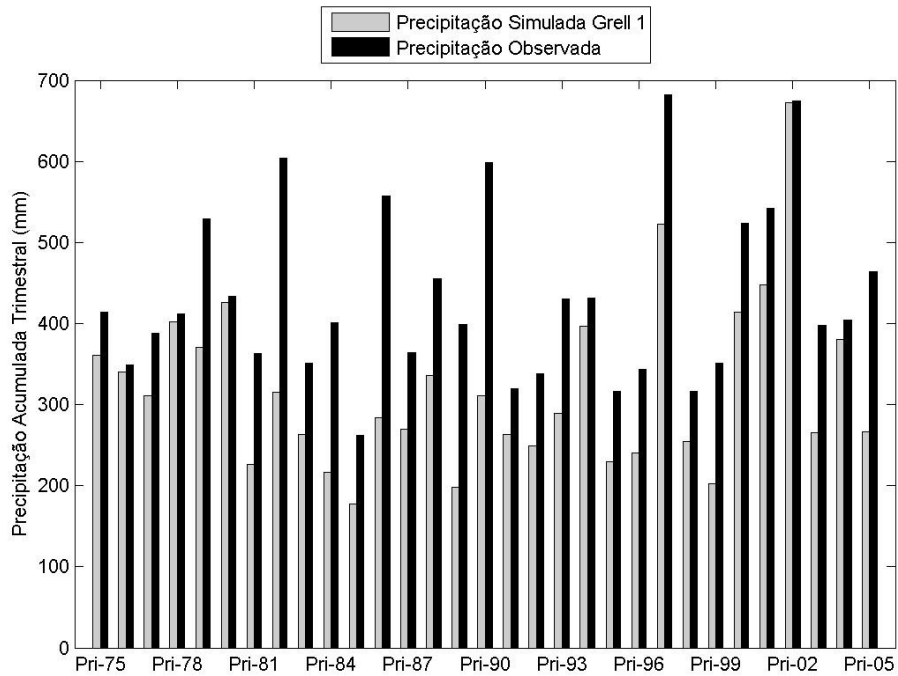
2 mostraram anomalias positivas (trimestres chuvosos), enquanto que as anomalias Observadas apontaram anomalias negativas (trimestres secos) de precipitação nos períodos de 1975 a 1978. Já para os trimestre de 1986 e 1988 foram encontradas anomalias negativas de precipitação Simulada e positiva para a Observada, de modo que o esquema convectivo Ema apresentou um maior número de erros, 12 erros (ver Tabela A4) para as 31 anos analisados o que correspondem a 40,63% de erros nas anomalias comparadas com as Observada. O maior número de acertos foi apresentado por Grell 1 e Grell 2 com 74,19% das anomalias registradas, o que sugere que para esta estação serem esses esquemas os que melhor reproduzem a precipitação no estado do RS. As Simulações conseguiram representar o padrão de precipitação Observado como pode ser notado na Figura 35 que representa a correlação entre Observado e Simulado, cujo resultado na Tabela 4.2.4.1 mostra resultados significativos para ambas as Simulações. A maior dispersão foi encontrada para Grell 2, onde mesmo apresentando uma média menor que o Observado o Desvio Padrão é maior, o que conclui-se que esse esquema apresenta a maior variabilidade de distribuição. Ema embora tenha uma média de precipitação próxima as outras Simuladas, seu valores de acumulados trimestrais são menos dispersos, pois apresenta um baixo Desvio Padrão em relação ao Observado. Esses resultados podem ser melhores visualizados ao avaliar a distribuição média diária e distribuição máxima diária (Figuras 37 38), em que se pode notar que Ema suaviza melhor a distribuição de precipitação, ou seja, não apresenta tanta variabilidade na distribuição de chuva bem como Kuo. Entretanto, Grell 1 e Grell 2 acompanharam melhor as menores e maiores médias bem como as mínimas máximas e máximas diárias observadas.

Tabela 4.2.4.1 - Índices Estatísticos calculados para a Primavera

	Média (mm)	Mediana (mm)	Correl	Desvio Padrão (mm)	IQR (mm)	RMSE (mm)
Ema	327,54	310,00	0,68	87,90	101,98	131,42
Grell 1	319,44	289,70	0,72	105,37	127,70	137,38
Grell 2	357,53	335,10	0,70	108,27	132,78	111,86
Kuo	211,66	194,70	0,58	63,02	93,85	237,26
Obs	432,68	404,80	--	107,53	157,90	--

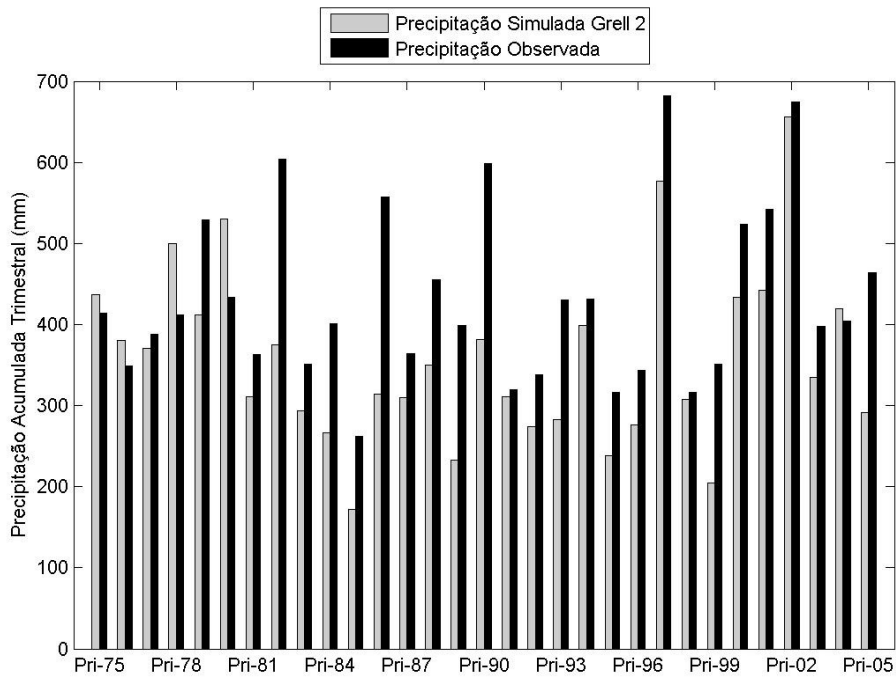


(a)

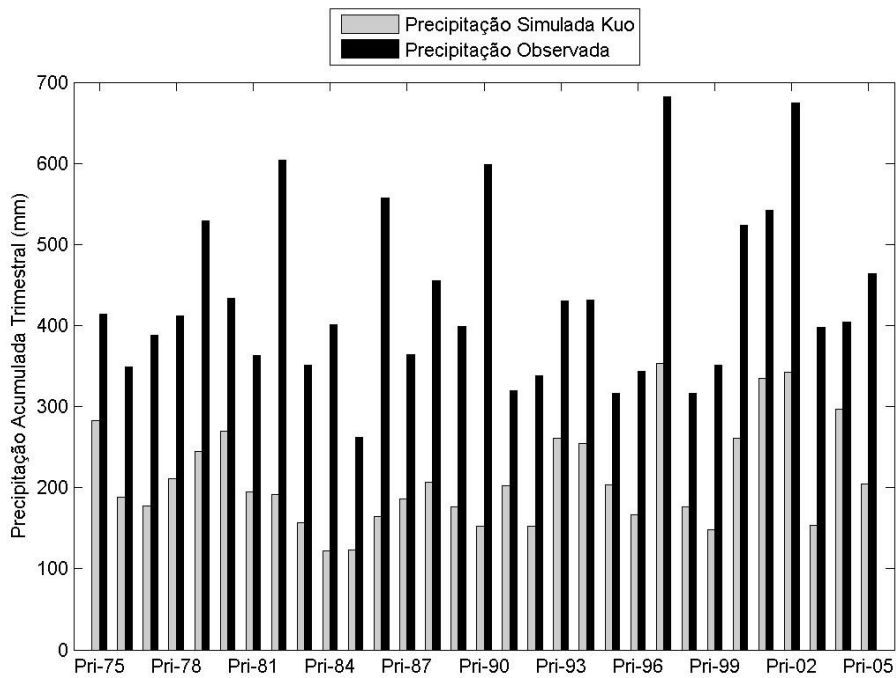


(b)

Figura 33 - Distribuição Trimestral Acumulada-Primavera (1975-2005) Simulada e Observada. (a)Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.



(c)



(d)

Figura 33 (continuação) - Distribuição Trimestral Acumulada-Primavera (1975-2005) Simulada e Observada. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

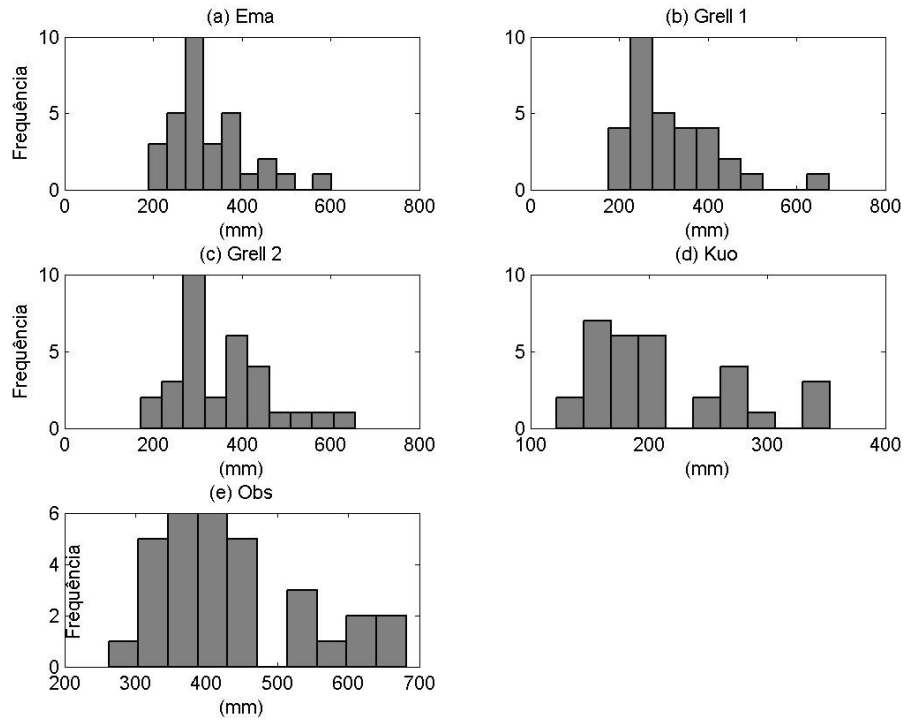


Figura 34 - Diagrama de distribuição de frequência para o Primavera.

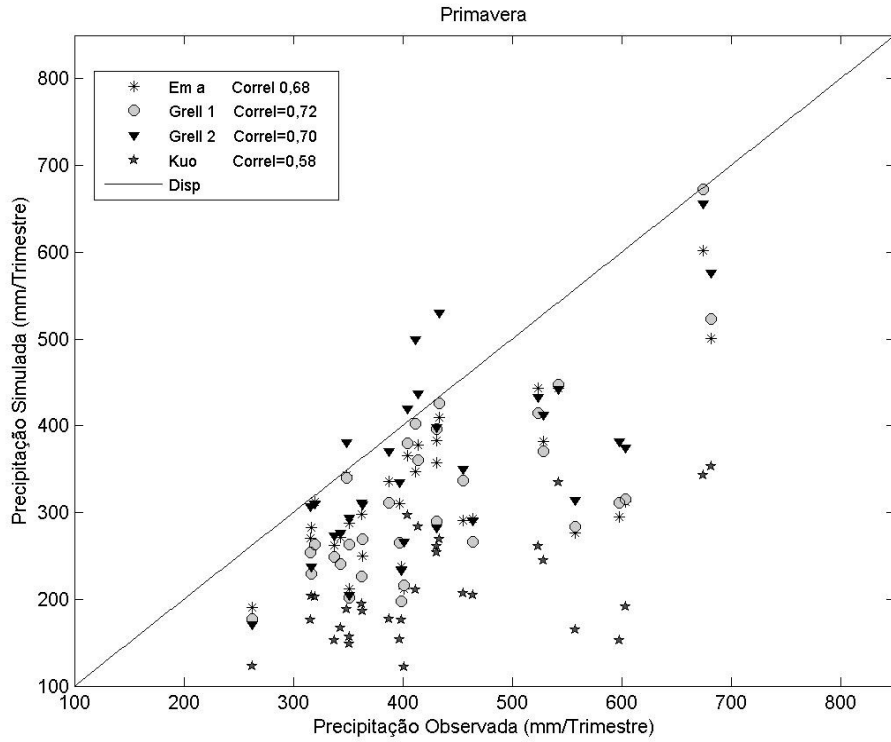
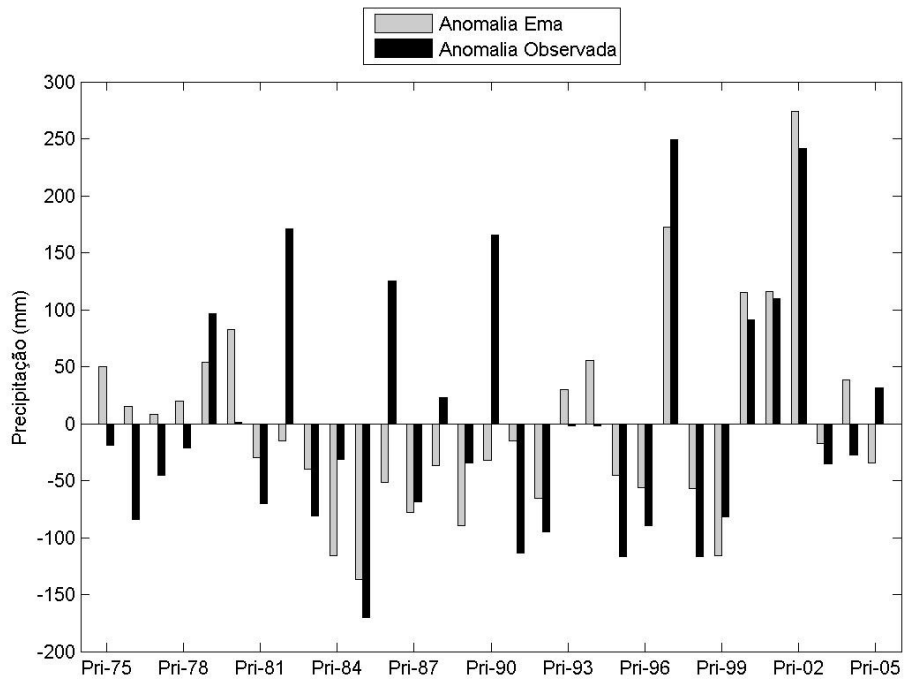
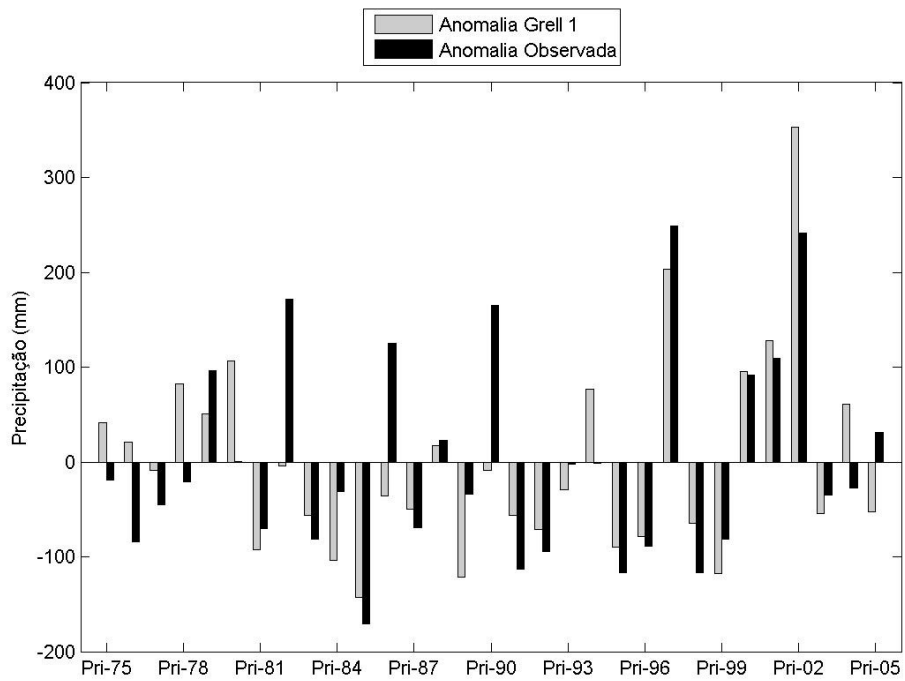


Figura 35 - Diagrama da Dispersão-Primavera

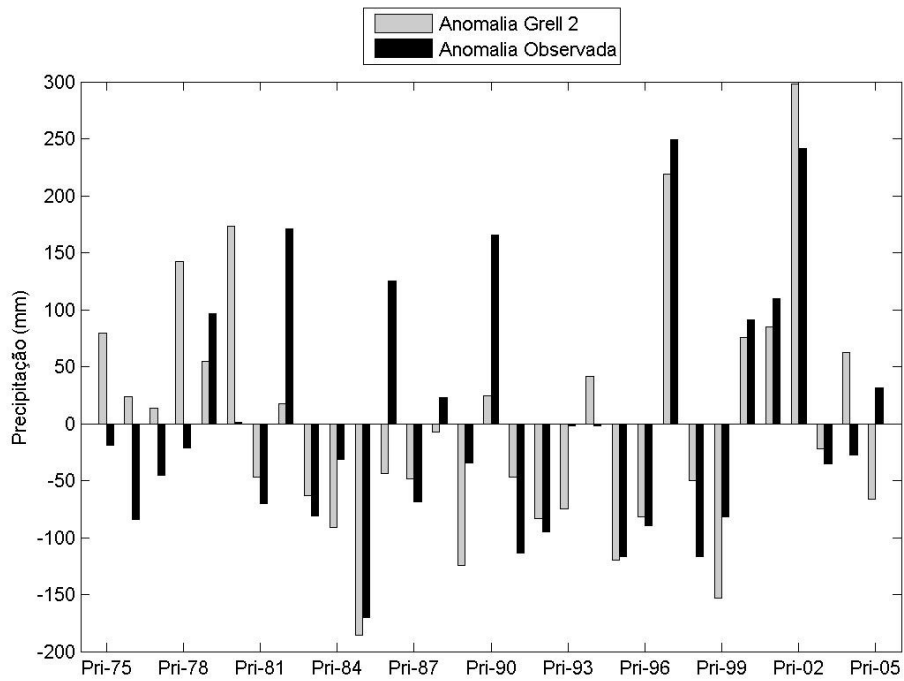


(a)

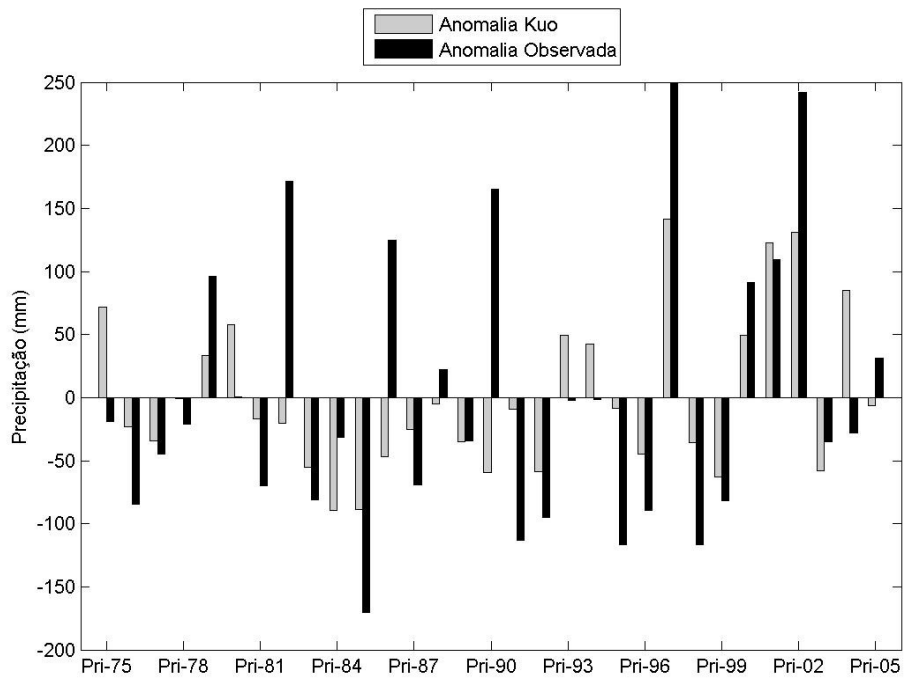


(b)

Figura 36 - Anomalia de precipitação baseada e sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

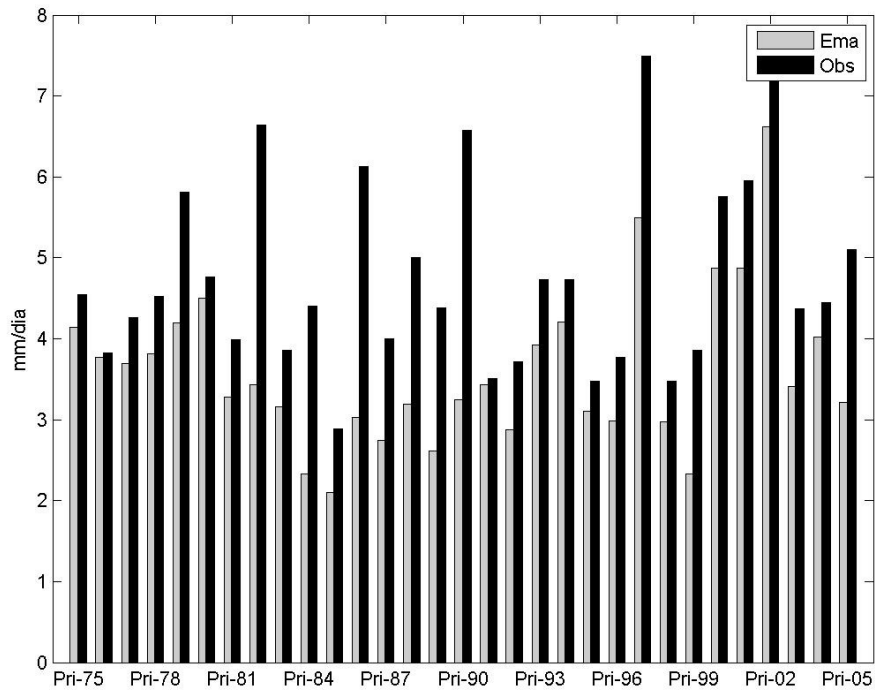


(c)

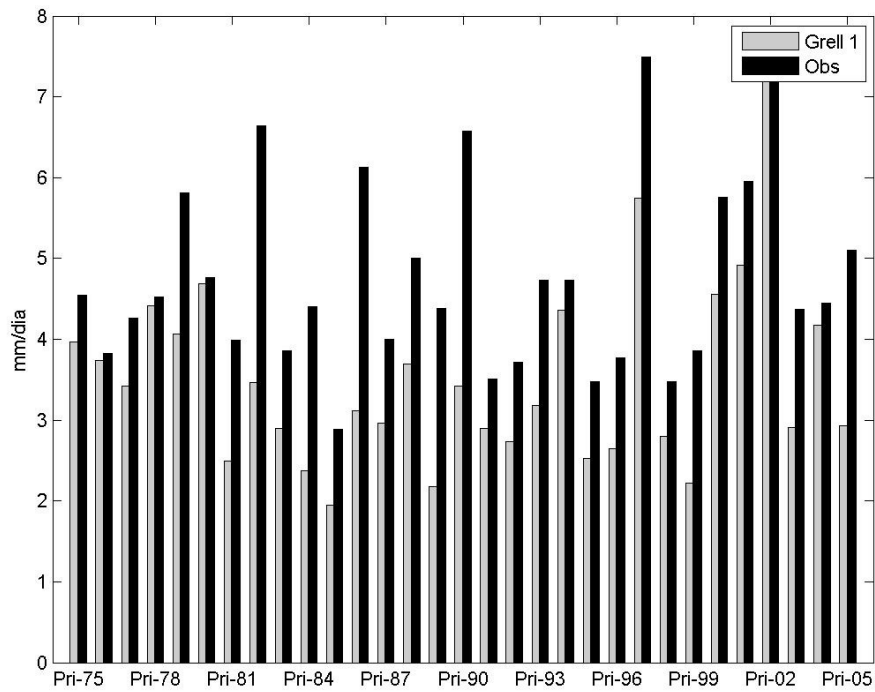


(d)

Figura 36 (continuação) - Anomalia de precipitação baseada e sua própria climatologia. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

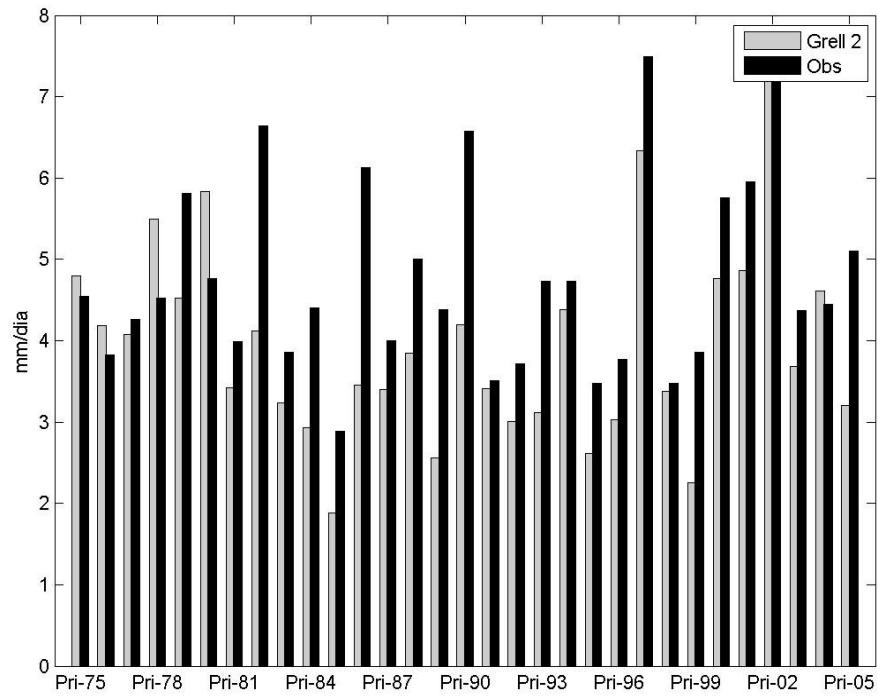


(a)

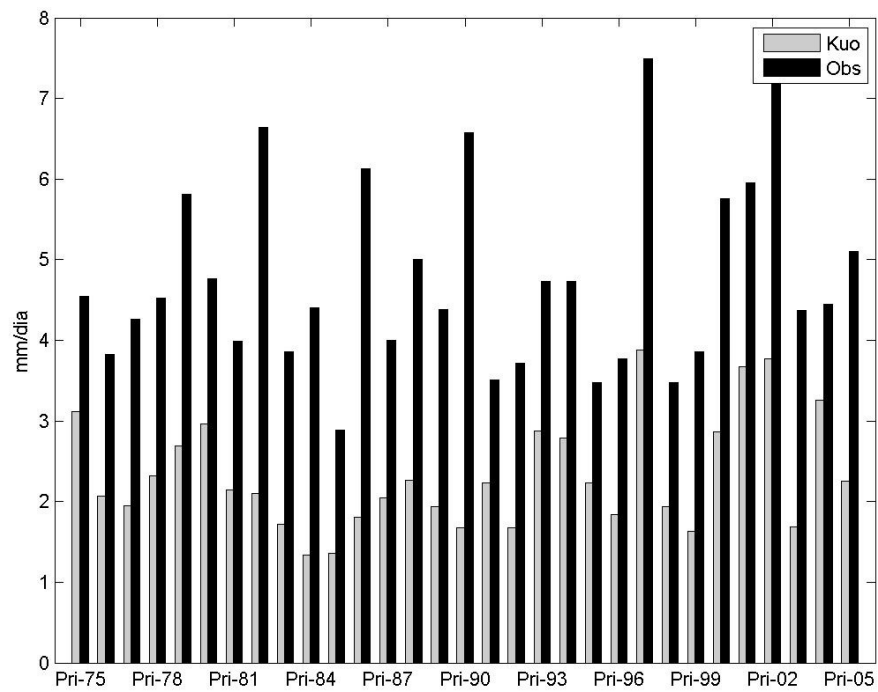


(b)

Figura 37 - Média Diária Trimestral-Primavera. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo.

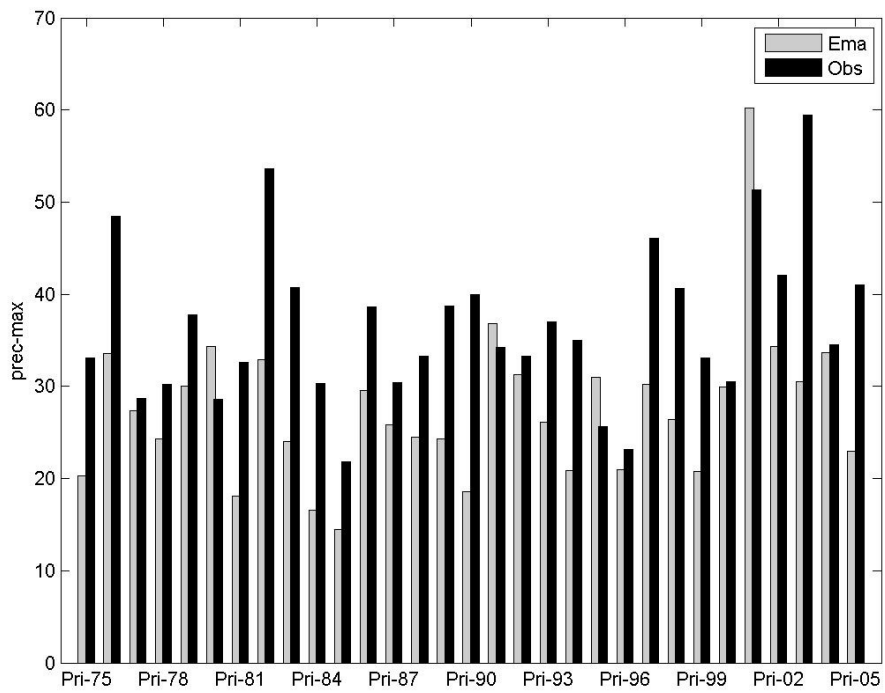


(c)

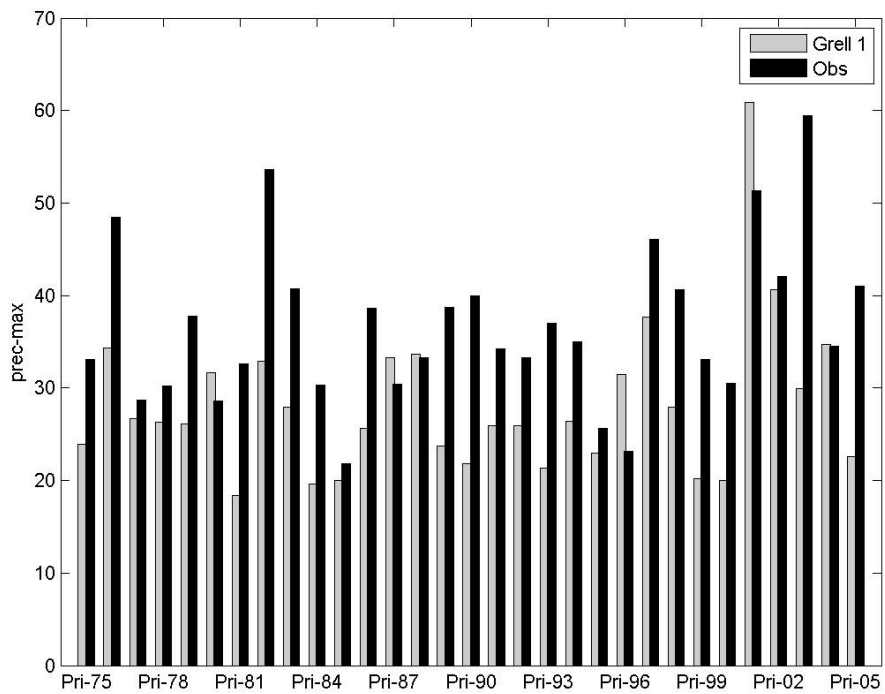


(d)

Figura 37 (continuação) - Média Diária Trimestral-Primavera. (a) Ema; (b) Grell1; (c) Grell 2; (d) Kuo

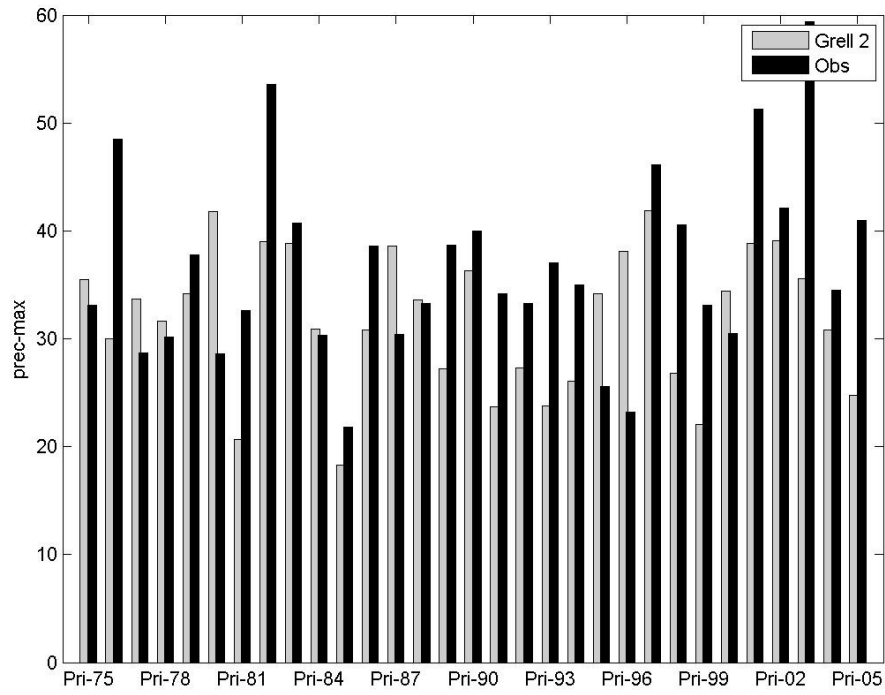


(a)

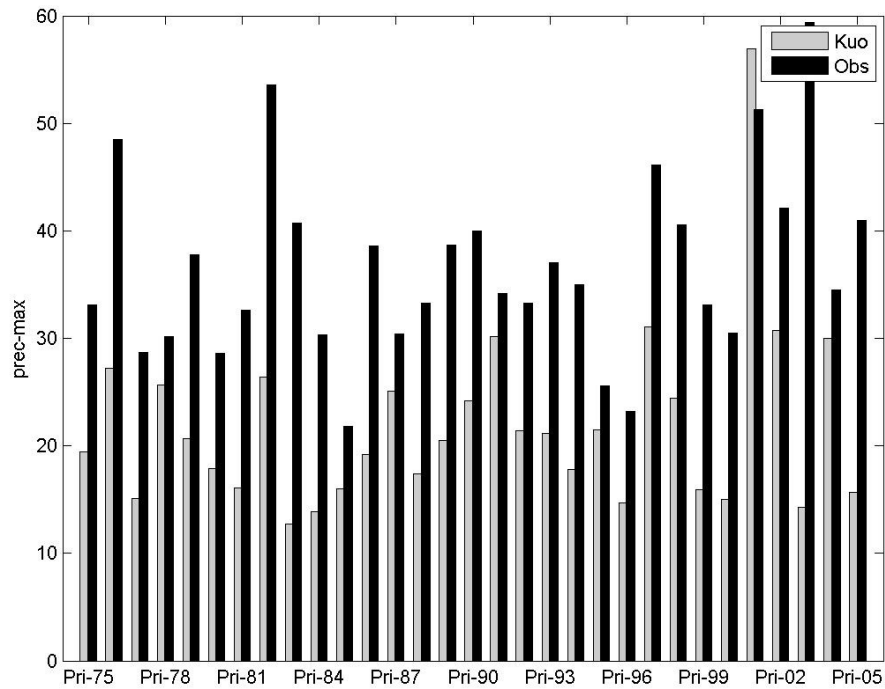


(b)

Figura 38 - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo



(c)



(d)

Figura 38 (continuação) - Precipitação Máxima registrada em cada trimestre. (a) Ema; (b) Grell 1; (c) Grell 2; (d) Kuo

A Figura 39 apresenta os quartis (25, 50, 75) calculados pra a Primavera e notou-se um alto valor no quartil superior Observado, acima de 500 mm, o que corresponde ao valor esperado para essa estação. Esta é a estação mais chuvosa no RS, em função do elevado número da intrusão de frentes. Os JBNs começam a se intensificar nessa época do ano, trazendo muita umidade do setor norte da AS fortalecendo a ocorrência de muitos SCMs na região sul do Brasil o que acaba influenciando nos acumulados mensais de precipitação. Grell 2 e Grell 1 foram os esquemas convectivos que melhor corresponderam ao Observado, visto que acompanharam a dispersão observada como foi visto na Tabela 4.2.4.1 com um IQR mais próximo, o que mostra que esses esquemas conseguiram diferenciar melhor o volume e talvez o tipo de chuva relacionado a precipitação ocorrida. Ema mesmo conseguindo corresponder ao padrão observado, apresenta a mesma característica do Verão, ou seja, dificuldade de diferenciar chuva mais forte de chuva mais fraca. Isto pode ser visto no percentil médio diário, no percentil 25, Ema aponta o maior valor nesse percentil entre os Simulados como mostra Figura 40 e Tabela 4.2.4.2.

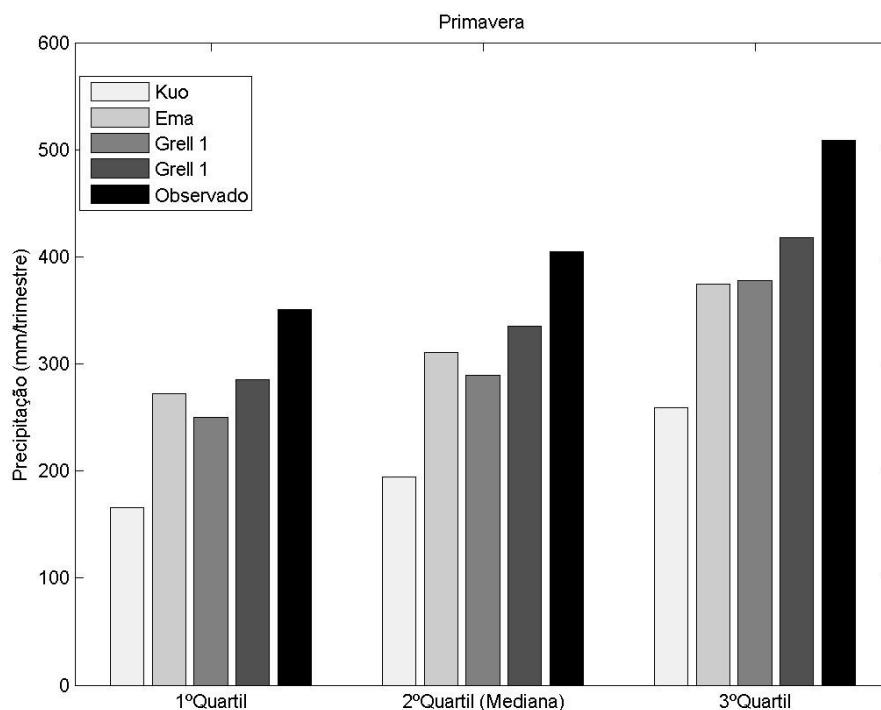
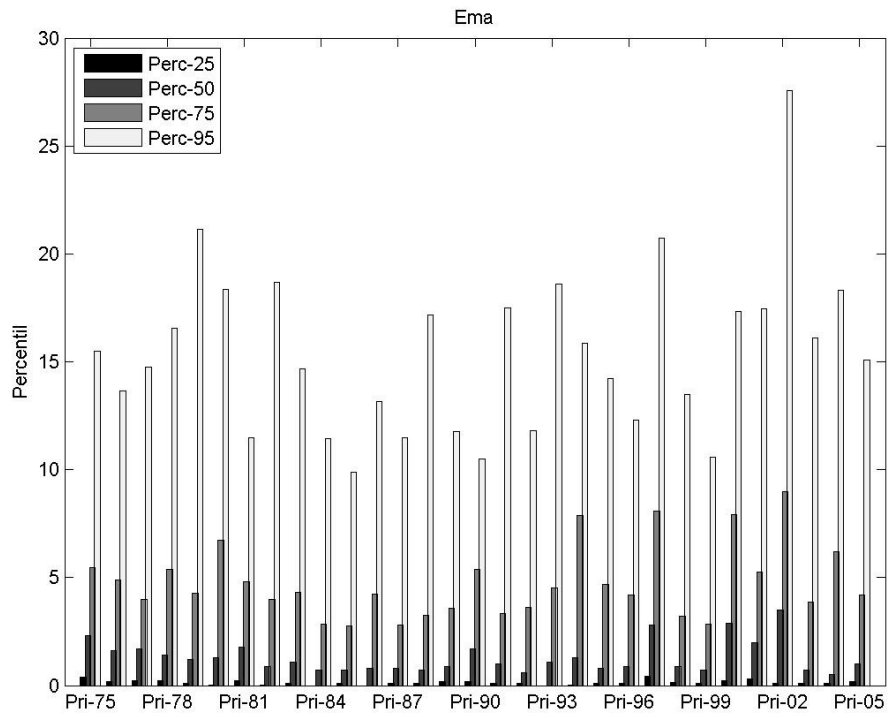
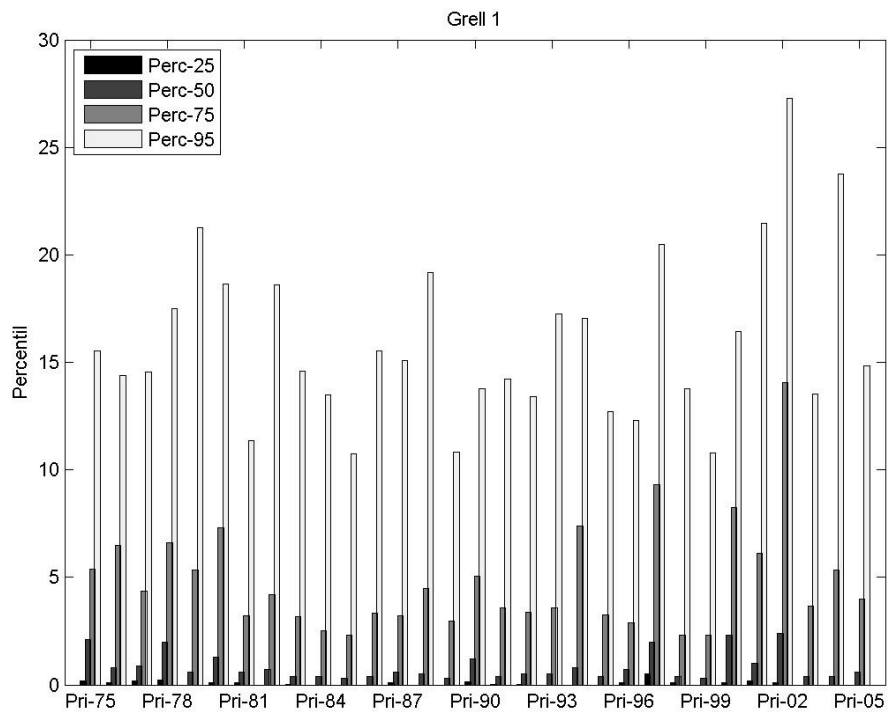


Figura 39 - Distribuição em quartis, 1º Quartil (25), 2º Quartil (50), 3º Quartil (75).

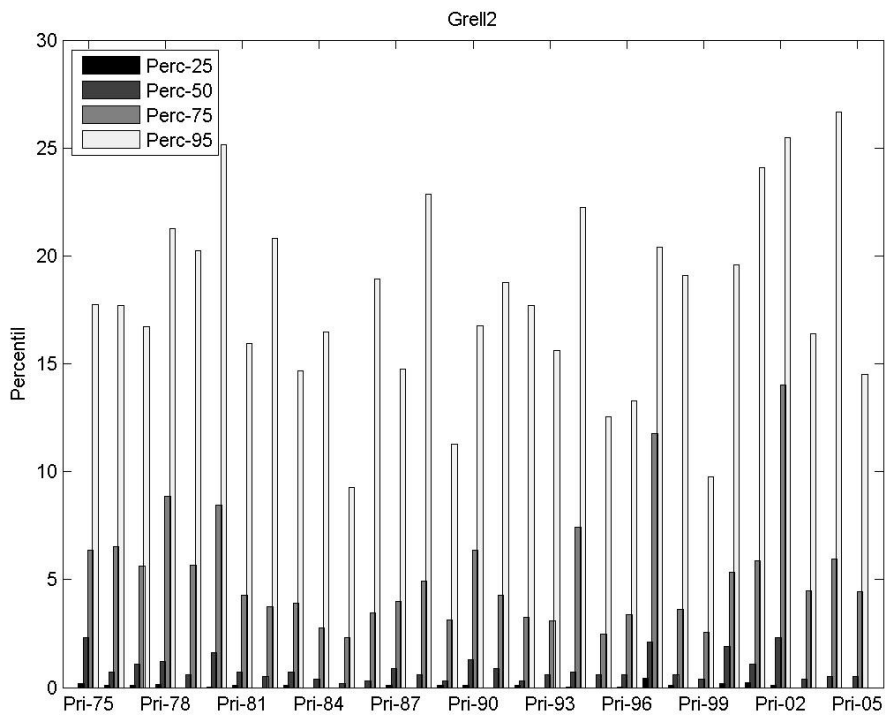


(a)

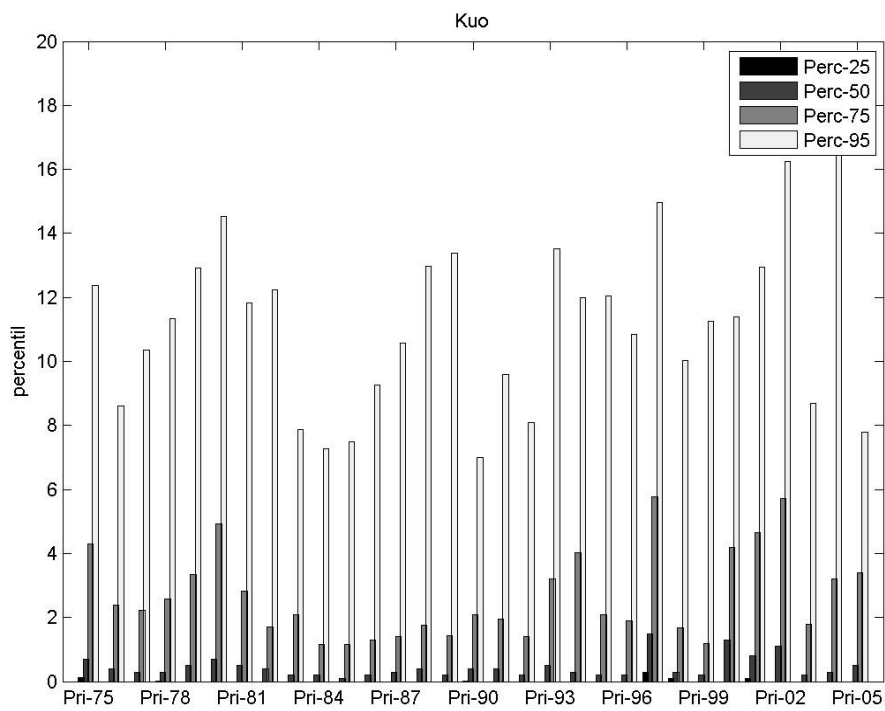


(b)

Figura 40 - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Primavera.

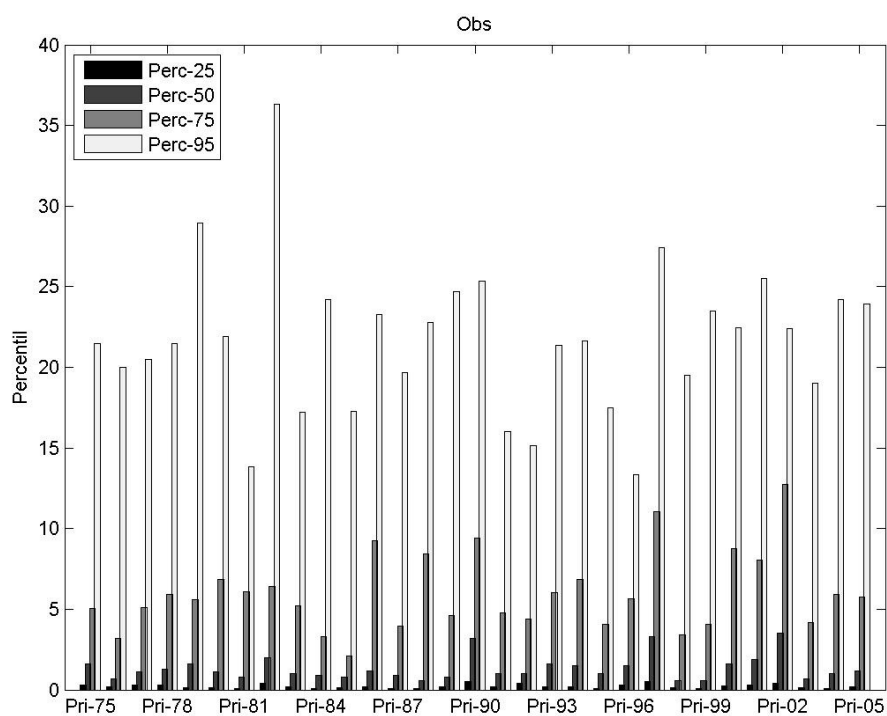


(c)



(d)

Figura 40 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Primavera



(e)

Figura 40 (continuação) - Distribuição de precipitação em Percentis (mm/dia) para Primavera

Tabela 4.2.4.2 - Percentis médios diários para a Primavera

Percentil	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo	Obs
25	0,14	0,08	0,07	0,02	0,22
50	1,30	0,85	0,87	0,45	1,34
75	4,76	4,82	5,24	2,67	6,00
95	15,39	15,95	17,96	11,22	21,67

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi realizar simulações utilizando o modelo regional RegCm3 para o estado do RS afim de construir climatologias de precipitação para os quatro esquemas convectivos presentes no modelo para cada estação do ano. O período de 1975 a 2005 foi escolhido devido a troca de sinal da PDO em 1976 (Zhang et al. 1997). Essas climatologias foram comparadas com as climatologias feitas com dados reais (Liebmann e Allured) a fim de avaliar qual esquema convectivo reproduziria melhor os campos de precipitação no estado para o Verão, Outono, Inverno e Primavera.

O trimestre de Verão apresentou maior acumulado de precipitação no setor norte do estado e um decréscimo em direção ao sul do estado. Todos os esquemas convectivos reproduziram este padrão, no entanto deslocaram o máximo para o nordeste. Ema reproduziu esse padrão de precipitação mais a nordeste do RS, superestimando o Observado. Os esquemas Grell 1 e Grell 2 apresentaram uma climatologia de precipitação com melhor distribuição, mas também deslocaram o máximo para o nordeste do estado. O esquema Kuo apresentou o mesmo padrão de Grell 1 porém subestimando o Observado e apresentando uma correlação não significativa e maior RMSE entre os Simulados.

Analisando estatisticamente os resultados para o Verão observa-se que Ema e Grell 2 superestimaram o Observado, tal que a média de Ema foi superior a média Observada, porém este esquema apresentou pouca dispersão entre os valores trimestrais, apresentando baixo Desvio Padrão e baixo IQR em relação a Grell 2 e ao Observado. Foi possível perceber ainda que o esquema Ema tem dificuldade em diferenciar chuvas fracas das chuvas mais fortes, ou seja representa todo o tipo de precipitação como sendo forte, tanto no percentil 25 quanto no 95 como foi mostrado nas Figuras, de modo Grell 1 reproduziu as características de chuva fraca no percentil 25, entretanto não conseguiu reproduzir chuvas mais fortes no percentil 95. Para Grell 2 notou-se que este esquema conseguiu reproduzir tanto chuvas mais fracas (percentil 25) quanto chuvas mais fortes (percentil 95) se comparadas com o Observado o que sugere este como o esquema que melhor reproduziu o padrão de distribuição desta estação visto que também apresentou o maior número de acertos, 21 para os 31 anos analisados o que corresponde a 68% de acertos.

Para as análises de Outono foi encontrado um dipolo entre o noroeste e sudeste do estado com um sinal maior de precipitação no noroeste. O modelo mostrou certa dificuldade em reproduzir esse dipolo principalmente para o esquema convectivo Kuo que além de subestimar os valores, apresentou o sinal de maneira invertida. A climatologia simulada por Grell 2 apresentou levemente o sinal da Observada, e cria uma faixa de precipitação uniforme entre o noroeste e sudeste do RS. Todas as distribuições trimestrais acumuladas simuladas subestimaram a Observada embora tenham acompanhado o padrão de oscilação com trimestres mais ou menos chuvosos, ou seja, com anomalias positivas e negativas. Os esquemas apresentaram acertos acima de 80% nas Anomalias de precipitação quando comparadas as Observadas com exceção de Kuo que apresentou um número de acertos 67,74%. Isso revela que para esta estação Grell 1, Grell 2 e Ema apresentaram melhores resultados para a precipitação simulada quanto ao padrão de distribuição, no entanto subestimaram os valores Observados.

Para o Inverno o modelo reproduziu bem o padrão de precipitação e mostrou que todas as climatologias simuladas acompanham o padrão de dipolo que apresenta um forte sinal de precipitação no setor nordeste do estado e um bem mais fraco no setor noroeste. Esse dipolo é bem representado por todos os esquemas convectivos sendo Grell 2 o esquema que melhor reproduziu esse dipolo, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos de precipitação, levando a uma melhor correlação entre a Climatologia Observada e Simulada. Os números de acertos referentes as anomalias de precipitação foram superiores a 83%, com Grell 2 apresentando 27 acertos o que corresponde a 87,09% e Ema inferior a 83% com 24 acertos conforme pode ser visto na Tabela A3 no Apêndice 2. Isso sugere que para essa estação todos os esquemas corresponderam a distribuição de precipitação Observada.

As análises para a Primavera mostram que as maiores médias trimestrais acumuladas foram encontradas para esta estação do ano, tendo uma média observada em torno dos 440 mm/trimestre de precipitação como mostra a Figura A1 no Apêndice 1, o que está dentro do esperado. O sinal de precipitação intensa para a Climatologia Observada-Primavera está localizado ao norte do RS e diminui em direção ao sul do estado, esse é o mesmo padrão apresentado no Observado-Verão. No entanto as Climatologias Simuladas apontaram um sinal mais ao nordeste do estado gaúcho, um comportamento mais próximo ao encontrado para no Trimestre de Inverno. A Climatologia que se aproximou mais da Observada foi a

Grell 2 pois acompanhou melhor esse padrão de distribuição. O esquema Kuo subestima novamente os resultados observados. Grell 2 e Grell 1 foram os esquemas convectivos que melhor corresponderam ao Observado, visto que acompanharam a dispersão observada como foi visto na Tabela 4.2.4.1 com um IQR mais próximo do Observado, o que mostra que esses esquemas conseguiram diferenciar melhor o volume e talvez o tipo de chuva relacionado a precipitação ocorrida no modelo. Ema também conseguiu corresponder ao padrão observado, mas começa a ter a mesma dificuldade (ainda que amenizada), apresentada no Verão, ou seja, dificuldade de diferenciar chuva mais forte de chuva mais fraca. Quanto as Anomalias de precipitação tanto Grell 1, Grell 2 e Kuo conseguiram acompanhar melhor as Anomalias Observadas apresentando acertos acima de 70% com penas Ema apresentando 19 acertos (Tabela A4, Apêndice 2) que corresponde a 59,37%.

Dessa forma Grell 2 foi o esquema que conseguiu corresponder melhor o padrão de precipitação Observado no RS para todas as estações do ano, superestimando o Observado em alguns trimestres durante os 30 anos analisados. Grell 1 correspondeu aos padrões de precipitação, bem como as frequências de distribuição, entretanto em todas as estações este esquema subestimou o Observado apresentando dificuldade em reproduzir chuvas mais expressivas. Ema apresentou uma maior dificuldade em reproduzir chuvas mais fracas no Verão cuja média de precipitação foi maior que a média observada para a estação de Verão como pode ser visto no Apêndice 1.

O esquema Kuo em todas as simulações subestimou o Observado, isso deve-se a simplicidade desse esquema convectivo em reproduzir chuva, a quantidade de água utilizada para condensar é pouca e dessa forma taxa de precipitação é subestimada, este esquema convectivo funciona melhor em regiões onde a taxa de convergência de umidade é maior como por exemplo na região Amazônica. Kuo em 1974 propôs a inclusão do parâmetro b (como visto no capítulo 3) com o papel de particionar a convergência de umidade, fazendo uma parte umedecer o ambiente e a outra parte precipitar, contudo para a região do RS esse esquema convectivo não correspondeu ao esperado.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O Modelo regional utilizado nesse trabalho conseguiu reproduzir apenas as principais características de cada estação do ano, mas alguns detalhes como posicionamento dos máximos de precipitação ou acumulados não foram adequadamente previstos. Isto pode sugerir que os dados de entrada do modelo (reanálise do NCEP) não estejam adequadamente reproduzindo a realidade, ou ainda que algumas condições iniciais como tipo do solo, orografia (entre outras) não estejam adequadas a região.

Como trabalho futuro, sugere-se aprofundar a análise testando estas possibilidades, mas concentrando-se apenas no esquema convectivo Grell 2 que foi o que apresentou melhores resultados e ainda criar climatologias para diferentes regiões do estado, por exemplo Campanha, Serra Gaúcha, Região Central, Região Litorânea a fim de aprimorar os estudos quanto as diferenças na variabilidade de distribuição de chuva no RS para tais regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. ENSO-Related Rainfall Anomalies in South America and Associated Circulation Features during Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes. **International Journal of Climatology**, v.25, p. 2017-2030, 2005.

ANTHES, R. A.: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Monthly Weather Review**., 105, 270-286, 1977.

ARAKAWA, A. e SCHUBERT W.H.: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large scale environment, Part I. **Journal of the Atmospheric Science**, 31, 674-701, 1974.

BEHENG, K. D.: A parameterization of warm cloud microphysical conversion processes, **Atmos. Res.**,193–206, 1994.

BYERLE, L. A. e PAEGLE J.: Description of the seasonal cycle of low-level flows flanking the Andes and their interannual variability. **Meteorologica**, 27, 71-88, 2002.

CAMPETELLA, C. M.; VERA, C. S. The influence of the Andes mountains on the South American low-level flow. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 17, 7-1 a 7-4, doi: 10.1029/2002GL015451, 2002.

CASARIN, D.P e KOUSKY, V.E.: Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Res. Bras. Meteor.**,v. 1, p. 83-90, 1986.

CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T.; BENDER, F. D. Influência da Oscilação Decadal do Pacífico e as Mudanças no Regime de Chuva do Rio Grande do Sul. **Revista Ciência e Natura Especial**, Santa Maria-RS. v. 1, 6ª ed., pg. 317-320, 2009.

CAVALCANTI, I. F. A. e KOUSKY, V.E. Frentes frias sobre o Brasil. In: Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 463p. 2009.

DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v. 11, n. 2, p.251-271, 1998

DICKINSON, R. E.; ERRICO R. M.; GIORGI F.; BATES G. T.: A regional climate model for the western United States, **Climatic Change**, n.15, 383–422, 1989.

DICKINSON, R. E.; HENDERSON-SELLERS, A.; WILSON, M. F: Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model. Boulder, Colorado, Tech Note NCAR/TN-387, 72 pp, 1993.

EMANUEL, K. A.: A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.48, p. 2313-2335, 1991.

FERRAZ, S. E. T.; GUERRA, V. S.: Um estudo da sensibilidade dos esquemas convectivos do modelo regional RegCM3 para a precipitação de inverno no Rio Grande do Sul. In: Anais do Meeting of the Americas (AGU 2010), Foz do Iguassu-Paraná, 2010.

FRITSCH, J. M. e CHAPPELL, C. F.: Numerical Prediction of convectively driven mesoscale pressure system. Part 1: Convective Parameterization. **Journal of Atmospheric Sciences**, 1980.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.: Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 1, 19-28, 1986.

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

GAN, M.A., RAO, V.B. Surface Cyclogenesis over South-America. **Mon. Wea. Rev.**, v. 119, n. 5, p. 1293-1302, 1991.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G. T.: Development of a second-generation regional climate model ,RegCM2. Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. **Monthly Weather Review**, 121, 2749-2813, 1993 a.

GIORGI, F.; MARINUCCI, M. R.; BATES, G. T.: Development of a second-generation regional climate model ,RegCM2. Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. **Monthly Weather Review**, 121, 2814-2832, 1993 b.

GIORGI, F.: Simulation off regional climate using a limited área model nested in a general circulation model, **Journal of Climate**, Boston, v.3, p.941-63, 1990.

GIORGI, F.; BATES, G. T.: The climatological skill of a regional model over complex terrain, **Mon. Wea. Rev.**, 117, 2325–2347, 1989.

GIORGI, F.; MEARNS, L. O.: Approaches to the simulation of regional climate change, A review. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 29, p. 191–216, 1991.

GONZÁLES, M. H.; BARROS, V. R.: Aspectos estadísticos del ciclo anual de precipitación y sus anomalías en Argentina Subtropical. **Meteorológica**, v. 21, p. 15–26, 1996.

GRELL, G. A.: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 121, p. 764–787, 1993.

GRIMM A, BARROS, V. R.; DOYLE, M. E.: Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, 13, 35–58, 2000.

GRIMM A. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **J. Climate**, 16, 263–280.

_____. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, 22, n. 2-3, 123–138, 2004.

_____; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. **J. Climate**, v. 11, p. 2863–2880, 1998.

KANAMITSU, M., e Co-autores: NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, 83, 2313–2329, 2002.

KIEHL, J. T.; HACK J. J.; BONAN, G. B.; BOVILLE, B. A.; BREIGLEB, B. P.; WILLIAMSON, D.; RASCH, P.: Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3), **Tech. Rep. NCAR/TN-420+STR**, National Center for Atmospheric Research, 1996.

KUO, H. L.: Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, n.5, p. 1232–1240, 1974.

KOUSKY, V. E.: Frontal influences on Northeast Brazil. **Mon.Wea.Rev.**, 107,1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A.: Eventos Oscilação Sul / El Nino. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, Vol.36 (11):1888-1899, 1984.

KOUSKY, V. E.: Variability of deep convection over the South America region during the southern summer. **In: Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography**, Santiago Chile, p. 155-156, 2000.

LENTTERS, J. D. e COOK, K. H: On the Origin of the Bolivian High and related Circulation Features of the South American Climate. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 54, p. 656-677, 1997.

LIEBMANN, B. e D. ALLURED: Daily precipitation grids for South America. **Bulletin American Meteorological Society**, 86, 1567-1570, 2005.

MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H.; LIMA, A: A Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. **J. Geophys. Res.** 107 (D20): 31,1-15, 2002.

MADDOX, R. A.: Mesoscale Convective Complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 61, p. 1374-1387, 1980.

MADDOX, R. A.: Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes. **Mon. Wea. Rev.**, 111, 1475-1493, 1983.

MANTUA, N. J.: A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. **Bulletin of the American Meteorological Society**. p. 1069-1079, 1997.

MARTÍNEZ, C. M. D.; da ROCHA, R. P.; BEZANILLA, M. A.; ALVAREZ, E. L.; FERNÁNDEZ J. P. R.; SILVA, V. Y.; ARRITT, R. W.: Sensitivity studies of the RegCM-3 simulation of summer precipitation, temperature and local wind field in the Caribbean Region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 86, p. 5-22, 2006.

MCGREGOR, J. L.: Regional Climate Modelling. **Meteorology and Atmospheric Physics**. 63,105-117,1997.

MISRA, V.; DIRMEYER, P. A.; KIRTMAN, B. P.: Dynamic Downscaling of Seasonal Simulation over South American. **Journal of Climate**, Boston, v. 16, p. 103-117, 2003.

MISRA, V.; DIRMEYER, P. A.; KIRTMAN, B.; JUANG, B. P. e KANAMITSU, M.: Regional Simulation of interannual variability over South America. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 107, no. D20, p. 10.1029, 2002.

MO, K. C.; PAEGLE, J. N.: The Pacific–South American modes and their downstream effects. *Int. J. Climatol.* 21: 1211–1229. DOI: 10.1002/Joc.685, 2001.

NICOLINI, M.; SAULO, A. C.; TORRES, J.C.; SALIO, P.: Enhanced precipitation over Southeastern South America related to strong low-level jet events during austral warm season. **Meteorologica**, Special Issue for the South American Monsoon System, 27: 59-69, 2002.

PAEGLE, N. J. e MO, K. C.: Alternating wet and dry conditions over South American during summer, **Monthly Weather Review**, Boston, v. 125, p. 279-291, 1997.

PEZZI, L. P. e CAVALCANTI, I. F. A.: The Relative Importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South American: a numerical study. **Climate Dynamic**, v. 17, p. 205-212, 2001.

RAO, V. B. e HADA, K.: Characteristics of Rainfall over Brazil: Annual Variations and Connections with the Southern Oscillation. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 42, p. 81-91, 1990.

RAYNER, N. A.; PARKER, D. E.; HORTON E. B.: UKMOGISST/MOHMATN4/MOHSST6 — Global Ice coverage and SST (1856–2006), **UK Meteorological Office**, 2006.

REYNOLDS, R. W., SMITH, T. M.: A high resolution global sea surface temperature climatology. **Journal of Climate**, 8, 1571-1583, 1994.

REYNOLDS, R.; SMITH, W. T. M.: Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. **Journal of Climate**, v. 7, p. 929-948, 1994.

ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M. S.: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño-Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev.**, 115(2): 1606-1626, 1987.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F.: Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Mon. Wea. Rev.**, v. 117, n. 6, p. 1355-1364, 1989

SILVA DIAS, M. A. F.: Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Rev. Bras. Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.

SILVA, V. B. S. e KOUSKY, V. E.: Variabilidade Intra-sazonal de Precipitação sobre o leste do Brasil Durante o verão de 1999/2000. **Rev. Bras. Met.**, 16, 187-199, 2001.

SLINGO, J. M.: A gcm parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds, **J. Atmos. Sci.**, 46, 1419–1427, 1989.

TRENBERT, K.E.: The definition of El Niño. **Bull. Amer. Meteo. Soc.**, v. 78, p. 2771-2777, 1997.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas. **J. Geophys. Res.**, v. 92, n. D8, p. 9591-9613, 1987.

XAVIER, T. M. B. S.: **A técnica dos quantis e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras.** Ed. Thesaurus. Brasília-DF.

WANG, M. e PAEGLE, J.: Impact of analysis uncertainty upon regional atmospheric moisture flux. **J. Geophys. Res.**, 101, 7291–7303, 1996.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences.** Academic Press, 1995.

ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; BATTISTI, D. S. ENSO-like Interdecadal Variability: 1900-93. **Journal of Climate**, v. 10, p. 1004-1020, 1997.

Apêndice 1 – Gráficos das medidas de dispersão climatológica

A seguir serão apresentados os gráficos das médias das precipitações trimestrais.

A Figura A1 apresenta a média climatológica trimestral, e nota-se que para o Verão Ema superestimou o Observado e apresentou a pior média para o Inverno juntamente com Kuo. Kuo apresentou razoável melhora na simulação para a Primavera. O Inverno embora não seja uma estação de seca no RS em anos normais, ou seja sem a influência de Niños ou Niñas, foi a estação que apresentou as mais baixas precipitações.

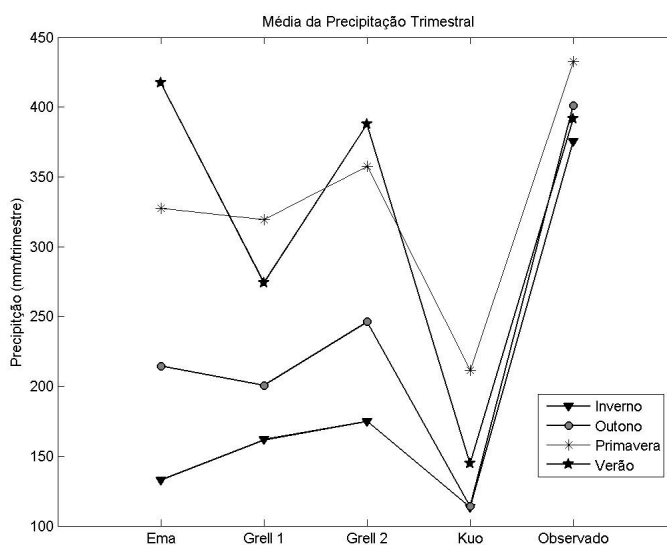


Figura 41 - Média da precipitação trimestral climatológica

A mediana (Figura A2) mostra que uma pequena diferença da média apresenta acima, isso revela a pouca variabilidade nos valores de precipitação trimestral acumulada.

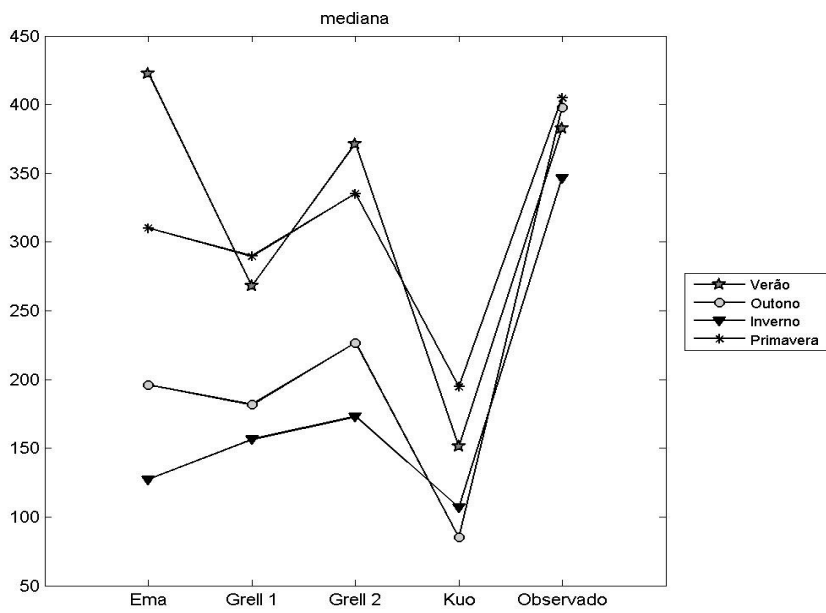


Figura 42 - Mediana da precipitação trimestral climatológica

A Figura A3 apresenta o Desvio Padrão Climatológico, a maior dispersão encontrada entre os Observados Climatológicos foi em Outono seguido do Verão e para os Simulados a Primavera em Grell 1 e 2 e Verão pra Grell 2.

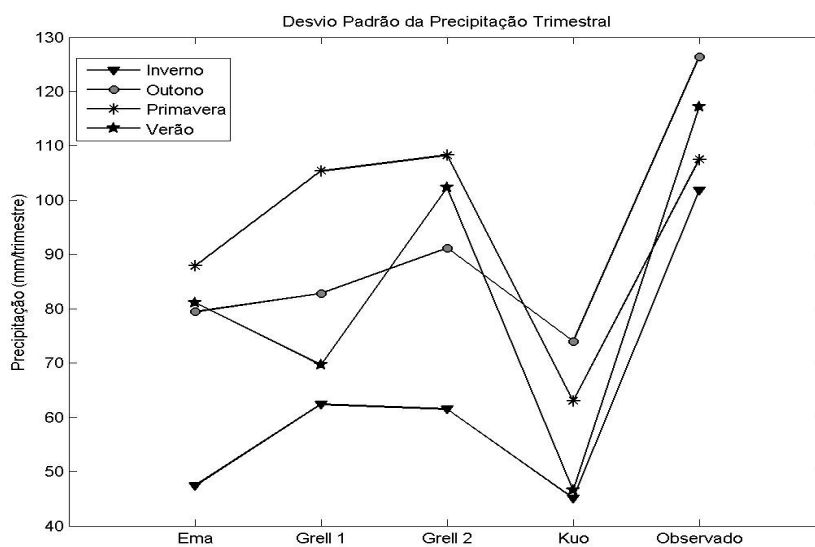


Figura 43 - Desvio Padrão Trimestral Climatológico

Para o Interquartil na Figura A4, a maior dispersão, assim como no Desvio foi encontrada para o Outono e Verão. Já para os Simulados a maior variabilidade na distribuição foi encontrada no Verão para Grell 2 e Primavera para Grell 1 e Grell 2. A estação de Inverno apresentou a menor dispersão tanto para os Observados quanto para os Simulados, onde também foram encontrados os menores Desvios, o que se conclui que para o Inverno a distribuição de chuva é mais uniforme em relação as outras estações. Este resultado foi encontrado em todas as Simulações.

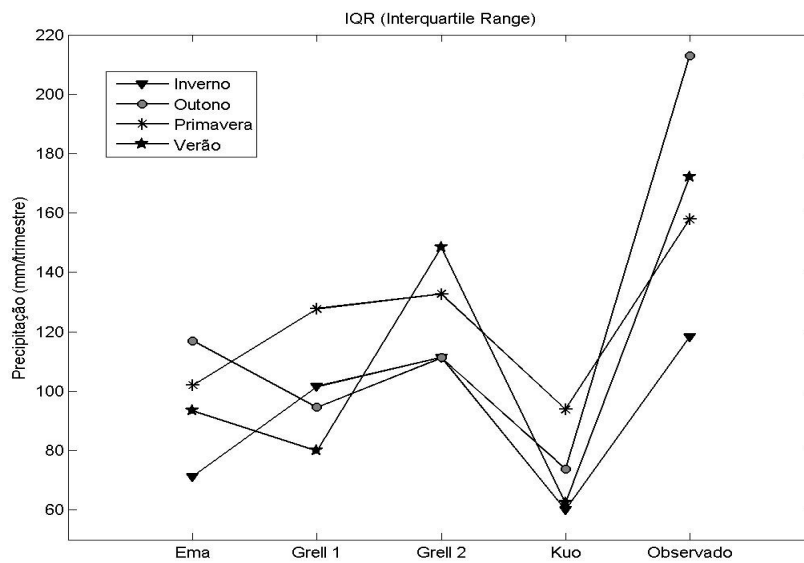


Figura 44 - IQR Climatológico

Apêndice 2 – Tabelas com os Erros e Acertos encontrados nas anomalias simuladas para cada estação do ano

A partir das Anomalias encontradas para cada estação foi possível descobrir quantas vezes o modelo conseguiu simular anos chuvosos e anos secos conforme encontrado nos 31 anos observados. Para todas as estações o esquema convectivo Grell 2 foi o que reproduziu um número de maior acertos, sendo o Inverno a estação em que esse esquema teve o maior êxito com 87,09 % de acertos seguido do esquema Grell 1 que apenas para a estação de Verão não apresentou bons resultados apresentando 48,39 % de acertos. Ema teve um número menor de acertos para a Primavera em torno de 59,37 %. Kuo embora tenha apresentado RMSE maiores que os outros esquemas e não tenha correspondido tão bem à climatologia observada, apresentou acertos de 83,87 % para o Inverno e 70,97 % para a Primavera, com um maior número de erros para o Verão. As Tabelas A1, 2, 3, 4, apresentam os números de acertos e erros como mostrado anteriormente nos gráficos de Anomalias de precipitação baseadas nas suas próprias climatologias para os 31 anos.

Tabela A1 - Número de Acertos e Erros encontrados para o Verão

Verão	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo
Acertos	20	16	21	15
Erros	11	15	10	16

Tabela A2 - Número de Acertos e Erros encontrados para o Outono

Outono	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo
Acertos	25	25	26	21
Erros	6	6	5	10

Tabela A3 - Número de Acertos e Erros encontrados para o Inverno

Inverno	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo
Acertos	24	26	27	26
Erros	7	5	4	5

Tabela A4 - Número de Acertos e Erros encontrados para a Primavera

Primavera	Ema	Grell 1	Grell 2	Kuo
Acertos	19	23	23	22
Erros	12	8	8	9