UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

QUALIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÕES DERIVADAS DE SATÉLITES NA BACIA DO ALTO JACUÍ - RS.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cesar Augusto Fensterseifer

Santa Maria, RS, Brasil 2013

QUALIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÕES DERIVADAS DE SATÉLITES NA BACIA DO ALTO JACUÍ - RS.

Cesar Augusto Fensterseifer

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Orientador: Prof. Daniel Gustavo Allasia Piccilli

Santa Maria, RS, Brasil

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Fensterseifer, Cesar Augusto Qualidade das estimativas de precipitações derivadas de satélites na bacia do Alto Jacuí - RS. / Cesar Augusto Fensterseifer.-2013. 126 p.; 30cm

Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2013

1. Precipitação 2. TRMM 3. CMORPH 4. Desempenho 5. Bacia do Alto Jacuí I. Piccilli, Daniel Gustavo Allasia II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Cesar Augusto Fensterseifer. . A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte. E-mail: eng.cesar-augusto@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

QUALIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÕES DERIVADAS DE SATÉLITES NA BACIA DO ALTO JACUÍ-RS.

elaborado por Cesar Augusto Fensterseifer

como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil e Ambiental**

COMISSÃO EXAMINADORA:

Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Dr. (Presidente/Orientador)

Jussara Cabral Cruz, Dr. (UFSM)

Afrânio Almir Righes, Ph. D. (INPE)

Santa Maria, 28 de Fevereiro de 2013

"É durante o deserto que aprendemos a valorizar a Chuva."

Alline Cassiane

RESUMO

Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental Universidade Federal de Santa Maria

QUALIDADE DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÕES DERIVADAS DE SATÉLITES NA BACIA DO ALTO JACUÍ-RS.

Autor: Cesar Augusto Fensterseifer Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli

O continuo aumento na utilização de estimativas de precipitações utilizando dados de satélites, como fonte alternativa de dados tem aumentado com o avanço tecnológico dos dispositivos . Consequentemente aumenta a necessidade de avaliar a qualidade e a precisão dessas estimativas. Neste trabalho foram avaliados os produtos do satélite TRMM (3B42 V6, 3B42 V7 e 3B42 Real Time) e do método CMORPH (produto RAW) utilizando dados observados de precipitação da região da bacia do Alto Jacuí - RS. Para a avaliação foram utilizadas as estatísticas para validação da chuva estimada por satélite recomendadas pelo IPWG, como os índices de desempenho PC (percent correct), H (hits), FAR (false alarm ratio), CSI (critical success index) entre outros, avaliando o desempenho dos produtos na detecção da ocorrência e na não ocorrência dos eventos. Além de estatísticas básicas, foram empregadas as quantitativas, como erro médio (EM), erro médio quadrático (EMQ), coeficiente de correlação (r), erro no volumes e coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS). A partir dos resultados foi ainda ensaiada uma metodologia para melhora dos resultados. O índice que mede o acerto na estimativa da ocorrência (ou não) de chuvas (PC) apresentou média de 81,3%, e mostrou equilíbrio entre os produtos. Já o índice H, que indica se o satélite simplesmente acertou a chuva (e não dias sem chuva) indicou 60% de acertos, ou seja, a principal dificuldade encontrada por todos os produtos é sem dúvidas na capacidade de detecção dos eventos chuvosos. O índice que avalia o percentual de falsos alarmes (FAR), emitido pelas estimativas apresentou 8% e 9% para os produtos V6 e CMORPH respectivamente, 13% para o V7 e 15% para o Real Time sendo considerado razoável. Na avaliação qualitativa destacou-se o produto CMORPH, que obteve os melhores resultados na análise, e, provavelmente por se tratar de um método híbrido que utiliza o maior número de fontes de informações ou, de alguma forma, as explora de forma mais eficiente. Na avaliação sobre o potencial preditivo, o produto Real Time apresentou os piores resultados (Nash-Sutcliffe), ou seja, é mais vantajoso utilizar a média diária observada do que suas estimativas. O V7 resultou em um leve decréscimo da qualidade quando comparado com o V6, embora tenha se mostrado superior em outros aspectos. E novamente, o CMORPH superou os demais produtos, com coeficientes na ordem média de 0,45. Na parte quantitativa das estimativas dos produtos, notou-se grande subestimativa pelos produtos V6 e CMORPH, e superestimativa leve pelos produtos Real Time e V7, porém os produtos apresentaram boas correlações (r), resultando em uma média de 0,73. Nas comparações das médias mensais que apesar dos erros (sub ou superestimativa), os produtos se mostraram capazes de detectar a variabilidade mensal durante o ano (exceto o Real Time). Através da equação dos confrontos acumulados das séries, ao aplicar uma metodologia de correção da chuva simplificada, obtiveram-se aumentos bastante satisfatórios nos percentuais de detecções (com exceção do produto V7). Principalmente para volumes iguais ou superiores a 60 milímetros, dos quais quase nulos 1% eram detectados pelo V6, 41% pelo Real Time e apenas 1,1% pelo CMORPH, e após os ajustes aumentaram para 53,6%, 50,8 e 54,8% respectivamente. Estes resultados indicam que as estimativas de satélite são uma fonte alternativa de dados com grande qualidade temporal e espacial, fundamental para auxiliar o monitoramento hidrológico. No entanto, ainda existe muito espaço para melhoras nas estimativas de precipitação, principalmente no quesito detecção de eventos, o qual foi o principal responsável pelo decréscimo da qualidade das estimativas no estudo.

Palavras chave: Precipitação. TRMM. CMORPH. Desempenho. Bacia do Alto Jacuí.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental Universidade Federal de Santa Maria

QUALITY OF SATELLITE-DERIVED PRECIPITATION ESTIMATES IN THE UPPER JACUÍ BASIN-RS

AUTHOR: Cesar Augusto Fensterseifer ADVISOR: Daniel Gustavo Allasia Piccilli Date and Location of Defense: Santa Maria, February, 28th 2013.

The continuous increase in using satellite precipitation estimates as alternative sources for data have been increasing with the new technology of the devices. Therefore, the need for evaluating the quality and accuracy of these estimates is bigger. In this work, we assessed the TRMM satellite precipitation products 3B42 V6, 3B42 V7, and 3B42 Real Time, and the estimates from CMORPH method (RAW) by using the observed data from Alto do Jacuí basin region. To assess these products, we have used IPWG statistics to validate the estimate products such as PC (percent correct), H (hits), FAR (false alarm ratio) performance indexes, among others. We have also assessed products performance in detecting the occurrence and non-occurrence of different rainfall events. We have employed quantitative statistics to assess mean error (ME), root-mean-square error (RMSE), correlation coefficient (r), total errors and Nash-Sutcliffe (NS) efficiency coefficient (NSE). From the results, we have tried a methodology to improve them. The PC indexes showed an average of 81.3%, and they had a similar behavior among the products, while the H index showed an average of 60%. These numbers stress that the main difficulty is to detect rainfall events. The FAR index showed an average of 8% for V6 and 9% for CMORPH; 13% for V7, and 15% for Real Time, what is considered reasonable. In the qualitative assessment, we have emphasized the CMORPH product, which showed the best analysis results. This probably happens for being a method that uses more sources of information or for exploring this information more efficiently somehow. In the predictive potential evaluation, Real Time product had the worst results (NSE). V7 resulted in a small decrease of quality when compared to V6, although it was superior in other aspects. CMORPH overcame the other products, with an NSE average of 0.45. In the quantitative assessment, we have noted that V6 and CMORPH could estimate less than 50% of the total rainfall; V7 overestimated around 11% the total rainfall, while Real Time overestimated around 25% of the total. Despite the reasonable results, all the products showed good correlation (0.73). This made us try a method to improve the detection rate. Through modified double-mass equation, we had really significant improvements, except for V7. For instance, for the detection percentage of rainfall events > 60 millimeters, the V6 was almost null 1%; 41% for Real Time; and 1.1% for CMORPH. After the application of the improved method, the detection percentage increased to 53.6%, 50.8%, and 54.8% for those products respectively. These results indicate that the satellite rainfall estimates are an alternative source of data with a great spatial and temporal potential. Thus, the products can be improved to help the hydrological monitoring, mainly in areas with low quality of precipitation data. However, there are still many things to be improved about rainfall estimates, mainly in detecting rainfall, where we have found the biggest limitations.

Key words: Precipitation. TRMM. CMORPH. Performance. Alto Jacuí Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2- Representação esquemática de satélite TRMM e os sensores a bordo. Fonte: NASA (2012)
NASA (2012)
Figura 3.3- Etapas da elaboração dos diversos produtos do TRMM (Fonte: TRMM Data users handbook, 2001 - Nasda)
handbook, 2001 - Nasda)
Figura 3.4- Estimativas de precipitação acumulada de 3 horas pelo produto 3B42 no planeta. Fonte: NASA (2010)
Fonte: NASA (2010)
Figura 3.5 - Precipitações diárias geradas pelo método CMORPH no dia 8 de maio de 2004, em mm/dia. Fonte: CPC-NOAA (2004)
em mm/dia. Fonte: CPC-NOAA (2004)
Figura 3.6- Processo funcionamento da propagação do morphing. Fonte: Joyce et. al. (2004)45 Figura 3.7 - Fluxograma da produção da estimativa pelo método CMORPH. Fonte: Araújo (2006)46
Figura 3.7 - Fluxograma da produção da estimativa pelo método CMORPH. Fonte: Araújo (2006)46
(2006)46
Figura 4.1 – Mapa de localização da bacia do Alto Jacuí, com os postos pluviométricos e
centro dos pixels utilizados no estudo.
Figura 4.2 - Fluxograma simplificado das etapas da dissertação
Figura 4.3 - localizações dos postos pluviométricos utilizados na interpolação, com seus
respectivos percentuais de falhas diárias (5114 dias)55
Figura 4.4 - Número de estações operantes durante todo período do estudo56
Figura 4.5 - Localização dos postos pluviométricos e dos centros dos pixels utilizados para
gerar as séries na interpolação
Figura 5.1- Gráfico do confronto dos dados pluviométricos do posto de Não Me Toque e no
pixel do satélite em que o posto se encontrava64
Figura 5.2 - Precipitação acumulada no posto pluviométrico de Soledade e estimada pelo
produto 3B42-V664
Figura 5.3 - Índice de desempenho PC resultante dos 48 confrontos espacializados sobre a
região de estudo.
Figura 5.4 - Índice de desempenho H resultante dos 48 confrontos espacializados sobre a
região de estudo
Figura 5.5 - Índice de desempenho FAR resultante dos 48 confrontos espacializados sobre a
região de estudo
Figura 5.6 - Índice discriminante de Hassen Kuipers espacializados sobre a região de estudo.
68
Figura 5.7 - Interpolação das médias diárias de precipitações estimadas (3B42 V6) nos 48
pixels da região.
Figura 5.8 - Interpolação das médias diárias de precipitações observadas nos 48 pixels da
região
Figura 5.9 - Comparativo entre as médias diárias observadas e estimadas na região (1998 á
2010)70
Figura 5.10 - Confronto de médias mensais entre o produto V6 e dados observados70
Figura 5.11 - Acumulados observado e estimado em um dos pixels da comparação71
Figura 5.12 – Correlações (r) entre séries diárias de precipitações derivadas (3B42 V6) e
observadas na região72
Figura 5.13 - Índice de desempenho dos acertos na ocorrência e não ocorrência (PC)74
Figura 5.14- Índice de desempenho H resultante das 48 comparações executadas sobre a
região
Figura 5.15 - Índice de desempenho FAR resultante das 48 comparações executadas sobre a
região75

Figura 5.16 - Índice discriminante de Hassen Kuipers resultante das 48 comparações	
	75
Figura 5.17 – Interpolação das médias diárias de precipitações estimadas (3B42-V7) na regi (1998 á 2011).	
Figura 5.18 - Interpolação das médias diárias de precipitações observadas na região (1998 á 2011).	
Figura 5.19 - Comparativo entre as médias diárias observadas e estimadas de toda a região c estudo.	do
Figura 5.20 – Confronto das médias mensais observadas e estimadas pelo produto V7 (1998 2011).	3 á
Figura 5.21 – Acumulado diário das precipitações observadas e estimadas de uma das comparações.	79
Figura 5.22 – Correlações (r) entre séries diárias de precipitações derivadas (3B42 V6) e observadas na região.	80
Figura 5.23 - Índice de desempenho PC resultante das 48 comparações executadas sobre a região	81
Figura 5.24 - Índice de desempenho H resultante das 48 comparações executadas sobre a	82
Figura 5.25 - Índice de desempenho FAR resultante das 48 comparações executadas sobre a região.	
Figura 5.26 - Índice discriminante de Hassen Kuipers resultante das 48 comparações executadas sobre a região	83
Figura 5.27 - Interpolação das médias diárias estimadas (3B42 Real Time) nos 48 pixels da	84
Figura 5.28 - Interpolação das médias diárias observadas nos 48 pixels da região (2008 á 2011).	84
Figura 5.29 - Comparativo entre as precipitações médias diárias regionais observadas e estimadas.	85
Figura 5.30 – Acumulados das precipitações observadas e estimadas em um dos pixels da comparação.	86
Figura 5.31 - Confronto entre as médias mensais de precipitação estimadas e observadas sob a região	bre
Figura 5.32 – Correlações (r) resultantes do confronto de precipitações diárias estimadas e observadas na região.	
Figura 5.33 - Índice de desempenho PC das 48 comparações executadas sobre a região Figura 5.34 - Índice de desempenho H das 48 comparações executadas sobre a região	88
Figura 5.35 - Índice de desempenho FAR das 48 comparações executadas sobre a região	89
Figura 5.36- Índice discriminante de Hassen Kuipers das 48 comparações executadas sobre região	90
Figura 5.37 - Interpolação das médias diárias estimadas (CMORPH) nos 48 pixels da região (2003 á 2010).	91
Figura 5.38- Interpolação das médias diárias de precipitações observadas nos 48 pixels da região (2003 á 2010).	
Figura 5.39 - Comparativo entre as médias de precipitações regionais observadas e estimada	
Figura 5.40 - Acumulados observado e estimado (CMORPH) em um dos pixels da comparação.	
Figura 5.41 – Correlações entre as séries diárias observadas e estimadas de precipitação Figura 5.42 – Correlações (r) V6 (esquerda) e Correlações (r) V7(direita)	93

Figuras 5.43 – Correlações (r) CMORPH (esquerda) e Correlações (r) 3B42 Real Time
(direita)95
Figura 5.44 – EQM entre as séries diárias observadas e as estimadas pelos produtos
V6(esquerda) e V7(direita)95
Figura 5.45 – EQM entre as séries diárias observadas e as estimadas pelos produtos
CMORPH (esquerda) e <i>Real Time</i> (direita)95
Figura 5.46 – Índice PC resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita)
Figura 5.47 – Índice PC resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e
estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e <i>Real Time</i> (direita)96
Figura 5.48 – Índice H resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas
pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita)
Figura 5.49 – Índice H resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas
pelos produtos CMORPH (esquerda) e <i>Real Time</i> (direita)
Figura 5.50 – Índice FAR resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e
estimadas pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita)97
Figura 5.51 – Índice FAR resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e
estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e <i>Real Time</i> (direita)97
Figura 5.52 – Nash & Sutcliffe resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e
estimadas pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita)98
Figura 5.53 – Nash & Sutcliffe resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e
estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e Real Time (direita)
Figura 5.54 - Gráfico de dupla massa modificado
Figura 5.55- Séries acumuladas de precipitações observadas e estimadas com a resultante do
ajuste100
Figura 5.56- Desacumulado diário da reta ajustada, em comparação aos observados e
estimados diários
Figura 5.57 - Confronto entre as médias mensais de precipitações observadas, estimadas e
ajustadas
Figura 5.58- Gráfico dupla massa modificado
Figura 5.59- Séries acumuladas de precipitações observadas e estimadas com a resultante do
ajuste
Figura 5.60 - Confronto entre séries diárias das séries observadas, estimadas e ajustada 103
Figura 5.61 - Confronto entre as médias mensais de precipitação observadas, estimadas e
ajustadas. 103
Figura 5.62 - Acumuldos totais em gráfico dupla massa modificado
Figura 5.63 Séries acumuladas de precipitações observadas e estimadas com a resultante do
ajuste
Figura 5.65- Confronto de médias mensais de precipitação observada, estimada e ajustada. 105
Figura 5.66 - Acumulados totais em gráfico de dupla massa modificado106
Figura 5.66 - Acumulados totais em granco de dupia massa modificado
ajuste
Figura 5.68 – Confronto séries diárias observada, estimada e ajustada durante o período 2003
á 2010
Figura 5.69 - Confronto das médias mensais de precipitação observada, estimada e ajustada.
100

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Densidade mínima de estações pluviométricas (WMO, 1994)	28
Tabela 3.2 - Características dos produtos derivados de múltiplas fontes TMPA	35
Tabela 4.1 - Nome, código e localização geográfica dos postos pluviométricos utilizado	os54
Tabela 4.2 - Tabela de contigência dos possíveis eventos para o limite selecionado (ada	aptada
de Wilks, 2006).	61
Tabela 4.3- Breve descrição dos índices de desempenho derivados da tabela de conting	ência.
	61
Tabela 5.1 - Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso	71
Tabela 5.2- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos	72
Tabela 5.3- Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários	73
Tabela 5.4- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos	
Tabela 5.5- Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso	79
Tabela 5.6- Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários	81
Tabela 5.7- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos	83
Tabela 5.8- Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso	
Tabela 5.9- Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários	87
Tabela 5.10- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos do CMORPH	90
Tabela 5.11 - Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso	92
Tabela 5.12 - Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários de	
precipitações.	94
Tabela 5.13 - Percentuais de detecção após ajustes	101
Tabela 5.14 - Percentuais de detecção obtidos após ajuste nas séries estimadas	103
Tabela 5.15 Percentuais de detecções após ajustes nas séries estimadas	106
Tabela 5.16 – Confronto entre os percentuais obtidos após as correções de todas as	
estimativas do estudo	108

SIGLAS E ABREVIAÇÕES

AMSR Advanced Microwave Scanning Radiometer

AMSU Advanced Microwave Sounding Unit

ANA Agência Nacional de Águas

CMORPH Climate Prediction Center Morphing Method

CPC Climate Prediction Center

CPTEC Centro de previsão de tempo e estudos climáticos

DMSP Defense Meteorological Satellite Program

EUMETSAT European Meteorological Satellites

GOES Geostationary Operational Environmental Satellites

GPCP Global Precipitation Climatology Project

GPM Global Precipitation Mission

IPWG International Precipitation Working Group

IR Infravermelho
Lat Latitude
Lon Longitude

METEOSAT Meteorological Satellite

MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MPE Multi-sensor Precipitation Estimate

MW Micro-ondas

NASA National Aeronautics and Space Administration

NESDIS National Environmental Satellite, Data and Information Service

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration

PR Precipitation Radar

SSM/I Special Sensor Microwave/Imager

TMI TRMM Microwave Imager

TOVAS TRMM Online Visualization and Analysis System

TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission

TSDIS TRMM Science Data and Information System VIRS Visible and Infrared Radiometer System

VIS Visível

VISSR Visible Infrared Spin-Scan Radiometer WMO World Meteorological Organization

SUMÁRIO

	4.6 4.7	Produto derivado de Múltiplas Fontes TMPA	
	4.6	Satélite TRMM	
	4.8	Estado atual sobre o desenvolvimento dos algoritmos	
	4.9 4.10	Método de estimativas de precipitação CMORPH	
	4.10 4.11	Dados de Infravermelho (IR)	
	4.11	Mapeamento da precipitação pelo CMORPH	
	4.12	Estudos de caso de estimativa por satélite para a gestão dos recursos hídricos	
	4.14	Modelagem hidrológica a partir de dados de precipitação estimados por	, T U
		tes	.47
	4.15	Avaliação da qualidade das estimativas de precipitações derivadas a partir d	
		de satélites	
5		ATERIAL E MÉTODOS	50
	5.1	BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ	50
	5.2	Introdução	52
	5.3	Análise da precipitação observada	53
	5.4	Análise das estimativas de precipitações baseadas em dados de satélites	56
	5.5	Testes Estatísticos	58
	5.6	Estatísticas quantitativas	
	5.7	Estatísticas qualitativas	
6		SULTADOS E DISCUSSÃO	
	6.1	Avaliação pontual ou direta	
	6.2	Avaliação entre campos de precipitações	
	6.3	Produto TRMM 3B42 Versão 6 (3B42 V6)	
	6.3.		
	6.3.		
	6.3.		
	6.4	Comparação entre os 4 produtos derivados a partir de estimativas de satélite	
	6.5	Metodologia para aumentar a qualidade das estimativas	
	6.5.		
	6.5.		
	6.5.		
	6.5.		
7		NCLUSÕES	
8		ÇOMENDAÇÕES	
R	EFER	ÊNCIAS	110

1 INTRODUÇÃO

A precipitação é, sem dúvidas, o componente mais importante do ciclo hidrológico, porém, é a variável que apresenta maior variabilidade espacial quando se refere ao balanço hídrico. Assim, o melhor entendimento sobre os recursos hídricos e, consequentemente, sobre sua correta gestão, passa pela correta caracterização das chuvas.

O processo tradicional de quantificação da chuva é feito com pluviômetros ou pluviógrafos, porém, devido ao fato de serem equipamentos pontuais de precipitação, que cobrem uma área de apenas 10⁻¹ m² (KIDDER; HAAR, 1995), possuem deficiências na representação quantitativa espacial da chuva em áreas mais extensas. Assim, é necessária grande densidade desses pluviômetros ou pluviógrafos para corretamente representar o comportamento pluviométrico de uma bacia hidrográfica, o que, para países em desenvolvimento e com grandes extensões territoriais, como o Brasil, torna-se inviável pelos custos elevados do monitoramento diário de pluviômetros ou pluviógrafos.

Conforme dados da Agência Nacional de Águas (ANA), a bacia do Alto Jacuí possui um total de 45 estações pluviométricas, com uma área de 13.069,23 km². Isso significa que a bacia possui uma densidade aproximada de 1 pluviômetro para cada 290 km², número que primeiramente a coloca em situação favorável comparado aos 575 km² exigidos pela *World Meteorological Organization* (WMO) para regiões montanhosas (WMO, 1994). Entretanto, na realidade, apenas 9 dos postos localizados no interior da bacia possuem dados recentes para a utilização no trabalho, reduzindo drasticamente a densidade de pluviômetros para 1452 km², devido a problemas como estações desativadas, grandes períodos com falhas nos dados – alguns pertencentes ao setor privado, fator que dificulta o acesso – bem como a má distribuição territorial dos pluviômetros.

Para suprir tais carências, é necessário contar com novas informações, sendo uma possibilidade promissora a de utilizar dados de estimativas feitas por satélites, os quais se baseiam na temperatura da nuvem e dados de micro-ondas, entre outros sensores, para gerar um valor potencial de precipitação. Segundo Kidder e Haar (1995), estimativas de satélite amostram uma área de aproximadamente 10^6 a 10^8 m², porém, tais estimativas tratam de medições indiretas e podem conter erros, necessitando verificação prévia qualitativa e quantitativa.

Este trabalho pretende avaliar a qualidade das estimativas de precipitações geradas a partir dos satélites TRMM e CMORPH na região da Bacia do Alto Jacuí no estado do Rio Grande do Sul como informações auxiliares na gestão de recursos hídricos.

2 JUSTIFICATIVA

A avaliação da qualidade das estimativas de chuva baseadas em estimativas dos satélites é de grande importância, pois, dependendo de sua qualidade, pode ser utilizada como ferramenta fundamental no entendimento do comportamento hidrológico em bacias com baixa densidade de pluviômetros ou baixa qualidade de dados pluviométricos.

A bacia do Alto Jacuí foi selecionada para o estudo devido a sua grande importância na área energética, na produção de grãos, e por apresentar eventos climáticos extremos, como estiagens e, principalmente, grandes enchentes.

Nessa bacia hidrográfica, aconteceu, em 2010, primeiramente, uma seca que devastou a produção agropecuária e, posteriormente, uma enchente que ocasionou, entre outros problemas, a queda da ponte sobre o rio Jacuí, principal ligação entre o centro do estado, a região metropolitana de Porto Alegre e o porto de Rio Grande. A soma dos eventos ocasionou uma perda estimada em 8 bilhões de reais no Estado (ALLASIA et. al., 2012)

Por outro lado, a Bacia do Alto Jacuí possui apenas uma estação com dados telemétricos disponíveis na ANA; isso significa uma única estação em uma área de 13.069 km², o que não permite a realização de projetos e estudos capazes de prever vazões de eventos extremos.

Nesse cenário de falta de dados e na impossibilidade de acrescentar o número de estações no curto prazo, é necessário procurar alternativas que permitam caracterizar a chuva e, consequentemente, atingir uma gestão sustentável dos recursos hídricos. Assim, a crescente evolução das tecnologias utilizadas nas estimativas de chuva por satélites, juntamente com as pesquisas e formas de correção, torna cada vez mais clara a possibilidade de utilizar essas novas informações em conjunto com as tradicionais, na busca de melhores resultados.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é verificar a aplicabilidade da utilização de estimativas de precipitação a partir de dados de satélites como fonte alternativa de dados de precipitação na bacia do Alto Jacuí como auxilio na gestão de recursos hídricos.

3.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a qualidade das estimativas de precipitações pluviométricas derivadas a partir dos produtos do Satélite TRMM (3B42 V6, 3B42 V7 e 3B42 Real Time) e as resultantes do método CMORPH na região do Alto Jacuí RS, confrontando-as com os dados observados nos postos pluviométricos.
- b) Sugerir metodologia para uma melhorar a qualidade das estimativas de precipitações.
- c) Estabelecer as limitações sobre a precisão das estimativas de precipitações resultantes de quatro produtos que são baseados nos dados de satélites para uso na gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Alto Jacuí RS.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item, serão revistos os principais conceitos teóricos que norteiam a precipitação e as estimativas de precipitações derivadas de dados observados por satélites e alguns detalhes sobre os principais sistemas em uso. Finalmente, e com maior detalhe, são descritas aplicações desenvolvidas para a área de gestão dos recursos hídricos.

4.1 Pluviometria

As medições feitas em pluviômetros, assim como as geradas por satélites, estão ambas sujeitas a erros. Assim, pluviômetros registram adequadamente o volume precipitado, porém, possuem baixa representatividade espacial. Os problemas de representatividade especial são maiores sob condições de chuvas de origem convectivas e isoladas, pois a precipitação pode ocorrer em áreas pequenas e com forte intensidade, podendo não ser registrada pelo equipamento pluviométrico (CALVETTI et al., 2003).

Em geral, os erros aumentam com o aumento da intensidade da precipitação. Inversamente, eles diminuem com um aumento da densidade da rede de pluviômetros, duração da tempestade, e a área da bacia (PONCE, 1989). A precisão das informações dos pluviômetros é, também, influenciada por outros fatores. A elevação e a exposição do equipamento são os casos principais. A chuva registrada depende da exposição do instrumento e de seu ângulo de incidência. O vento é, provavelmente, o mais importante fator na precisão dos pluviômetros. O movimento do ar ao redor da estação reduz o armazenamento da chuva no instrumento (BRAS, 1990).

A magnitude do erro depende da velocidade do vento, das características locais, do tipo de precipitação, e da temperatura. O monitoramento da chuva é dificultado em uma variedade de locais, tais como em regiões montanhosas, florestas, e em corpos de água (MAIDMENT, 1993). De acordo com Goodison et al. (1981), erros sistemáticos, envolvendo medições de precipitação – principalmente aqueles causados por ventos e aqueles atribuídos à condensação e perda evaporativa – afetam todos os tipos de pluviômetros. A necessidade de corrigir tais erros sistemáticos, especialmente aqueles afetando a medição da precipitação sólida (neve, granizo), tem sido amplamente reconhecida (GROISMAN; EASTERLING, 1994).

O monitoramento da chuva por pluviômetros está sujeito a erros (Tucci, 1993), uma vez que o sistema de medição de precipitação em terra possui baixa representatividade espacial, mesmo quando há uma rede densa. No entanto, a chuva medida por pluviômetro é uma medida direta considerada como verdadeira (Ebert, 2003; Hughes, 2006), que se compara com outras fontes de estimativas.

Segundo Moreno (1961), o regime pluviométrico do Estado, além de sua formação pelo deslocamento de frentes e chuvas convectivas, é acentuado pela orografia. Apesar de possuir um regime pluviométrico bem distribuído ao longo do ano, o Estado do Rio Grande do Sul se encontra em uma zona de transição entre o clima dominados por frentes frias (Argentina) aos subtropical do Centro e Sudeste do Brasil

Em uma escala menor, os Complexos Convectivos de Meso Escala (CCM's) também são responsáveis por precipitação intensa (GUEDES, 1985). Comuns na primavera, estes sistemas formam-se no período noturno no qual apresenta um máximo de convecção, geralmente sobre o sul do Paraguai e alcançam o sul do Brasil com intensa precipitação, em um curto espaço de tempo. Os sistemas convectivos são importantes na distribuição da precipitação no noroeste e norte do Estado.

4.2 Rede pluviométrica recomendada

De acordo com a WMO (1994), rede mínima de postos hidroclimáticos é uma rede que irá evitar sérias deficiências na planificação e gestão dos recursos hídricos em uma escala compatível com o nível global de desenvolvimento econômico e ambiental do país. Em outras palavras, essa rede irá fornecer o quadro de expansão para atender às necessidades de informação para a gestão do uso da água. O conceito de densidade de rede destina-se a servir como uma orientação geral e não específica. Como tal, a concepção de densidade deve ser ajustada para refletir as condições socioeconômicas, físicas e climáticas reais.

Ainda de acordo com a WMO (1994), se estiverem disponíveis dados hidroclimáticos de estações existentes, algumas técnicas computacionais e de geoestatísticas podem ser aplicadas para otimizar a rede, tal como a análise de mínimos quadrados generalizados – NAUGLS, pela sua sigla em inglês –, desenvolvida pelo *Geological Survey* dos Estados Unidos para estações fluviométricas, embora não descarte o uso de critérios mais simples para as estações pluviométricas. Essa análise de mínimos quadrados é utilizada em estações pluviométricas para verificar se a rede proposta é suficiente para representar as isoietas de forma confiável. No caso em que não existam informações prévias, a WMO (1994) não aconselha metodologias, começando a valer uma série de critérios práticos, especialmente baseados na experiência de hidrólogos e técnicos locais.

4.3 Rede mínima de estações pluviométricas.

A densidade mínima de estações pluviométricas sugeridas pela Organização Mundial de Meteorologia é apresentada na Tabela 4.1. Em geral, a precipitação deve ser medida com postos uniformemente distribuídos, de acordo com as possibilidades práticas (especialmente a disponibilidade de observadores) e as necessidades de dados. Nas regiões montanhosas, a atenção deve ser dada ao zoneamento vertical.

Uma rede mínima deve conter pelo menos 3 tipos diferentes de estações:

- 1. Pluviométricas: essas estações devem medir com uma frequência mínima diária. Além de precipitação diária, observações sobre a neve, profundidade da neve sobre o solo e, ainda, as condições climáticas devem ser registradas;
- 2. Pluviográficas: no desenvolvimento de redes, é aconselhável ter, pelo menos, 10% de estações pluviográficas em clima frio, ainda mais se as condições propiciam precipitações do tipo convectiva.

3. Totalizadores: em locais de muito difícil acesso podem ser instaladas estações que registram o volume total precipitado em uma determinada temporada.

Tabela 4.1 – Densidade mínima de estações pluviométricas (WMO, 1994).

Densidade Mínima	(km²/est	ação).
Região	Pluviométricas	Pluviográficas
Costeira	900	9.000
Montanhosa	250	2.500
Planícies Interiores	575	5.750
Morros	575	5.750
Pequenas ilhas	25	250
Áreas urbanas		10-20
Polar/árida	10.000	100.000

Ponto muito importante é a localização dessas estações em relação às estações fluviométricas, buscando garantir que a precipitação esteja disponível para, eventualmente, estender registros para previsão de inundações ou para análises hidrológicas. As estações pluviométricas devem estar localizadas de forma que a precipitação na bacia possa ser estimada para cada estação fluviométrica com precisão. Isso normalmente significa a localização de uma estação próxima da estação fluviométricas e outra na parte superior da bacia hidrográfica.

4.4 Sensoriamento remoto por satélite

De modo geral, os satélites que obtém dados por sensoriamento remoto utilizam sensores a bordo para medir e registrar a radiação (infravermelha, micro-ondas, etc.) refletida e emitida pela superfície terrestre e seu ambiente, para analisar e extrair informações (LEVIN, 1999). Dentre seus principais usos, podem mencionar-se estimativa de chuva, níveis de desmatamento, monitoramento da temperatura do oceano, classificação de tipos de nuvens, corpos d'água, neve e poluição (NOAA, 2011). Dentro das inúmeras características dos satélites (GEBREMICHAEL; HOSSAIN, 2010; MORAES NOVO, 2008), serão mencionadas as mais importantes.

Os satélites podem possuir órbita polar ou órbita geoestacionária. Na primeira, o satélite gira ao redor do globo no sentido norte-sul em altitudes baixas (menores que 1000

km) e se beneficia da rotação da Terra para observar regiões diferentes — por exemplo, o TRMM faz uma rotação na terra a cada 90 minutos. Os geoestacionários frequentam altitudes maiores (cerca de 36.000 km), com mesma velocidade angular de rotação da terra, ficando, assim, estáticos com relação a um observador na terra. Isto permite efetuar várias observações por dia da mesma área do globo. Em função do custo, a maioria dos satélites de sensoriamento remoto é do tipo polar, o que permite maior cobertura ou abrangência do globo terrestre.

Já os sensores carregados pelos satélites são divididos, simplificadamente, em passivos ou ativos. Os primeiros apenas captam a reflectância dos objetos nas diferentes bandas do espectro, enquanto que os segundos emitem radiação conhecida e medem a intensidade do sinal que retorna dos alvos, como o radar.

O nível de detalhes que se pode ver numa imagem depende de algo que se costuma chamar de resolução espacial ou amostragem espacial. Satélites possuem resoluções espaciais diferentes de acordo com o escopo para o qual foram concebidos. O CBERS, por exemplo, é um satélite para monitoramento de recursos naturais, com resolução em torno de 20 metros quadrados por pixel. Isso é suficiente para identificar rios, lagos, florestas, queimadas, áreas agrícolas e áreas urbanas (BAUERMANN, 2009).

4.5 Estimativas de precipitações através de sensoriamento remoto por satélites

As estimativas de precipitação pluviométrica através de satélites (Figura 4.1) surgiram nos anos 80 como uma fonte alternativa para estimar precipitações, em função da baixa densidade de medidores pluviométricos nas diferentes regiões do planeta. No entanto, as primeiras estimativas de chuva de satélite não tinham resolução espaço-temporal compatíveis com as escalas de trabalhos da hidrologia, e, apenas nos últimos anos, tais estimativas alcançaram níveis de precisão aceitáveis.

As metodologias e os algoritmos utilizados para a concepção desses produtos são realizados por meio de sensores infravermelhos (ADLER; NEGRI, 1988; VICENTE et al., 1998; MORALES; ANAGNOSTOU, 2003), sensores micro-ondas (ADLER et al., 1994; KUMMEROW et al., 1998; JOYCE et al., 2004), e radares.

As imagens obtidas por meio dos sensores infravermelhos são compostas de energia radiante provenientes da atmosfera, da superfície terrestre, ou da água. A energia do infravermelho pode ser convertida em temperatura, conhecida como temperatura de brilho, por meio da Lei de Stefan-Boltzmann.

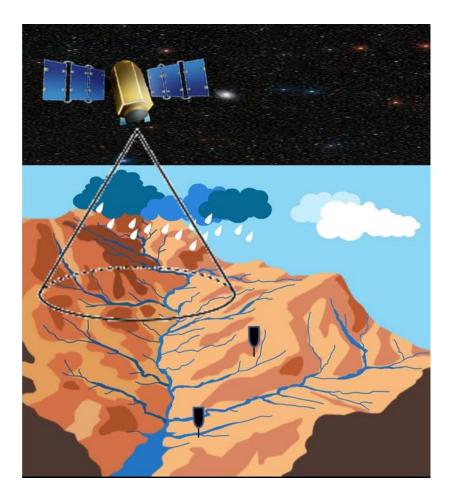


Figura 4.1 – Comparação satélite x posto pluviométrico sobre uma bacia fictícia

As observações de temperatura de brilho podem ser usadas para inferir alturas de topo das nuvens. Baixas temperaturas de brilho implicam altos topos de nuvem, resultando em grande espessura da nuvem e alta probabilidade de chuva. Altas temperaturas de brilho implicam em topos de nuvem baixos e baixa probabilidade de chuva (MAIDMENT, 1993).

Esta combinação de fatores, além do fato do satélite TRMM ser projetado especialmente para captar chuva em áreas tropicais, e não frontais, dificultam a estimativa da precipitação.

Por fim, deve ser destacada a incapacidade dos sensores de microondas discriminarem precipitação orográfica. A colisão/coalescência de moléculas de vapor em terrenos em aclive é um tipo de formação de precipitação importante em determinadas regiões e que produz pouca ou nenhuma partícula de gelo, impossibilitando sua estimativa por técnicas de microondas.

Infelizmente, tampouco as técnicas baseadas em sensores de infravermelho são apropriadas para identificar precipitação orográfica, uma vez que as nuvens associadas são em

geral muito mais quentes do que a temperatura limite usada para delineamento de precipitação (Petty, 1995).

É a partir daí que a chuva pode ser estimada a partir do canal infravermelho dos satélites. As células convectivas estão associadas com precipitação na superfície, onde de fato, os sistemas convectivos produzem a maior parte da chuva nos trópicos. Porém, há tipos de nuvens que não são corretamente detectadas, pois a relação entre o brilho do topo das nuvens e a precipitação é indireta, havendo dificuldade em diferenciar as nuvens situadas no topo da troposfera (acima de 8 km), que não precipitam.

Na atualidade, uma quantidade significativa de satélites tem proporcionado uma maior facilidade ao acesso a variedade de produtos de estimativas de chuva, e isso tende a aumentar com a chegada da *Global Precipitation Mission* (GPM), missão internacional que compreende um consórcio de agências espaciais internacionais, incluindo o *Centre National d'Études Spatiales* (CNES), a Organização de Pesquisa Espacial Indiana (ISRO), *a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, a Organização Europeia para a Exploração de Satélites meteorológicos (EUMETSAT), e outros que deverão ser lançadas por volta de 2014.

A GPM vai dispor de um grande número de sensores micro-ondas passivos a bordo dos satélites, possibilitando o desenvolvimento de produtos que detectem até as precipitações mais leves de baixa intensidade (<0,5 mm/hora) (NASA, 2012).

No quadro 1 serão descritos brevemente alguns dos principais tipos de satélites e sensores utilizados para estimativa da chuva com suas respectivas características. Posteriormente, são descritos em maior detalhe o TRMM e CMORPH, utilizados neste estudo, bem como as metodologias adotadas para transformação das informações obtidas pelos diferentes satélites, em dados de estimativas de chuva.

Quadro 1 - Características dos principais satélites utilizados para estimativa de chuva.

		Princip.	Altitude	Resolução		
Satélite	Órbita	Sensores	(km)	espacial	Operação	Abrangência
				km		
				1.0		1/3 da
GOES	Geoest.	VISSR	35.800	4.0	NOAA	superfície
				8.0		terrestre
				2.5		42% da
METEOSA	Geoest.	VISSR	35.800	5.0	EUMETS	superfície
T					AT	terrestre

NOAA	Polar	AVHRR	833	1.10	NOAA	Global
		AMSU			NASA	
		MHS				
TERRA/		MODIS		0.25		
AQUA	Polar	HSB	705	0.50	NASA	Global
				1.00		
GMS	Geoest.	VISSR	35.800	1.25	AMJ	Hemisfério
				5.00		Norte
		TMI		2.10		
TRMM	Polar	VIRS	403	4.30	NASA	Global
		PR		5.00		
DMSP	Polar	SSM/I	850	12.50	NASA	Global
				25.00		

Fonte: Disponível em: <www.trmm.gfsm.nasa.gov>;

<www.sat.cnpm.embrapa.br>;

<www.noaa.gov>;

ım.gfsm.nasa.gov>; <www.eumetsat.de>; <www.g

<www.goes.noaa.gov>

<www.arm.gov/xds/static/gms.htm>.

4.6 Satélite TRMM

Trata-se de um satélite lançado no ano de 1997 sob uma missão conjunta entre os Estados Unidos (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*) e o Japão (JAXA - *Japan Aerospace and Exploration Agency*). O satélite TRMM é o primeiro satélite com o objetivo específico de monitorar a precipitação tropical (KUMMEROW et al., 2000) a partir da sua relação com o calor latente. Estima-se que três quartos do calor da atmosfera seja obtido por meio do calor latente associado com a precipitação, e estima-se que dois terços da precipitação global observada está localizada na região tropical, o que demonstra a importância dessas variáveis (MACHADO et al., 2000).

O TRMM (Figura 4.2) possui órbita polar com uma inclinação de 35° e com altitude de 403 km (a partir de 2001) com um período de 92,5 minutos (gira ao redor do globo aproximadamente 16 vezes por dia). Os principais sensores a bordo do TRMM relacionados com a estimativa da precipitação (Figura 2) são: *TRMM Microwave Imager* (TMI), *Precipitation Radar* (PR) e *Visible and Infrared Radiometer System* (VIRS) (TRMM, 2004).

- TMI (*TRMM Microwave Imager*): o sensor de micro-ondas é o principal sensor do satélite. Trata-se de um sensor de micro-ondas passivo, projetado para fornecer informações

quantitativas de chuva e que cobre uma área de vista na superfície da Terra (resolução espacial) que varia de 6 a 50 km, com varredura de 878 km. Serve para quantificar o vapor de água, água precipitável e a intensidade da chuva na atmosfera por meio da intensidade da radiação na temperatura do brilho. É um instrumento relativamente pequeno que consome pouca energia, o que, combinado com a boa largura de varredura, faz do TMI um dos mais eficientes instrumentos de medição de chuva do TRMM.

O instrumento mede a intensidade da radiação em cinco frequências: 10.7, 19.4, 21.3, 37 e 85.5 Ghz. Essas frequências são similares ao SSM/I (*Special Sensor Microwave/Imager*), exceto que o TMI tem um canal adicional 10.7 Ghz, projetado para fornecer uma resposta mais linear para altas taxas de chuva comumente observadas na região tropical (TRMM, 2004). O antecessor do TMI é o SSM/I (sensor de micro-onda), operado pelo satélite DMSP desde 1987 (TRMM, 2010; JOYCE; 2001; HUFFMAN et al. 2007).

Alguns projetos (BARRET et al., 1994; EBERT et al., 1996; SMITH et al., 1998; ADLER et al., 2001; NICHOLSON et al., 2003; FISHER, 2004, entre outros) têm mostrado que o sensor passivo de micro-ondas do radar produz bons resultados instantâneos (LAYBERRY et al., 2006).

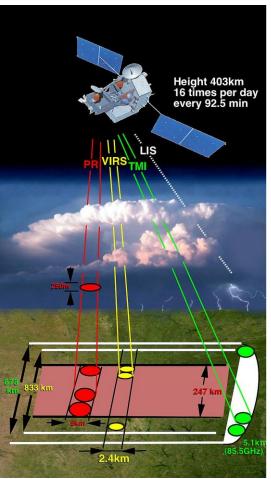


Figura 4.2- Representação esquemática de satélite TRMM e os sensores a bordo. Fonte: NASA (2012)

Os produtos do radar passivo do TRMM passam por uma validação terrestre (*Ground Validation* – GV). Esse produto inclui taxas de precipitação de estações e intensidades estimadas por radares localizados em superfície em alguns locais do globo (WOLFF et al., 2005).

- PR (*Precipitation Radar*): Desenvolvido pela JAXA, é o primeiro radar a bordo de um satélite. Trata-se de um sensor ativo, o que o diferencia dos outros, isto é, emite a radiação em comprimento de onda de micro-ondas e mede a intensidade do sinal que retorna (reflexão) dos alvos na atmosfera. As principais informações obtidas são: a intensidade e distribuição da chuva, o seu tipo (convectiva ou estratiforme), e a altura pluviométrica.

O radar cobre uma área de vista na superfície da Terra de 5 km (resolução horizontal) e resolução vertical de 250 m. Uma das características mais importantes do PR é a sua eficiência na determinação de perfis verticais da chuva e neve acima da superfície; detecta razoavelmente taxas leves de chuva da ordem de 0,7 mm/h (TRMM, 2010; HUFFMAN et al. 2007).

- VIRS (*Visible and Infrared Radiometer System*): Instrumento primário do satélite por se tratar de um indicador de chuva muito indireto (outras fontes de informações). O dispositivo cobre uma área na superfície da Terra de 2,4 km (largura do feixe) e uma zona de cobertura de aproximadamente 247 km. O sistema utiliza também dados de outras fontes de estimativas em conjunto, como as medidas rotineiras de satélites meteorológicos, como o POES e GOES.

Ele mede as radiações vindas da Terra em cinco bandas espectrais, indo do visível ao infravermelho. As imagens dessas bandas são capazes de delimitar as áreas de nuvens espessas com maior probabilidade de precipitar.

São dois os motivos que destacam a inclusão do VIRS no pacote de instrumento primários: o primeiro, porque é capaz de delimitar a chuva, e o segundo e mais importante, é que serve como referência para outras medidas feitas utilizando os satélites POES e GOES (TRMM, 2010).

Os produtos dos sensores TMI, PR e VIRS são integrados através de diferentes algoritmos, permitindo obter os mais variados produtos (Quadro 2). Assim, um usuário típico não acessa as informações diretas dos sensores anteriores, mas aos produtos derivados das diferentes combinações. No caso do TRMM estes produtos que são derivados de combinações de informações resultantes de diferentes sensores e satélites são descritos no item seguinte.

Quadro 2 – Produtos resultantes de cada um dos principais sensores a bordo do satélite TRMM.

Sensor	Processing Level	Product	Scene Unit*1	Estimated Data Volume*2 (Compressed)
PR	1B21	Calibrated Received Power	1 orbit (16/day)	149 MB (60~70 MB)
	1C21	Radar Reflectivity	1 orbit (16/day)	149 MB (40~50 MB)
	2A21	Normalized Radar Surface Cross Section (s ⁰)	1 orbit (16/day)	10 MB (6~7 MB)
	2A23	PR Qualitative	1 orbit (16/day)	13 MB (6~7 MB)
	2A25	Rain Profile	1 orbit (16/day)	241 MB (13~17 MB)
	3A25	Monthly Statistics of Global Map (Monthly) Rain Parameter (Grid: 5° x 5°, 0.5° x 0.5°)		40 MB (26~27 MB)
	3A26	Monthly Rain Rate using a Statistical Method	Global Map (Monthly) (Grid: 5° x 5°)	9.3 MB (5~6 MB)
TMI	1B11	Brightness Temperature	1 orbit (16/day)	14 MB (14 MB)
	2A12	Rain Profile	1 orbit (16/day)	97 MB (6.7~9 MB)
	3A11	Monthly Oceanic Rainfall	Global Map (Monthly) (Grid: 5° x 5°)	53 KB (44 KB)
VIRS	1B01	Radiance	1 orbit (16/day)	92 MB (90 MB)
COMB	MB 2B31 Rain Profile 3B31 Monthly Rainfall		1 orbit (16/day)	151 MB (8 MB)
			Global Map (Monthly) (Grid: 5° x 5°)	442 KB (380~410 KB)
	3B42	TRMM & IR Daily Rainfall	Global Map (Daily) (Grid: 1° x 1°)	242 KB (110~115 KB)
	3B43	TRMM & Other Sources Monthly Rainfall	Global Map (Monthly) (Grid: 1° x 1°)	242 KB (242 KB)

4.7 Produto derivado de Múltiplas Fontes TMPA

A análise de precipitação de multissatélites do TRMM (*TRMM's Multisatellite Precipitation Analysis – TMPA*) é constituída por uma série de algoritmos calibrados que permite combinar estimativas de precipitação de múltiplos satélites, nas quais, logicamente, possuem maior peso os dados do TRMM em escalas de até 0,25° x 0,25° e 3 horas (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Características dos produtos derivados de múltiplas fontes TMPA

	Curacteristicus dos productos dell'idades de manipues romas 11/11/11	
Produto	Breve Descrição	Início
3B42	Produto de chuva de 3 horas com combinação de múltiplos	Jan-98

	sensores e de diferentes satélites	
3B42 derived	Produto com chuva diária acumulada de 0 UTC a 24 UTC	Jan-98
3B43	Produto de chuva mensal com combinação de múltiplos	Jan-98
	sensores de satélite	
3B42RT	Produto experimental com combinação de múltiplos sensores	Out-08
	sem correção de pluviômetros	
3B42RTderived	Produto experimental de chuva acumulada 0 UTC a 24 UTC	Out-08
3B40RT(HQ)	Produto experimental com base em microonda intermédia de	Out-08
	3 hr-0.25°x0,25°	
<i>3B41RT</i>	Produto experimental com base em infravermelho IR de 3 hr-	<i>Out-08</i>
	0,25°x0,25°	

O TMPA depende de dois diferentes tipos de sensores de satélite, denominados de sensores de micro-ondas (TMI) e sensores infravermelho (IR). As estimativas consideram ainda, em alguns dos algoritmos, correções das estações em Terra a partir dos dados do GPCP (Global Project Climatological Precipitation) e CAMS (Climate Assessment and Monitoring System).

Os sensores de micro-onda passivos que o TMPA utiliza são:

- SSM/I (Spatial Sensor Microwave/Imager) do satélite DMSP;
- AMSR-E (*The Advanced Microwave Scanning Radiometer*) do satélite AQUA;
- TMI (TRMM Microwave Imager) do satélite TRMM;
- AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) do satélite NOAA e
- MHS (*Microwave Humidity Sounders*) do satélite NOAA.

Ao receber as observações das diferentes fontes, os valores de cada pixel vindos dos dispositivos TMI, AMSR-E, SSM/I, e SSMIS são convertidos em estimativas de precipitações pelas versões específicas dos diferentes sensores com o algoritmo de amostragem de Goddard (Godart Profiling Algorithm – GPROF) (KUMMEROW et al., 1996; OLSON et al., 1999), para posterior combinação das estimativas na produção do TMPA. Isso ocorre nas Missões de Medição de Precipitação (ou Precipitation Measurement Missions – PMM) e Precipitação do Sistema de Processamento (PPS), conhecido anteriormente como Sistema de Científico de Informações de Dados TRMM (TSDIS).

O GPROF (*Goddard Profiling Algorithm*) é um algoritmo de base física que aplica o ajuste Bayesiano de mínimos quadrados para reconstruir as radiâncias observadas para cada pixel, selecionando a melhor combinação de milhares de canais pré-computados das

radiâncias ascendentes de micro-ondas, baseados nos dados de precipitações (PR) estimadas pelo radar do TRMM. Como parte do processamento dos dados de micro-ondas, há uma verificação contra a existência de contaminações por efeitos de superfície.

A radiância das microondas AMSU-B e MHS refletidas pelos pixels é convertida para estimativas de precipitação para o Satélite do Serviço Nacional de Informações Dados Ambientais (NESDIS), usando versões operacionais dos algoritmos de Zhao e Weng (2002) e Weng et al. (2003). Os métodos mais simples para a estimativa de chuva a partir de sensores micro-ondas são baseados em regressões estatísticas, utilizando temperaturas de brilho para derivar o índice de chuva. Alguns exemplos desses índices são o *Scattering Index*, proposto por GRODY (1991), e o *Normalized Polarization Difference*, proposto por Petty (1994). O *Ice Water Path* (IWP) é calculado a partir dos canais 89 e 150 GHz com uma exibição da superfície que emprega dados auxiliares.

A taxa de precipitação é então calculada com base no IWP, e a relação intensidade da precipitação derivada de dados da nuvem pelo modelo NCAR/PSU *Mesoscale Model Version* 5 (MM5). O algoritmo AMSU-B não detecta líquidos, apenas sólidos. Os sensores de multicanais cônicos de micro-ondas passivas (TMI, AMSR, SSM/I) também só detectam formas sólidas (neve no hemisfério Norte ou cristais de gelo no topo de nuvens) sobre a Terra, então as estimativas AMSU-B são semelhantes para áreas de continente. No entanto, ao longo do oceano, os *scanners* cônicos também detectam hidrometeóros líquidos, proporcionando sensibilidade adicional, incluindo contribuições de precipitação mais quentes de nuvens que escondem grande parte ou totalmente a fase sólida.

Como resultado, as estimativas do algoritmo AMSU-B são relativamente menos capacitadas para detectar precipitação sobre o oceano. Uma atualização em 2007 adicionou um componente de emissão para aumentar a cobertura de área da precipitação ao longo do oceano através da utilização de uma estimativa de água líquida, utilizando o AMSU-A GHz 23,8 e 31 (VILA et al., 2007). Além disso, uma melhoria foi adicionada no IWP nas regiões costeiras usando a banda 183 GHz (KONGOLI et al. 2007). A segunda fonte mais importante de dados para o TMPA são os dados Geo-IR, que asseguram uma cobertura espaço-temporal bastante superior quando comparadas com os dados de micro-ondas.

No entanto, todas as estimativas de precipitação baseadas no IR compartilham limitações de que as temperaturas de brilho (Tb IR) representam primariamente a temperatura no topo das nuvens e, implicitamente, a altura do topo da nuvem. Assim, Arkin e Meisner (1987) mostraram que estimativas baseadas em IR apresentam uma correlação baixa com

precipitação em curta escala de tempo, mas relativamente bem correlacionadas com escalas de tempo maiores que 1 dia e 2.5° x 2.5° de lat./lon.

O centro de previsões climáticas (CPC), do serviço nacional do Clima/NOAA agrupou dados de IR dos cinco principais satélites internacionais em intervalos de meia em meia hora, com 4 km x 4 km de lat./lon. em uma grade que abrange 60° N – 60°S (a seguir, a "CPC fundiu os dados de IR" – JANOWIAK et al., 2001). Esse conjunto de dados contém o Tb IR corrigido para efeitos do ângulo de inclinação e diferenças entre os satélites de calibração.

Atualmente, o produto TMPA gerado utiliza a fusão dos dados de IR feita pelo CPC desde 2000; antes, utilizava apenas informação do GPCP, que contém 24 classes de histogramas de dados em 3h de Geo-IR Tb, convertendo em uma grade de 1° x 1°lat./lon. com banda de 40°N-S (HUFFMAN et al., 2001).

Esse conjunto também inclui dados do GOES 8 (HUFFMAN et.al.; ARKIN; MEISNER, 1987) que calcula estimativas de acordo com dados geo-IR registrados pelo satélite da série NOAA, formando uma grade 1° x 1° das médias. O arquivo TMPA preenche as falhas no geo-IR com esses dados, principalmente antes de junho de 1998, no setor do Oceano Índico.

Finalmente, o produto do TMPA emprega as três fontes adicionais de dados: o instrumento combinado TRMM (TCI), que combina dados de ambos TMI e o PR – Produto 2B31 – (HADDAD et al, 1997 a,b); o Centro Global Climatológico de Precipitação (GPCC) análises pluviométricas mensais (RUDOLF, 1993); e o Sistema de avaliação e monitoramento climático (CAMS), análises pluviométricas mensais desenvolvidas pelo CPC (XIE; ARKIN, 1996) (Figura 4.3).

Explicando de forma mais sucinta, o produto TMPA é calculado resumidamente em quatro etapas: (1) as estimativas de precipitação de micro-ondas são intercalibradas e combinadas; (2) as estimativas de IR são criadas com ajuda de uma calibração baseada também nos resultados das estimativas de micro-ondas; (3) é feita a combinação de ambos os resultados obtidos nas etapas (1) e (2); (4) finalmente, dados observados em pluviômetros e pluviógrafos são integrados (Figura 4.3).

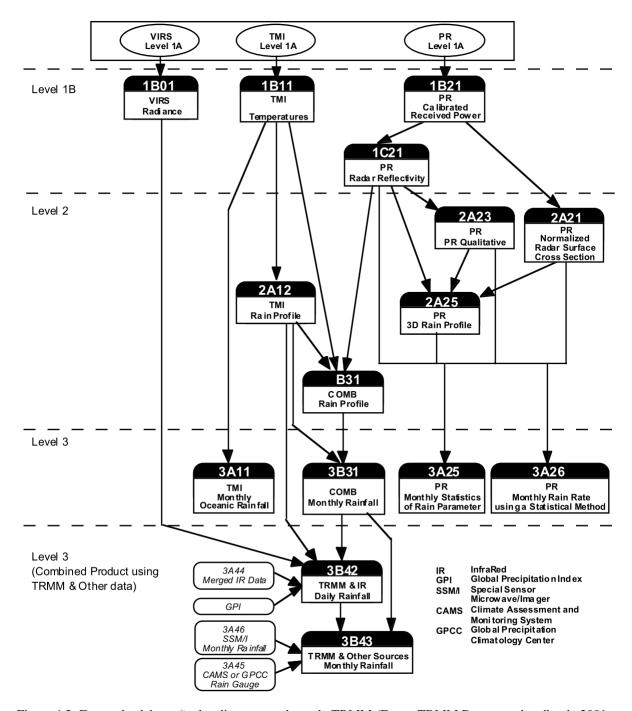


Figura 4.3- Etapas da elaboração dos diversos produtos do TRMM (Fonte: TRMM Data users handbook, 2001 - Nasda).

A grande vantagem é que o algoritmo proporciona resoluções finas com cobertura de 50°S e 50°N. Por outro lado, o algoritmo é complexo e o número de dados necessários para gerar os produtos toma tempo no processo, de forma que os dados não estão disponíveis de forma imediata.

Para suprir esta carência, foi disposto um produto alternativo, ainda em caráter experimental, que está disponível em tempo quase real, denominado 3B42 Real Time

(HUFFMAN et al., 1997). O produto 3B42 Real Time tem resolução temporal de 3 horas e resolução espacial de 0,25°, e sua composição segue as etapas da estimação do produto "research" com a diferença de que as calibrações feitas para a estimativa de chuva por microonda apenas é efetuada com o TMI (Imageador de micro-ondas) e não com o PR (Radar de Precipitação), porque o PR não está disponível em tempo real (HUFFMAN et al., 2007; VILA et al., 2009).

O 3B42 Real Time não leva em conta a última etapa, que integraria valores de chuva observados em solo, na produção da estimativa, além de algumas simplificações nas etapas anteriores para reduzir o tempo total do processo. Cada campo de chuva TMPA é expresso como a taxa de precipitação efetiva no tempo de observação exato porque cada pixel contém dados instantâneos da estimativa do satélite.

4.8 Estado atual sobre o desenvolvimento dos algoritmos

Atualmente o sistema de algoritmo está sendo executado como versão *7a Rainfall Measuring Mission* para o produto 3B42, embora o produto apresente apenas na etapa final o ajuste de pluviômetros na grade mesclada de micro-ondas e IR.

Todos os conjuntos de dados do TRMM (estimativas de precipitação) também estão acessíveis pelo *site* de visualização do sistema de análise TOVAS em http://lake.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas. O site TOVAS pode ser útil para os novos usuários, uma vez que lhes permite rapidamente criar gráficos a partir de qualquer dos conjuntos de dados TMPA.

Na Figura 4.4, é apresentado o exemplo de um mapa da precipitação global acumulada de 3 horas pelo produto 3B42 do TRMM.

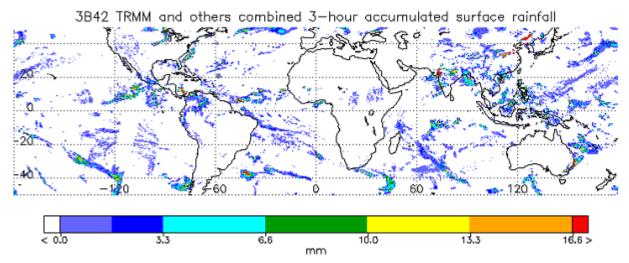


Figura 4.4- Estimativas de precipitação acumulada de 3 horas pelo produto 3B42 no planeta. Fonte: NASA (2010)

São diversos os produtos de estimativa de chuva resultantes da missão TRMM (KUMMEROW et al., 1998), que são processados pelo *TRMM Science Data and Information System* (TSDIS) e disponibilizados operacionalmente pelo *Gooddard Distributed Active Archive System* (DAAC).

4.9 Método de estimativas de precipitação CMORPH

O CMORPH – sigla do método *Center Morphing Method* –, capaz de proporcionar estimativas de chuva global em escala temporal de até meia em meia hora, não é um satélite, mas um método com algoritmos que utilizam dados de diferentes satélites. Na Figura 4.5, é apresentada a faixa de atuação na superfície terrestre das estimativas do método. O CMORPH usa uma abordagem diferente, na qual os dados IR são usados apenas para gerar um campo de movimento das nuvens que é posteriormente utilizado para propagar os campos de precipitação e estimar estimar por interpolação os dados entre os intervalos de observações.

Estimativas de precipitações de alta qualidade com resolução de meia hora (PMW) derivadas das micro-ondas passivas de AMSR-E, AMSU-B, SSM/I, TMI são utilizadas exclusivamente para a obtenção de estimativas desse produto de alta resolução temporal. Em momentos e locais que estimativas de microondas PMW não estão disponíveis — o que é relativamente frequente quando se trata de satélites de órbitas baixas —, as informações de micro-ondas são propagadas utilizando informações de infravermelho dos satélites geoestacionários GOES, Meteosat, GMS.

A intensidade e forma da precipitação nesses períodos entre as medições de micro-ondas são estimadas pela interpolação entre as estimativas de micro-ondas disponíveis entre esses intervalos de tempo sem medições (essa parte de produção das estimativas que é denominada "morphing") (JOYCE et al., 2004). As estimativas derivadas de micro-ondas são geradas pelos algoritmos de Ferraro (1997) para o sensor SSM/I; Ferraro et al. (2000), para o sensor AMSU-B; e Kummerow et al. (2001), para o sensor TMI. Uma característica importante desse método é a sua flexibilidade, em que estimativas de precipitação de qualquer fonte a partir do microondas podem ser incorporadas, demonstrando o seu grande potencial num futuro próximo, quando um número cada vez maior de satélites de órbita polar, estarão em órbita.

Até 2012, as estimativas do CMORPH não haviam sido reprocessadas, assim, então, os arquivos constituintes até a data citada são apenas armazenagens das estimativas. Em 2012, uma nova versão totalmente reprocessada foi lançada, com algoritmos mais consistentes durante um período mais longo que se estende até janeiro de 1998.

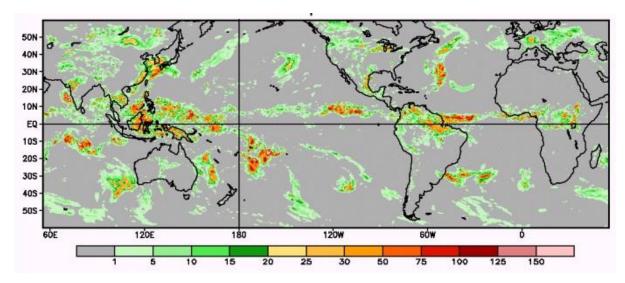


Figura 4.5 - Precipitações diárias geradas pelo método CMORPH no dia 8 de maio de 2004, em mm/dia. Fonte: CPC-NOAA (2004).

Essa versão é conhecida como CMORPH versão 1 e contém várias implementações diferentes: (a) a versão original do CMORPH é conhecida como "RAW"; (b) na versão, há correções baseadas em informações pluviométricas chamada BIAS-CORRECTED CMORPH (ou "CRT") – os histogramas dos dados RAW são combinados com dados diários do CPC (*Climate Prediction Center*) sobre a Terra e comparados com séries pêntadas (acumulado de chuva de 5 dias) do GPCP sobre o oceano; (c) é um produto misto de pluviômetro/satélite, denominado BLENDED CMORPH (ou BLD). A correção de frequência BIAS é combinada com os dados diários observados do CPC através de interpolações.

4.10 Dados de Infravermelho (IR)

As imagens completas do globo terrestre estão disponíveis a partir do Satélite Multifuncional de transportes japonês (MTSAT; subsatélite 140° E) em intervalos horários. A nave espacial MTSAT substituiu as séries de dados estimadas pelo satélite geoestacionário meteorológico (GMS) (mesmo ponto para ambos) em 2005. O procedimento de gestão dos dados obtidos pelo IR constrói conjuntos de dados para cada imagem via satélite, na qual os dados são interpolados para uma grade uniforme com resolução de 0,03635° de lat. e lon. (aprox. 4 km no Equador). Em seguida, os dados são submetidos ao ajuste de Parallax, que corrige os erros nos dados ocasionados pelas nuvens altas (VICENTE et al., 2002), e corrige também efeitos de porções erroneamente frias nas bordas limites do eixo de varredura devido a efeitos de atenuação atmosférica (JOYCE et al., 2001).

Após o término desses processos, os conjuntos de dados individuais são fundidos para formar campos globais (60°N-60°S) para cada período de meia hora.

4.11 Dados de micro-ondas

As estimativas de PMW derivados de precipitação que são atualmente utilizadas no CMORPH são gerados a partir de observações do Satélite Meteorológico de Órbita Polar NOAA, do Programa de Defesa por Satélites Meteorológicos (DMSP) dos Estados Unidos, do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) (SIMPSON et al., 1988) e dos satélites AQUA, sendo os dois últimos operados pela NASA. Os instrumentos a bordo desses satélites PMW são a Unidade de Sistema Avançado de Micro-ondas (AMSU-B), o Sensor Imageador Especial de Micro-ondas (SSM/I), o TRMM Imageador de Microondas (TMI) e do Scanner Radiômetro Avançado de Micro-ondas — Sistema de Observação Terrestre (AMSR-E), respectivamente.

O instrumento TMI é um radiômetro de nove canais que opera em cinco frequências, quatro das quais são bastante similares às frequências do instrumento SSM/I. Embora a órbita da espaçonave TRMM limite a cobertura geográfica a 38°N – 38°S de latitude, o TMI oferece maior resolução espacial que o SSM/I em função da menor órbita da sonda TRMM. A malha de precipitações derivada do instrumento TMI é um produto de dados do sistema TRMM de informações (TSDIS - NADA) de algoritmo 2A12 (KUMMEROW et al., 1996). Esse algoritmo utiliza uma tabela de consulta que relaciona os perfis verticais de líquido e de gelo para as taxas de chuva de superfície para produzir taxas de precipitações tanto para superfícies terrestres quanto para oceanos. O sensor SSM/I a bordo das plataformas são DMSP operacionais dos satélites F-13, F-14 e F-15 até 2010.

O CMORPH é alimentado por estimativas de precipitação que são geradas a partir do algoritmo SSM/I de chuvas (FERRARO, 1997), que utiliza o canal 85 GHz polarizado verticalmente para relatar a dispersão do afloramento de radiação pela precipitação de partículas de gelo dentro da camada de chuva, e nos topos das nuvens convectivas a taxa de precipitação de superfície, que é executada operacionalmente pela NOAA's (NESDIS).

Uma taxa de precipitação é derivada empiricamente a partir da quantidade de gelo observada na camada de chuva, e nos topos de nuvens convectivas para a precipitação de superfícies reais. Essa técnica de dispersão é aplicada sobre o continente e o oceano. Além disso, o algoritmo NOAA/NESDIS fornece estimativas de precipitação sobre as superfícies do oceano através da metodologia que se baseia na absorção da dispersão de radiação pela chuva e pela água na nuvem ("emissão" técnica) em 19 e 37 GHz. Estimativas de chuva derivadas de

tais canais de emissões térmicas são mais diretamente relacionadas à precipitação do que a técnica de dispersão, e, portanto, mais preciso, uma vez que detecta diretamente a radiação térmica que é emitida a partir de hidrometeóros líquidos.

O instrumento AMSU-B já está operando a bordo dos satélites de órbita polar NOAA-15, NOAA-16 e NOAA-17. O sensor AMSU-B possui cinco bandas espectrais e sua largura de alcance transversal é de aproximadamente 220 km, contendo 90 campos de visão (FOV) por varredura. O algoritmo de chuvas do NOAA/NESDIS AMSU-B (FERRARO et al., 2000; ZHAO e WENG, 2002; WENG et al., 2003) realiza uma obtenção física do caminho de água gelada (IWP) e tamanho de partículas do canal 89 e 150 GHz.

Em seguida, uma conversão de IWP para taxa de chuva é feita com base nas simulações de nuvens a partir da Quinta Geração NCAR/Penn *State Mesoscale Model* (MM5) e com comparações com dados do local. O canal 183 GHz combinado com a temperatura da superfície é utilizado para filtrar desertos, e os canais 23, 31 e 89 GHz são utilizados para filtrar neve, como descrito em Zhao e Weng (2002).

As técnicas de micro-ondas têm grande potencial para a estimativa da precipitação, visto que, a medida de radiações micro-ondas tem relação direta com a queda da chuva na superfície. A energia de micro-ondas se relaciona com a chuva sob dois aspectos: emissão/absorção e dispersão. Para baixas frequências de micro-ondas (10-37 Ghz), é registrada a emissão termal das gotas de chuva, enquanto que em altas frequências (> 85 Ghz) é registrada a dispersão da radiação que sobe da superfície terrestre, devido a partículas de gelo na camada de chuva e topos de sistemas convectivos (JOYCE, 2004).

4.12 Mapeamento da precipitação pelo CMORPH

A resolução temporal de satélites geoestacionários para o método CMORPH é de meia hora, portanto, essa resolução foi selecionada para produzir precipitação de micro-ondas passivas. A resolução espacial de 0,0727° (~8km no Equador) foi considerado assim pelas diferentes resoluções dos sensores (4km para GOES, 5km para Meteosat IR e maior do que 13km nos casos de AMSU-B e SSM/I). Essa resolução é decorrente da necessidade de se representar a propagação dos sistemas de chuva em incrementos de meia hora. As estimativas de micro-onda são mapeadas em combinação de todos os sensores (TMI, SSM/I e AMSU-B).

As imagens do IR podem mostrar sistemas de nuvens e deslocamentos que são usadas para fazer a propagação das imagens de micro-onda. O método que utiliza CMORPH para detectar os sistemas de nuvens é o método CSAV (*Cloud System Advetion Vector*), que consiste em detectar e estimar os movimentos de nuvens (direção e velocidade) a partir de

satélites de órbita geoestacionária. Finalmente, o CMORPH calcula por ponderação das propagações feitas com a chuva derivada dos sensores micro-ondas, levando em consideração o tempo.

A Figura 4.6 ilustra os processos de propagação e *morphing* usados no CMORPH, que serão explicados resumidamente a seguir:

- * O processo de propagação e *morphing* são realizados entre duas imagens consecutivas geradas pela composição dos sensores micro-ondas. A Figura 6, representada na linha "a", essas duas imagens consecutivas são observadas nos horários 03:30 UTC e 05:00 UTC:
- * Representado na linha "b", o dado de satélite derivado dos sensores micro-ondas, para a primeira observação (03:30 UTC) é propagado para frente no tempo t+0,5h (04:00 UTC) e t+1h (04:30 UTC) baseado nos vetores da matriz de propagação;
- * Representado na linha "b", um processo semelhante é realizado, porém, em sentido inverso, para propagar a partir da segunda observação (05:00 UTC), de trás para frente, usando os mesmos vetores de propagação do item anterior;
- * O processo *morphin* consiste na aplicação de pesos inversamente proporcionais aos intervalos de tempo nas duas propagações da chuva (Figura 4.6). Na Figura 4.7 é apresentado o fluxograma das etapas da produção de estimativas de precipitações pelo método CMORPH.

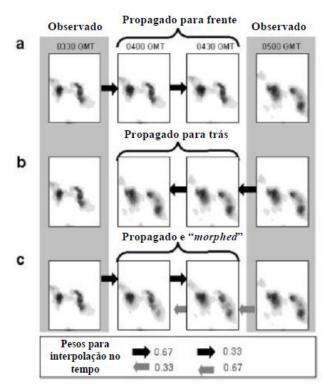


Figura 4.6- Processo funcionamento da propagação do morphing. Fonte: Joyce et. al. (2004)

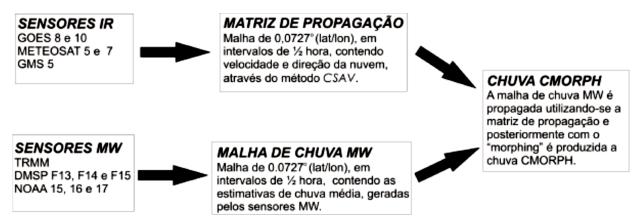


Figura 4.7 - Fluxograma da produção da estimativa pelo método CMORPH. Fonte: Araújo (2006)

4.13 Estudos de caso de estimativa por satélite para a gestão dos recursos hídricos

Alguns estudos sobre o uso de dados de satélite na modelagem hidrológica são apresentados em Guetter et al. (1996), Guetter e Georgakakos (1997) e Tsintikidis et al. (1999), respectivamente, em bacias do Meio-Oeste dos Estados Unidos nas quais as correlações obtiveram aumento na qualidade das estimativas de precipitações baseadas em dados de satélites, proporcionalmente ao aumento da área de drenagem, porém, estimativas de satélite subestimam os volumes subsuperficiais, e no Rio Nilo, no Egito.

No Brasil, entre as pesquisas utilizando as estimativas do TRMM relacionadas a fins hidrológicos merecem destaque os trabalhos de Collischonn (2006), Collischon et al. (2007), Nóbrega et al. (2008) e Jimenez (2011). Outros trabalhos desenvolvidos na bacia do Rio Amazonas e no restante do Brasil, deram maior importância aos produtos resultantes da combinação de diferentes fontes geradas pelo TMPA (TRMM multi-satellite precipitation analysis), em especial, o produto 3B42 e 3B43, entre eles estão: Collischonn et al. (2008), Collischonn (2006), Nóbrega et al. (2008) e Lavado (2009). Os dois primeiros trabalhos avaliaram as bacias Tapajós (500.000 km2) e São Francisco (51.000 km2), no modelo hidrológico MGB-IPH (COLLISCHONN, 2011) para o período 1998-2006, respectivamente. Os resultados para as duas bacias mostraram confiabilidade em reproduzir o regime de chuva e vazão nas épocas sazonais mostrando valores de eficiências de ordem de 0,70 - 0,90.

Collischonn et al. (2007) avaliaram os dados 3B42 na bacia do Rio Paraguai e encontraram r entre 0,25 e 0,64, o que foi considerado aceitável pelos autores. O estudo também mostrou que existe uma tendência de o satélite superestimar a precipitação em torno de 8%.

Vila et al. (2009) examinaram o desempenho dos produtos do TMPA (3B42 e 3B42RT) com escala diária e espacial de 0,25° para o ano 2004, comparando com campos de

chuva por pluviômetro, com uma distribuição não homogênea de pluviômetros concentrados majoritariamente no litoral sudeste brasileiro e próximo às grandes cidades. Os resultados mostraram baixos coeficientes de correlação para ambos os produtos, de ordem de 0,27 para o mês de julho e 0,40 para o mês de janeiro.

Nóbrega et al. (2008) avaliaram o produto 3B42 sobre a bacia do Rio Jamari (29.000 km²) no modelo semidistribuído SLURP (*Semi-distributed Land Usebased Runoff Processes* – KITE, 1997) para o período de 1999-2006. Os resultados mostraram valores do coeficiente Nash-Sutcliffe (R²) por ordem de 0,82, indicando que o modelo obtém bons ajustes para cheias. Lavado (2009) avaliou o desempenho do 3B43 em duas sub-bacias do Rio Urubamba com áreas de 60.000 e 135.000 km². A simulação foi efetuada com o modelo hidrológico distribuído GR2M em escala mensal e escala espacial de 0,25° para o período de 1998-2007, encontrando coeficientes de eficiências *Nash-Sutcliffe* superior a 0,80.

4.14 Modelagem hidrológica a partir de dados de precipitação estimados por satélites

Poucos autores dedicaram uso das estimativas de chuva por satélite em modelos hidrológicos (COLLISCHONN, 2006), entretanto, com o decorrer dos anos e com o aumento da facilidade de acesso aos dados, o número de estudos e publicações relacionado com a aplicação de dados de estimativas de satélites como dados de entrada em modelos hidrológicos vêm aumentando, especialmente com produtos de altas resoluções que combinam imagens visíveis, infravermelhos e micro-ondas, encontradas em base de dados global, por exemplo, produtos como TMPA, CMORPH, entre outros.

Nos Estados Unidos, encontra-se em Harris et al. (2007) e Behrangi et al.(2011). O primeiro avaliou o produto 3B41RT sobre a bacia do Cumberland – Kentucky (970 km²) com o modelo HEC-HMS, com parâmetros calibrados com precipitação de radar WSR-88D. A simulação foi para o período de 16-20 março de 2002, mostrando uma subestimativa com erro maior de 50% para o pico máximo; com um ajuste do 3B41RT, os erros diminuíram em valores de 10%, embora esse ajuste possa simular falsos tempos de vazão máxima, recomendando, o autor, que os ajustes das estimativas de satélite devem estar em função de regimes, clima e local.

Behrangi et al. (2011) avaliou produtos de satélite sobre a bacia do Illinois (1500 km²) com o modelo *Sacramento Soil Moisture Accounting* com parâmetros calibrados para cada fonte de precipitação. A simulação mensal para um período de 2003-2008 mostrou correlações superiores de ordem de 0,90 para dados de chuva em combinação com Radar

NEXRAD e pluviômetros; e 0,70 para TMPA e CMORPH, ressaltando a superestimação de CMORPH e TMPA.

Artan et al. (2007) utilizou o algoritmo descrito por XIE e ARKIN (1997) para estimar a chuva por satélite e modelar nas bacias dos rios Nilo e Mekong sobre um terreno com alta declividade em áreas que variam de 6000 – 22000 km². O modelo semidistribuído utilizado foi o *GeoSFM* (*Geospatial Stream Flow Model*), em escala diária e espacial de 10 km para o período de 2002-2003. Os parâmetros foram calibrados com pluviômetros e logo verificados com a estimativa de chuva por satélite. Os resultados mostram maior eficiência com campos de chuva de pluviômetros.

O objetivo de dar sequência nas avaliações desses diferentes métodos e produtos de satélites como dados de entrada nos modelos hidrológicos é que possam ser operáveis em projetos reais, de modo que tais estimativas de chuva venham a proporcionar às entidades estaduais e organizações uma ferramenta prática com um prévio entendimento sobre o potencial de uso, sendo possível a identificação de possíveis erros no intuito de apresentar correções para tais incertezas.

4.15 Avaliação da qualidade das estimativas de precipitações derivadas a partir de dados de satélites

De acordo com Nóbrega et al. (2008), desde o lançamento do TRMM, equipado com um radar capaz de estimar a precipitação, um número crescente de projetos de comparação vem sendo realizado para avaliar o grau de precisão entre os dados de satélite baseados em algoritmos de precipitação (BARRET et al., 1994; EBERT et al., 1996; SMITH et al., 1998; ADLER et al., 2001; NICHOLSON et al., 2003; FISHER, 2004).

Gonçalves et al. (2006) avaliaram a confiabilidade de dois produtos de satélite na busca de implementar o Sistema de Assimilação de dados do CPTEC. A comparação foi efetuada com os dados de saída do modelo de Previsão climática ETA para o ano 2000 com intervalo de tempo de 6 horas e os resultados mostraram subestimativas significativas para o produto 3B42. Chiponellii et al. (2009) compararam campos de precipitação de diferentes produtos de satélite e outras fontes globais de chuva para América do Sul para o período de 2000-2004 e os resultados mostram semelhanças entre dados de Reanálise do NCEP/NCAR e CPTEC, enquanto que 3B42 mostra limitações em seu uso para latitudes extratropicais, onde se apresentam valores bem mais altos.

Hand e Shepherd (2009) avaliaram o produto 3B42 em Oklahoma (EUA) e encontraram coeficientes de correlação (r) de 0,42, percebendo uma pequena tendência de

subestimação do volume de precipitação; no entanto, a correlação melhora significativamente quando a análise se restringe à média diária, com r em torno de 0,94. Zhou et al. (2008), analisando a precipitação no período de monção no leste da China, encontraram r entre 0,66 e 0,94. Dinku et al. (2007) observaram r entre 0,68 e 0,72 para a Etiópia, região leste da África, e concluíram que o 3B42 tende a superestimar altos valores de precipitação.

Na Indonésia, utilizando estimativas do produto do TRMM PR3A25, Prasetia et al. (2010) não encontraram bons resultados quando confrontaram, pelo método ponto a ponto, dados mensais. As estimativas subestimaram o volume observado no método confrontando diretamente com o medidor em terra, resultados esses que apresentaram melhores correlações quando foram espacializados pelo restante da área da bacia. Em Bali, As-Syakur et al. (2011) notaram subestimativas dos dados das precipitações observadas, apresentando baixas correlações quando feitas comparações diárias, já nas estimativas mensais obteve-se resultados bastante satisfatórios.

Dinku et al. (2010) avaliaram as estimativas 3B42 e 3B42 *Real Time* do TRMM e estimativas do CMORPH sobre duas regiões montanhosas, uma nos planaltos da Etiópia (Chifre da África) e a segunda localizada sobre as terras altas da Colômbia (América do Sul). Ambas as regiões se localizam em áreas com relevo complexo, porém, com redes de pluviômetros relativamente densas, para a validação das estimativas. Os coeficientes de correlação entre os dados de referência observados e as estimativas dos satélites foram baixas. Além disso, os produtos subestimaram tanto a ocorrência dos eventos quanto na quantidade precipitada sobre as duas regiões avaliadas. Esses efeitos são atribuídos, pelo menos em parte, ao processo de chuva orográfica quente sobre as regiões. O desempenho foi melhor sobre a Colômbia do que em relação ao da Etiópia e, entre os produtos, o CMORPH apresentou o melhor desempenho.

Nessas aplicações resulta claro que os dados disponíveis a partir do TRMM subsidiam uma fonte rica de informações sobre precipitação tanto espacialmente quanto temporalmente, podendo ser utilizadas para outros fins, como estudos climatológicos (NÓBREGA, 2008).

Nas montanhas da Colômbia, Dinku et al. (2010) avaliaram os produtos resultantes do método CMORPH e TMPA, comparando com campos de chuva sobre uma rede densa de pluviômetros para o período de 2003 a 2005 em escala espacial de 0,25° e em duas escalas temporais (diária e 10 dias). Os resultados mostram ocorrências de chuva subestimada com um ligeiro melhor desempenho para o produto CMORPH e os piores para o 3B42 e 3B42RT.

Filho et al. (2010) avaliaram o CMORPH para a bacia do Rio Amazonas em diferentes escalas do tempo, comparando com campos de chuva por pluviômetros no período de 2003 a

2004. Os resultados mostraram melhor correlação para escala mensal nas épocas úmidas e padrões de convecção complexa em escala horária ao oeste da bacia do Rio Amazonas (Andes) com as máximas chuvas sobre o litoral norte do Brasil. O produto CMORPH é disponibilizado operacionalmente via FTP no endereço: ftpprd. ncep.noaa.gov/pub/precip/global_CMORPH (JOYCE et. al., 2004).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JACUÍ

Para o estudo, foi escolhida a bacia do Alto Jacuí, com 13.069 km², localizada na Figura 5.1, limita-se ao norte e a oeste com os divisores de água da bacia do Uruguai; ao sul com o divisor do Baixo Jacuí; e a leste com os divisores de água da Bacia do Taquari-Antas, estando entre as coordenadas geográficas 28°08' a 29°55' de latitude Sul e 52°15' a 53°50' de longitude Oeste. Com uma População Total de 366.628 habitantes, desta população 284.210 são habitantes urbanos e 82.418 são habitantes rurais, (77,52 e 22,48%, respectivamente). O que representa uma densidade de um pouco mais de 28 hab./Km².

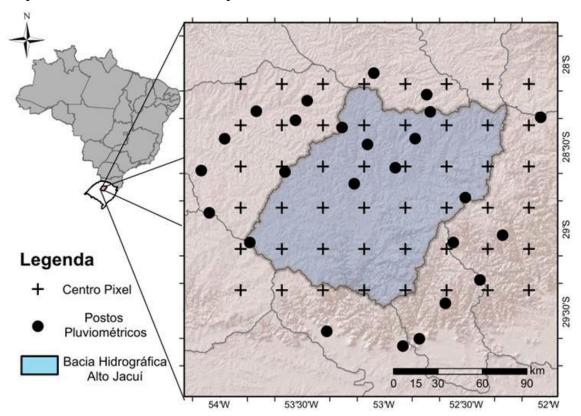


Figura 5.1 – Mapa de localização da bacia do Alto Jacuí, com os postos pluviométricos e centro dos pixels utilizados no estudo.

A Bacia apresenta precipitações médias anuais que variam de 1200 mm a 1600 mm, com grande importância na área agrícola, referência na produção de trigo, soja e arroz, e

possui também papel fundamental no aproveitamento energético, pois nela se encontram instaladas as UHEs Ernestina, Passo Real, Salto do Jacuí, Itaúba e Dona Francisca, Suas águas são classificadas, de forma geral, quanto à qualidade como de situação confortável (SEMA, 2006). A vazão específica ao longo do período, das águas superficiais na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí, segundo a SEMA (2008) é de 24,27 L/s/Km². A disponibilidades de águas superficiais da bacia, apresenta vazão de permanência de 99%, ou seja, em 99% dos dias do ano, igual a 0,59 L/s/Km². A demanda hídrica total anual na bacia é de 91,07 hm³, sendo a maior parte da água consumida para irrigação (46,5%) e a menor, devido a pouca industrialização dos municípios da bacia, é para o setor de abastecimento industrial (5,1%) (SEMA 2008)

O uso dos recursos hídricos para a atividade agrícola e pecuária é fundamental para que se possam ter safras regulares ao longo dos anos, assim como aumento dos rebanhos na região. Políticas públicas têm incentivado o uso dos recursos hídricos para a obtenção de melhores resultados no campo. A Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí tem nestas duas atividades suas maiores demandas hídricas, com 1,27 m³/s (46%) para a irrigação e 0,51 m³/s (18,7%) para a dessedentação animal, para uma demanda total setorial anual média de 2,73 m³/s.

Na agricultura este uso acontece principalmente no cultivo de arroz em áreas alagadas e na irrigação para as culturas como a soja, milho e trigo. São utilizados dois sistemas de irrigação na bacia, aspersão e inundação, estes atendem a uma área total de 17.678 hectares. O sistema por aspersão tem um consumo 11.223 m³/hectare atendendo a uma área de 8.703 hectares, com um consumo total anual de 0,097 km³; enquanto que o sistema por inundação consome 7.623 m³/hectare sendo responsável por irrigar uma área de 8.975 hectares, com um consumo total de 0,069 km³/ano.

Além disso, destaca—se a ocorrência de eventos extremos na bacia, que causaram prejuízos aos produtores na região e impactos significativos na estrutura rodoviária da região em 2010, a queda da principal ligação entre a região central do estado com a região metropolitana de Porto Alegre e o porto de Rio Grande. A bacia do Alto Jacuí têm sofrido com séries de secas seguida por uma grande enchente nos últimos dois anos, que quando somados os prejuízos geram um valor estimado de 8 bilhões de reais, aumentando as incertezas quanto à disponibilidade hídrica real da região. As matas que acompanham suas margens apresentam grande diversidade de flora e fauna, dentre algumas espécies, fatos esses que foram de relevância decisiva na escolha da Bacia do Alto Jacuí para a realização do estudo.

5.2 Introdução

O trabalho consistiu em comparar as precipitações estimadas por combinações de algoritmos que se baseiam em dados de satélites na região da bacia do Alto Jacuí – RS, a partir de diversos produtos com as precipitações observadas no local. O trabalho foi dividido em várias etapas que são explicadas com melhor detalhamento nos itens a seguir e podem descrever-se graficamente conforme o fluxograma simplificado na Figura 5.2.

Por um lado, na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, foi analisada a disponibilidade espaço temporal de dados pluviométricos e, escolhido para análise, aqueles postos com dados contidos no período comum com os respectivos períodos de funcionamento dos satélites, a partir do site Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), resultando em apenas 25 estações com dados dentro do período necessário para o estudo (1998 a 2011).

Em paralelo, obteve-se dos dados estimados pelos sensores e posteriormente inseridos nos algoritmos do satélite TRMM (produtos 3B42 e 3B42RT) e pelo método CMORPH (produto RAW), já descritos no capítulo 4, produzindo uma grade de pontos (pixels) de 0,25° x 0,25° graus (área aproximada de 625 km²).

Para uma análise preliminar, os dados estimados de três postos foram comparados com dados observados ponto a ponto (cada posto com a célula – satélite – correspondente). Posteriormente, os dados observados nos postos foram interpolados usando o método de interpolação do Inverso da Distância Ponderada (em inglês, IDW ou *Inverse Distance Weighted*) para gerar postos fictícios na localização exata do centro das células adotadas pelos satélites, gerando assim "novas séries diárias de precipitação observada" e sem a presença de falhas, na exata localização de cada um dos 48 centros de pixels adotados pelos satélites.

Posteriormente, essas 48 séries resultantes do processo de interpolação dos dados pluviométricos da região, foram então comparadas diretamente com as séries diárias estimadas pelos quatro produtos de estimativas de precipitação derivados de satélites. Para avaliar a qualidade da interpolação, foram utilizadas diversas estatísticas e medidas de desempenho dos produtos sobre a região de estudo, para avaliar qualitativamente e quantitativamente tais estimativas.

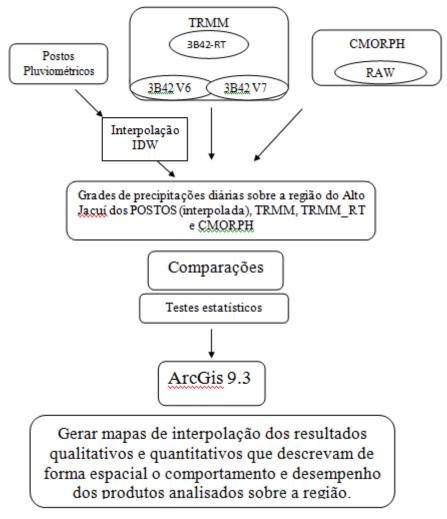


Figura 5.2 - Fluxograma simplificado das etapas da dissertação.

5.3 Análise da precipitação observada

A série de chuva observada compreende os dados de séries históricas de medições em pluviômetros e pluviógrafos na região da Bacia do Alto Jacuí, que foram selecionados de acordo com a disponibilidade espaço-temporal.

O levantamento preliminar dos postos pluviométricos na região da Bacia do Alto Jacuí e seus arredores mostrou que em uma área de aproximadamente 30.000 km² existiam 50 postos pluviométricos, o que indica em média, uma estação a cada de 600 km². Porém, esse cálculo desconsidera a análise da disponibilidade real de dados em cada posto no período compatível com os dados de satélite. Uma vez feita essa estimativa, restaram apenas 25 postos e, consequentemente, a densidade de caiu para apenas 1 pluviômetro para aproximadamente cada 1200 km². Isso evidencia um quadro de extrema carência, ainda muito inferior ao

recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1994), que é de 575 km² por posto, no caso de regiões com relevo montanhoso/plano.

Na Tabela 5.1, são apresentados os 25 postos pluviométricos da região do estudo, que possuíam dados diários mais recentes de acordo com a disponibilidade temporal do satélite (registros a partir de 01/01/1998), todos foram extraídos do site Hidroweb da Agência nacional de Águas (http://hidroweb.ana.gov.br/).

Tabela 5.1 - Nome, código e localização geográfica dos postos pluviométricos utilizados.

Nome Posto ANA	Código ANA Latitude		Longitude	Altitude (m)	
ANDERSON CLAYTON	2853028	-28.658	-53.606	440	
BARROS CASSAL	2952001	-29.085	-52.585	620	
BOQUEIRÃO DO LEÃO	2952036	-29.313	-52.423	501	
BOTUCARAI	2952003	-29.713	-52.890	80	
CAMPINAS	2853037	-28.491	-53.105	400	
CAMPO DO MEIO	2852052	-28.326	-52.054	750	
CANDELÁRIA	2952034	-29.669	-52.790	40	
CARAZINHO	2852006	-28.293	-52.724	570	
CHAPADA	2853026	-28.059	-53.066	450	
COLÔNIA XADREZ	2852007	-28.189	-52.746	593	
CONCEIÇÃO	2853003	-28.456	-53.972	160	
CONDOR	2853023	-28.226	-53.470	440	
DONA FRANCISCA	2953008	-29.624	-53.352	25	
HERVEIRAS	2952035	-29.454	-52.633	450	
JÓIA	2854018	-28.649	-54.113	314	
NÃO ME TOQUE	2852050	-28.455	-52.816	491	
PANAMBI	2853034	-28.344	-53.542	480	
PASSO FAXINAL	2853010	-28.289	-53.779	200	
SANTA BÁRBARA DO SUL	2853033	-28.388	-53.259	500	
SANTA CLARA DO INGAI	2853014	-28.729	-53.185	390	
SÃO BERNARDO	2854013	-28.905	-54.065	530	
SÃO JOSÉ DO HERVAL	2952038	-29.041	-52.285	550	
SELBACH	2852054	-28.632	-52.936	381	
SOLEDADE	2852053	-28.813	-52.511	641	
TUPANCIRETA	2953030	-29.086	-53.819	469	

Na Figura 5.3, são apresentadas as localizações dos 25 postos pluviométricos utilizados no processo de interpolação, com seus respectivos percentuais de falhas diárias durante o período máximo utilizado (5114 dias). Como plano de fundo, foi utilizado um *layer* numérico das altitudes do relevo da região e um *layer* com a demarcação dos limites das bacias hidrográficas do estado, para facilitar a visualização de regiões com relevos mais complexos.

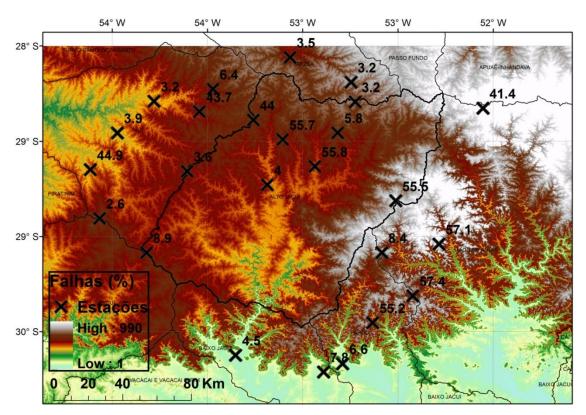
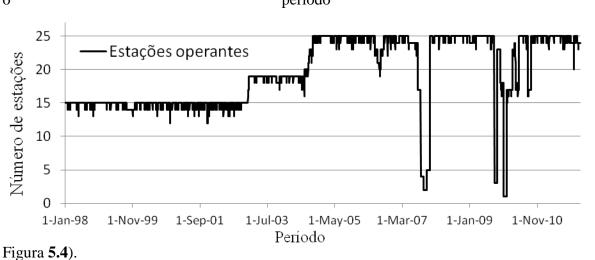


Figura 5.3 - localizações dos postos pluviométricos utilizados na interpolação, com seus respectivos percentuais de falhas diárias (5114 dias).

O método de interpolação utilizado para gerar as séries fictícias necessita, na pior das hipóteses, pelo menos uma medição diária em qualquer um dos 25 postos. Para tal avaliação, a contagem de postos operantes a cada dia foi carregada em um gráfico que compreende todo o período (



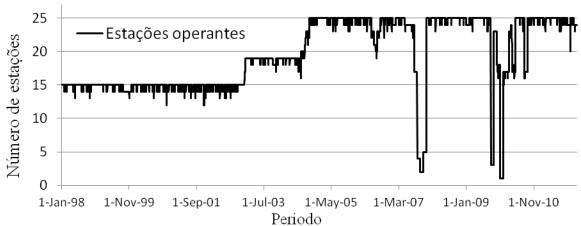


Figura 5.4 - Número de estações operantes durante todo período do estudo.

A Figura 5.5 apresenta a localização geográfica dos 25 postos pluviométricos (pontos vermelhos) com os seus respectivos nomes e a localização dos 48 postos fictícios no centro dos pixels, onde foram geradas as séries históricas a partir da interpolação dos dados observados na região (quadrados verdes).

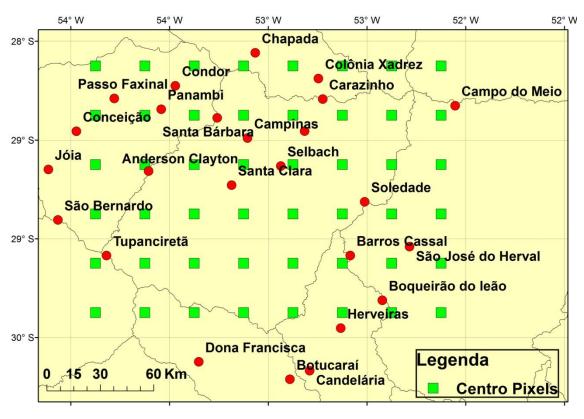


Figura 5.5 - Localização dos postos pluviométricos (círculos vermelhos) e dos centros dos pixels utilizados para gerar as séries na interpolação.

5.4 Análise das estimativas de precipitações baseadas em dados de satélites

Neste trabalho, foram analisadas as séries de precipitações dos produtos derivados de dados obtidos por satélites:

- Satélite TRMM: Produtos 3B42 V6, 3B42 V7 e 3B42 Real Time.
- CMORPH: Produto RAW.

Elas se localizam sobre a região de interesse. Vide subseção 4 para uma descrição detalhada. Os dados foram obtidos em forma de imagens em diferentes formatos (NETCDF, HDF e TXT) com 0,25 x 0,25° (aproximadamente 25 x 25 km) de resolução, resultando em uma malha com 48 pixels sobre a região da bacia.

A base de dados do 3B42 V6 do TMPA foi obtida do projeto ICA-MMH, descarregado em arquivos no formato NetCDF (network Common Data Form), do intervalo de 1/1/1998 até 31/12/2010 (não se obteve acesso ao ano de 2011 dos dados da versão 6). Já a versão 7 do produto 3B42 e a base de dados do 3B42RT (Real Time) foram obtidas por meio do sistema TOVAS (TRMM Online Visualization and Analysis System) no site http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/. As estimativas de precipitações resultantes do produto 3B42 Real Time iniciam em 1º/10/2008, portanto, é o período considerado desde a data inicial disponível até 31/12/2011; já a versão 7 do 3B42 teve início em 1º/01/1998 até 31/12/2011 (um ano a mais que a versão 6).

Os dados do algoritmo CMORPH foram descarregados da seguinte página: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/global_CMORPH/3-hourly_025deg/. Essa página permite descarregar arquivos binários. O período dos dados obtidos foi desde 01/01/2003 até 31/12/2010.

As estimativas de chuva são produzidas de acordo com a resolução espacial dos produtos derivados de dados estimados pelos satélites, os produtos selecionados possuem resolução de 0,25° graus, os produtos derivados do satélite TRMM, geram oito estimativas diárias de precipitação, em acumulados de precipitação de três em três horas. No caso do método CMORPH, dentro dos seus diferentes produtos disponíveis, adotou-se o produto com a mesma resolução espaço-temporal do TRMM. Para posterior comparação com os dados observados no local, foram acumulados os arquivos no período de 12 UTC de um dia até 12 UTC do dia seguinte, o que corresponde, aproximadamente, ao intervalo entre 9 horas de um dia e 9 horas da manhã do dia seguinte, período equivalente ao que é utilizado para as leituras da Agência Nacional de Águas para as leituras diárias, de forma que as séries obtidas pelos satélites e disponíveis nos pluviômetros da ANA possam ser comparáveis. Para os 4 produtos de satélites, as oito medições diárias são somadas e o valor é atribuído ao dia específico, assim é gerada uma série histórica de estimativas diárias em cada pixel do satélite, como se existisse uma malha de pluviômetros fictícios.

5.5 Testes Estatísticos

Em função da complexidade da precipitação, não há uma estatística única que permita avaliar com precisão se uma determinada estimativa é boa ou não. Dessa forma, neste trabalho, a avaliação é dada por um conjunto de estatísticas.

Por um lado, para os dados de precipitação pluviométrica observada e estimada foram calculadas estatísticas convencionais, tais como precipitação média, máxima, desvio padrão, número de dias de chuva, número de dias sem chuva, chuva acumulada, e, inclusive, gráficos, como histogramas e até comparativos entre chuva de satélite e de pluviômetro. Também foram utilizadas as estatísticas para validação da chuva estimada por satélite recomendadas pelo IPWG por meio do WWRP/WGNE *Joint Working Group on Verification* (*World Weather Research Programme/Working Group on Numerical Experimentation*) (WWRP/WGNE, 2005). As estatísticas IPWG são divididas em dois grupos:

- (A) Estatísticas quantitativas das precipitações (estimada e observada):
 - (1) erro médio;
 - (2) erro médio quadrático;
 - (3) coeficiente de correlação;
 - (4) coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS).
- (B) Estatísticas de ocorrência das estimativas:
 - (1) Percentual de detecção dos eventos (PC);
 - (2) Percentual de acertos (H);
 - (3) Percentual de falsos alertas (FAR);
 - (4) discriminante de *Hanssen & Kuipers*.

5.6 Estatísticas quantitativas

A avaliação mediante estatísticas quantitativas foi aplicada na comparação ponto a ponto e na análise entre as superfícies espacializadas de dados estimados e observados em cada um dos 48 pixels, sobre a bacia do Alto Jacuí RS. A comparação ponto a ponto é uma comparação direta entre a série observada no posto pluviométrico e a série gerada pela estimativa de satélite no pixel em que o posto se encontra, lembrando que cada pixel possui, aproximadamente, 625 km². Por ser um método direto, no qual a série estimada no pixel é confrontada com a série do respectivo posto, serve para uma análise preliminar, pois tem tendência a apresentar resultados com correlações (r) inferiores ao método de interpolação.

Isso é consequência de que o pluviômetro é uma estimativa pontual, enquanto que o satélite representa uma estimativa média no pixel.

Na comparação de superfícies, os dados da imagem de satélite (que é uma superfície), são comparados com uma superfície (Modelo Numérico do Terreno) resultante da interpolação dos dados observados de precipitação dos 25 postos utilizados. Tal superfície de dados observados foi gerada pelo método do inverso do quadrado da distância IDW. De acordo com Collischonn (2009), as estimativas de precipitação por satélite fornecem boa representatividade espacial dos eventos de chuva, porém, erram quando comparados com valores de campo. Dessa forma, o ideal é corrigir os dados de satélite amparado em medições de campo.

Coeficiente de Correlação (r):

A equação 1, representa a associação linear entre as estimativas de chuva por satélite e pluviômetro.

$$\Gamma = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Pi - P)(Zi - Z)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Pi - P)^{2}} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (Zi - Z)^{2}}}$$
[1]

Sendo Pi a precipitação observada no momento i; P é a precipitação média da série; Zi, a precipitação estimada pelo satélite no momento i; e Z é a precipitação média do satélite. Este coeficiente assume valores entre -1 e 1.

- $\mathbf{r} = 1$ significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis.
- **r** = -1 significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis. Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui.
- r = 0 significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado r = 0 deve ser investigado por outros meios.

Erro quadrado médio (EQM):

Avalia o erro usando o quadrado das diferenças entre os dados de satélite e pluviômetro, representado em porcentagens. O EQM fornece um meio de escolher o melhor estimador: um EQM mínimo frequentemente, mas nem sempre, indica a variação mínima e, portanto, um bom estimador. Um dos problemas é que o EQM coloca mais peso em grandes

erros do que em pequenos (resultado do termo de cada quadratura), enfatizando, assim, dados discrepantes de maneira inconsistente com a mediana de dados de amostra (equação 2).

$$EQM = 100x \frac{\sqrt{\frac{1}{n}} \sum_{i=1}^{n} (Si - Gi)^{2}}{\frac{\sum_{i=1}^{n} Gi}{n}}$$
[2]

Erro médio (EM):

Representa a diferença média entre as intensidades de chuva por satélite e pluviômetro, representado em milímetros. Ou seja, caso a soma de erros positivos seja igual à soma de erros negativos, o modelo de previsão é imparcial, isto é, a soma é próxima de zero (equação 4).

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (Si - Gi)$$
 [3]

Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (NS):

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NASH; SUTCLIFFE, 1970) é utilizado para avaliar o poder preditivo de modelos hidrológicos, e, neste caso, da chuva estimada pelos satélites "Sat". O coeficiente de eficiência pode variar de - ∞ a 1. Uma eficiência de 1 (E = 1) corresponde a uma combinação perfeita do modelo aos dados observados. Uma eficiência de 0 (E = 0) indica que as previsões do modelo são tão precisos como a média dos dados observados, enquanto que uma eficiência inferior a zero (E <0) ocorre quando a média observada é um melhor preditor do que o modelo ou, em outras palavras, quando a variância residual (descrita pelo numerador na equação 3), é maior que a variância dos dados (descrito pelo denominador(equação 5)).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (PSat(t) - Pobs(t))^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (Pobs(t) - P)^{2}}$$
[4]

 $P_{obs}(t)$ é a precipitação observada no intervalo de tempo t no posto pluviométrico; P_{Sat} (t) é a precipitação estimada pelo satélite no intervalo de tempo t; Σ indica o somatório para todos os intervalos de tempo t e P indica a precipitação média da série observada.

5.7 Estatísticas qualitativas

Verificações pontuais entre as séries diárias interpoladas e as estimadas pelos produtos 3B42 V6, 3B42 V7, 3B42 *Real Time* e CMORPH serão realizadas através de alguns índices

de desempenho ou em inglês *Skill Scores* (WILKS, 2006). Para esse tipo de comparação, as séries temporais de precipitação foram transformadas na forma de código binário (valores de 0 e 1), indicando a ocorrência ou a não ocorrência do evento de chuva. Um evento é identificado quando a estimativa de chuva ou a chuva observada é maior que um determinado limite ou limiar (nesse caso, adotado em 1 milímetro). A combinação de diferentes possibilidades entre observações e estimativas define diferentes parâmetros.

Para cada combinação de valores avaliados, existem 4 possibilidades diferentes (a, b, c, d como mostra a) – acertos de chuva, falso alarme, evento não detectado e acerto em dia seco. Baseados nos valores finais dessas categorias, alguns índices podem ser determinados como os mostrados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Tabela de contigência dos possíveis eventos para o limite selecionado (adaptada de Wilks, 2006).

	*	Precipitação observada		
		Sim	Não	
Precipitação estimada	Sim	A	В	
	Não	С	D	

De acordo com Wilks (2006), o índice PC é simplesmente a fração de "n" de eventos estimados que a previsão não probabilística foi capaz de prever corretamente o evento ou a não ocorrência do evento. O índice H é a razão entre as previsões corretas e o número de vezes que este evento ocorreu. No índice de falsos alarmes (FAR), o evento foi previsto para ocorrer, mas não foi observado na região. O CSI é o número de corretas previsões "Sim", dividido pelo número total de ocasiões em que o evento foi previsto e ou observado. Ele pode ser visto como uma proporção correta para a quantidade de previsões, após serem desprezadas as previsões corretas da não ocorrência do evento (Tabela 5.3).

Tabela 5.3- Breve descrição dos índices de desempenho derivados da tabela de contingência.

Percentual de detecção (PC)	$= \frac{a+d}{n} \qquad n=a+b+c+d$
Percentual de acertos (H)	$=\frac{a}{a+c}$
Índice de falso alarme (FAR)	$=\frac{b}{a+b}$
Índice de sucesso crítico (CSI)	$=\frac{a}{a+b+c}$

Todos os índices obtidos da forma citada para cada uma das 48 localizações dos centros dos pixels, pela comparação entre séries interpoladas dos dados observados e séries estimadas pelos produtos derivados de dados de satélites, foram mapeadas. Posteriormente, comparações com diferentes valores de limiares serão testados para avaliar o desempenho das estimativas no sentido quantitativo dos eventos, ou seja, quais os percentuais de eventos observados de diferentes volumes os produtos conseguem efetuar a correta detecção.

Discriminante de Hanssen & Kuipers

O discriminante de Hanssen e Kuipers (HK), também conhecido em inglês como *True skill statistic*, indica a eficiência da estimativa por satélite de separar os eventos chuvosos dos eventos de estiagem. O alcance de HK varia de -1 a 1, sendo que para uma eficiência perfeita, o primeiro termo da direita da equação 6 deve ser unitário, e o segundo, nulo. Nesse índice, são utilizados todos os elementos da tabela de contingência (equação 5).

$$HK = \frac{a}{a+c} - \frac{b}{b+d} \quad [5]$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira etapa da avaliação dos produtos derivados de satélites (como descrito na metodologia, foi realizada a avaliação simplificada ponto á ponto, na qual séries históricas de postos pluviométricos da região são confrontados com estimativas de satélite, selecionando o exato pixel adotado pelo satélite no qual o posto se encontra inserido, porém devido ás baixas qualidades dos resultados encontrados pelo autor, e por outros autores (Ex, AS-SYAKUR et al., 2011) que a testaram a mesma metodologia, a mesma foi utilizada apenas para uma avaliação preliminar sobre o produto V6.

Posteriormente foram selecionados 48 pixels sobre a região da Bacia do Alto Jacuí, e, utilizando dados de 25 postos pluviométricos da região, por interpolação foram geradas 48 séries nas localizações de cada centro de pixel. Assim foram executadas 48 avaliações pixel a pixels, confrontando qualitativa e quantitativamente superfícies de chuva diárias obtidas de dados observados (por interpolação) e estimados por diferentes produtos derivados de satélite

Na avaliação qualitativa as séries foram transformadas para a forma binária a partir de um valor limiar (1 mm). Isto é, se houve detecção de volume pluviométrico superior a 1 mm, o valor é 1, se o valor for inferior a 1 mm, é igual a 0. Então foram submetidas a uma avaliação de ocorrência e não ocorrência de eventos através de diversos índices gerando mapas com os

resultados espacializados do desempenho do satélite nas detecções do comportamento pluviométrico da região selecionada.

Posteriormente foram realizadas as avaliações quantitativas entre as séries, na qual, primeiramente serão aplicadas estatísticas básicas para avaliar o comportamento volumétrico das estimativas dos produtos em relação aos dados observados, onde o limiar que primeiro era de 1 mm, recebeu acréscimos, e a cada aumento foram executadas avaliações sobre o percentual de detecção de eventos de tal magnitude. Para avaliar o comportamento dos produtos de satélites desde eventos de baixa intensidade, até eventos mais extremos. Os resultados obtidos para os diferentes produtos foram expressos com uma comparação entre os desempenhos dos quatro produtos avaliados. Finalmente, foi explorada uma metodologia na tentativa de aumentar a qualidade dos dados estimados.

6.1 Avaliação pontual ou direta

Nesta etapa a série de precipitação observada no pluviômetro foi comparada diretamente com a série estimada do satélite no respectivo pixel em que o pluviômetro se encontra, lembrando que cada pixel possui uma área de aproximadamente 625 Km² e as estimativas de precipitações derivadas de dados dos satélites é gerada a partir da média de todo o pixel. Assim, diversos autores como por exemplo, Collischonn (2008) indicaram que não se trata da forma mais indicada de avaliação.

Considerando a limitação espacial, a metodologia constitui uma avaliação preliminar entre os valores estimados pelo satélite e os valores observados. Para a comparação foram escolhidos 3 postos pluviométricos da bacia, obtendo-se resultados bastante semelhantes nos três postos do estudo. Assim, serão apresentados os resultados de apenas um dos postos.

Em geral o produto 3B42-V6 subestima as precipitações observadas (Figura 6.1), apresentando uma correlação (r) de 0.25, desta forma, inicialmente, se observa uma baixa qualidade nas estimativas do satélite.

A baixa correlação justamente se explica pela metodologia comparar uma medida pontual (pluviômetro) com uma medida espacial (pixel de 625 Km²). Problema esse que somado ao grande número de falhas dos postos pluviométricos da região, fizeram com que a metodologia pontual fosse utilizada apenas nesse teste preliminar e posteriormente descartada.

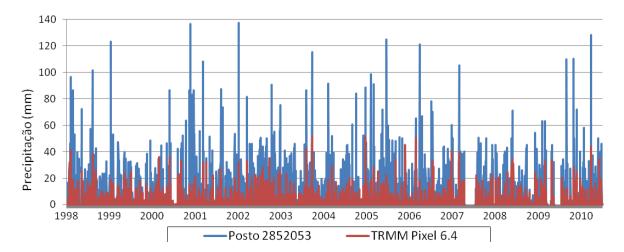


Figura 6.1- Gráfico do confronto dos dados pluviométricos do posto de Não Me Toque e no pixel do satélite em que o posto se encontrava.

Posteriormente os dados foram confrontados em um gráfico semelhante à curva duplamassa, na comparação (Figura 6.2) observa-se que o produto 3B42-V6 se mostrou capaz de estimar apenas 34% do volume total observado no posto pluviométrico. A presença de falhas e erros no monitoramento, fazem com que a comparação pontual possa comprometer a qualidade da avaliação.

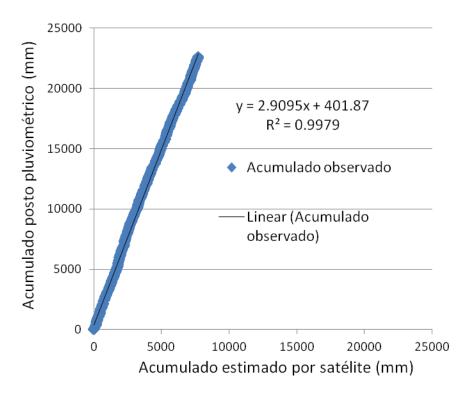


Figura 6.2 - Precipitação acumulada no posto pluviométrico de Soledade e estimada pelo produto 3B42-V6.

6.2 Avaliação entre campos de precipitações

Para realizar uma comparação mais realista, os campos de precipitação estimados pelos diferentes produtos derivados do satélite foram comparados com o campo gerado a partir da interpolação da chuva observada através da metodologia da inversa da distância ao quadrado (ou em inglês IDW).

Como já mencionado, a análise é realizada uma primeira análise qualitativa com a finalidade de avaliar se o satélite é capaz de identificar a ocorrência ou não de chuva em diferentes situações, através dos índices já discutidos na metodologia.

6.3 Produto TRMM 3B42 Versão 6 (3B42 V6)

Analise qualitativa

Nesta avaliação vale lembrar que as estimativas de satélites detectam informações que são alocadas no ponto central do pixel. Obviamente, por se tratar de um elemento finito de área, a resposta do pixel (aprox. 625 Km²) é uma média das respostas dos diferentes alvos contidos nele, havendo uma perda de detalhamento nesse processo, quando comparado com amostras pontuais (Collischonn B., 2006).

O primeiro índice apresentado nesta análise é o PC (Figura 6.3), que representa o percentual de dias que o satélite detectou de forma correta, a ocorrência e a não ocorrência do evento de chuva. De modo geral o produto apresentou um bom percentual de detecção (80% em média), obtendo melhores resultados no noroeste da região em estudo, provavelmente devido a maior densidade de pluviômetros. Essa maior densidade de pluviômetros, faz que a superfície de chuva observada (gerada pela interpolação dos dados dos pluviômetros) seja mais precisa, e, portanto, há uma maior coincidência com o satélite.

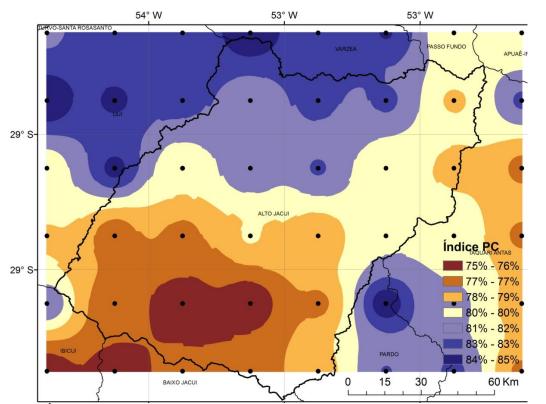


Figura 6.3 - Índice de desempenho PC resultante dos 48 confrontos espacializados sobre a região de estudo. 54° W 53° W 53° W

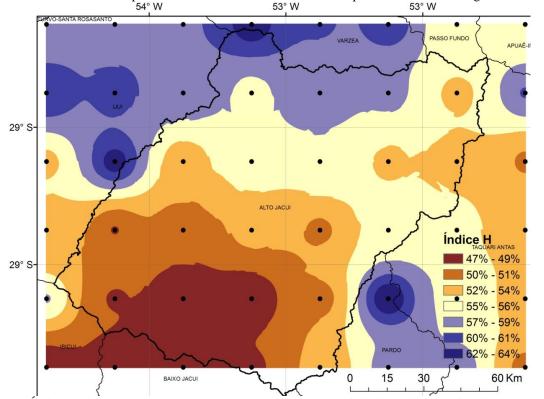


Figura 6.4 - Índice de desempenho H resultante dos 48 confrontos espacializados sobre a região de estudo...

O índice H (Figura 6.4) avalia o percentual de vezes que os sensores dos satélites detectaram de forma correta, a ocorrência de um evento de chuva. Observa-se um comportamento similar ao índice anterior, perdendo qualidade nas regiões menos povoadas de

pluviômetros, indicando dois tipos de erros, por um lado, o satélite não detecta em média 46% dos eventos de chuva sobre a região, e, por outro lado, apresenta dificuldades para representar corretamente as quantidades pluviométricas dos eventos, subestimando os que foram detectados como será visto em detalhe mais na frente.

O índice FAR (Figura 6.5), apresenta a taxa percentual de falsos alarmes (o evento foi previsto para ocorrer, mas não foi observado na região), resultando em média de apenas 8%, ou seja, a maior parte dos erros do satélite ocorre na detecção dos eventos de chuva, provavelmente causado pela dificuldade de detectar eventos convectivos de curta duração, devido a resolução temporal de 3 horas que no pluviômetro, por ser totalizador, nos pluviômetros são registrados.

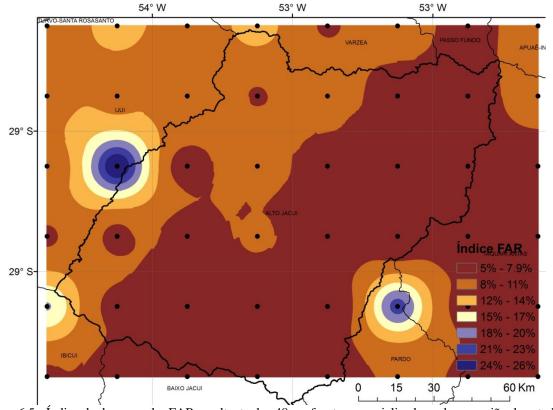


Figura 6.5 - Índice de desempenho FAR resultante dos 48 confrontos espacializados sobre a região de estudo..

O índice Hassen Kuipers (Figura 6.6) avalia o desempenho percentual do estimador na correta discriminação entre a ocorrência de evento e a não ocorrência, ou seja, qual grande é a destreza do satélite na execução dessa diferenciação. Novamente nota-se um melhor desempenho do produto na região noroeste da área do estudo, porém a versão 6 apresentou um percentual médio da correta discriminação de 51%, ou seja, aproximadamente a metade dos eventos de ocorrência ou não ocorrência ele não consegue diferenciar, lembrando que a maioria dos erros ocorrem na detecção do evento.

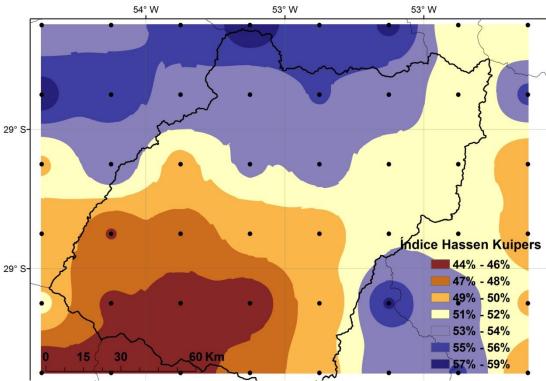


Figura 6.6 - Índice discriminante de Hassen Kuipers espacializados sobre a região de estudo.

Analise quantitativa

A versão 6 do produto 3B42 claramente subestima as precipitações, o que fica claro ao observar as diferenças entre as médias diárias estimadas pelo satélite e as médias diárias observadas. Apesar disso nota-se que a variabilidade espacial do comportamento pluviométrico observado na região, foi detectada de forma razoavelmente equivalente pelo produto V6 do satélite TRMM (Figura 6.7 e Figura 6.8).

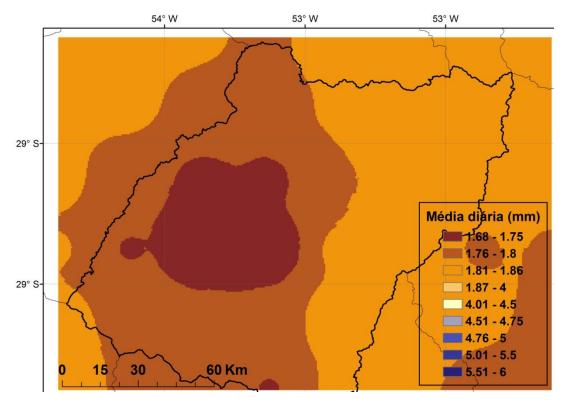


Figura 6.7 - Interpolação das médias diárias de precipitações estimadas (3B42 V6) nos 48 pixels da região. $^{53^\circ\text{W}}$ $^{53^\circ\text{W}}$

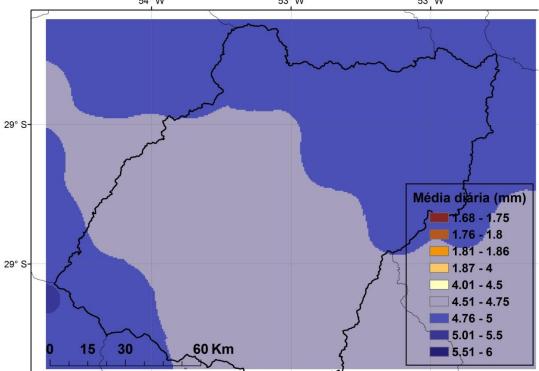


Figura 6.8 - Interpolação das médias diárias de precipitações observadas nos 48 pixels da região.

Para a verificação de alguma mudança de comportamento ao longo do tempo, realizou-se o confronto entre as médias diárias das 48 séries observadas e das estimadas pelo produto 3B42-V6 sobre toda a região (Figura 6.9). Fica claro que as estimativas do TRMM não apresentam capacidade de estimar corretamente os volumes observados durante todo o

período de estudo, com exceção de alguns eventos raros em que o satélite detecta volumes em excesso.

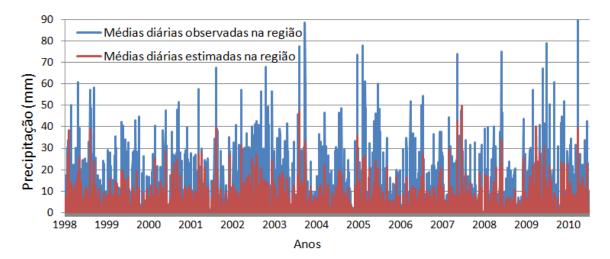


Figura 6.9 - Comparativo entre as médias diárias observadas e estimadas na região (1998 á 2010).

Porém o satélite se mostrou capaz de detectar de forma correta a variabilidade anual

das precipitações mensais 250 Média mensal observada 200 Média mensal estimada (3B42-V6) Precipitation (mm) 150 100

Figura **6.10**).

50

0

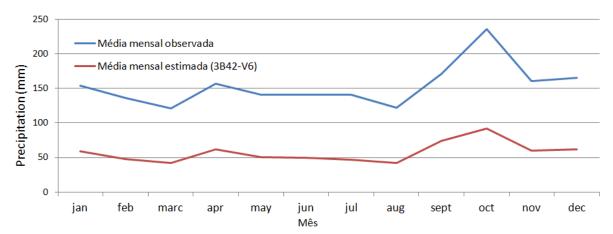
jan

feb

marc

apr

may



jun

Mês

jul

aug

sept

oct

nov

dec

Figura 6.10 - Confronto de médias mensais entre o produto V6 e dados observados.

Para uma avaliação do comportamento médio dos eventos observados e estimados, foram selecionados 4 pixels ao acaso, e as 8 séries foram ordenadas de forma decrescente, e então o primeiro quartil de cada uma delas foi utilizado para montar a tabela, ou seja, são informações resultantes do séries com o ¼ com os maiores eventos de cada série (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso.

de 4 pixeis do dediso.						
	Ponto	1°	Observado	3B42		
_	(ao acaso)	Quartil	(mm)	V6 (mm)		
	1	Média	18.9	7.4		
	1	Mediana	14.2	4.8		
	2	Média	17.6	7.2		
	2	Mediana	13.8	4.6		
	3	Média	19.2	7.4		
	3	Mediana	12.7	4.6		
	4	Média	18.8	7.2		
	4	Mediana	14.4	4.6		

Apesar de subestimar as precipitações, ao confrontarmos os acumulados das séries diárias, nota-se que a versão 6 do produto 3B42 foi capaz de estimar em média apenas de 36% da precipitação total observada na região do estudo ao longo de todo o período analisado. Porém observa-se um comportamento constante entre o 3B42-V6 e os dados observados durante todo o período Figura 6.11.



Figura 6.11 - Acumulados observado e estimado em um dos pixels da comparação.

Apesar da grande subestimativa dos volumes observados pelo satélite, as correlações (r) entre as séries apresentaram valores razoáveis, resultaram em um valor médio de 0.71

(Figura 6.12), revelando boa concordância no comportamento diário entre as séries, porém apresentaram correlações menores que 0.6 em duas das 48 células.

Outras análises que foram estimadas foram o erro médio quadrático, os totais anuais, e o desvio padrão. A Tabela **6.2** apresenta apenas a média dos valores encontrados nos 48 confrontos das séries observadas e estimadas, devido a existência de um comportamento similar em todos os confrontos e economia de espaço, porém a tabela com as informações completas com resultados estatísticos que não foram apresentados de forma espacializada ou em tabelas do produto V6 estarão dispostas no apêndice A.

Tabela 6.2- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos.

Média	Média		Total Sat	_			
Obs(mm)	Sat(mm)	Obs (mm)	(mm)	(mm)	Obs(mm)	Sat(mm)	Kuipers
5.00	1.80	23742	8544	8.6	10.7	5.0	51%

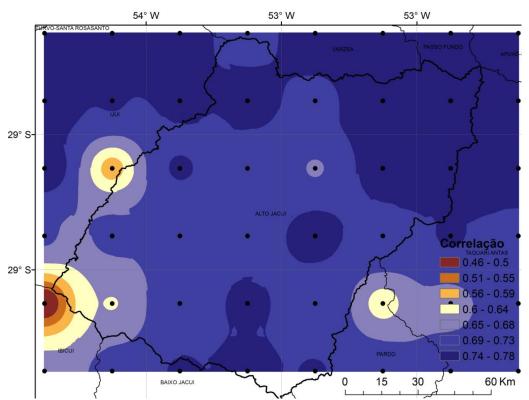


Figura 6.12 – Correlações (r) entre séries diárias de precipitações derivadas (3B42 V6) e observadas na região.

A localização do pixel com a correlação mais problemática do estudo (1.5 - coluna 1 e linha 5), coincidiu exatamente com o pixel que possui a mais alta média das distâncias até os 25 postos pluviométricos (do lado oeste do estudo) utilizados na interpolação. Lembrando que distâncias menores entre postos e o pixel é de fundamental importância para gerar uma série que caracterize de forma correta o comportamento pluviométrico das proximidades, fato que

somado ao grande número de falhas exige que a interpolação busque dados em postos mais distantes do centro do pixel, comprometendo a fidelidade pluviométrica da área.

O segundo ponto crítico se localiza nas proximidades do divisor de águas da bacia hidrográfica, local com relevo complexo, podendo se tratar de uma região com micro clima desconhecido ou com ventos acentuados, fatos que podem comprometer a qualidade das medições pluviométricas e assim indicar um desempenho insatisfatório do satélite quando o problema está nas observações no solo.

Para última avaliação foi modificado o limiar de 1 mm para a ocorrência do evento, para valores superiores com a finalidade de avaliar o comportamento percentual do desempenho do satélite na detecção de acumulados diários de eventos com maiores intensidades.

A série estimada pelo satélite apresentou um grande decréscimo no percentual de detecção dos volumes diários conforme é elevado o limiar da altura pluviométrica observada (Tabela **6.3**), taxas que em média partem de 44% de detecções para eventos diários maiores ou iguais a 5 milímetros, decrescendo até quase nulos 1%, para a detecção de volumes diários superiores a 60 milímetros.

Tabela 6.3- Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários.

Limite (mm)	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
3B42 V6 (%)	44.0	31.8	23.0	16.9	12.9	9.9	7.5	6.2	4.6	3.5	1.6	1.0

6.3.1 Produto TRMM 3B42 Versão 7 (3B42 V7)

Analise qualitativa

O produto 3B42 foi totalmente reprocessado com uma série de ajustes em 2012, passando da versão 6 (V6) para versão 7 (V7).

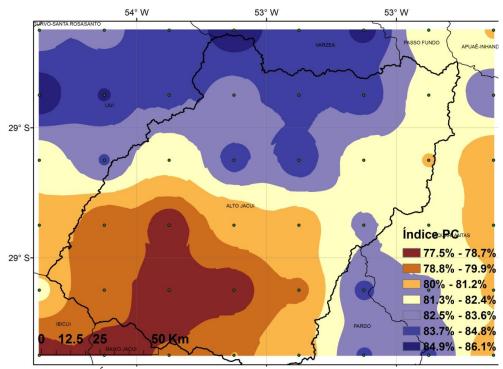


Figura 6.13 - Índice de desempenho dos acertos na ocorrência e não ocorrência (PC).

O índice PC (Figura 6.13) apresentou comportamento espacial muito similar à versão anterior (3B42-V6) do produto avaliado, e em relação aos valores observados, mostrou um percentual de detecção médio de 82%, levemente superior ao 3B42-V6 (80%). Ou seja, o produto derivados das estimativas de satélite apresentou uma taxa média de detecção de dias com eventos chuvosos e de dias secos de 82%.

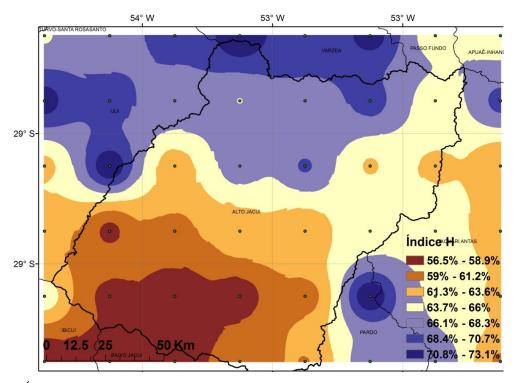


Figura 6.14- Índice de desempenho H resultante das 48 comparações executadas sobre a região.

Já no índice de acertos (H) que avalia a detecção apenas dos eventos que ocorreram, o produto V7 apresentou uma média superior de acertos em relação a versão anterior. Resultando em uma média de detecção de 65% (Figura 6.14), contra 54% do V6. Novamente se observa melhores desempenhos nas regiões noroeste da zona do estudo.

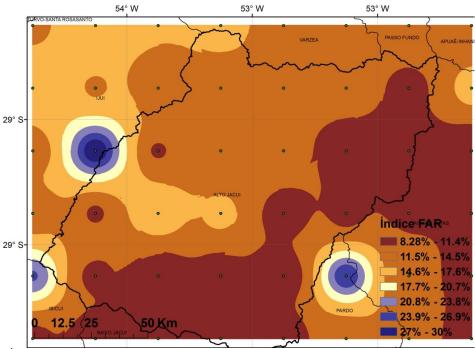


Figura 6.15 - Índice de desempenho FAR resultante das 48 comparações executadas sobre a região.

Apesar do melhor desempenho nos acertos das ocorrências de eventos (H), o produto V7 apresentou resultados inferiores, com índice FAR médio de 13% (Figura 6.15), contra apenas 8% na versão anterior (3B42-V6).

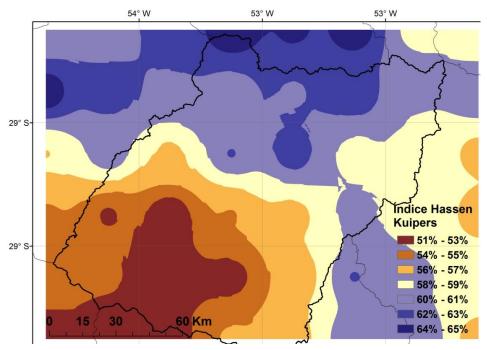


Figura 6.16 - Índice discriminante de Hassen Kuipers resultante das 48 comparações executadas sobre a região.

O Índice Hassen Kuipers também apresentou acréscimo na qualidade com a nova versão, aumentando de um percentual médio de 51% (3B42-V6), para em média 58% na versão 7 (Figura 6.16).

A Tabela **6.4** apresenta apenas as médias de alguns dos valores estatísticos encontrados nos 48 confrontos das séries, devido a existência de um comportamento similar em todos os confrontos, e economia de espaço.

Tabela 6.4- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos.

Média Obs(mm)	Média Sat(mm)	Total Obs (mm)		_	Desvio Obs(mm)		
5.01	5.57	25626	28457	10.0	10.8	14.6	58%

Analise quantitativa

De modo geral as médias diárias estimadas pelo V7 (Figura 6.17) superestimam levemente os volumes médios diários observados () na região, porém visualmente mostrou-se apto a detectar as variações espaciais do comportamento pluviométrico da zona do estudo, e apesar de possuir o EQM médio maior que a versão antiga, o produto apresentou maiores proximidades das médias observadas em relação ao V6.

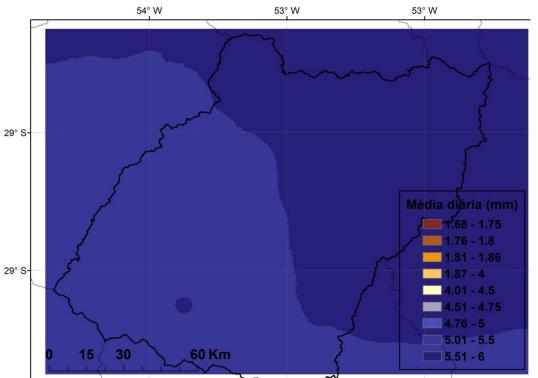


Figura 6.17 – Interpolação das médias diárias de precipitações estimadas (3B42-V7) na região (1998 á 2011).

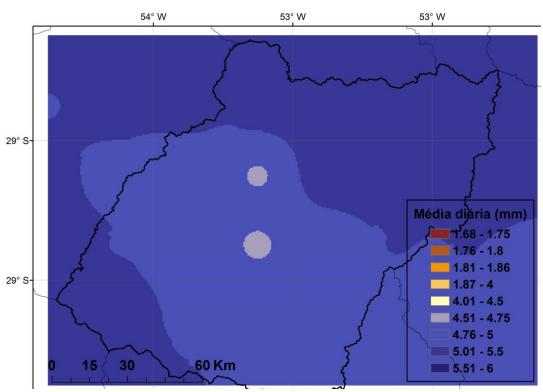


Figura 6.18 - Interpolação das médias diárias de precipitações observadas na região (1998 á 2011).

Ao confrontar as séries observada e estimada de um dos 48 pixels selecionado ao acaso (Figura 6.19), nota-se claramente a superestimativa do V7 quase que na totalidade dos eventos.

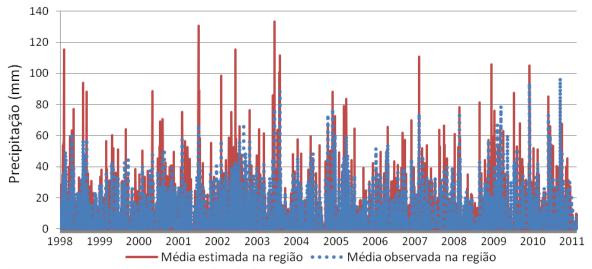


Figura 6.19 - Comparativo entre as médias diárias observadas e estimadas de toda a região do estudo.

O padrão da superestimativa também se mostrou presente nos eventos mais extremos das séries, porém tal superestimativa é leve (em média 11%), resultando em médias mensais de razoável similaridade com as observadas entre os quatro produtos testados (Figura 6.20).

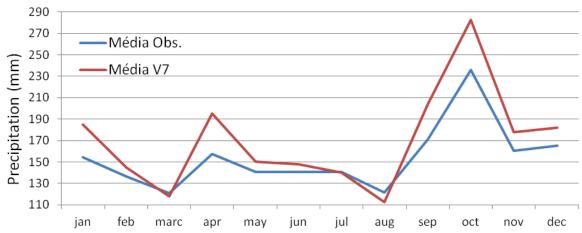


Figura 6.20 – Confronto das médias mensais observadas e estimadas pelo produto V7 (1998 á 2011).

A grande similaridade entre dados observados e estimados são retratados na homogeneidade das linhas contendo os acumulados dos produtos (Figura 33). Apesar de superestimar as precipitações, ao confrontarmos os acumulados diários observa-se um comportamento bastante similar entre as retas.

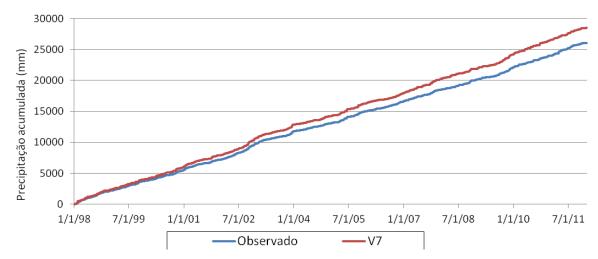


Figura 6.21 – Acumulado diário das precipitações observadas e estimadas de uma das comparações.

A versão 7 do produto 3B42 superestima em média 11% os volumes das precipitações totais observadas na região, contra a subestimativa média de 64% do V6, ou seja o V6 consegue estimar em média apenas 34% do volume observado.

Para obtermos uma noção do comportamento dos valores máximos diários observados e estimados, apresenta-se a Tabela 6.5, a partir da seleção do primeiro quartil das séries observadas e estimadas em 4 pontos selecionados ao acaso, após serem ordenadas de forma decrescente.

Tabela 6.5- Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso.

	1°	Observado	3B42
Ponto	Quartil	(mm)	V7(mm)
1	Média	19.1	22.0
1	Mediana	14.1	13.3
2	Média	17.5	21.8
۷	Mediana	13.7	13.9
3	Média	19.0	21.9
3	Mediana	12.5	14.5
4	Média	18.8	22.8
4	Mediana	14.4	15.0

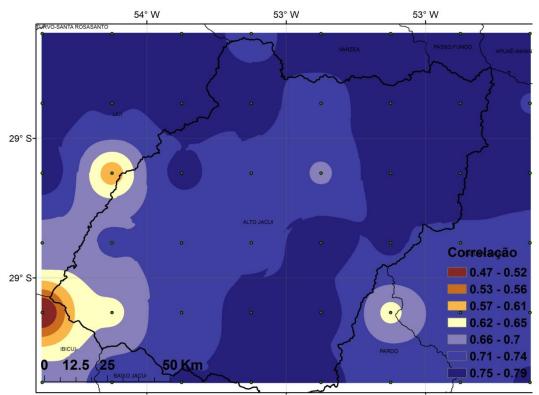


Figura 6.22 – Correlações (r) entre séries diárias de precipitações derivadas (3B42 V6) e observadas na região.

Apesar do significativo acréscimo de qualidade na parte quantitativa das estimativas do V7 perante os volumes observados e maior proximidade das médias, as correlações (r) apresentaram um acréscimo médio de 0,015 em relação a correlação (r) média do produto V6.

As tabelas contendo todas as informações estatísticas do produto 3B42 V7 que não foram apresentadas na forma de mapas ou tabelas, devido á similaridade dos resultados e economia de espaço, são alocadas no apêndice B. A avaliação quantitativa de detecção das estimativas do produto foram realizadas modificando o limiar, que anteriormente era 1 mm para identificar a ocorrência do evento, para valores superiores, para verificar o desempenho na detecção de volumes diários mais significativos.

Na avaliação de desempenho quantitativo de detecção, o produto V7 (Tabela 6.6) apresentou melhores percentuais de detecção quando comparado a versão 6. Percentual que iniciou com uma média detecção de 68%, para volumes diários iguais ou maiores que 5 milímetros de contra os 44% da versão 6, destacando o grande acréscimo de qualidade que o reprocessamento da versão 6 trouxe para a versão 7, aumentando a taxa de detecção média inicial em 24%. Como visto no V6, conforme foram sendo aumentados os volumes o V7 também perdeu qualidade, decrescendo até em média 56.9%, para detecção de eventos iguais ou superiores a 60 milímetros, média muito superior aos quase nulos 1,0% da versão 6.

Tabela 6.6- Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários.

Limite (mm)	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
3B42 V7(%)	68.0	67.5	65.8	64.1	62.5	62.1	61.6	61.5	60.2	58.9	57.8	56.9

6.3.2 Produto 3B42 Real Time

Analise qualitativa

A avaliação qualitativa dos potenciais de detecção da ocorrência dos eventos e da não ocorrência resultantes da tabela de contingência serão apresentados á seguir. O índice PC (Figura 6.23) avalia os acertos na ocorrência e na não ocorrência dos eventos, este apresentou a variabilidade espacial dos desempenhos semelhantes aos outros dois produtos (3B42-V6 e V7) similaridade que provavelmente esteja ligada a densidade e qualidade dos medidores pluviométricos da região, detectando de forma correta em média 80% das ocorrências e não ocorrências de eventos.

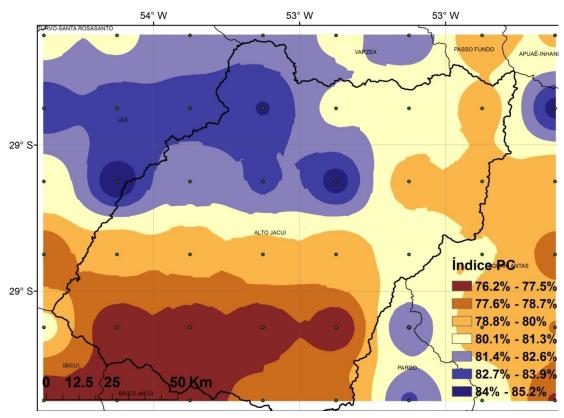


Figura 6.23 - Índice de desempenho PC resultante das 48 comparações executadas sobre a região.

O Índice que avalia apenas o percentual de detecção de eventos chuvosos que foram observados (H), resultou em uma média de 62% (Figura 6.24), média 3% inferior á média do produto 3B42- V7 e 8% superior em relação ao produto 3B42-V6 em 8%.

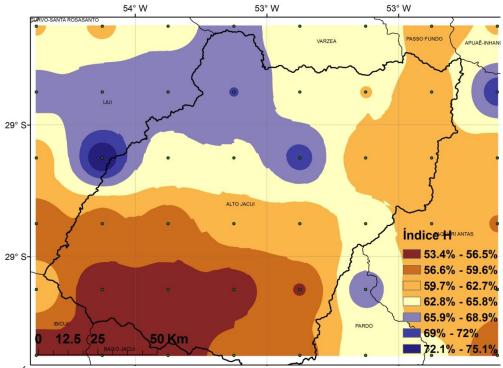


Figura 6.24 - Índice de desempenho H resultante das 48 comparações executadas sobre a região.

Apesar do desempenho levemente superior ao produto V6 e similaridade ao V7, o Real Time apresentou índices maiores no índice FAR, apresentando uma média de 15% (Figura 6.25) para os eventos que são estimados, porém não ocorrem de fato ou não só observados pelos pluviômetros em terra.

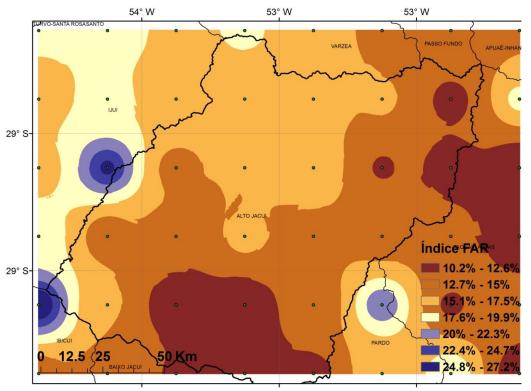


Figura 6.25 - Índice de desempenho FAR resultante das 48 comparações executadas sobre a região.

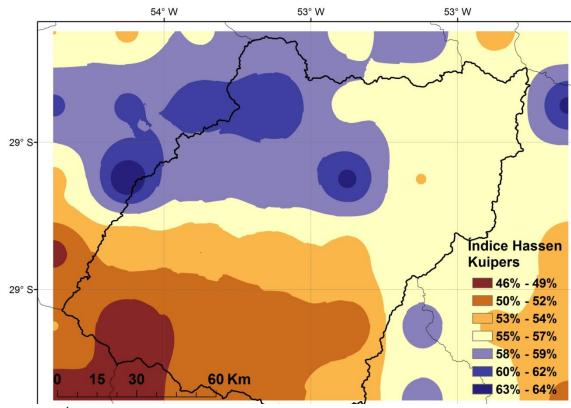


Figura 6.26 - Índice discriminante de Hassen Kuipers resultante das 48 comparações executadas sobre a região.

O produto 3B42 Real Time apesar de apresentar os resultados das estimativas em escala temporal quase real, apresentou uma média do índice Hassen Kuipers de 55% (Figura 6.26), valor bastante razoável para o produto que não possui a utilização de dados observados na sua construção, localizando-se acima do produto V6 e abaixo do V7 nesse índice.

A Tabela 7 apresenta apenas a média dos valores encontrados nos 48 confrontos das séries, devido a existência de um comportamento similar em todos os confrontos.

Tabela 6.7- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos.

Média	Média	Total	Total Sat	EQM	Desvio	Desvio	Hanssen
Obs(mm)	Sat(mm)	Obs (mm)	(mm)	(mm)	Obs(mm)	Sat(mm)	Kuipers
5.27	6.53	5693	7115	14.41	11.43	19.49	55%

Análise quantitativa

O produto Real Time do TRMM por ser disponibilizado quase que em tempo real, não leva em conta no processo de produção algumas etapas. De modo geral o produto superestimou os volumes observados no respectivo período, de acordo com as médias estimadas (Figura 40) e as médias observadas (Figura 41).

Ao confrontarmos as médias regionais das séries observadas e estimadas (Figura 6.29), nota-se uma menor uniformidade do comportamento ao compararmos com os produtos anteriores (3B42-V6 e 3B42-V7), aleatoriedade que pode ser explicada pelo fato de o produto não levar em conta informações observadas (em medidores) na produção da estimativa, o que elevou o EQM á média mais alta entre os produtos do TRMM, de 14.41 milímetros.

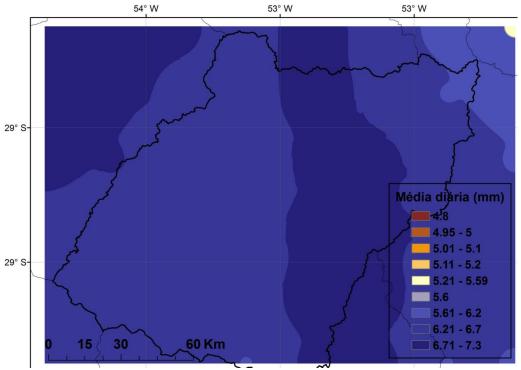


Figura 6.27 - Interpolação das médias diárias estimadas (3B42 Real Time) nos 48 pixels da região (2008 á 2011).

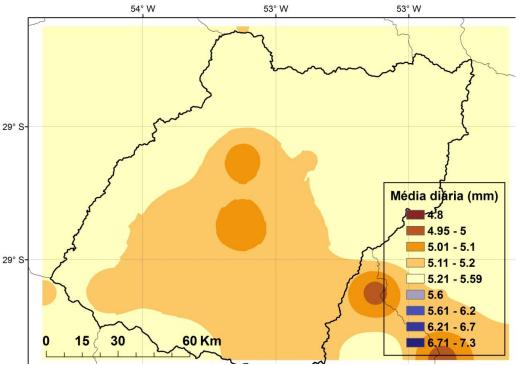


Figura 6.28 - Interpolação das médias diárias observadas nos 48 pixels da região (2008 á 2011).

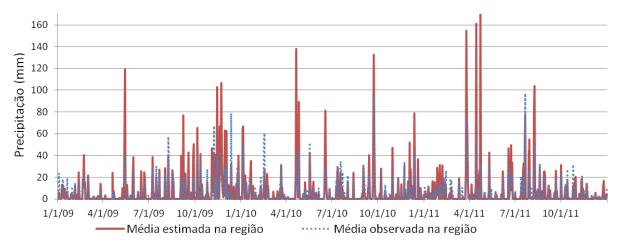


Figura 6.29 - Comparativo entre as precipitações médias diárias regionais observadas e estimadas.

Para obtermos uma noção do comportamento dos valores máximos diários observados e estimados, foi criada a Tabela **6.8** a partir da seleção do primeiro quartil das séries observadas e estimadas em 4 pontos selecionados ao acaso, após serem ordenadas de forma decrescente, demonstrando que as superestimativas são bastante significativas.

Tabela 6.8- Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso.

de i pineis d	io acaso.		
	1°	Observado	Real Time
Ponto	Quartil	(mm)	(mm)
1	Média	20.3	27.8
1	Mediana	13.9	16.7
2	Média	18.6	24.7
2	Mediana	14.9	11.3
3	Média	20.1	26.9
3	Mediana	14.2	15.0
4	Média	19.7	21.7
4	Mediana	14.6	13.2

Apesar de superestimar as precipitações, ao confrontarmos os acumulados das séries diárias observa-se um comportamento razoavelmente constante entre elas durante todo o período (Figura 6.30), porém a versão Real Time do produto 3B42 superestimou em média 25% dos volumes totais das precipitações observadas na região.

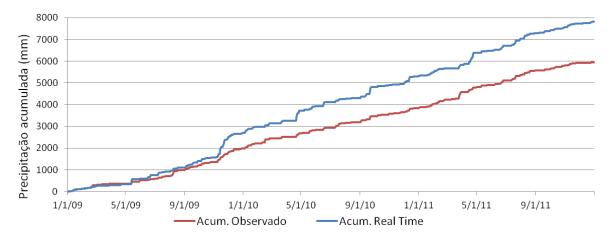


Figura 6.30 – Acumulados das precipitações observadas e estimadas em um dos pixels da comparação.

O produto Real Time do TRMM apesar de possuir as médias diárias estimadas mais próximas das observadas (em relação ao V6), apresentou as médias mensais com a menor similaridade (Figura 6.31) entre os produtos derivados dos dados do satélite TRMM (3B42-V6 e V7-3B42).

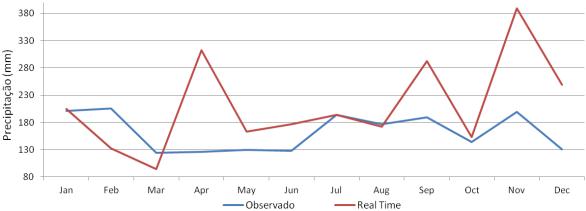


Figura 6.31 - Confronto entre as médias mensais de precipitação estimadas e observadas sobre a região.

Além do não ser capaz de detectar de forma correta as variações mensais, o produto Real Time apresentou também um decréscimo na qualidade das correlações (r), resultando em uma média de 0.68 (Figura 6.32), localizando-se abaixo dos dois produtos derivados de dados de satélites testados anteriormente (V6 e V7).

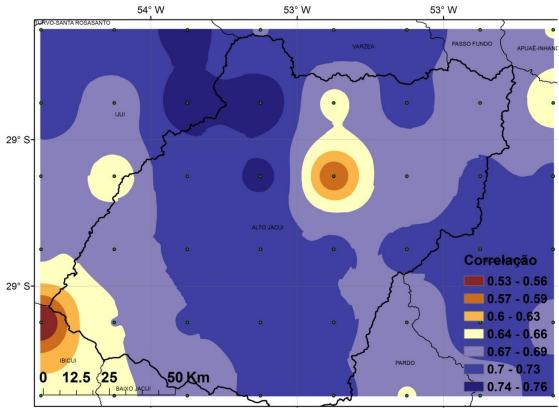


Figura 6.32 – Correlações (r) resultantes do confronto de precipitações diárias estimadas e observadas na região.

As tabelas contendo as informações estatísticas do produto Real Time que não foram apresentadas devido a similaridade dos resultados sobre a avaliação executado no produto serão alocadas no Anexo C.

A avaliação quantitativa de detecção das estimativas do produto foram realizadas modificando o limiar, que anteriormente era 1 mm para identificar a ocorrência do evento, para valores superiores, para verificar o desempenho na detecção de volumes diários maiores.

Na avaliação de desempenho quantitativo de detecção, o produto Real time apresentou percentuais para volumes diários iguais ou maiores que 5 milímetros de 61.4% (Tabela **6.9**). Vale destacar ainda que o percentual de detecção do Real Time para volumes diários iguais ou superiores a 60 milímetros foi em média de 41%, apresentando um decréscimo de apenas 20%.

Tabela 6.9- Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários.

Limite (mm)	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
Real Time(%)	61.4	61.5	59.7	56.7	56.7	56.7	55.9	55.0	48.1	43.6	40.2	41.0

6.3.3 Produto derivado do método CMORPH

Analise qualitativa

Para avaliações qualitativas das estimativas foram gerados mapas da interpolação dos resultados em cada pixel. O CMORPH apresentou melhor desempenho em detectar a ocorrência ou a não ocorrência dos eventos na região (Figura 6.33), atingindo um valor médio de 83% de acertos para o Índice PC.

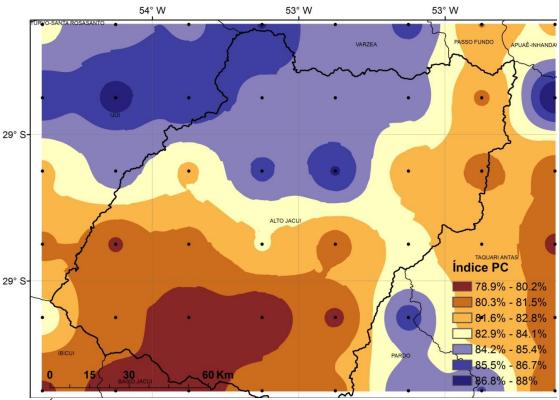


Figura 6.33 - Índice de desempenho PC das 48 comparações executadas sobre a região.

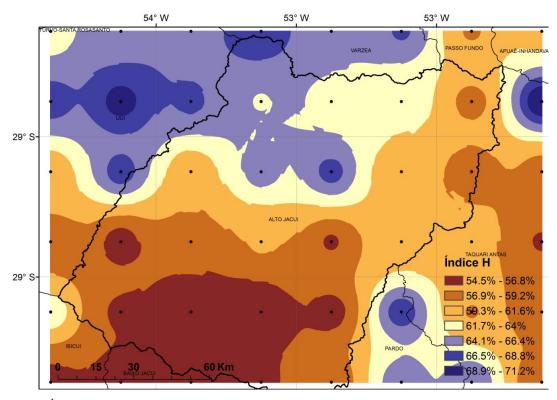


Figura 6.34 - Índice de desempenho H das 48 comparações executadas sobre a região.

O índice H (Figura 6.34) também apresentou um desempenho levemente melhor que o V6 do TRMM, porém o CMORPH ainda não é capaz de detectar em média 39% dos eventos chuvosos.

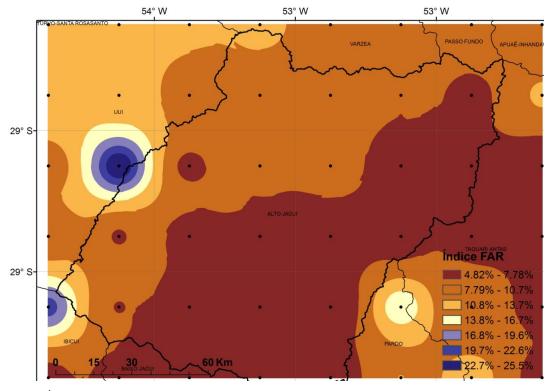


Figura 6.35 - Índice de desempenho FAR das 48 comparações executadas sobre a região.

O índice FAR resultante da avaliação do método CMORPH (Figura 6.35) obteve resultados bastante semelhantes ao V6, a média de falsos alarmes resultante foi de 9%, qualidade 1% inferior a menor percentagem dos produtos, a versão 6 (8%).

O que pode nos levar a pensar sobre um melhor desempenho em geral dos produtos, porém os mesmo são prejudicados pela falta ou falha de pluviômetros nas regiões, o que acaba por descaracterizar o comportamento pluviométrico, pois na interpolação dos pontos ocorre a necessidade da utilização de dados diários de locais distantes do pixel, fato que diminui a veracidade dos dados que caracterizam a região.

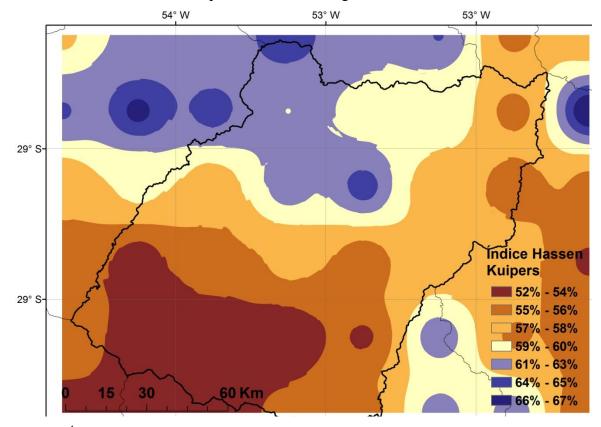


Figura 6.36- Índice discriminante de Hassen Kuipers das 48 comparações executadas sobre a região.

Apesar de apresentar resultados superiores na maioria das avaliações e por ser o produto que é produzido com o maior número de fonte de informações, o CMORPH apresentou a média do índice Hassen Kuipers equivalente ao V7, de 58%.

A Tabela **6.10** apresenta a média dos valores encontrados nos 48 confrontos das séries, devido a existência de um comportamento similar em todos os confrontos.

Tabela 6.10- Médias quantitativas encontradas nos 48 confrontos do CMORPH.

Média	Média Sat(mm)	Total Obs (mm)		EQM (mm)	Desvio Obs(mm)		
4.74	2.04	13856	5974	7.9	10.8	5.4	58%

Analise quantitativa

CMORPH, método que utiliza uma gama muito maior de fontes de informações, e se apresentou capaz de estimar em média apenas 43% dos volumes totais das precipitações, resultado levemente superior ao produto 3B42 V6 (36%), abaixo são apresentadas as espacializações das médias diárias das estimativas de precipitações derivadas de dados de satélites (Figura 6.37) e das médias observadas (Figura 6.38) no período do estudo.

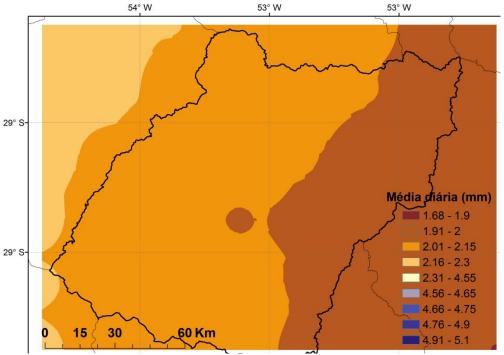


Figura 6.37 - Interpolação das médias diárias estimadas (CMORPH) nos 48 pixels da região (2003 á 2010).

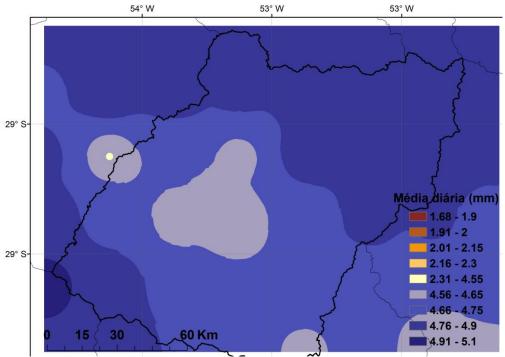


Figura 6.38- Interpolação das médias diárias de precipitações observadas nos 48 pixels da região (2003 á 2010).

Na Figura 6.39 são confrontadas as médias diárias observadas e a estimadas dos 48 pixels sobre a região pelo método CMORPH, nota-se que quase na totalidade dos eventos o satélite subestima as precipitações, porém, as estimativas de precipitação do CMORPH se mostraram superiores ás do TRMM V6, pois o método CMORPH se mostrou capaz de detectar em média 46% dos volumes precipitados observados, consequentemente com EQM inferior.

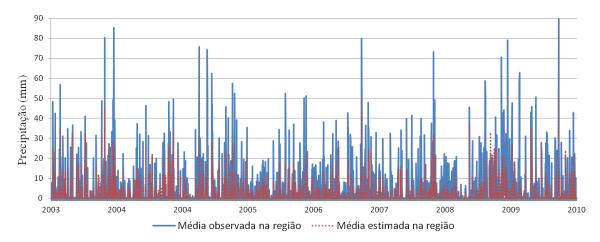


Figura 6.39 - Comparativo entre as médias de precipitações regionais observadas e estimadas.

A Tabela **6.11** foi gerada a partir da seleção do primeiro quartil das séries observadas e estimadas em 4 pontos selecionados ao acaso, após serem ordenadas de forma decrescente.

Tabela 6.11 - Avaliação básica com o quartil extremo de 4 pixels ao acaso.

Ponto	1° Quartil	Observado	CMORPH
	Média	18.4	9.1
1	Mediana	13.0	5.8
2	Média	17.7	8.5
2	Mediana	13.3	5.6
3	Média	17.3	7.9
3	Mediana	12.1	5.2
4	Média	18.2	7.6
	Mediana	13.1	5.1

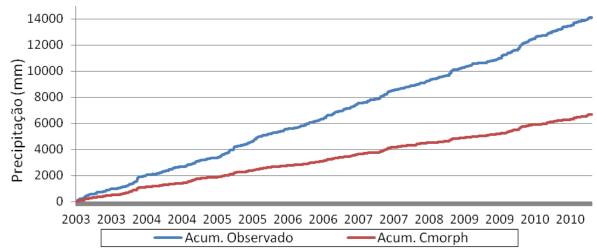


Figura 6.40 - Acumulados observado e estimado (CMORPH) em um dos pixels da comparação.

Apesar de ser capaz de estimar em média menos de 50% do volume pluviométrico observado, o CMORPH apresentou o melhor desempenho nas correlações (r) (Figura 6.41) apresentando resultados superiores a todos os produtos testados anteriormente, resultando em uma média de 0.77.

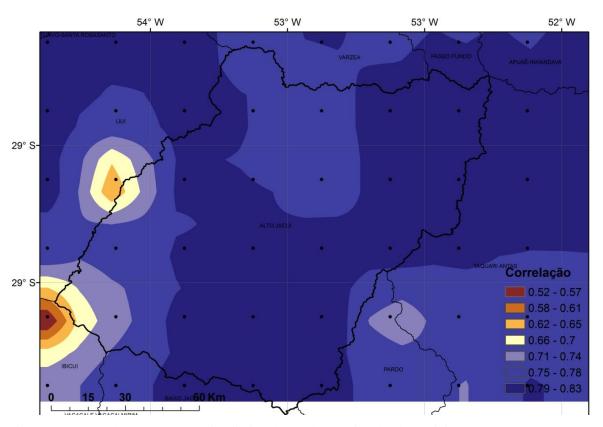


Figura 6.41 – Correlações entre as séries diárias observadas e estimadas de precipitação.

As tabelas contendo as informações estatísticas do produto CMORPH que não foram apresentadas devido a similaridade dos resultados sobre a avaliação executado no produto serão alocadas no Anexo D.

A avaliação quantitativa de detecção das estimativas do produto foram realizadas modificando o limiar, que anteriormente era 1 mm para identificar a ocorrência do evento, para valores superiores, para verificar o desempenho na detecção de volumes diários maiores.

Apesar de apresentar vantagens na detecção da ocorrência dos eventos, na avaliação de desempenho quantitativo de detecção, o produto CMORPH apresentou comportamento similar ao V6, com percentuais médios para detecção de volumes diários iguais ou maiores que 5 milímetros de 52,0%, já para a detecção de eventos iguais ou superiores a 60 mm o CMORPH apresentou quase nulos 1,1% (Tabela **6.12**).

Tabela 6.12 - Média dos percentuais de detecção em diferentes volumes diários de precipitações.

Limite (mm)	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
CMORPH(%)	52.0	40.2	30.9	24.4	18.9	14.4	10.5	8.5	6.2	5.1	3.1	1.1

6.4 Comparação entre os 4 produtos derivados a partir de estimativas de satélite.

Neste tópico foram confrontados os resultados obtidos com cada um dos produtos pesquisados. Para isto primeiramente foi selecionado apenas o período em comum entre os quatro produtos (01/08/2008 á 31/12/2010), e a partir desse período as séries foram avaliadas com as estatísticas apresentadas no item 5.2.

Na Figura 6.42 são confrontados os comportamentos das correlações (r) dos produtos. Onde se observa um aumento de qualidade do V6 para o V7, enquanto que o produto *Real Time* apresentou os piores resultados entre os produtos, provavelmente por não levar em conta dados observados na sua produção. Por outro lado, o CMORPH, por se tratar de um método que utiliza um maior número de fonte de informações apresentou as melhores correlações.

O índice erro quadrático médio (EQM) que observa os erros em valor absoluto, evitando assim que erros positivos e negativos se anulem, apresentou novamente o CMORPH na melhor posição, com EQM's inferiores aos produtos V6 e V7. E novamente o produto Real Time apresentou a menor qualidade, com os mais altos valores no EQM (Figura 6.44 e Figura 6.45).

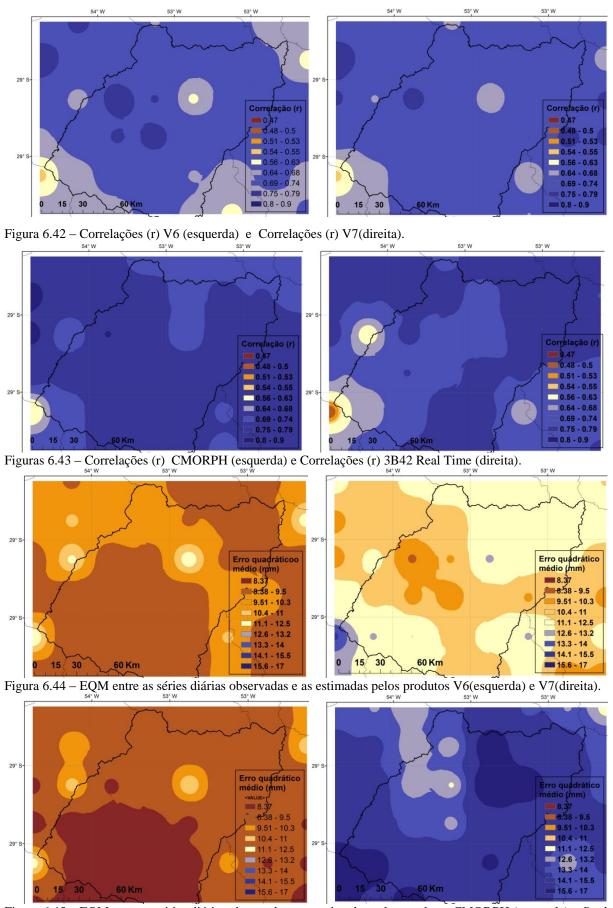


Figura 6.45 – EQM entre as séries diárias observadas e as estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e *Real Time*(direita).

Abaixo (Figura 6.46 e Figura 6.47) apresentam-se os comparativos entre os índices PCs resultantes dos quatro produtos analisados, evidenciando leve o aumento da qualidade do upgrade do 3B42 V6 para o V7, a comparação também mostra um equilíbrio entre o produto V7 e o CMORPH, provavelmente explicado pela utilização entre as diversas fontes de informações, a das estimativas do produto 3B42 no algoritmo do método CMORPH que apresentou os maiores percentuais de detecção, já o produto *Real Time* apresentou percentual de detecções muito similares aos outros 3 produtos, porém esse é provavelmente explicado devido ao fato de que o produto sempre superestima os volumes pluviométricos, apresentando um elevado índice FAR (percentual de falsos alarmes).

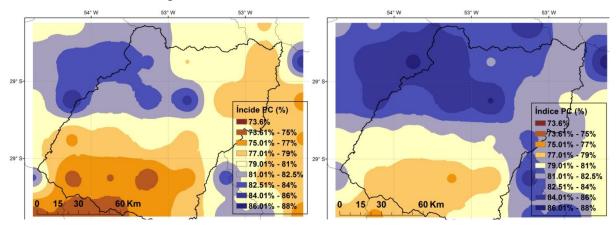


Figura 6.46 – Índice PC resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita).

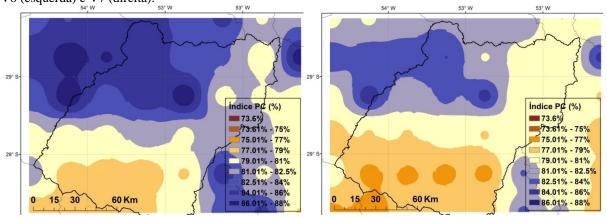


Figura 6.47 – Índice PC resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e *Real Time* (direita).

Na comparação do índice H dos produtos, nota-se um significativo aumento de qualidade na detecção de eventos com a mudança do produto 3B42 V6 6 para o V7 (Figura 6.48), índice liderado pelo V7 (média de 65%), apresentou em segunda posição o produto *Real Time* com percentuais mais altos entre os produtos V6 e CMORPH (Figura 6.49), porém tal habilidade elevada de detecção em relação aos outros produtos, provavelmente ocorre devido ao fato de que superestimam os volumes observados, de certa forma arriscando mais

nas estimativas, isso somado ao fato superestimar os volumes dos eventos, produz índices mais elevados de detecção da precipitação.

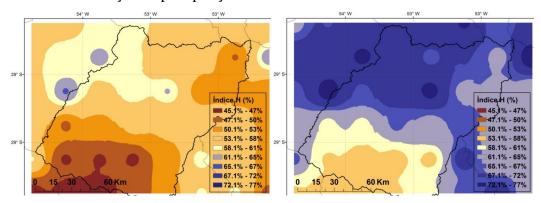


Figura 6.48 – Índice H resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita).

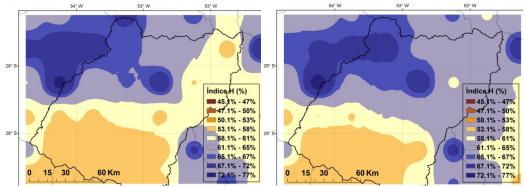


Figura 6.49 – Índice H resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e *Real Time* (direita).

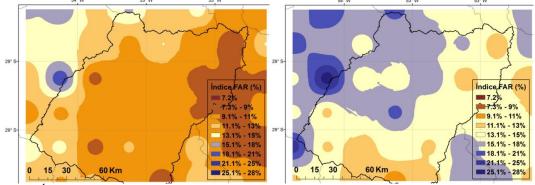


Figura 6.50 – Índice FAR resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita).

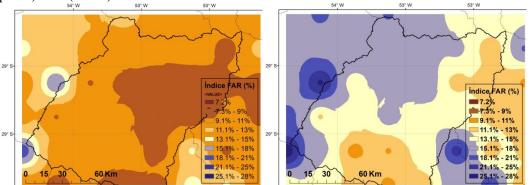


Figura 6.51 – Índice FAR resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e *Real Time* (direita).

O índice FAR (Figura 6.50 e Figura 6.51) apresentou certa similaridade entre os produtos CMORPH e V6, com percentuais relativamente baixos (8% a 11%), e nota-se também que o produto *Real Time* a pesar de apresentar médias volumétricas mais próximas das observadas, necessita de ajustes para que possa ser utilizados nos setores hidrelétricos e de alerta contra enchentes, pois provavelmente na tentativa do algoritmo obter uma maior aproximação do volume observado, apresenta como penalidade o aumento na taxa de alarmes falsos, ou seja, o algoritmo baseado em dados de satélites estima a precipitação, porém a mesma não é observada pelo pluviômetro.

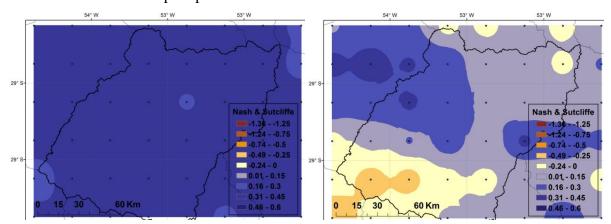


Figura 6.52 – Nash & Sutcliffe resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos V6 (esquerda) e V7 (direita).

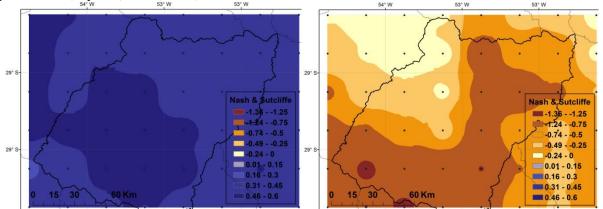


Figura 6.53 – Nash & Sutcliffe resultante dos confrontos entre as séries diárias observadas e estimadas pelos produtos CMORPH (esquerda) e *Real Time* (direita).

Ao confrontar as séries observadas e calculadas, avaliando-as de acordo com o potencial preditivo, pelo índice de eficiência Nash-Sutcliffe (Nash & Sutcliffe, 1970) o produto Real Time apresentou o pior desempenho, o seu potencial preditivo foi tão baixo que é mais preciso utilizar a média diária observada do que as suas estimativas (Figura 6.53). Já os produtos V6, V7 e CMORPH (Figura 6.52 e Figura 6.53) apresentaram potencial preditivo razoável, destacando o CMORPH que obteve melhores resultados em uma série de avaliações, podendo ser considerado a melhor fonte de dados das avaliadas, quando somadas

o poder preditivo médio acima de 0,5 (NSE), com o percentual médio de detecção de eventos ajustado superior a 70%. Um importante esclarecimento é que, diferente dos outros métodos, o TRMM 3B42 Real Time é um produto em tempo real, ou seja, encontra-se disponível poucas horas após o evento, competindo desta forma, com a informação telemétrica que, na bacia se restringe a um único posto.

6.5 Metodologia para aumentar a qualidade das estimativas

Após a análise dos produtos, observa-se que há uma relação linear entre as estimativas do satélite e as estimativas a partir de pluviômetro. Este fato é corroborado pela grande correlação entre os produtos. A partir desta informação é testada uma metodologia simplificada para correção dos produtos na região analisada.

6.5.1 Produto 3B42 V6

Utilizando os acumulados das séries estimadas e observadas de um dos pixels selecionado, ambas foram carregadas em um gráfico de dupla massa modificado, para então ser gerada a equação linear da reta (Figura 6.54).

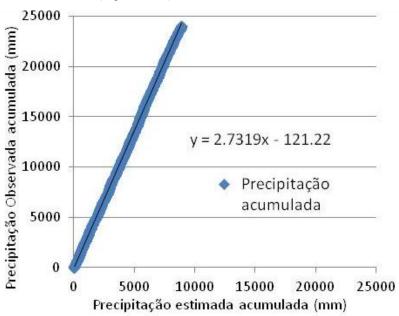


Figura 6.54 - Gráfico de dupla massa modificado.

Buscando uma forma de corrigir as subestimativas do satélite, a série acumulada de dados estimados por satélite foi utilizada como variável independente na equação obtida no passo anterior, tendo então como resultado uma nova série de estimativas acumulada ajustadas coincidente com os dados observados do TRMM (Figura 6.55).

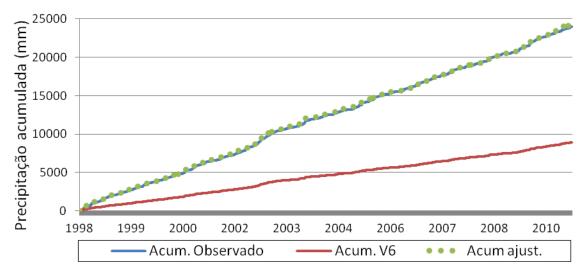


Figura 6.55- Séries acumuladas de precipitações observadas e estimadas com a resultante do ajuste.

Posteriormente a nova série foi desacumulada para o passo de tempo diário, comparando então as séries diárias observada, estimada e a estimada ajustada (Figura 6.56), porém devido a grande subestimativa inicial dos volumes pelo satélite se observa que o ajuste não foi perfeito, uma vez que a série ajustada necessita superestimar consideravelmente os valores mais intensos, buscando o equilíbrio no volume acumulado final.

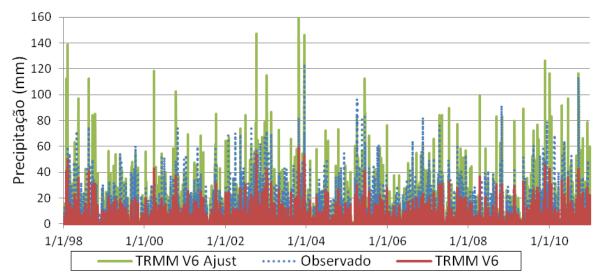


Figura 6.56- Desacumulado diário da reta ajustada, em comparação aos observados e estimados diários.

Apesar da superestimativa nos valores diários, o ajuste da série estimada apresentou ótimo equilíbrio nos valores acumulados totais, e observa-se claramente o bom potencial para a correção de séries mensais, apresentando um comportamento bastante similar com os valores observados (Figura 6.57).

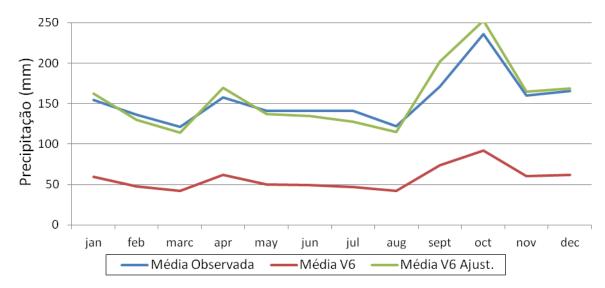


Figura 6.57 - Confronto entre as médias mensais de precipitações observadas, estimadas e ajustadas.

Posteriormente a série ajustada foi submetida aos testes percentuais de detecção, modificando o limiar de 5 a 60 milímetros em intervalos de 5 milímetros. A série ajustada do satélite obteve melhor desempenho, pois ao corrigirmos as séries com a elevação dos valores para alcançar o equilíbrio do volume final, a estimativa ajustada melhora consideravelmente o percentual de detecção em todos os limiares de volume. Após a correção o percentual médio de detecção inicial passou de 44% (sem ajuste) para volumes diários iguais ou maiores á 5 milímetros, para a média de 65.7% de acertos, porém o maior avanço obtido, ocorreu na detecção dos volumes dos eventos diários mais intensos, passando de quase nulos 1% de detecção para volumes iguais ou superiores a 60 milímetros para em média 53.6% (Tabela 6.13).

Tabela 6.13 - Percentuais de detecção após ajustes.

Limite (mm)						>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
3B42 V6 (%)	44.0	31.8	23.0	16.9	12.9	9.9	7.5	6.2	4.6	3.5	1.6	1.0
3B42 V6 Ajust. (%)	65.7	64.4	61.9	59.5	57.8	57.6	56.9	56.2	54.2	52.6	53.6	53.6

6.5.2 Produto 3B42 V7

Na versão 7 do produto 3B42, foi executado o mesmo procedimento do item anterior, primeiramente é gerada a reta de dupla massa modificada, da qual é extraída a equação linear (Figura 6.58).

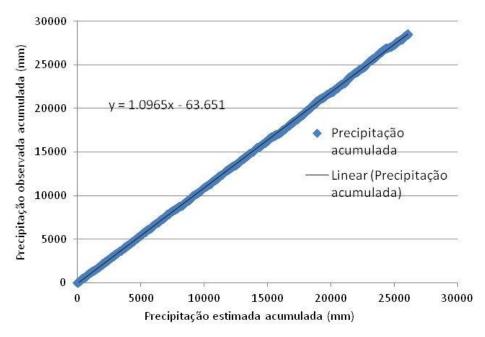


Figura 6.58- Gráfico dupla massa modificado.

Na variável independente da equação da reta são inseridos os valores acumulados da série estimada pelo satélite, e então os valores são ajustados pelo resultado da equação da série, gerando uma nova série diária acumulada (Figura 6.59).

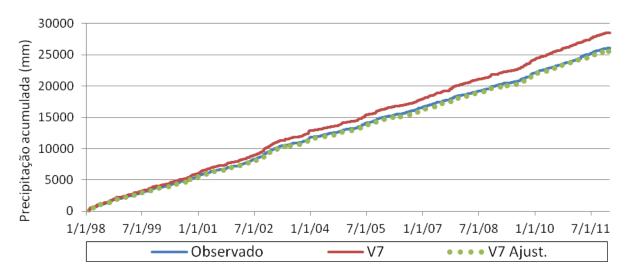


Figura 6.59- Séries acumuladas de precipitações observadas e estimadas com a resultante do ajuste.

Após ajustada a nova reta das estimativas acumuladas, essa é desacumulada para valores diários para então ser comparada com as séries observada e estimada ().

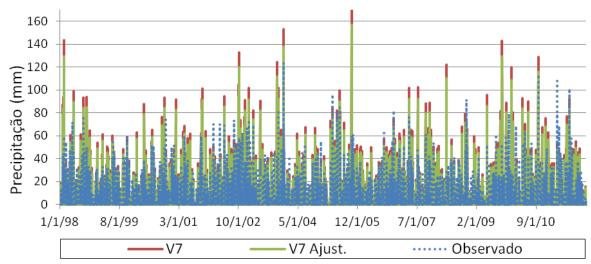


Figura 6.60 - Confronto entre séries diárias das séries observadas, estimadas e ajustada.

Nas médias mensais nota-se uma aproximação dos valores estimados (após o ajuste) dos valores observados, nota-se a diminuição das superestimativas.

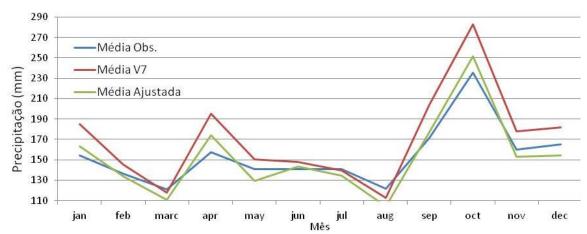


Figura 6.61 - Confronto entre as médias mensais de precipitação observadas, estimadas e ajustadas.

Após o ajuste das séries para avaliar o novo desempenho das estimativas (ajustadas), o produto 3B42 V7 apresentou um decréscimo nos percentuais de detecção. A média resultante para detecção de eventos iguais ou superiores a 5 milímetros que era de 68% na versão sem ajuste, diminuiu para a 66.5%, e para volumes diários iguais ou maiores que 60 milímetros que primeiramente foi de 56,9%, passou para 49,6% após o ajuste (Tabela **6.14**).

Tabela 6.14 - Percentuais de detecção obtidos após ajuste nas séries estimadas.

Limite (mm)				>20	>25	>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
3B42 V7(%)	68.0	67.5	65.8	64.1	62.5	62.1	61.6	61.5	60.2	58.9	57.8	56.9
3B42 V7 Ajust. (%)	66.5	65.1	62.5	60.3	57.8	57.2	56.6	55.5	54.2	52.8	51.5	49.6

6.5.3 Produto 3B42 Real Time

Utilizando a equação da linha de tendência gerada a partir do gráfico dupla massa modificado (Figura 6.62), a série acumulada das estimativas foi corrigida, e a série resultante apresentou uma maior proximidade da série acumulada observada (Figura 6.63).

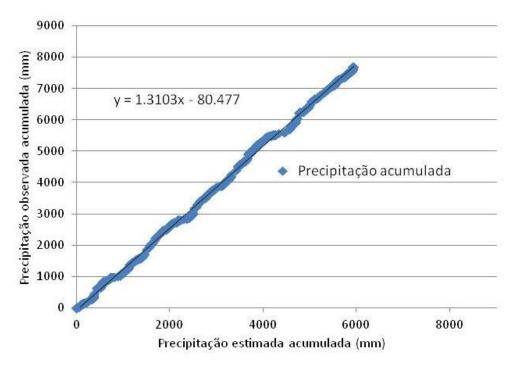


Figura 6.62 - Acumuldos totais em gráfico dupla massa modificado.

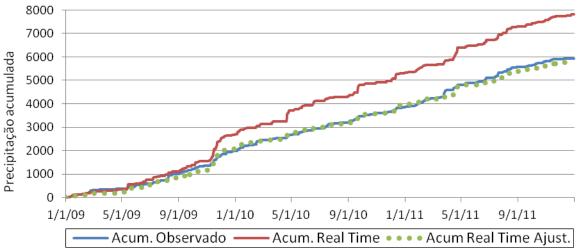


Figura 6.63 Séries acumuladas de precipitações observadas e estimadas com a resultante do ajuste.

Após a obtenção de um resultado satisfatório na linha acumulada ajustada do real time, a série ajustada foi desacumulada para valores diários, e comparada com as séries observada e estimada (Figura 6.64).

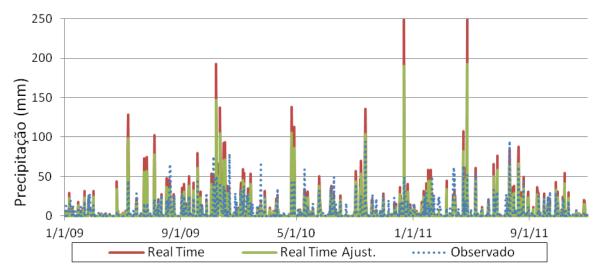


Figura 6.64 - Comparações entre as séries diárias observada, estimada e ajustada.

Ao compararmos as três séries, notou-se uma diminuição dos valores mais intensos do Real Time, porém o satélite ainda superestima os valores observados. Nas médias mensais fica clara uma aproximação dos valores estimados (após o ajuste) dos valores observados, mas talvez necessite mais de uma equação para melhorar a correção dos valores estimados, pois há até meses em que as estimativas subestimam os volumes observados (Figura 6.65).

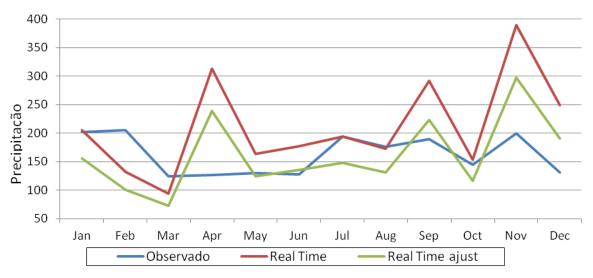


Figura 6.65- Confronto de médias mensais de precipitação observada, estimada e ajustada.

Utilizando a equação da reta do método da dupla massa modificado, ajustou-se a séries estimadas na tentativa de melhorar o desempenho. As séries ajustadas foram submetidas aos testes de percentuais de detecção. No Real Time obtiveram-se melhoras nos desempenhos de detecções com o ajuste aplicado, o produto apresentou um aumento leve na qualidade. A média de detecção para eventos iguais ou maiores que 5 milímetros do Real Time era de

61,4%, após os ajustes essa passou para 65%, e para volumes diários iguais ou maiores que 60 milímetros, o desempenho era de 41%, e com os ajustes aumentou para 50,8% (Tabela **6.15**).

Tabela 6.15 Percentuais de detecções após ajustes nas séries estimadas.

Limite (mm)	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
Real Time(%)	61.4	61.5	59.7	56.7	56.7	56.7	55.9	55.0	48.1	43.6	40.2	41.0
Real Time Ajust. (%)	65.0	66.6	66.1	64.1	63.9	64.9	65.5	64.4	58.5	54.5	50.5	50.8

6.5.4 Produto CMORPH

Com os acumulados das séries observadas e estimadas (Figura 6.66) durante os 8 anos do estudo, foi gerada a equação para a correção da série estimadas utilizando a equação da linha de tendência (Figura 6.67).

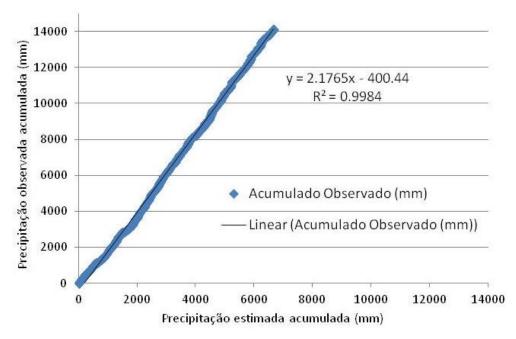


Figura 6.66 - Acumulados totais em gráfico de dupla massa modificado.

Com o ajuste a real capacidade de estimar em média apenas 45% do volume total da série observada que o produto CMORPH, após a metodologia, apresentou boa similaridade aos valores observados, o CMORPH ajustado passou a superestimar levemente (em média 4%) os volumes totais observados (Figura 6.67).

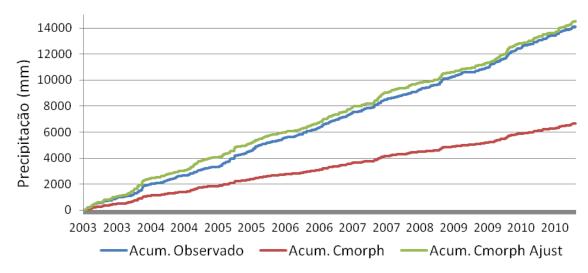


Figura 6.67 - Séries acumuladas de precipitações observadas e estimadas com a resultante do ajuste.

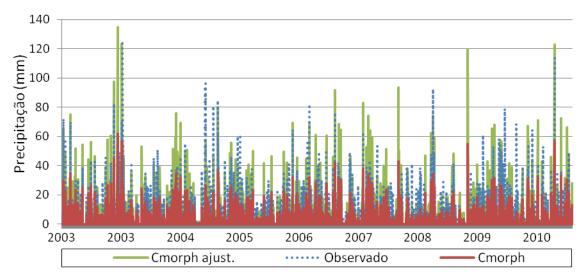


Figura 6.68 – Confronto séries diárias observada, estimada e ajustada durante o período 2003 á 2010.

A pesar de o produto CMORPH ter apresentado o melhor desempenho entre os demais aqui avaliados, fica claro na comparação acima (Figura 6.68), que a série ajustada também possui dificuldade para representar de forma correta os volumes diários, já nas médias mensais nota-se um acréscimo de qualidade contra o estimado sem ajuste (Figura 6.69).

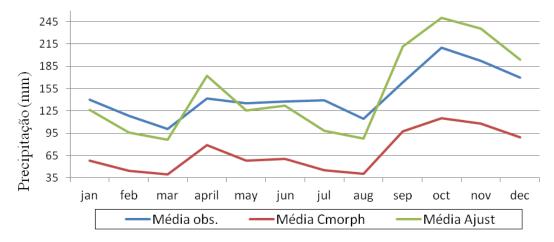


Figura 6.69 - Confronto das médias mensais de precipitação observada, estimada e ajustada.

O CMORPH apresentou os mais significativos acréscimo na qualidade de detecção entre os produtos testados, com a série ajustada obteve-se um grande aumento no desempenho da detecção, inicialmente para volumes diários iguais ou superiores a 5 milímetros, obteve a média de 52% de detecção, após o ajuste, obteve um aumento de quase 20 pontos percentuais (ou melhora de 40%), resultando na média detecção de 71,4%, já para a detecção de eventos maiores ou iguais a 60 milímetros aumentou de quase nulos 1,1% para a média de 54,8% de detecção, superando assim todos os percentuais de detecção resultantes dos produtos testado anteriormente (3B42 V6, 3B42 V7, 3B42 Real Time). A tabela contendo os resultados do produto CMOPRH, será alocada juntamente com os resultados obtidos nas avaliações dos outros produtos (Tabela 6.16).

Tabela 6.16 - Confronto entre os percentuais obtidos após as correções de todas as estimativas do estudo

Limite (mm)	>5	>10	>15	>20	>25	>30	>35	>40	>45	>50	>55	>60
3B42 V6 (%)	44.0	31.8	23.0	16.9	12.9	9.9	7.5	6.2	4.6	3.5	1.6	1.0
3B42 V6 Ajust. (%)	65.7	64.4	61.9	59.5	57.8	57.6	56.9	56.2	54.2	52.6	53.6	53.6
3B42 V7(%)	68.0	67.5	65.8	64.1	62.5	62.1	61.6	61.5	60.2	58.9	57.8	56.9
3B42 V7 Ajust. (%)	66.5	65.1	62.5	60.3	57.8	57.2	56.6	55.5	54.2	52.8	51.5	49.6
Real Time(%)	61.4	61.5	59.7	56.7	56.7	56.7	55.9	55.0	48.1	43.6	40.2	41.0
Real Time Ajust. (%)	65.0	66.6	66.1	64.1	63.9	64.9	65.5	64.4	58.5	54.5	50.5	50.8
CMORPH (%)	52.0	40.2	30.9	24.4	18.9	14.4	10.5	8.5	6.2	5.2	3.1	1.1
CMORPH Ajust. (%)	71.4	70.7	68.2	65.8	63.6	63.4	61.3	59.5	55.8	54.1	54.3	54.8

7 CONCLUSÕES

O índice PC resultou em uma média de 81,3 %, nesse índice notou-se um grande equilíbrio entre os quatro produtos, já o índice H, 60% de acertos, ou seja, a principal dificuldade encontrada por todos os produtos é sem dúvidas na capacidade de detecção dos eventos de chuva.

Assim, além de ser caminho de massas de ar, a Bacia do Alto Jacuí se localiza no limite da escarpa do Planalto do Rio Grande do Sul, o que favorece primeiramente as precipitações frontais e posteriormente orográficas. Por outro lado, se encontra na zona de transição em que começam a atuar os Complexos Convectivos de Meso Escala (CCM's).

A pesar destes problemas, o índice FAR, resultante das avaliações dos produtos apresentou médias de 8%, 9%, 13% e 15% para os produtos V6, CMORPH, V7 e *Real Time* respectivamente, então, apesar de estimarem quantitativamente valores mais próximos das médias observadas, os produtos V7 e *Real Time* acabam por comprometer as taxas de alarmes falsos, onde o evento é estimado, mas o mesmo não ocorre de fato. Assim o produto derivado de método CMORPH, obteve os melhores resultados na análise qualitativa.

Por outro lado, os erros nos volumes, em parte, podem ser relacionados com a predominância de chuvas frontais e orográficas na região, as quais estimativas de microondas e infravermelho possuem dificuldades em detectar de forma correta.

Com a aplicação da metodologia para correção das estimativas de precipitação, foram obtidos ganhos significativos nos percentuais de detecções de volumes diários (com exceção do produto V7). Principalmente para volumes iguais ou superiores a 60 milímetros, no qual eram detectados em média apenas 1% pelo V6, 41% pelo Real Time e apenas 1,1% pelo CMORPH, e após os ajustes aumentaram para 53,6%, 50,8 e 54,8% respectivamente.

As estimativas de satélite são uma fonte alternativa de dados com grande qualidade temporal e espacial, fundamental para auxiliar o monitoramento hidrológico, apresentando algumas vantagens sobre os dados observados em superfície com relação a disponibilidade espacial e temporal, mas ainda com limitações de qualidade.

8 RECOMENDAÇÕES

A partir da análise dos resultados, ficaram evidentes uma série recomendações adicionais:

- Ampliar o número de produtos de estimativas de chuva global, que possuem escala temporal e espacial adequadas (HIDROESTIMADOR, PERSIANN (ambos recomendados pelo

International Precipitation Working Group(IPWG)), para obter um maior número de informações sobre o comportamento dos mesmo em relação aos já avaliados.

- Avaliar os produtos em uma região com maior densidade de pluviômetros, a fim de verificar se o melhor desempenho e comportamento na região noroeste do estudo se confirma em outras regiões com maior densidade de pluviômetros.
- Avaliar os produtos em outras escalas temporais (subdiário útil para drenagem urbana) e maior que um dia (pentada, 30 dias, anual).
- Avaliar a aplicabilidade em outras regiões ou locais, analisando eventuais diferenças de comportamento.
- Avaliar a aplicabilidade dos dados estimados pelos satélites, na modelagem hidrológica utilizando um modelo, uma vez que o erro pode ser compensado em grandes bacias.
- Investigar outras formas de correção dos valores para considerar especialmente formas não lineares.
- Implementar métodos geoestatísticos em substituição ao método IDW para interpolação de dados de precipitação, independente da fonte de dados. Vários autores afirmam que o método de kriging é bastante adequado para esse fim, por conseguir representar melhor o comportamento anisotrópico da distribuição espacial da chuva quando da existência de direções preferenciais, barreiras topográficas, etc.
- No entanto, ainda existe muito espaço para melhoras nas estimativas, principalmente na detecção de eventos, o qual foi o principal responsável pela diminuição da qualidade no estudo.
- E finalmente sugere-se uma atualização do banco de dados Hidroweb da ANA, e a obtenção de dados privados, para posteriormente serem disponibilizados para os pesquisadores, visto que há grandes chances de se tratarem de ótimas fontes de dados, para suprir algumas das dificuldades constatadas aqui.

REFERÊNCIAS

ADLER, C.; PETTY, G.; MORISSEY, M.; GOODMAN, H M. 2001. Intercomparison of global precipitation products: The third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3). Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, 1377–1396.

- ADLER, R.F.; HUFFMAN, G.J.; KEEHN, P.R. Global tropical rain estimates from microwave-adjusted geosynchronus IR data. Remote Sensing Reviews., 11, p. 125-152, 1994.
- ADLER, R.F.; NEGRI, A.J. A satellite infrared technique to estimate tropica convective and stratiform rainfall. Journal of Applied Meteorology, 27, p. 30-51, 1988.
- ALLASIA, D. G., Fensterseifer C. A., Tassi, R. e Collischonn, B. 2012 TRMM Rainfall Assessment in The Upper Jacuí Basin Southern Brazil. AWRA 2012 Spring Specialty Conference. New Orleans, Louisiana.
- ARAUJO, 2006 Simulação hidrológica com uso de chuva estimada por satélite. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná
- ARKIN, P.A.; MEISNER, B.N. The relationship between large scale convective rainfall and cold cloud over the western hemisphere during 1982-1984. Monthly Weather Review, 115, p. 51-74, 1987.
- ARTAN, G; GADAIN, H; SMITH, JL; ASANTE, K; BANDARAGODA, CJ; VERDIN, JP (2007b) Adequacy of satellite derived rainfall data for streamflow modeling. *Natural Hazards*, 43(2): 167-185
- AS-SYAKUR, A.R., T. TANAKA, R. PRASETIA, I.K. SWARDIKA, AND I.W. KASA. 2010. Comparison of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) products and daily-monthly gauge data over Bali Island. International Journal of Remote Sensing: In press (accept on 23 August 2010).
- BALDISSERA, G. C. 2005. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do rio Cuiabá/MT. MS theses. Cuiabá, Mato Grosso: Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra.
- BARRETT, E.C. *et al.* 1994. The first WetNet Precipitation Intercomparison Project: Interpretation of results. Remote Sens. Rev., 11, 303–373.
- BAUERMANN, G. 2009 Resolução espacial, ou o tamanho do pixel em imagens digitais http://www.imagesurvey.com.br/2009/03/resolucao-espacial-ou-o-tamanho-do-pixel-em-imagens-digitais/ acessado em 22 de outubro de 2012.
- BEHRANGI, A.; KHAKBAZ, B., CHUN, T. J., AGHAKOUCHAK, A., HSU, K., SOROOSHIAN, S. 2010. Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a midsize basin. *Journal of Hydrologic*, v. 397, p. 225-237.
- Behrangi, A., Khakbaz, B., Jaw, T. C., AghaKouchak, A., Hsu, K., and Sorooshian, S.: Hydrologic evaluation of satellite precipitation products over a mid-size basin, J. Hydrol., 397, 225–237, 2011.

- BRAS, R.L. Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science. EUA: Wesley, 1990.
- CENTENO, J.A.S. Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, 2004.
- CALVETTI, L.; BENETI, C.; PEREIRA FILHO, A.J. Características das estimativas de precipitação por radar, satélite e pluviômetro no Paraná: Uma comparação entre chuva de verão e chuva provocada por frente fria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11.2003, Curitiba. CD-ROM.
- CHIPPONELLI, L. I. P., HEIL, M. C., ZENAIDA, F. L., FREITAS, L.M.D., SEDIYAMA, G. C., FALCO, F. P. 2009. Comparação de Produtos de precipitação para a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 4, p. 461-472.
- COELHO, A. C. P., Hardt, L. P. A., Fernandes, C. V. S. 2005. Agregação de novas variáveis ao processo de planejamento urbano e regional sob a perspectiva de gestão dos recursos hídricos. In XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. João Pessoa Paraíba. Brasil.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. 2007. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. Revista Brasileira de Cartografia, 59 (01).
- COLLISCHONN, B. 2006. *Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído*. 174 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- DINKU, T.; CONNOR, S.J.; CECCATO, P. 2010. Comparison of CMORPH and TRMM-3B42 over mountainous regions of Africa and South America. In: GEBREMICHAEL, M.; HOSSAIN, F. (Ed.). *Satellite rainfall applications for surface hydrology*. Dordrecht: Springer. p. 193-204.
- DINKU T, Ceccato P, Grover-Kopec E, Lemma M, Connor SJ, Ropelewski CF. (2007) Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. International Journal of Remote Sensing, 28, pp 1503-1526. DOI: 10.1080/01431160600954688
- EBERT, E. E. et al. The WGNE assessment of short-term quantitative precipitation forecasts. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 84, n. 4, p. 481-492, 2003.

- EBERT, E.E., MANTON, M.J.; ARKIN, P.A.; ALLAM, R.J.; HOLPIN, G.E.; GRUBER, A. 1996. Results from the GPCP Algorithm. Intercomparison Programme. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 2875–2887.
- FERRARO, R.R. Special sensor microwave imager derived global rainfall estimates for climatological applications. Journal of Geophysical Research, 102, p. 16715- 16735, 1997.
- FERRARO, R. R.; WENG, F.; GRODY, N.C.; ZHAO, L. Precipitation characteristics over land from the NOAA-15 AMSU sensor. Geophysical Research Letters, 27, p. 2669-2672, 2000.
- FILHO, A. J. P.: CARBONE, R. E.; JANOWIAK, J. E.; ARKIN PHILLIP; JOYCE, R.; HALLAK, R; RAMOS, C. G. M. 2010. Satellite rainfall estimates over south America Possible applicability to the water management of large watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*. v. 46. n. 2. pp 344-360.
- FISHER, B.L. 2004. Climatological Validation of TRMM TMI and PR Monthly Rain Products over Oklahoma. J. Appl. Meteor., 43, 519–535.
- GARRIDO, J. M. 2003. Aplicação de modelo matemático de simulação com utilização de SIG à bacia do rio Jiquiriçá Bahia. MS theses. Brasília, Distrito Federal: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- GEBREGIORGIS, A.S. and F. HOSSAIN (2010). Hydrological risk assessment of old dams:

 A case study on Wilson dam of Tennessee River basin, *Journal of Hydrologic Engineering*, (doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000410).
- GONÇALVES, L. G.; SHUTTLEWORTH, W.J.; NIJSSEN, B.; BURKE, E. J.; MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; HOUSER, P. 2006. *Journal of geophysical Research*. V. 111, D16113,doi:10.1029/2005JD006276
- GOODISON, B. E., FERGUSON, H. L. E MCKAY, G. A. (1981). *Comparison* of point snowfall measurement techniques. *Handbook of Snow*, D. M. Gray and M. D. Male, Eds., Pergamon Press, 200–210.
- GRODY, N.C. Classification of snow cover and precipitation using the special sensor microwave imager. Journal of Geophysical Research, 96, N° D4, p. 7423-7435, 1991.
- GROISMAN, P. YA., E EASTERLING, D. R (1994). Variability and trends of total precipitation and snowfall over the United States and Canada. *J. Climate*, 7, 184–205.
- GUEDES, R. L. Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a Região Central da América do Sul. São Paulo, 1985. Dissertação de Mestrado Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.

- GUETTER, A. K.; GEORGAKAKOS, K. P.; TSONIS, A. A. (1996): Hydrologic applications of satellite data: 2. Flow simulation and soil water estimates. Journal of Geophysical Research, vol. 101, p. 26.527-26.538.
- GUETTER, A. K.; GEORGAKAKOS, K. P. (1997). Uncertainty in the prediction of streamflow by real-time prediction models using satellite rainfall estimates. Preprints AMS 13th Conference on Hydrology, American Meteorological Society, Boston, MA 2-7 February, pp. J109-J112.
- HADDAD, Z. S., E. A. SMITH, C. D. KUMMEROW, T. IGUCHI, M. R. FARRAR, S. L. DURDEN, M. ALVES, AND W. S. OLSON, 1997a: The TRMM 'Day-1' Radar/Radiometer Combined Rain-Profiling Algorithm", *J. Meteor. Soc. Japan*, 75, 799-809.
- HAND, L.M., AND J.M. SHEPHERD (2009), An Investigation of Warm-Season Spatial Rainfall Variability in Oklahoma City: Possible Linkages to Urbanization and Prevailing Wind, J. Appl. Meteor. Climatol., 48, 251–269.
- HARRIS, A.; RAHMAN, S.; HOSSAIN, F.; YARBOROUGH, L.; BAGTZOGLOU, C.; EASSON, G. 2007. Satellite-based Flood Modeling Using TRMM-based Rainfall Products. *Sensors* 2007, v. 7, p. 3416-3427.
- HUFFMAN, G.; ADLER, R.; BOLVIN, D.; GU. G.; NELKIN, E.; BOWMAN, K.; HONG, Y.; STOCKER, E.; WOLFF, D. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, Boston, v. 8, n. 1, Feb., p. 38–55.
- HUFFMAN, G. J., R. F. ADLER, M. M. MORRISSEY, D. T. BOLVIN, S. CURTIS, R. JOYCE, B. MCGAVOCK, AND J. SUSSKIND, 2001: Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations. *J. Hydrometeor.*, 2, 36–50.
- JANOWIAK, J. E., R. J. JOYCE, AND Y. YAROSH, 2001: A realtime global half-hourly pixel-resolution infrared dataset and its applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 205–217.
- JIMENEZ, K. Q. 2011. Modelagem hidrológica com uso da estimativa de chuva por sensoriamento remoto. Dissertação de Mestrado. IPH-UFRGS.
- JOYCE, L., J. ABER, S. MCNULTY, V. DALE, A. HANSEN, L. IRLAND, R. NEILSON, K. SKOG. 2001. Potential Consequences of Climate Variability and Change for the Forests of the United States. Chapter 17 in Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change. National

- Assessment Synthesis Team, US Global Change Research Program. http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment.
- JOYCE, R.J.; JANOWIAK, J.E.; ARKIN, P.A.; XIE, P. 2004. CMORPH: a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, Boston, v. 5, n. 3, june, p. 487-503
- KIDDER, S. Q., AND T. H. VONDER HAAR, 1995: *Satellite Meteorology: An Introduction*. Academic Press, San Diego, 466 pp.
- Kite, G.W., 1997. Simulating Columbia River flows with data from regional-scale climate models. Water Resources Research, 33(6), 1275-1285.
- KONGOLI C, GRODY NC, FERRARO RR 2004 Interpretation of AMSU microwave measurements for the retrievals os snow water equivalent and snow depth. J. Geophys Res-Atmos 109 (D24), Art. No D24111 Dec 29, 2004.
- KONGOLI, C., P. Pellegrino and R. Ferraro, 2007: The utilization of the AMSU high frequency measurements for improved coastal rain retrievals, Geophys. Res. Lett., 34, L17809, doi:10.1029/2007GL029940
- KUMMEROW, C.D., BARNES, W.; KOZU, T.; SHIUE, J.; SIMPSON, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 15, 809-817, 1998.
- KUMMEROW, C.; SIMPSON, J.; THIELE, O.; BARNES, W.; CHANG, A. T. C.; STOCKER, E.; ADLER, R. F.; HOU, A.; KAKAR, R.; WENTZ, F.; ASHCROFT, P.; KOZU, T. HONG, Y.; OKAMOTO, K.; IGUCHI, T.; KUROIWA, H.; IM, E.; HADDAD, Z.; HUFFMAN, G.; FERRIER, B.; OLSON, W. S.; ZIPSER, E.; SMITH, E. A.; WILHEIT, T. T.; NORTH, G. KRISHNAMURTI, T.; NAKAMURA, K. (2000): The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. Journal of Applied Meteorology, vol. 39, pp. 1965-1982.
- LAVADO CASIMIRO, W.S.; LABAT, D.; GUYOT, J.L.; RONCHAIL, J.; ORDOÑEZ, J.J. 2009. TRMM rainfall data estimation over the Peruvian Amazon-Andes basin and its assimilation into a monthly water balance model. In: NEW APPROACHES TO HYDROLOGICAL PREDICTION IN DATA-SPARSE REGIONS SYMPOSIUM (2009: Hyderabad, India). New approaches to hydrological prediction in data-sparse regions: proceedings. Wallingford: IAHS. p. 245-252.
- MACHADO, L.A.T.; FATTORI, A.P.; ARAI, N.; PERRELLA, A.C.F. Mini-curso de meteorologia por satélite e radiação atmosférica. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO

- DE METEOROLOGIA, 11.2000, Rio de Janeiro.
- MAIDMENT, D.R. Handbook of hydrology. New York: Ed. McGraw-Hill, 1ª edição, 1993, 1424 p.
- MORAES NOVO, E. M. L. de -2008 Sensoriamento Remoto 3^a Edição Revista e Ampliada. Editora blutcher.
- MORALES, C.A.; ANAGNOSTOU, E.N. Extending the capabilities of highfrequency rainfall estimation from geostationary-based satellite infrared via a network of long-range lightning observations. Journal of Hydrometeorology, (4) p. 141-159, 2003.
- MORENO, J, A. (2004). Clima do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura, Porto Alegre-RS, 42p.
- MORENO, J. A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, 1961. 41p.
- NASH, J. E. & SUTCLIFFE, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models: a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, vol 10, p. 282–290.
- NEITSCH, S.L., J.G. ARNOLD, J.R. KINIRY, J.R. WILLIAMS, K.W. KING 2000, SWAT2000 Theoretical Documentation. Grassland, Soil and water Research Laboratory Agricultural research service.
- NICHOLSON, S.E.; *et. al.* 2003. Validation of TRMM and Other Rainfall Estimates with a High-Density Gauge Dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. J. Appl. Meteor., 42, 1355–1368.
- NOAA Satellite and information service . Disponível em http://www.oso.noaa.gov. Acesso em Março 2012.
- NÓBREGA, R.N. 2008. Modelagem de Impactos do Desmatamento nos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Jamari (Ro) utilizando dados de Superfície e do TRMM. Campina Grande, PB: UFCG. 2008. 238 pág. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande.
- OLSON, W.S., C.D. KUMMEROW, Y. HONG, AND W.-K. TAO, 1999: Atmospheric latent heating distributions in the tropics derived from satellite passive microwave radiometer measurements. J. Appl. Meteor., 38, 633-664.
- PETTY, G. W. 1995. The status of satellite-based rainfall estimation over land. Remote Sensing of Environment, New York, v. 51, p. 125-137.
- PETTY, G.W. Physical retrievals of over-ocean rain rate from multichannel microwave imager. Part I: Theoretical characteristics of normalized polarizations and scattering indices. Meteorology and Atmospheric Physics, 54, p. 79-99, 1994.

- PONCE, V. M. Engineering hydrology, principles and practices. P. Hall, New Jersey, 1989.
- PRASETIA R., OSAWA T., ADNYANA I. W. S., A.R. AS-SYAKUR A. R. 2011 validation of monthly rainfall based on the trmm precipitation radar satellite data over region of indonesia. proceeding of the 2nd cresos international symposium on south east asia environmental problems and satellite remote sensing denpasar, bali-indonesia, 21 22 february 2011.
- ROLOFF, G., BLEY Jr, C., SOUZA, M. L. P. 2007. Modelo SWAT: Potencial de uso como auxiliar na gestão de pequenas bacias hidrográficas sem dados históricos. In XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. São Paulo São Paulo. Brasil.
- RUDOLF, B., 1993: Management and analysis of precipitation data on a routine basis. *Proc. Int. WMO/IAHS/ETH Symp. on Precipitation and Evaporation*, Bratislava, Slovakia, Slovak Hydrometeor. Inst., 69–76.
- SIMPSON, J., R.F. ADLER, AND G.R. North, 1988: A proposed tropical rainfall measuring mission (TRMM) satellite. Bull. Am. Met. Soc., 69, 278-295.
- SMITH, E. A.; et al. 1998. Results of WetNet PIP-2. J. Atmos. Sci., 55, 1483–1536.
- TRMM (Tropical Rainfall Mission Mission). Mission Overview. Disponível em http://trmm.gsfc.nasa.gov. Acesso em outubro de 2010.
- TSINTIKIDIS, D.; GEORGAKAKOS, K. P.; ARTAN, G.A.; TSONIS, A.A. A fesibility study on mean areal rainfall estimation and hydrologic response in the Blue Nile region using METEOSAT images. Journal of Hydrology, 221, 97-116, 1999.
- TUCCI, C. E. M. 1993. Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS.
- VICENTE, G. 2002. Real time satellite rainfall estimation over the Amazon region for hydrological applications. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE LBA SCIENTIFIC CONFERENCE*, 2., 2002, Manaus. Apresentação em Power Point.
- VICENTE, G.A.; SCOFIELD, R.A.; MENZEL, P.W. The operational GOES infrared rainfall estimation technique. Bulletin of the American Meteorological Society, 79, p. 1883-1898, September, 1998.
- VILA, D.A.; GONÇALVES, L.G.G.; TOLL, D.L.; ROZANTE, J.R. 2009. Statistical evaluation of combined daily gauge observations and rainfall satellite over continental South America. *Journal of Hydrometeorology*, Boston, v. 10, n. 2, Apr., p. 533-543.
- VILA, M. T. R.; LIMA, V. C. O.; VILAS BOAS, E. V. B.; HOJO, E. T. D.; RODRIGUES, L. J.; PAULA, N. R. F. Caracterização química e bioquímica de goiabas armazenadas sob

- refrigeração e atmosfera modificada. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.31, n.5, p. 1435-1442, 2007.
- VILTARD, N., KUMMEROW, C., OLSON, W. S., AND HONG, Y.: Combined use of the radar and radiometer of TRMM to estimate the influence of drop size distribution on rain retrievals, J. Appl. Meteor., 39, 2103–2114, 2000.
- WENG, F., L. ZHAO, R. FERRARO, G. POE, X. LI, AND N. GRODY, 2003: Advanced Microwave Unit Cloud and Precipitation Algorithms, *Radio Sci.*, 38, 8086-8096.
- WMO. World Meteorological Organization. TECHICAL CONFERENCE ON TROPICAL URBAN CLIMATES. 1993, Backa (Bangladesh). Report... Geneva: WMO, 1994.
- XIE, P.; ARKIN, P.A. 1996. Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates and numerical model predictions. *Journal of Climate*, Boston, v. 9, n. 4, Apr., p. 840-858.
- ZHAO, L.; WENG, F. Retrieval of Ice Cloud Parameters Using the Advanced Microwave Sounding Unit. Journal of Applied Meteorology, v. 41, p. 384-395, Apr. 2002.

 ${\bf Ap\^{e}ndice}~{\bf A-~Resultados~estat\'{i}sticos~do~produto~3B42-V6}$

Pixel	Lat	Long	Correl.	Nash	Méd SAT	Méd PLU	RMSE	Tot SAT	Tot PLU	ER(%)	Desv.sat	Desv. Plu	PC	Н	FAR	CSI	Viés	НК
1.1	-28.125	-53.875	0.741	0.389	1.85	4.98	8.78	8768	23631	-63%	5.15	11.23	82%	57%	10%	53%	63%	53%
1.2	-28.375	-53.875	0.776	0.417	1.84	4.94	8.84	8741	23474	-63%	5.12	11.58	85%	61%	10%	57%	68%	58%
1.3	-28.625	-53.875	0.776	0.413	1.82	5.01	8.10	8637	23788	-64%	4.94	10.58	79%	53%	8%	51%	58%	50%
1.4	-28.875	-53.875	0.691	0.322	1.80	5.17	8.43	8561	24561	-65%	4.92	10.24	79%	53%	8%	51%	57%	50%
1.5	-29.125	-53.875	0.457	0.127	1.82	5.36	11.90	8644	25433	-66%	5.06	12.73	82%	57%	17%	51%	68%	51%
1.6	-29.375	-53.875	0.658	0.301	1.85	5.16	8.30	8785	24521	-64%	5.21	9.93	75%	47%	8%	45%	51%	44%
2.1	-28.125	-53.625	0.756	0.393	1.84	5.01	8.82	8735	23793	-63%	5.03	11.33	82%	58%	11%	54%	65%	54%
2.2	-28.375	-53.625	0.734	0.372	1.82	5.03	9.13	8618	23897	-64%	5.09	11.53	84%	60%	10%	56%	66%	56%
2.3	-28.625	-53.625	0.569	0.227	1.76	4.83	11.03	8348	22922	-64%	4.80	12.55	84%	63%	26%	52%	84%	54%
2.4	-28.875	-53.625	0.700	0.334	1.75	4.98	7.99	8292	23643	-65%	4.78	9.79	76%	49%	7%	47%	53%	46%
2.5	-29.125	-53.625	0.638	0.271	1.80	5.15	8.61	8530	24446	-65%	4.93	10.10	76%	49%	7%	47%	53%	46%
2.6	-29.375	-53.625	0.711	0.351	1.80	5.10	7.85	8526	24198	-65%	5.07	9.75	75%	47%	6%	46%	50%	45%
3.1	-28.125	-53.375	0.754	0.382	1.81	5.03	9.02	8578	23881	-64%	4.93	11.47	82%	59%	11%	55%	66%	55%
3.2	-28.375	-53.375	0.741	0.377	1.79	5.03	8.94	8484	23876	-64%	5.04	11.34	82%	57%	8%	55%	63%	54%
3.3	-28.625	-53.375	0.736	0.383	1.74	4.84	8.01	8256	22968	-64%	4.91	10.20	79%	52%	6%	50%	56%	50%
3.4	-28.875	-53.375	0.730	0.369	1.70	4.81	7.84	8074	22858	-65%	4.77	9.87	77%	49%	7%	48%	53%	47%
3.5	-29.125	-53.375	0.715	0.358	1.77	4.96	7.66	8409	23552	-64%	4.95	9.56	75%	47%	5%	46%	49%	45%
3.6	-29.375	-53.375	0.737	0.377	1.77	5.03	8.08	8397	23882	-65%	5.00	10.25	76%	48%	6%	47%	52%	46%
4.1	-28.125	-53.125	0.705	0.333	1.79	5.08	9.71	8514	24101	-65%	4.90	11.90	85%	63%	12%	58%	72%	59%
4.2	-28.375	-53.125	0.749	0.375	1.76	5.04	8.58	8365	23914	-65%	4.82	10.86	81%	55%	8%	53%	60%	52%
4.3	-28.625	-53.125	0.706	0.361	1.74	4.70	8.59	8256	22311	-63%	4.95	10.74	82%	56%	9%	53%	62%	53%
4.4	-28.875	-53.125	0.719	0.362	1.68	4.69	8.36	7998	22287	-64%	4.73	10.46	79%	52%	9%	50%	57%	49%
4.5	-29.125	-53.125	0.738	0.387	1.77	4.90	7.58	8399	23260	-64%	4.95	9.68	75%	47%	6%	45%	50%	44%
4.6	-29.375	-53.125	0.743	0.380	1.75	4.94	7.91	8289	23473	-65%	4.86	10.06	76%	49%	6%	47%	52%	46%
5.1	-28.125	-52.875	0.759	0.393	1.85	5.07	8.84	8775	24078	-64%	5.01	11.36	83%	59%	8%	56%	64%	56%
5.2	-28.375	-52.875	0.717	0.343	1.81	5.21	9.26	8596	24759	-65%	4.96	11.43	82%	58%	9%	55%	64%	55%

120

5.3	-28.625	-52.875	0.679	0.316	1.80	5.12	9.69	8539	24321	-65%	5.03	11.73	82%	56%	7%	54%	61%	54%
5.4	-28.875	-52.875	0.756	0.411	1.81	4.92	7.67	8605	23372	-63%	5.08	10.00	78%	51%	5%	49%	54%	49%
5.5	-29.125	-52.875	0.716	0.385	1.86	4.90	7.72	8850	23268	-62%	5.36	9.85	77%	51%	5%	49%	53%	48%
5.6	-29.375	-52.875	0.734	0.388	1.81	4.88	7.92	8594	23171	-63%	5.04	10.13	78%	52%	5%	50%	55%	50%
6.1	-28.125	-52.625	0.745	0.378	1.84	5.07	9.22	8721	24076	-64%	5.05	11.70	83%	60%	9%	57%	67%	57%
6.2	-28.375	-52.625	0.773	0.409	1.83	5.18	8.85	8689	24585	-65%	5.22	11.51	82%	57%	7%	55%	61%	54%
6.3	-28.625	-52.625	0.744	0.388	1.83	5.11	8.23	8689	24283	-64%	5.13	10.53	79%	53%	6%	52%	57%	51%
6.4	-28.875	-52.625	0.730	0.377	1.82	5.00	8.41	8632	23718	-64%	5.08	10.66	80%	54%	5%	53%	57%	52%
6.5	-29.125	-52.625	0.613	0.280	1.85	4.86	10.30	8786	23096	-62%	5.24	12.14	84%	64%	21%	55%	81%	57%
6.6	-29.375	-52.625	0.704	0.353	1.81	4.90	8.67	8576	23277	-63%	4.99	10.78	82%	57%	8%	54%	62%	54%
7.1	-28.125	-52.375	0.748	0.392	1.84	5.09	8.44	8722	24167	-64%	5.14	10.83	79%	54%	7%	52%	58%	51%
7.2	-28.375	-52.375	0.764	0.411	1.83	5.10	8.20	8701	24224	-64%	5.20	10.68	79%	53%	7%	51%	57%	50%
7.3	-28.625	-52.375	0.753	0.395	1.82	5.07	8.03	8629	24068	-64%	5.04	10.34	78%	53%	6%	51%	57%	51%
7.4	-28.875	-52.375	0.735	0.376	1.79	5.00	8.23	8519	23722	-64%	4.95	10.43	80%	54%	6%	53%	58%	52%
7.5	-29.125	-52.375	0.672	0.327	1.81	4.88	8.65	8585	23173	-63%	5.05	10.56	81%	56%	7%	54%	60%	53%
7.6	-29.375	-52.375	0.691	0.343	1.77	4.83	8.69	8419	22939	-63%	4.99	10.74	82%	58%	8%	55%	62%	55%
8.1	-28.125	-52.125	0.744	0.375	1.81	5.09	8.61	8583	24182	-65%	4.92	10.89	79%	54%	9%	52%	60%	51%
8.2	-28.375	-52.125	0.738	0.369	1.83	5.12	9.14	8712	24326	-64%	5.01	11.52	82%	59%	10%	55%	66%	55%
8.3	-28.625	-52.125	0.753	0.397	1.82	5.04	7.91	8642	23944	-64%	5.01	10.19	77%	51%	6%	49%	54%	48%
8.4	-28.875	-52.125	0.725	0.368	1.79	4.97	7.92	8522	23593	-64%	4.92	9.96	77%	52%	6%	50%	55%	49%
8.5	-29.125	-52.125	0.686	0.336	1.79	4.92	8.17	8516	23344	-64%	4.99	10.03	78%	53%	6%	51%	56%	50%
8.6	-29.375	-52.125	0.712	0.355	1.75	4.90	7.94	8327	23282	-64%	4.87	9.89	77%	51%	5%	49%	54%	48%

Apêndice B – Resultados estatísticos do produto 3B42-V7

ripe	iuice 1	, 110	buildu	os cstatis	ucos uo	բւժաս	TO JUTE	. , ,										
Pixel	Lat	Long	Correl.	Méd SAT	Méd PLU	EQM	Tot SAT	Tot PLU	ER(%)	Desv.sat	Desv. Plu	Nash.	PC	Н	FAR	CSI	Viés	HK
1.1	-28.13	-53.88	0.752	5.55	5.02	9.76	28394	25677	11%	14.79	11.38	0.264	83%	66%	14%	59%	77%	59%
1.2	-28.38	-53.88	0.783	5.49	4.99	9.08	28052	25539	10%	14.55	11.74	0.402	86%	72%	15%	64%	85%	65%
1.3	-28.63	-53.88	0.777	5.39	5.03	8.91	27546	25735	7%	14.14	10.66	0.301	82%	63%	12%	58%	72%	57%
1.4	-28.88	-53.88	0.694	5.34	5.15	10.17	27303	26319	4%	14.10	10.24	0.013	80%	61%	13%	56%	70%	55%
1.5	-29.13	-53.88	0.473	5.44	5.30	14.02	27827	27104	3%	14.45	12.66	-0.225	81%	65%	24%	54%	86%	55%
1.6	-29.38	-53.88	0.670	5.47	5.14	11.05	27973	26275	6%	14.87	9.93	-0.238	78%	57%	10%	53%	64%	52%
2.1	-28.13	-53.63	0.762	5.53	5.06	9.45	28270	25884	9%	14.55	11.43	0.316	83%	67%	16%	59%	80%	60%
2.2	-28.38	-53.63	0.746	5.48	5.09	9.70	28025	26037	8%	14.49	11.63	0.304	85%	69%	14%	62%	81%	63%
2.3	-28.63	-53.63	0.583	5.33	4.89	12.15	27276	25023	9%	13.82	12.65	0.077	84%	73%	30%	56%	104%	61%
2.4	-28.88	-53.63	0.704	5.31	5.00	9.89	27143	25549	6%	13.91	9.86	-0.006	79%	58%	11%	54%	65%	53%
2.5	-29.13	-53.63	0.644	5.48	5.13	11.19	28025	26214	7%	14.57	10.10	-0.227	79%	58%	10%	55%	65%	53%
2.6	-29.38	-53.63	0.727	5.43	5.08	10.08	27769	25971	7%	14.60	9.76	-0.068	78%	57%	9%	54%	63%	52%
3.1	-28.13	-53.38	0.770	5.52	5.08	9.21	28239	25974	9%	14.39	11.60	0.369	84%	69%	15%	62%	81%	62%
3.2	-28.38	-53.38	0.768	5.47	5.09	9.29	27949	26006	7%	14.48	11.42	0.338	84%	67%	13%	61%	77%	61%
3.3	-28.63	-53.38	0.752	5.36	4.87	9.32	27395	24918	10%	14.09	10.29	0.179	81%	62%	11%	58%	70%	57%
3.4	-28.88	-53.38	0.741	5.26	4.83	9.02	26889	24721	9%	13.44	9.94	0.176	78%	60%		54%	73%	51%
3.5		-53.38	0.727	5.51	4.96	10.11	28170	25376	11%	14.61	9.60	-0.109	77%	56%		53%	62%	
3.6		-53.38	0.746	5.45	5.02	9.91	27864	25643	9%	14.82	10.22	0.059	79%	58%		54%	64%	
4.1		-53.13		5.57		10.24	28499	26051	9%	14.73	12.02	0.274	86%	73%		64%	88%	
4.2	-28.38		0.756	5.53	5.06	9.96	28279	25863	9%	15.18	11.00	0.181	83%	66%		60%	75%	
4.3		-53.13	0.733	5.41	4.72	9.72	27662	24121	15%	14.24	10.81	0.192	84%	67%		61%	77%	61%
4.4		-53.13	0.731	5.29	4.71	9.29	27054	24078	12%	13.56	10.50	0.217	80%	63%		56%	75%	
4.5		-53.13	0.754	5.48	4.90	9.43	28038	25069	12%	14.23	9.71	0.056	78%	57%		54%		52%
4.6		-53.13	0.759	5.42	4.94	9.45	27704	25236	10%	14.42	10.03	0.113	80%	60%		57%	65%	56%
5.1		-52.88	0.777	5.86	5.09	9.64	29946	26043	15%	15.24	11.46	0.292	85%	70%		64%	80%	64%
	-28.38		0.711	5.79		11.03	29620	26729	11%	15.64	11.41	0.065	84%	68%		61%	78%	61%
5.3	-28.63	-52.88	0.688	5.70	5.12	11.04	29133	26181	11%	15.05	11.84	0.130	84%	69%	13%	62%	78%	63%

1	22
- 1	22

5.	4 -28.88	-52.88	0.766	5.62	4.93	9.43	28738	25202	14%	14.53	10.06	0.121	80%	61%	10%	58%	68%	56%
5.	5 -29.13	-52.88	0.759	5.52	4.90	9.24	28200	25051	13%	14.10	9.86	0.122	80%	60%	9%	57%	66%	55%
5.	6 -29.38	-52.88	0.754	5.41	4.88	9.28	27682	24936	11%	14.07	10.12	0.159	81%	61%	9%	58%	67%	57%
6.	1 -28.13	-52.63	0.764	5.90	5.09	10.05	30176	26047	16%	15.50	11.79	0.274	85%	72%	14%	64%	83%	65%
6.	2 -28.38	-52.63	0.787	5.90	5.20	10.04	30151	26563	14%	16.10	11.54	0.244	84%	69%	13%	63%	79%	63%
6.	3 -28.63	-52.63	0.762	5.81	5.12	10.24	29712	26199	13%	15.63	10.56	0.058	82%	63%	10%	59%	70%	58%
6.	4 -28.88	-52.63	0.747	5.70	5.01	9.88	29158	25595	14%	14.81	10.71	0.150	83%	65%	10%	60%	73%	60%
6.	5 -29.13	-52.63	0.638	5.56	4.82	11.35	28446	24653	15%	14.17	12.06	0.114	84%	73%	27%	57%	100%	61%
6.	6 -29.38	-52.63	0.726	5.45	4.91	9.69	27874	25126	11%	14.01	10.88	0.207	84%	67%	13%	61%	77%	61%
7.	1 -28.13	-52.38	0.760	5.94	5.11	10.23	30387	26115	16%	15.61	10.88	0.116	81%	65%	12%	60%	74%	58%
7.	2 -28.38	-52.38	0.775	5.90	5.12	10.07	30150	26161	15%	15.72	10.72	0.117	82%	65%	10%	60%	73%	59%
7.	3 -28.63	-52.38	0.767	5.85	5.08	10.11	29893	25981	15%	15.51	10.39	0.054	81%	63%	9%	59%	70%	58%
7.	4 -28.88	-52.38	0.739	5.72	5.01	10.17	29224	25592	14%	15.03	10.49	0.061	82%	65%	11%	60%	73%	59%
7.	5 -29.13	-52.38	0.698	5.55	4.88	10.31	28399	24926	14%	14.33	10.57	0.050	83%	66%	12%	60%	75%	60%
7.	6 -29.38	-52.38	0.730	5.39	4.82	9.52	27560	24652	12%	13.88	10.80	0.222	84%	68%	13%	61%	78%	61%
8.	1 -28.13	-52.13	0.762	5.85	5.11	9.74	29894	26138	14%	14.98	10.94	0.208	81%	65%	14%	59%	76%	58%
8.	2 -28.38	-52.13	0.739	5.86	5.14	10.57	29980	26299	14%	15.66	11.57	0.166	83%	69%	16%	61%	82%	61%
8.	3 -28.63	-52.13	0.756	5.80	5.05	10.23	29675	25845	15%	15.43	10.23	0.000	80%	61%	9%	58%	68%	56%
8.	4 -28.88	-52.13	0.733	5.70	4.97	10.24	29155	25425	15%	14.93	10.03	-0.042	80%	62%	10%	58%	69%	56%
8.	5 -29.13	-52.13	0.713	5.51	4.92	10.12	28157	25131	12%	14.40	10.10	-0.004	81%	63%	10%	59%	70%	58%
8.	6 -29.38	-52.13	0.748	5.34	4.90	9.17	27298	25057	9%	13.76	9.92	0.147	80%	61%	9% 5	57%	67%	56%

Apêndice C – Resultados estatísticos do produto 3B42-Real Time

Pixel	Lat	Long	Correl.	Nash	Med sat	Med plu	EQM	Totsat	TotP	ER(%)	desv.RT	desv. Obs	PC	Н	FAR	CSI	Viés	НК
1.1	-28.13	-53.875	0.71	-0.24	7.0	5.4	13.7	7668	5857	31%	19.2	12.3	81%	62%	18%	55%	76%	54%
1.2	-28.38	-53.875	0.72	-0.27	7.1	5.4	14.2	7782	5868	33%	20.2	12.6	84%	67%	16%	59%	80%	60%
1.3	-28.63	-53.875	0.68	-0.80	6.9	5.3	15.4	7570	5770	31%	20.5	11.5	80%	61%	16%	55%	73%	54%
1.4	-28.88	-53.875	0.66	-0.80	6.4	5.2	14.7	6991	5667	23%	19.4	10.9	78%	57%	19%	50%	70%	48%
1.5	-29.13	-53.875	0.53	-0.92	6.4	5.2	17.0	6931	5605	24%	19.9	12.3	81%	63%	27%	51%	86%	52%
1.6	-29.38	-53.875	0.63	-1.22	6.6	5.2	15.6	7146	5661	26%	19.8	10.4	77%	54%	14%	50%	62%	47%
2.1	-28.13	-53.625	0.72	-0.16	6.8	5.5	13.2	7445	5919	26%	18.8	12.2	81%	62%	18%	54%	76%	54%
2.2	-28.38	-53.625	0.67	-0.24	6.8	5.6	14.2	7367	6046	22%	19.0	12.8	83%	68%	18%	59%	82%	60%
2.3	-28.63	-53.625	0.64	-0.25	6.7	5.3	14.7	7334	5705	29%	18.8	13.1	85%	75%	25%	60%	101%	64%
2.4	-28.88	-53.625	0.68	-0.77	6.4	5.2	14.3	6993	5626	24%	19.2	10.7	79%	58%	13%	53%	67%	52%
2.5	-29.13	-53.625	0.66	-1.36	6.5	5.2	16.0	7055	5590	26%	20.8	10.4	76%	53%	15%	49%	63%	46%
2.6	-29.38	-53.625	0.66	-1.25	6.2	5.3	15.4	6800	5680	20%	20.0	10.3	76%	55%	14%	51%	64%	48%
3.1	-28.13	-53.375	0.74	-0.06	6.8	5.5	12.7	7375	5903	25%	18.6	12.4	82%	65%	17%	57%	78%	56%
3.2	-28.38	-53.375	0.75	-0.06	6.7	5.6	12.7	7284	6013	21%	18.9	12.4	83%	68%	16%	60%	81%	61%
3.3	-28.63	-53.375	0.72	-0.28	6.4	5.2	12.8	6996	5631	24%	18.2	11.3	82%	64%	14%	58%	75%	57%
3.4	-28.88	-53.375	0.70	-0.54	6.2	5.1	13.4	6764	5526	22%	18.6	10.8	79%	58%	13%	53%	67%	52%
3.5	-29.13	-53.375	0.70	-1.16	6.4	5.2	15.2	6975	5600	25%	20.4	10.4	77%	54%	10%	51%	60%	49%
3.6	-29.38	-53.375	0.67	-1.32	6.3	5.3	16.0	6881	5698	21%	20.9	10.5	77%	56%	13%	52%	64%	50%
4.1	-28.13	-53.125	0.69	-0.21	6.4	5.2	13.7	7016	5615	25%	18.8	12.4	82%	66%	18%	58%	81%	58%
4.2	-28.38	-53.125	0.76	-0.12	6.5	5.3	12.8	7118	5714	25%	19.2	12.1	84%	69%	15%	61%	81%	62%
4.3	-28.63	-53.125	0.74	-0.18	6.2	5.0	12.4	6755	5439	24%	18.1	11.4	83%	66%	15%	59%	78%	59%
4.4	-28.88	-53.125	0.72	-0.37	6.3	5.0	13.0	6823	5424	26%	18.4	11.1	80%	61%	16%	55%	73%	53%
4.5	-29.13	-53.125	0.70	-0.94	6.4	5.2	14.5	7000	5574	26%	19.7	10.4	76%	55%	11%	51%	61%	49%
4.6	-29.38	-53.125	0.70	-1.03	6.2	5.2	14.6	6744	5607	20%	19.8	10.3	78%	57%	11%	53%	64%	51%
5.1	-28.13	-52.875	0.71	-0.70	7.1	5.2	15.4	7711	5651	36%	21.1	11.8	81%	64%	16%	57%	76%	56%
5.2	-28.38	-52.875	0.65	-1.16	7.0	5.3	16.9	7603	5787	31%	21.8	11.5	81%	64%	16%	57%	77%	56%
5.3	-28.63	-52.875	0.56	-0.88	6.8	5.2	17.7	7420	5614	32%	21.3	12.9	85%	70%	17%	61%	85%	63%

124																		
5.4	-28.88	-52.875	0.70	-0.94	7.0	5.2	15.1	7612	5592	36%	20.4	10.9	79%	61%	14%	55%	71%	53%
5.5	-29.13	-52.875	0.70	-1.26	7.0	5.2	15.7	7662	5569	38%	21.0	10.4	76%	56%	13%	52%	65%	49%
5.6	-29.38	-52.875	0.70	-1.03	6.8	5.2	15.0	7376	5577	32%	20.2	10.5	78%	59%	12%	54%	66%	52%
6.1	-28.13	-52.625	0.72	-0.34	6.5	5.2	13.8	7094	5662	25%	19.5	11.9	82%	65%	15%	59%	77%	58%
6.2	-28.38	-52.625	0.71	-0.59	6.7	5.3	14.8	7268	5765	26%	20.5	11.7	81%	63%	15%	56%	74%	55%
6.3	-28.63	-52.625	0.68	-1.12	6.8	5.4	16.2	7381	5796	27%	21.5	11.1	79%	61%	12%	56%	69%	54%
6.4	-28.88	-52.625	0.70	-0.50	6.8	5.4	14.6	7374	5862	26%	20.1	11.9	81%	63%	14%	58%	74%	56%
6.5	-29.13	-52.625	0.66	-0.75	6.9	4.9	15.4	7506	5335	41%	20.1	11.6	83%	68%	22%	57%	88%	58%
6.6	-29.38	-52.625	0.66	-0.53	6.8	5.3	14.9	7398	5767	28%	19.6	12.0	83%	65%	17%	58%	79%	58%
7.1	-28.13	-52.375	0.69	-0.38	5.9	5.3	13.2	6465	5731	13%	18.0	11.2	79%	61%	14%	55%	70%	53%
7.2	-28.38	-52.375	0.68	-0.69	6.2	5.3	14.4	6743	5761	17%	19.3	11.1	80%	61%	12%	57%	69%	55%
7.3	-28.63	-52.375	0.70	-0.81	6.6	5.4	15.1	7203	5828	24%	20.5	11.2	80%	61%	12%	57%	70%	55%
7.4	-28.88	-52.375	0.72	-0.41	6.7	5.5	14.1	7269	5894	23%	19.8	11.8	80%	62%	13%	57%	71%	56%
7.5	-29.13	-52.375	0.71	-0.32	6.2	5.2	12.8	6795	5625	21%	18.0	11.1	79%	60%	12%	56%	68%	54%
7.6	-29.38	-52.375	0.68	-0.44	6.2	4.9	13.6	6737	5325	27%	18.3	11.3	81%	64%	19%	55%	79%	55%
8.1	-28.13	-52.125	0.66	-0.12	5.5	5.4	12.2	6032	5804	4%	16.2	11.5	80%	63%	15%	56%	74%	55%
8.2	-28.38	-52.125	0.64	-0.19	5.8	5.4	13.7	6287	5862	7%	17.6	12.5	84%	71%	18%	61%	87%	62%
8.3	-28.63	-52.125	0.69	-0.50	6.2	5.3	13.3	6718	5775	16%	18.3	10.9	79%	60%	11%	56%	68%	54%
8.4	-28.88	-52.125	0.71	-0.70	6.7	5.3	14.3	7278	5734	27%	19.7	10.9	78%	59%	11%	55%	67%	53%
8.5	-29.13	-52.125	0.69	-0.65	6.5	5.2	14.2	7060	5664	25%	19.2	11.0	79%	60%	13%	55%	69%	53%

5.1 13.3 6696 5561

20%

18.3

10.6 77% 56% 11% 53%

63%

51%

8.6 -29.38 -52.125

0.70 -0.58

6.1

Apêndice C – Resultados estatísticos do produto CMORPH.

<u>pe-</u>					1200 at	produce	<u> </u>											
Pixel	Lat	Long	Correl.	Nash	Méd sat	Méd. plu	EQM	Totsat	Totplu	ER(%)	desvsat	desvplu	PC	Н	FAR	CSI	Viés	НК
1.1	-28.125	-53.875	0.785	0.50	2.25	4.76	8.01	6564	13903	-53%	5.89	11.29	84%	63%	12%	58%	71%	58%
1.2	-28.375	-53.875	0.819	0.53	2.28	4.73	7.93	6651	13827	-52%	6.05	11.63	86%	68%	13%	62%	77%	63%
1.3	-28.625	-53.875	0.826	0.54	2.19	4.77	7.24	6413	13936	-54%	5.74	10.67	83%	60%	9%	57%	65%	56%
1.4	-28.875	-53.875	0.779	0.49	2.17	4.83	7.25	6337	14104	-55%	5.74	10.17	81%	58%	9%	55%	63%	54%
1.5	-29.125	-53.875	0.520	0.21	2.16	5.05	11.13	6317	14759	-57%	5.78	12.55	84%	63%	21%	54%	80%	56%
1.6	-29.375	-53.875	0.727	0.43	2.17	4.86	7.45	6343	14187	-55%	5.77	9.89	80%	56%	7%	54%	60%	53%
2.1	-28.125	-53.625	0.793	0.49	2.19	4.79	8.13	6411	14008	-54%	5.74	11.41	85%	65%	12%	60%	74%	61%
2.2	-28.375	-53.625	0.780	0.47	2.19	4.85	8.71	6405	14171	-55%	5.78	11.97	87%	70%	12%	64%	80%	66%
2.3	-28.625	-53.625	0.572	0.27	2.12	4.55	10.63	6183	13283	-53%	5.58	12.46	85%	68%	26%	55%	91%	59%
2.4	-28.875	-53.625	0.766	0.48	2.10	4.69	7.07	6135	13712	-55%	5.63	9.80	80%	56%	8%	53%	60%	53%
2.5	-29.125	-53.625	0.719	0.42	2.11	4.84	7.64	6175	14151	-56%	5.65	10.01	80%	57%	8%	54%	61%	53%
2.6	-29.375	-53.625	0.779	0.49	2.11	4.80	6.96	6178	14033	-56%	5.61	9.72	80%	56%	7%	54%	60%	53%
3.1	-28.125	-53.375	0.795	0.48	2.15	4.81	8.28	6291	14048	-55%	5.55	11.49	85%	66%	11%	61%	74%	61%
3.2	-28.375	-53.375	0.809	0.49	2.12	4.84	8.38	6186	14130	-56%	5.60	11.73	86%	67%	9%	63%	73%	63%
3.3	-28.625	-53.375	0.801	0.51	2.07	4.65	7.25	6045	13597	-56%	5.52	10.31	83%	59%	7%	57%	64%	57%
3.4	-28.875	-53.375	0.794	0.51	2.03	4.61	6.98	5943	13479	-56%	5.57	9.94	81%	57%	7%	55%	61%	55%
3.5	-29.125	-53.375	0.801	0.52	2.07	4.70	6.70	6050	13743	-56%	5.59	9.63	79%	55%	6%	53%	58%	52%
3.6	-29.375	-53.375	0.804	0.51	2.06	4.75	7.04	6012	13880	-57%	5.51	10.03	80%	56%	6%	54%	60%	53%
4.1	-28.125	-53.125	0.768	0.45	2.12	4.79	8.60	6195	13996	-56%	5.46	11.57	87%	69%	12%	63%	78%	64%
4.2	-28.375	-53.125	0.783	0.47	2.07	4.77	8.18	6048	13951	-57%	5.47	11.21	85%	64%	9%	60%	70%	60%
4.3	-28.625	-53.125	0.787	0.48	2.04	4.61	7.70	5948	13456	-56%	5.43	10.71	86%	65%	9%	61%	71%	62%
4.4	-28.875	-53.125	0.791	0.49	1.99	4.57	7.44	5824	13355	-56%	5.46	10.45	83%	59%	7%	57%	64%	57%
4.5	-29.125	-53.125	0.810	0.52	2.03	4.67	6.77	5921	13634	-57%	5.44	9.75	79%	54%	6%	53%	58%	52%
4.6	-29.375	-53.125	0.812	0.51	2.02	4.67	6.88	5909	13658		5.37	9.87		57%		55%		54%
5.1	-28.125	-52.875	0.787	0.47	2.08	4.77	8.15	6071	13943	-56%	5.36	11.16	85%	64%	10%	60%	71%	61%
5.2	-28.375	-52.875	0.756		2.03		8.34	5920	13968		5.30	11.07		63%		59%		60%
5.3	-28.625	-52.875	0.720	0.38	2.00	4.81	9.67	5853	14050	-58%	5.31	12.31	87%	67%	10%	63%	75%	64%

126

120																		
5.4	-28.875	-52.875	0.816	0.51	1.99	4.70	7.13	5800	13742	-58%	5.36	10.18	81%	57%	5%	55%	60%	54%
5.5	-29.125	-52.875	0.816	0.51	2.00	4.68	6.87	5835	13664	-57%	5.30	9.85	80%	56%	5%	54%	58%	54%
5.6	-29.375	-52.875	0.808	0.50	1.99	4.63	7.04	5817	13521	-57%	5.23	9.98	81%	58%	5%	56%	61%	55%
6.1	-28.125	-52.625	0.774	0.44	2.04	4.76	8.50	5951	13919	-57%	5.26	11.39	86%	67%	10%	62%	74%	63%
6.2	-28.375	-52.625	0.811	0.48	2.00	4.81	8.15	5851	14052	-58%	5.24	11.25	85%	63%	8%	60%	68%	60%
6.3	-28.625	-52.625	0.812	0.48	1.97	4.78	7.53	5762	13975	-59%	5.17	10.49	82%	59%	6%	57%	63%	57%
6.4	-28.875	-52.625	0.806	0.47	1.97	4.80	7.84	5750	14027	-59%	5.23	10.82	83%	60%	6%	58%	64%	58%
6.5	-29.125	-52.625	0.697	0.37	1.98	4.68	9.43	5797	13676	-58%	5.20	11.84	86%	68%	16%	60%	81%	62%
6.6	-29.375	-52.625	0.754	0.42	1.97	4.69	8.36	5762	13692	-58%	5.17	11.04	85%	66%	11%	61%	74%	61%
7.1	-28.125	-52.375	0.777	0.44	1.97	4.78	7.95	5769	13975	-59%	5.09	10.65	81%	59%	8%	56%	64%	55%
7.2	-28.375	-52.375	0.812	0.48	1.97	4.78	7.60	5761	13981	-59%	5.11	10.54	81%	58%	7%	56%	63%	55%
7.3	-28.625	-52.375	0.810	0.48	1.96	4.78	7.51	5715	13970	-59%	5.07	10.39	81%	58%	7%	55%	62%	55%
7.4	-28.875	-52.375	0.798	0.47	1.96	4.78	7.70	5714	13956	-59%	5.12	10.54	82%	60%	7%	57%	64%	57%
7.5	-29.125	-52.375	0.745	0.42	1.97	4.66	7.83	5742	13611	-58%	5.14	10.32	82%	59%	8%	56%	64%	56%
7.6	-29.375	-52.375	0.736	0.41	1.95	4.55	8.49	5690	13309	-57%	5.13	11.06	85%	66%	12%	61%	76%	62%
8.1	-28.125	-52.125	0.775	0.42	1.91	4.81	8.42	5590	14058	-60%	4.92	11.06	83%	61%	10%	57%	67%	57%
8.2	-28.375	-52.125	0.833	0.42	1.93	4.86	9.20	5636	14203	-60%	4.97	12.10	88%	71%	11%	65%	80%	67%
8.3	-28.625	-52.125	0.816	0.48	1.93	4.77	7.39	5633	13926	-60%	4.95	10.23	81%	58%	6%	56%	62%	56%
8.4	-28.875	-52.125	0.781	0.45	1.92	4.70	7.42	5619	13733	-59%	5.02	9.98	80%	57%	7%	54%	61%	53%
8.5	-29.125	-52.125	0.747	0.43	1.94	4.65	7.64	5661	13594	-58%	5.10	10.08	81%	57%	7%	55%	62%	54%
8.6	-29.375	-52.125	0.788	0.46	1.90	4.64	7.26	5548	13559	-59%	4.97	9.88	80%	57%	7%	55%	61%	54%