

Aplicação da técnica *histogram matching* na composição de imagens do canal do vapor d'água de satélites geoestacionários

Douglas Messias Uba
Renato Galante Negri
Daniel Alejandro Vila

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
{douglas.uba, daniel.vila}@inpe.br, renato.galante@cptec.inpe.br

Abstract. This work proposes an approach to improve the composition (*i.e.* mosaic) of images acquired from different geostationary satellites. Specifically, the methodology uses an image processing technique called histogram matching to process water vapor data obtained from GOES-13 and Meteosat-10. Due to the characteristics of each sensor, the measured brightness temperatures are different and a preprocessing step is necessary in order to obtain more consistent results. A set of images has been analyzed by applying the histogram matching method and a lookup table was built. The lookup table associates input brightness temperatures with corrected output values and is used to transform one of the images before the final composition. The results showed that the our approach was able to improve the quality of compositions in comparison to non-processed data.

Keywords: remote sensing, atmosphere, image processing sensoriamento remoto, atmosfera, processamento de imagens

1. Introdução

A observação remota da atmosfera a partir de imagens adquiridas por satélites geoestacionários caracteriza-se como uma importante ferramenta para a Meteorologia, permitindo a estimativa de variáveis meteorológicas bem como auxiliar na análise sinótica para vastas regiões. A alta resolução temporal (tipicamente de 15 a 30 minutos, aproximadamente) permite o monitoramento de sistemas meteorológicos em tempo quase real e também a previsão de evolução. Neste contexto, destacam-se para o Brasil dois importantes satélites: GOES-13 e Meteosat-10.

Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) é a nomenclatura utilizada para um conjunto de satélites norte-americanos de órbita geoestacionária mantidos pela *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. O GOES-13 está posicionado sobre a Linha do Equador, na longitude -75° , o que permite uma boa cobertura do território brasileiro e outras regiões na América do Sul. O sensor a bordo desse satélite possui no total 5 canais espectrais, sendo 1 canal na porção do visível e 4 canais no infravermelho térmico (Tabela 1). O canal visível possui resolução de 1 km, enquanto os demais canais possuem resolução de 4 km (NASA, 2016).

Meteorological Satellite (Meteosat) é a denominação de uma família de satélites europeus de órbita geoestacionária operados pela EUMETSAT – *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*. O Meteosat-10 também está posicionado sobre a Linha do Equador, porém na longitude 0° , possibilitando uma melhor observação da Europa e do continente africano. Entretanto, a cobertura do imageamento inclui também a costa brasileira e o oceano Atlântico, tornando esse satélite importante e com potencial para a observação de eventos e fenômenos meteorológicos no Brasil e América do Sul. O sensor desse satélite (SEVIRI – *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) possui no total 12 canais espectrais, também distribuídos nas porções do visível e infravermelho térmico (Tabela 2) (EUMETSAT,

2016). Os canais possuem resolução de 3 km, com exceção do canal visível VHR, o qual possui 1 km de resolução espacial. A Figura 1 apresenta exemplos de imagens adquiridas pelos satélites GOES-13 e Meteosat-10.

Cada satélite geostacionário está limitado a observar uma determinada região geográfica, dependendo de sua localização e outras características. Neste sentido, uma abordagem comumente utilizada é a realização da composição (*i.e.* mosaico) de imagens de diferentes satélites (KOHRS et al., 2014) (JANOWIAK; JOYCE; YAROSH, 2001) . O objetivo principal é a ampliação da região geográfica observada, permitindo uma análise mais geral das condições e dos fenômenos imageados. Embora ambos os satélites possuam canais semelhantes, é possível observar nas Tabelas 1 e 2 diferenças significativas. Por exemplo, considere o canal WV6.7 do GOES-13 na banda de absorção do vapor d'água, que tem como intervalo [5,9001 – 7,2807] μm , centrado em aproximadamente 6,5 μm . Por sua vez, o satélite Meteosat-10 possui dois canais nessa mesma região, centrados em 6,2 μm e 7,2 μm , com intervalos de [5,35 – 7,15] μm (WV6.2) e [6,85 – 7,85] μm (WV7.2) respectivamente. Essas diferenças, combinadas com a função resposta de cada canal, produzem medidas distintas da atmosfera e da superfície em cada sensor. Sendo assim, para a composição de imagens obtidas a partir de diferentes sensores, é desejável a realização de algum pré-processamento para a obtenção de resultados visualmente mais coerentes.

Tabela 1: Canais e respectivos comprimentos de onda do satélite GOES-13.

Canal	Comp. de onda (intervalo) (μm)	Comp. de onda (central) (μm)
1 (VIS0.6)	[0,5370 – 0,7090]	0,6273
2 (IR3.9)	[3,7306 – 4,0848]	3,9002
3 (WV6.7)	[5,9001 – 7,2807]	6,5436
4 (IR10.8)	[10,1947 – 11,1782]	10,6699
6 (IR13.4)	[13,0056 – 13,7061]	13,3399

Tabela 2: Canais e respectivos comprimentos de onda do satélite Meteosat-10.

Canal	Comp. de onda (intervalo) (μm)	Comp. de onda (central) (μm)
1 (VIS0.6)	[0,56 – 0,71]	0,635
2 (VIS0.8)	[0,74 – 0,88]	0,81
3 (NIR1.6)	[1,50 – 1,78]	1,64
4 (IR3.9)	[3,48 – 4,36]	3,90
5 (WV6.2)	[5,35 – 7,15]	6,25
6 (WV7.3)	[6,85 – 7,85]	7,35
7 (IR8.7)	[8,30 – 9,10]	8,70
8 (IR9.7)	[9,38 – 9,94]	9,66
9 (IR10.8)	[9,80 – 11,80]	10,80
10 (IR12.0)	[11,00 – 13,00]	12,00
11 (IR13.4)	[12,40 – 14,40]	13,40
12 (VHR)	[0,6 – 0,9]	nom. 0,75

O objetivo desse trabalho é apresentar uma estratégia de pré-processamento para essas composições, utilizando métodos de processamento de imagens e análises estatísticas para aprimorar a composição dos canais WV dos satélites GOES-13 e Meteosat-10.

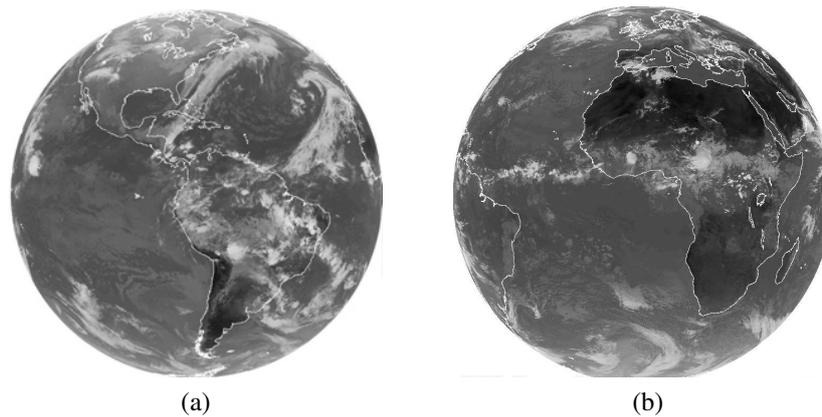


Figura 1: Exemplos de imagens adquiridas pelos satélites (a) GOES-13 e (b) Meteosat-10.

2. Metodologia

A Figura 2 apresenta o diagrama da metodologia. A definição da região geográfica para obtenção e análise dos dados foi realizada considerando uma área de sobreposição com imagens adquiridas por ambos os satélites. A região foi escolhida de modo a não privilegiar nenhum satélite devido a sua posição e inclui porções de continente e oceano. Os satélites estão posicionados sobre a Linha do Equador, sendo o GOES-13 na longitude -75° e o Meteosat-10 na longitude 0° . Sendo assim, definiu-se como ponto central a longitude $-37,5^\circ$, *i.e.* a longitude média entre os satélites. Para construção da área de interesse, utilizou-se um *offset* de 5° de longitude, aplicado tanto para oeste quanto para leste. Como limites de latitude, foram utilizados os valores: -35° e 10° . A Figura 3 ilustra com mais detalhes a região geográfica em questão.

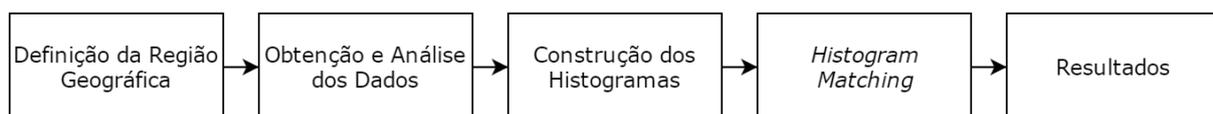


Figura 2: Diagrama da metodologia.

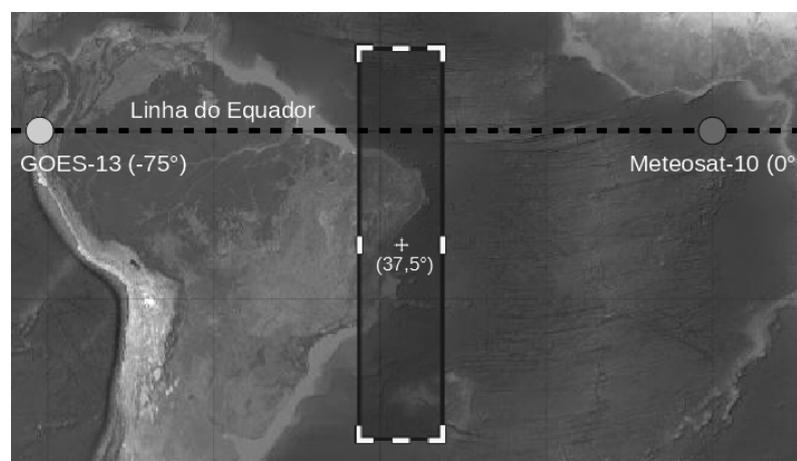


Figura 3: A região geográfica de interesse tem como ponto central a longitude $-37,5^\circ$, *i.e.* longitude média entre os dois satélites. A definição da área foi realizada com um *offset* de 5° de longitude. Os limites de latitude são -35° e 10° .

Definida a região geográfica de interesse, um conjunto de dados foi obtido: imagens dos canais WV6.7 (GOES), WV6.2 e WV7.2 (Meteosat) do dia 08 de abril de 2016. Foram utilizadas 9 imagens de cada canal (27 no total) distribuídas ao longo do dia com intervalo de três horas (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 e 23:00 UTC).

2.1. Análise dos Dados

A Figura 4.a apresenta um exemplo de composição utilizando imagens GOES (WV6.7) e Meteosat (WV6.2). O retângulo destaca uma região composta por imagens de ambos os satélites, *i.e.* a região se encontra na área de junção das imagens. A Figura 4.b exibe com maiores detalhes essa região. É possível observar uma transição abrupta dos valores de níveis de cinza, evidenciando a composição. Esse efeito pode ser considerado indesejado na visualização do resultado. Isso acontece devido as características de cada sensor, em conjunto com a função resposta. Basicamente, a função resposta descreve o quanto cada comprimento de onda, pertencente ao intervalo do canal, contribui para a medida final. A Figura 4.c exibe a função resposta dos canais WV presentes em ambos os satélites. O eixo x representa os comprimentos de onda ($[4,5, 8,5]\mu\text{m}$) e o eixo y a resposta relativa normalizada (CIMSS, 2016).

Comparando as funções resposta dos canais WV 6.7 (GOES), 6.2 e 7.2 (Meteosat), é possível notar que a o intervalo do espectro eletromagnético (EM) medido pelo canal do sensor a bordo do satélite GOES é similar aquele medido pela soma dos dois canais do sensor SEVIRI. Porém, os canais do sensor SEVIRI são mais sensíveis à faixas mais estreitas. Por se tratar de uma região de alta absorção da radiação eletromagnética, estas diferenças na resolução espectral do sensor resulta em diferenças consideráveis na função peso e, portanto, a radiação emitida por camadas diferentes da atmosfera predominam no sinal medido por cada canal. Analisando em conjunto as funções:

- Existe um intervalo do EM em que o satélite GOES-13 é bastante sensível, enquanto o Meteosat-10 não é, mesmo com os dois canais WV;
- O canal WV6.2 (Meteosat) tem uma função resposta muito semelhante ao canal WV6.7 (GOES), exceto próximo do limite superior do intervalo de comprimento de onda ($> 6,8 \mu\text{m}$). Ou seja, a área de interseção entre as funções é considerável;
- É possível dizer que apenas uma pequena parte das observações realizadas pelo canal WV7.2 (Meteosat) influencia também o sinal medido pelo canal WV6.7 (GOES), *i.e.* a área de interseção entre as funções é pequena.

Considerando essas diferenças entre os canais, é possível concluir que o canal W6.2 (Meteosat) é a melhor opção para a realização de uma composição com o canal WV6.7 (GOES).

A próxima etapa da metodologia consiste na construção dos histogramas das diferentes temperaturas de brilho medidas pelos satélites na região geográfica definida. Os histogramas calculados estão apresentados na Figura 5.a e b. O eixo x representa valores de temperatura de brilho no intervalo $[200, 270]$ kelvin (K). Embora a configuração dos canais seja semelhante em termos de intervalo e comprimento de onda central, é possível observar que existe diferença na distribuição das temperaturas de brilho. Consequentemente, essa diferença é percebida nas imagens e também nas composições. Com os histogramas definidos, o próximo passo é a utilização da técnica de processamento de imagens *histogram matching*.

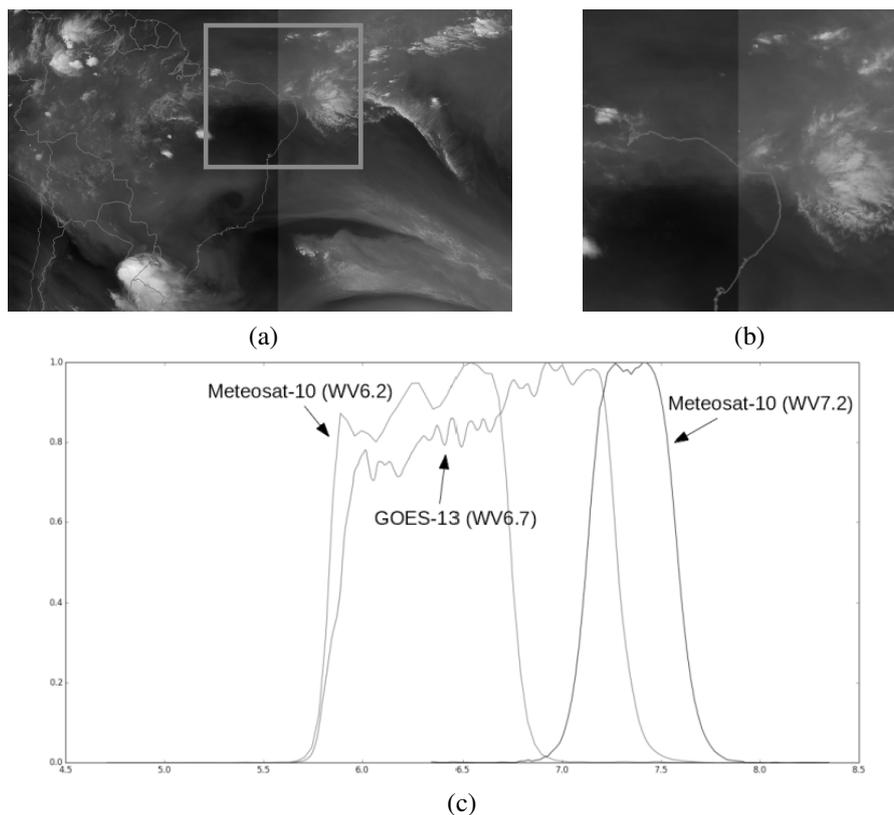


Figura 4: Composição WV: (a) destaque de uma região composta por imagens de ambos os satélites; (b) é possível observar uma transição dos valores de níveis de cinza, evidenciando a composição das imagens; (c) função resposta dos canais WV dos satélites GOES-13 e Meteosat-10.

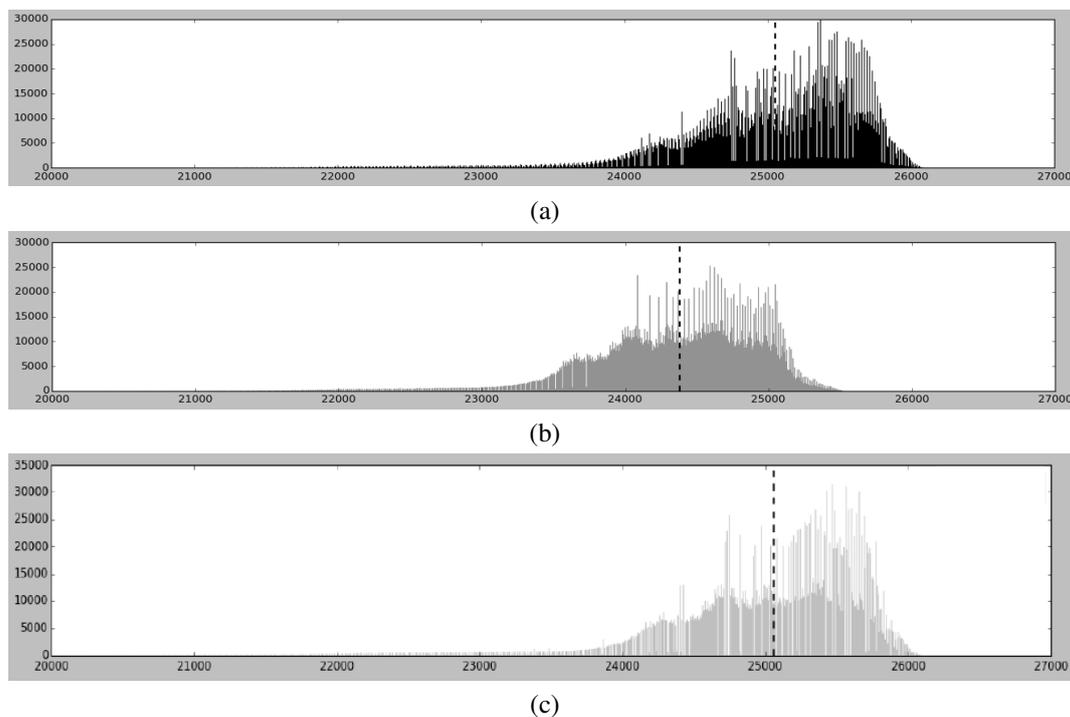


Figura 5: Histogramas calculados para o conjunto de dados: (a) WV6.7 (GOES) e (b) WV6.2 (Meteosat). O resultado obtido a partir da técnica *histogram matching* é apresentado em (c).

2.2. Histogram Matching

A técnica *histogram matching* consiste na transformação de uma imagem qualquer de modo que seu histograma se aproxime de um histograma específico. No geral, o histograma para o qual se deseja aproximar é obtido a partir de outra imagem. Com isso, após a aplicação da transformação, as imagens terão brilho e contraste semelhantes. Ou seja, a técnica pode ser utilizada para normalizar duas imagens obtidas no mesmo local, porém por sensores ou em condições diferentes (*e.g.* iluminação) (GONZALEZ; WOODS, 2008).

Considere duas imagens digitais, sendo uma imagem referência I_R e uma imagem que será ajustada I_A . Para cada uma das imagens, os respectivos histogramas são calculados. Em seguida, define-se a função de distribuição acumulada (*fda*) de cada histograma, sendo fda_R para a imagem de referência e fda_A para a imagem que será ajustada. Para cada valor de imagem $v_1 \in I_A$, encontra-se um valor v_2 tal que $fda_A(v_1) = fda_R(v_2)$. O resultado é a função M que realiza a operação *histogram matching* entre as duas imagens, *i.e.* $M(v_1) = v_2$. Finalmente, aplica-se a função M para cada *pixel* da imagem I_A .

A técnica foi aplicada nos histogramas calculados das imagens selecionadas do dia 08 de abril de 2016, sendo o canal WV6.7 (GOES-13) a referência e o canal WV6.2 (Meteosat-10) os valores a serem ajustados. A Figura 5.c apresenta o resultado obtido. Percebe-se uma boa aproximação da distribuição dos valores de temperatura de brilho entre o resultado e o canal WV do GOES-13 (Fig. 5.a).

De posse do resultado, é possível definir a relação entre os valores originais WV6.2 (Meteosat-10) e os respectivos valores modificados. Realizou-se a regressão linear dos dados obtendo uma equação geral de transformação dada por $y = 1,08x - 12,68$, em que x é o valor de temperatura de brilho (K) medido no canal WV6.2 (Meteosat-10) e y é o valor transformado para ser utilizado na composição (Fig. 6). A regressão linear apresentou $R^2 = 0,995$.

Para uma transformação mais precisa, foi construída uma tabela para ser aplicada em todas as imagens WV6.2 (Meteosat-10) antes da realização da composição. Neste caso, utilizou-se uma interpolação dos dados no intervalo de temperatura [190, 255] K, com $\Delta = 0,5$ K.

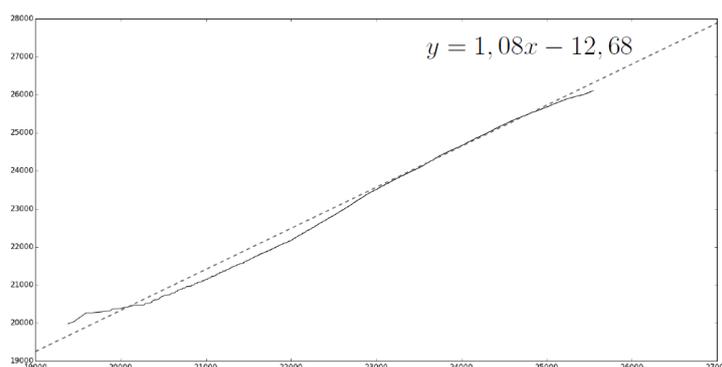


Figura 6: Relação entre os valores originais (eixo x) do canal WV6.2 (Meteosat-10) e os valores transformados (eixo y) pela técnica *histogram matching*.

Definida a equação e a tabela de transformação, antes do processamento para realização da composição WV, os valores medidos pelo canal canal WV6.2 (Meteosat-10) são alterados. A Figura 7 apresenta os resultados obtidos com a utilização da técnica proposta para dois casos. A partir de uma análise visual, é possível observar as melhorias para a composição, apresentando tons de cinza muito similares e fisicamente coerentes. Assim, o emprego desse tipo de composição em nefanálise ou na análise da situação sinótica é muito mais simples e natural. Em ambos os casos utilizou-se a tabela de transformação visando um ajuste mais preciso.

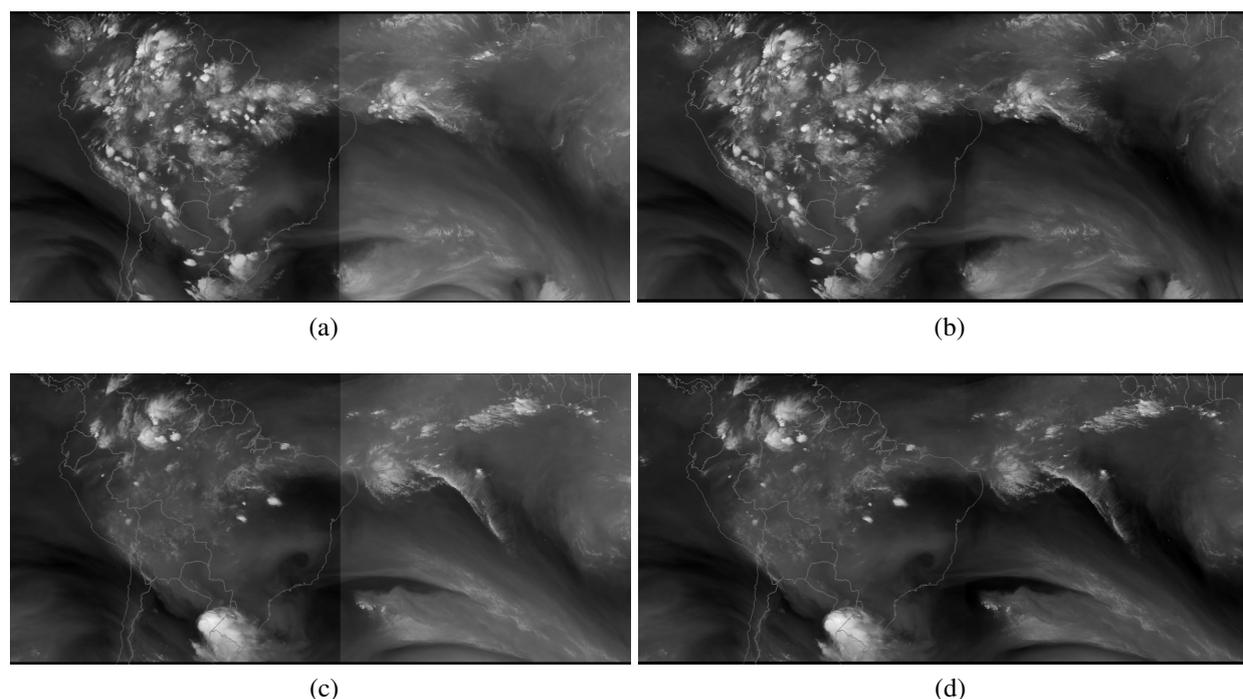


Figura 7: Composições WV6.7 (GOES-13) e WV6.2 (Meteosat-10): (a) e (c) originais, sem transformação dos valores do canal Meteosat e (b) e (d) resultados da composição após aplicação da técnica proposta.

3. Conclusão

Este trabalho apresentou uma estratégia de pré-processamento para aprimorar a composição de imagens do canal do vapor d'água adquiridas a partir de diferentes sensores a bordo de satélites geoestacionários. Especificamente, a metodologia utiliza o método de processamento de imagens denominado *histogram matching*. As análises foram realizadas com dados dos satélites GOES-13 (canal WV6.7) e Meteosat-10 (canal WV6.2). Os resultados mostraram, a partir de uma análise visual, melhorias nas composições. O procedimento para transformação dos valores de temperatura de brilho é simples com a utilização da tabela construída. Os valores podem ser encontrados diretamente por aproximação ou utilizando uma interpolação linear simples, por exemplo. Outra opção é a utilização da equação geral de transformação. Um trabalho futuro pode avaliar como os resultados obtidos a partir da técnica *histogram matching* se aproximam dos valores ajustados a partir de uma regressão utilizando valores de radiância estimados por um modelo de transferência radiativa. A tabela de transformação completa no formato *comma-separated values* (CSV) pode ser obtida no endereço http://pyata.cptec.inpe.br/histogram_matching/wv/meteosat-wv-6.2-conversion-table.csv.

Referências

CIMSS. *CIMSS and NOAA/NESDIS/STAR/ASPB Calibration Projects and Research*. 2016. Disponível em: <<http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/calibration/>>.

EUMETSAT. *Meteosat Second Generation (MSG)*. 2016. Disponível em: <<http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Meteosat/index.html>>.

GONZALEZ, R.; WOODS, R. *Digital Image Processing (3rd Edition)*. [S.l.]: Pearson, 2008. ISBN 9780131687288.



JANOWIAK, J. E.; JOYCE, R. J.; YAROSH, Y. A real-time global half-hourly pixel-resolution infrared dataset and its applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, American Meteorological Society, v. 82, n. 2, p. 205–217, 2001.

KOHRN, R. A. et al. Global satellite composites — 20 years of evolution. *Atmospheric Research*, v. 135–136, p. 8–34, 2014. ISSN 0169-8095.

NASA. *GOES - Geostationary Operational Environmental Satellites*. 2016. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/content/goes>>.