



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

**PROJETO ANÁLISE DOS CAMPOS DE
VENTO ESTIMADOS A PARTIR DE
SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS
UTILIZANDO OS CANAIS VISÍVEL E
INFRAVERMELHO PRÓXIMO NO
CPTEC/INPE**

Rodrigo de Araujo Souza (UNISAL/Lorena, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: rodrigo.araujo@cptec.inpe.br

Renato Galante Negri (DSA/CPTEC/INPE, Orientador)

E-mail: renato.galante@cptec.inpe.br

Cachoeira Paulista, SP

20 de julho de 2017

CONTENTS

	<u>Page</u>
1 INTRODUÇÃO	5
2 OBJETIVOS	7
2.0.1 Objetivo Geral	7
2.0.2 Objetivos Específicos	7
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.0.1 O sensor GOES-Imager	8
3.0.2 Modelo de estimativa do vento	10
3.0.3 Radiossondagens	14
3.0.4 Comparação entre os campos de vento, radiossondagens e re-análises	15
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERENCES	22

RESUMO

O trabalho possui como principal objetivo analisar estatisticamente os campos de vento, que são gerados a partir de uma sequência de imagens do satélite geostacionário GOES-13, auxiliando o CPTEC/INPE a compreender o impacto destes campos de vento no processo de assimilação e identificando possíveis erros nos algoritmos a fim de serem corrigidos. Estes dados foram comparados com radiossondagens e re-análises de NCEP. Esse estudo envolveu o uso, aprimoramento e desenvolvimento de programas nas linguagens Fortran, Shell Script e Python. Os resultados parciais obtidos até o momento indicam que o vento estimado a partir do rastreamento de nuvens semi-transparentes apresentam o maior erro em relação às re-análises e radiossondas, indicando a existência de um problema na determinação da altura dos AMVs.

ABSTRACT

The main objective of this work is to analyze the wind fields, which are generated from a sequence of images of the GOES-13 geostationary satellite, helping CPTEC/INPE to understand the impact of these wind fields on the assimilation process and identifying possible errors in the algorithms in order to be corrected. These data were compared with radiosondes and NCEP re-analyzes. This study involved the use, improvement and development of programs in Fortran, Shell Script and Python languages. The partial results obtained so far indicate that the estimated wind from the tracking of semi-transparent clouds presents the greatest error in relation to re-analyzes and radiosondes, indicating the existence of a problem in determining the height of the AMVs.

1 INTRODUÇÃO

O vento, que nada mais é que o movimento das massas de ar, é classificado de acordo com sua intensidade e direção. Conhecer a direção e a velocidade do vento em diferentes níveis da atmosfera é importante para serem utilizados em modelos de previsão de tempo bem como na previsão operacional do tempo. A extração das componentes do vento a partir de imagens de satélites teve início na segunda metade da década de 70. (LEESE et al., 1971).

A estimativa do vento por satélite é baseada no rastreamento de nuvens que estão presentes em imagens de satélite de uma mesma região. A partir da determinação do deslocamento dessas nuvens, presentes nessas imagens, é determinado a sua trajetória, e conseqüentemente, a direção e a velocidade do vento. A estimativa do vento a partir de imagens de satélites teve início no final da década de 60 e na primeira metade dos anos 70 (FUJITA et al., 1969).

Para isso, é suposto que as nuvens se deslocam devido a atividade dos ventos. Inicialmente, o rastreamento das nuvens e a determinação de suas trajetórias era feito manualmente e utilizava imagens de satélite dos canais infravermelhos. Com o passar dos anos, a estimativa do vento via satélites geoestacionários se tornou um produto importante, particularmente para a assimilação de dados para modelos de previsão numérica do tempo (RADFORD, 1989).

O modelo que foi desenvolvido no CPTEC/INPE para a extração dos ventos em diferentes níveis da troposfera é baseado no rastreamento das nuvens que estão presentes nas imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janelado satélite GOES. As imagens do canal visível são utilizadas para fazer a extração do vento no período diurno e as imagens do canal infravermelho são usadas para o período noturno. O vento obtidos pelo canal infravermelho conta com uma rotina para a correção das nuvens semitransparentes. Detalhes do modelo de correção de nuvens semi-transparentes podem ser encontrados no trabalho de Laurent et al. (LAURENT et al., 2000).

Atualmente a Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) possuem um modelo de extração de vento operacional utilizando imagens do satélite GOES, desenvolvido por Laurent et al. (LAURENT et al., 2000), apresentando valores satisfatórios para altos níveis, porém de mais baixa qualidade para os vetores de vento em níveis baixos e médios.

As imagens do canal visível possui uma resolução maior, com isso faz com que estruturas menores sejam detectadas, deste modo o deslocamento das nuvens, direção e a velocidade dos ventos são determinados com maior eficácia. Ainda utilizando imagens de infravermelho é possível realizar uma boa estimativa dos níveis médios e altos, mas não eficaz em estimar em baixos níveis, pelo fato da diferença entre o topo das nuvens baixas e a temperatura.

Para estimar o vento em baixos níveis, durante o período noturno, o uso das imagens do canal infravermelho próximo ($3,9 \mu m$) é uma boa opção, pois possibilita a detecção das nuvens baixas com mais precisão que o canal infravermelho (LEE et al., 1997). No Brasil, somente o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) possui modelos de estimativas de vento que utilizam imagens do canal infravermelho janela e do canal de vapor d'água. Laurent e Machado, descrevem os detalhes dos modelos em uso operacional no CPTEC (LAURENT et al., 2000).

Essas imagens são da família de satélites geoestacionários GOES que começaram a ser disponibilizados operacionalmente pela DSA/CPTEC que são ferramentas de grande importância na geração de produtos e observação para a assimilação em modelos de circulação total da atmosfera.

2 OBJETIVOS

2.0.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi analisar estatisticamente os campos de vento, gerados operacionalmente no CPTEC/INPE a partir de sequências de imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janela do satélite geostacionário GOES-13. A análise foi feita a partir da comparação entre os campos de vento e dados provenientes de radiossondagens, A presente proposta buscou auxiliar o CPTEC/INPE em entender melhor qual é o impacto do uso desses campos de vento no processo de assimilação bem como identificar possíveis erros presentes nesses algoritmos que deverão corrigidos futuramente.

2.0.2 Objetivos Específicos

O CPTEC/INPE possui um conjunto de algoritmos automáticos para a estimativa do vento utilizando dados provenientes de satélites geostacionários. Tais algoritmos mantidos operacionalmente desde 2002 e sua principal aplicação é na assimilação de dados em modelos numéricos de previsão de tempo.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Verificar a existência de erros sistemáticos na determinação da altura dos vetores e quantificá-los;
- Analisar o impacto deste tipo de dado no modelo global do CPTEC através da comparação entre rodadas de controle e rodadas utilizando tais dados no processo de assimilação de dados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção apresenta a revisão bibliográfica sobre o assunto proposto para o projeto de iniciação científica. O espectro eletromagnético é a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou frequência. De forma geral, é definido como sendo o intervalo que contém todas as radiações eletromagnéticas que vai desde as ondas de rádio até os raios gama. Neste trabalho canais localizados nas porções do visível e infravermelho térmico serão usados.

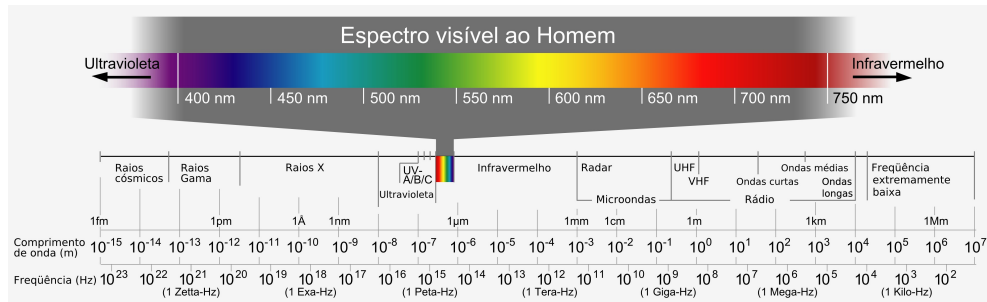


Figure 3.1 - O espectro eletromagnético

O quadro representa os valores aproximados em comprimento de onda, frequência e energia para regiões selecionadas do espectro eletromagnético.

Região	Comp. Onda (Å)	Comp. Onda (cm)	Frequência (Hz)	Energia (eV)
Rádio	$> 10^9$	> 10	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Micro-ondas	$10^9 - 10^6$	$10 - 0.01$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Infra-vermelho	$10^6 - 7000$	$0.01 - 7 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Visível	$7000 - 4000$	$7 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Ultravioleta	$4000 - 10$	$4 \times 10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
Raios-X	$10 - 0.1$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^3$
Raios Gama	< 0.1	$< 10^9$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

Tabela 1: Regiões do espectro eletromagnético.

3.0.1 O sensor GOES-Imager

O sensor *GOES-Imager* é um dispositivo multi-canal, feito para identificar a energia radiante e solar que são refletidas nas áreas amostradas na terra.

A Figura 3.2 mostra esquematicamente o instrumento *GOES-Imager*. Os canais

são elementos múltiplos para fazer uma varredura simultaneamente de leste-oeste e oeste-leste em todo o caminho de norte a sul. O sistema de varredura é composto por um espelho de dois eixos responsável pela definição da área amostrada.

Este dispositivo pode produzir imagens de aproximadamente todo um hemisfério (*full disk*), e também vários setores menores, permite a visualização contínua rápida de áreas locais para a monitorização dos fenômenos de mesoescala (regionais) e estimativas de vento precisas.

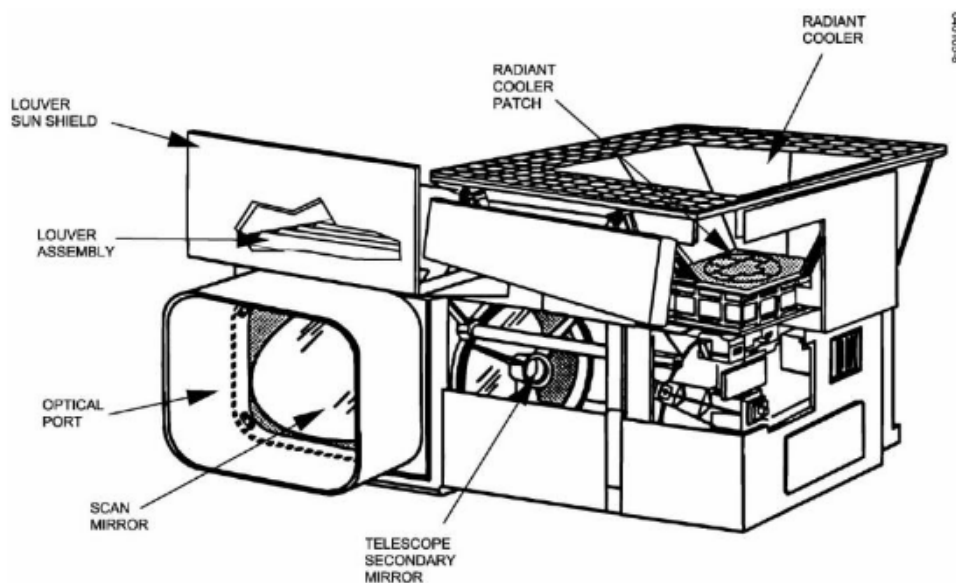


Figure 3.2 - O imageador GOES-Imager.

O sensor GOES-Imagens a bordo do satélites GOES-13 possui 5 canais espectrais nas porções do visível e do infravermelho térmico. A Tabela 3.0.1 apresenta estes canais e algumas aplicações típicas. As funções respondidas dos canais à bordo do satélite GOES-13 são apresentadas na Figura 3.3.

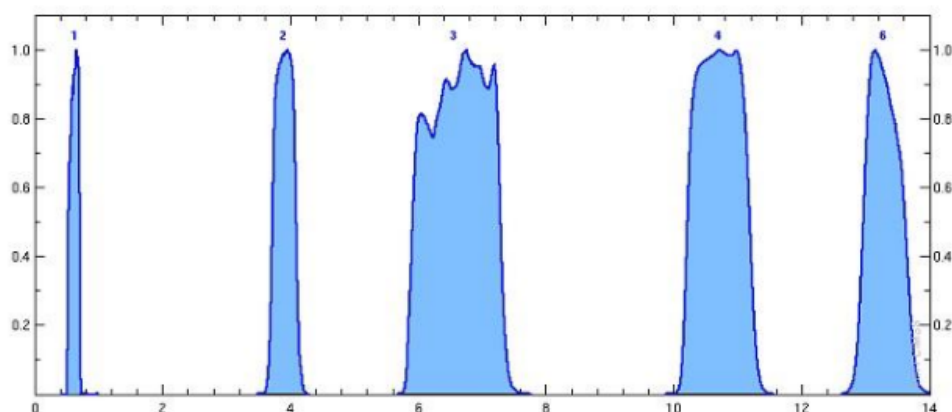


Figure 3.3 - Funções resposta dos canais do sensor GOES-Imager.

Canal	1	2*	3*	4	5*
Comprimento de onda	0,65	3,9	6,7	11	12
Produto					
Nuvens	x	x	x	x	x
Vapor de água			x	x	x
Tem. Superfície		o		x	o
Ventos	x		x	x	
Albedo + flux IR	x		o	x	o
Fumaça de queimadas	x	x		o	o

Tabela 2: Canais espectrais do sensor GOES-Imager e suas aplicações típicas.

Chave:

* = novos dados de canal

x = canal principal

o = canal secundário

3.0.2 Modelo de estimativa do vento

No CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), são estimados vento a partir de satélites, mais especificamente satélites geostacionários. As nuvens se deslocam devido a ação significativa dos ventos, e com isso a direção e a velocidade são de grande importância para estimar esse deslocamento das nuvens que estão presentes nas imagens por satélite.

O CPTEC/INPE tem o intuito para a estimar o vento, e com isso, fornecer as informações sobre a circulação atmosférica que é movimentação das massas de ar em meso e grande escala. Essa movimentação ocorre na Troposfera, a camada da atmosfera mais próxima da Terra. Com uma grande cobertura espacial (80 a 100 km).

Sobre a superfície dos oceanos é praticamente impossível obter informação alguma sobre vento, no hemisfério sul a área oceânica é superior as áreas continentais, quando comparadas ao do hemisfério norte. Portanto os dados referentes ao vento, obtidos a partir de estações convencionais, são mais escassos.

Os nomes dos ventos mais utilizados são AMV (*Atmospheric Motion Vectors*), (*Cloud drift winds*), (*Cloud motion vectors*), (*Satellite winds*), (*Satwinds*), (*Cloud track winds*), (*Cloud motion winds*), (*Feature track winds*) e etc.

Neste presente trabalho serão chamados de AMV (*Atmospheric Motion Vectors*), são utilizados para descrever o escoamento na escala sinótica nos esquemas de assimilação de dados, o que torna necessário para obter o AMV com maior resolução espacial.

Existem várias etapas típicas no processo de estimativa de AMVs. No processamento das imagens por satélites, é feita uma retificação de imagens que é de extrema importância, principalmente para as imagens de canal visível devido a dependência do ângulo de iluminação que varia durante todo o dia, a utilização do canal visível mostrou um grande avanço na estimativa do vento realizando a definição dos alvos mais úteis para o rastreamento com regiões que contenham nuvens ou um gradiente de vapor com contraste suficiente para o rastreamento. Essa técnica de rastreamento automático de nuvens foi realizada inicialmente utilizando o método das correlações cruzadas proposto por Leese et al. (LEESE et al., 1971).

Esta técnica descarta o rastreamento individual de nuvens devido à complexidade dessa tarefa mesmo se contando com um computador potente. Determinar uma posição específica dos alvos escolhidos na imagem seguinte, e cada alvo na imagem inicial, é feito um rastreamento nas imagens sucessivas para determinar o deslocamento. Um padrão de um intervalo de até 30 minutos as nuvens podem alterar a forma excessivamente ou até desaparecer, mas os alvos são suficientes geralmente permanecem para produção de AMVs, intervalos mais curtos, 15 minutos por exemplo, esse problema é menor e mais AMVs são produzidos, o campo era mais preciso, e se tinha uma melhora na estimativa.

É necessário que os resultados obtidos através dos cálculos dos vetores, considerando o deslocamento geográfico da posição e direção, e o intervalo do tempo das imagens. Definição da altura do AMV estimada é extremamente necessária para a estimativa de vento e também a maior fonte de erro nesse dado. Logo após de todos os cálculos dos vetores de vento, o resultado alcançado passa por um controle de qualidade que são constituídos por alguns testes que analisam o nível de confiabilidade composto por cada vetor.

Abaixo são apresentados alguns exemplos dos campos de vento estimados a partir do uso dos canais visível (Figura 3.4), infravermelho próximo (Figura 3.5), vapor d'água (Figura 3.6) e infravermelho janela (Figura 3.7). Os canais visível e infravermelho próximo são utilizados apenas para a estimativa do vento nos baixos níveis, o canal do vapor d'água é empregado na estimativa do vento nos altos níveis e níveis médio e com o canal infravermelho janela é possível estimar o vento em todos os níveis da troposfera.

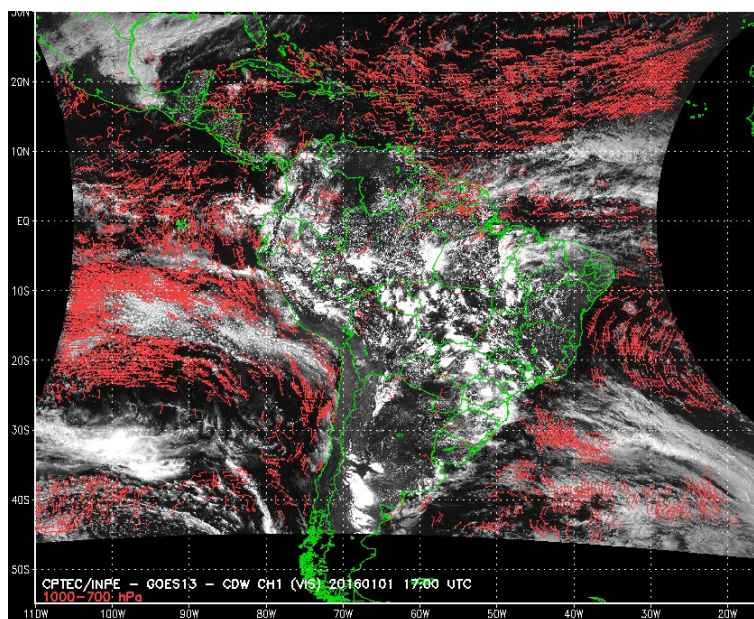


Figure 3.4 - Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal visível do satélite GOES-13.

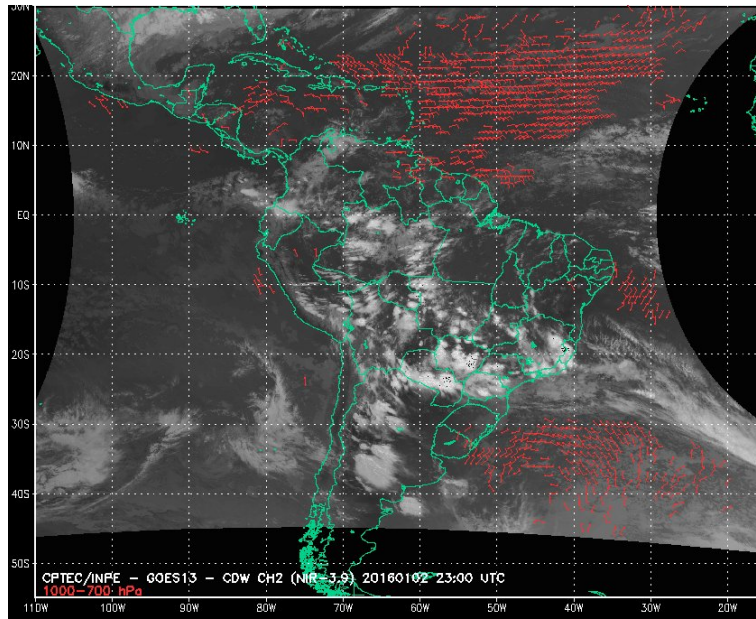


Figure 3.5 - Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal $3.9 \mu\text{m}$ (infravermelho próximo) do satélite GOES-13.

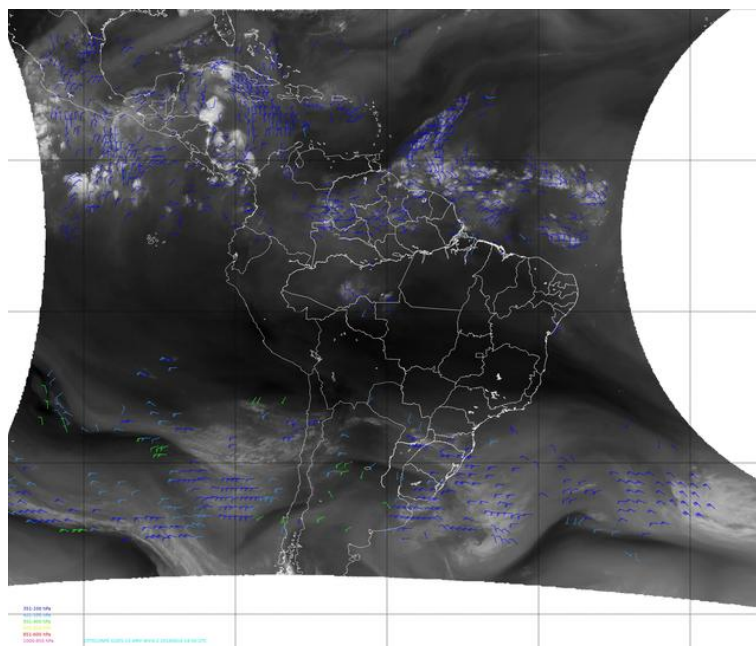


Figure 3.6 - Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal $6.7 \mu\text{m}$ (vapor d'água) do satélite GOES-13.

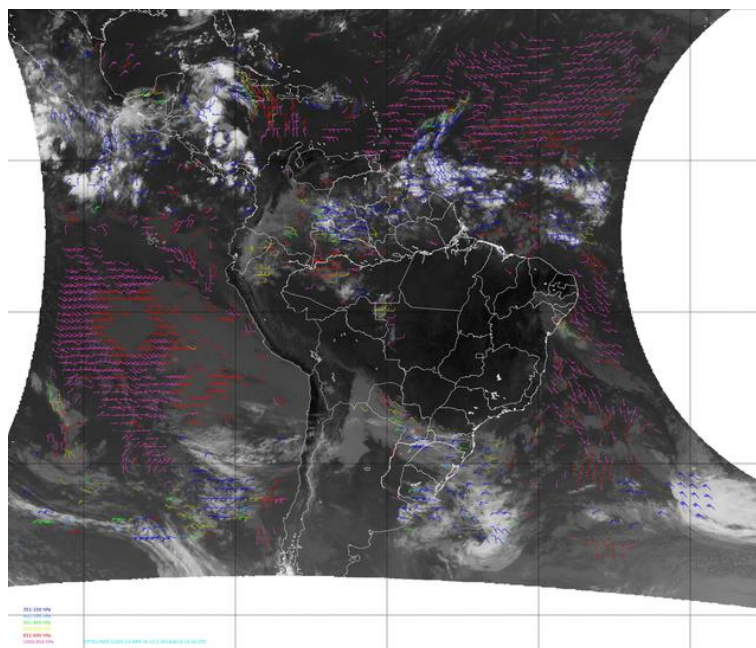


Figure 3.7 - Exemplo de um campo de vento obtido a partir do canal $10.2 \mu m$ (infravermelho janela) do satélite GOES-13.

3.0.3 Radiossondagens

A radiossonda é um aparelho transmissor de rádio, de sensores de pressão, de temperatura e de umidade, que é lançado na atmosfera, transportado por um balão de borracha, inflado com gás. As radiossondas tem o alcance com cerca de 30 km de altitude, quando ocorre o rompimento das paredes do balão e o sistema cai em direção a superfície. Dessa forma tornando-se muitas vezes descartáveis, sendo utilizadas apenas uma única vez.

A mudança de pressão em altitude é feita conforme vão sendo identificadas as camadas a temperatura virtual, variando linearmente com a altura e composto a equação hipsométrica para cada uma delas, e assim vinculado a um microcomputador onde serão feitos uma serie de cálculos.

Os dados aerológicos alcançados através de radiossondagens são usados para identificar as características dinâmicas e termodinâmicas da atmosfera. Com avanço tecnológico na área de informática tornou-se rotineiro proceder a análise de perfis aerológicos usando microcomputadores dotados do software apropriado.

A radiossonda refere-se em um tipo de sondagem das camadas superiores da

atmosfera, constituído no interior de uma pequena caixa plástica lançada na superfície para atmosfera, por meio de um balão, formado por sensores de temperatura, umidade de pressão, simultaneamente com um radiotransmissor e uma antena. As radiossondagens ainda são muito usadas embora existam outras técnicas como, balões cativos, balões livres, aviões e satélites.

3.0.4 Comparação entre os campos de vento, radiossondagens e re-análises

Esta seção descreve os resultados preliminares da análise dos campos de vento realizada através da comparação com medidas de radiossondas e com os dados das reanálises fornecidos pelo NCEP.

A Figura 3.8 apresenta a série históricas do erro quadrático médio (RMS), viés (BIAS), diferença vetorial média (MVD) e o número de observações (NOBS) para o período jan/2012 a dez/2016. Esse aumento não é tão pronunciado para os AMVs localizados na região equatorial (20N-20S).

A cobertura espacial das radiossondas não permite avaliar estes modelos para as regiões oceânicas, que são grande parte da área em que o vento é estimado. Nesse sentido, estas estatísticas não representam o skill do algoritmo de estimativa do vento para todas as situações possíveis, sendo útil apenas para as regiões continentais.

Observamos um aumento considerável dos valores do RMS, MVD e BIAS a partir de março de 2016. Busca averiguar o motivo desse aumento nos valores do erro, analisou-se a distribuição espacial dos AMVs. Falhas constantes na recepção de imagens de satélites, necessárias para a geração de dados de vento, podem ter provocado a diminuição da quantidade de AMVs.

A partir das Figuras 3.9, 3.10 e 3.11, das quais as análises foram geradas em abril de 2013 para o campo referente ao canal do infravermelho janela (IR 10.2 μm), é possível notar a quantidade de informações geradas no mapa por conta de sua grande quantidade de AMVs existentes naquele mesmo período.

Já nas seguintes figuras, referentes ao ano de 2016, observe na Figura 3.12 que há uma diminuição na quantidade de AMVs sobre o continente. Em maio e julho do mesmo ano, essa falta de informações é elevada, como exemplificado nas Figuras 3.13 e 3.14. Além disso, nota-se também a anulação de análises sobre grande parte da região Sul do continente. É provável que esta diferença ocorre devido a uma alteração de parâmetros, que são formados por modelos numéricos e imagens de

satélite, para a estimativa. Resultando assim, um menor número de AMVs para a comparação com as radiossondagens. Tal fato ainda precisa ser mais explorado para obtermos uma explicação definitiva.



Figure 3.8 - Comparação entre os campos de vento obtidos pelo canal do infravermelho janela e radiossondagens.

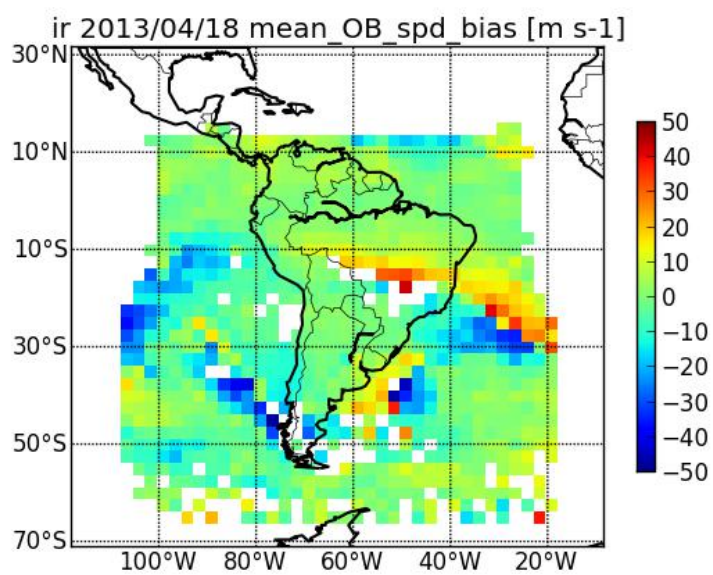


Figure 3.9 - BIAS médio da velocidade do vento para 18 de abril de 2013.

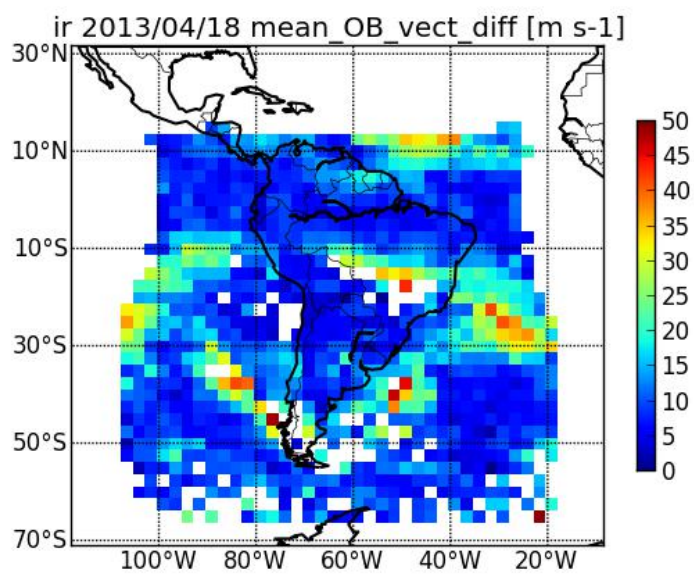


Figure 3.10 - Diferença média da velocidade do vento para 18 de abril de 2013.

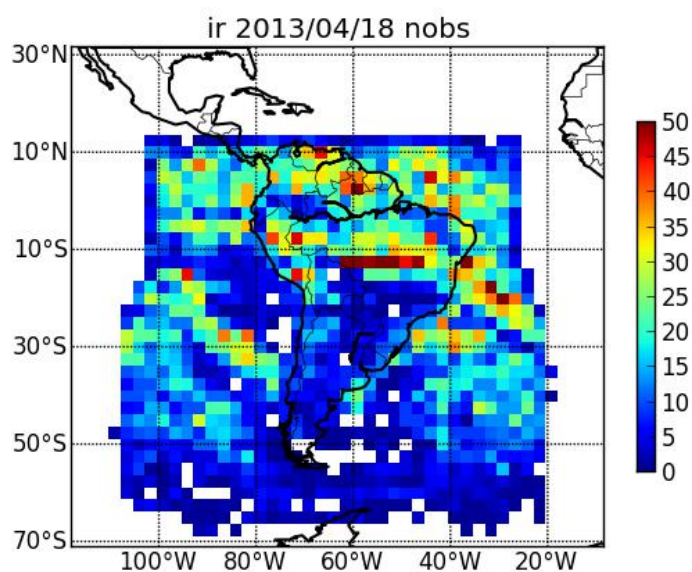


Figure 3.11 - Número de amostras disponíveis para comparação de 18 de abril de 2013. Uma fração das amostras são descartadas durante o processo de comparação.

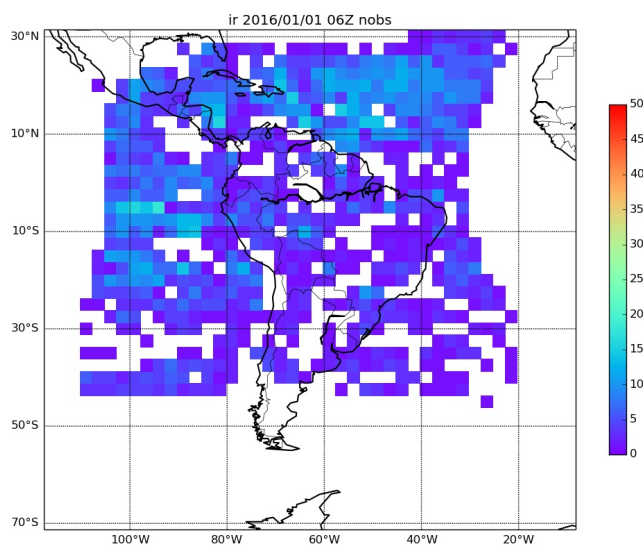


Figure 3.12 - Número de amostras disponíveis para comparação referente a 1 de janeiro de 2016 às 06:00 UTC.

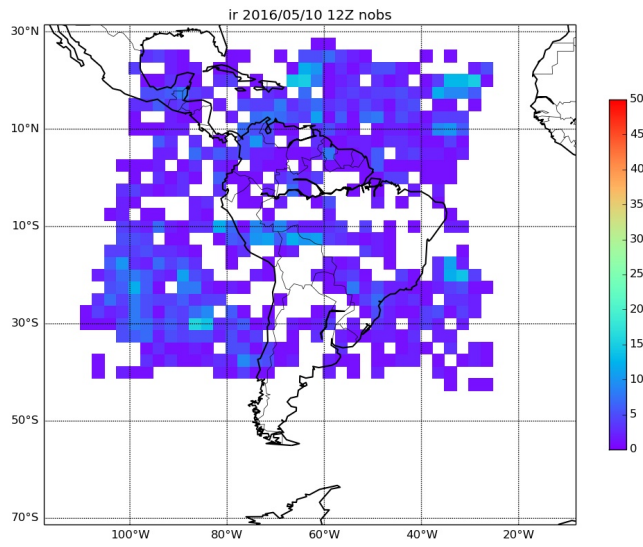


Figure 3.13 - Número de amostras disponíveis para comparação referente a 1 de maio de 2016 às 12:00 UTC.

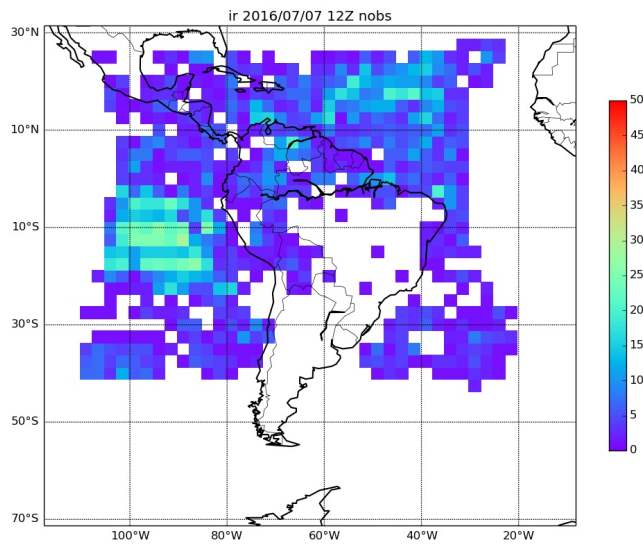


Figure 3.14 - Número de amostras disponíveis para comparação referente a 7 de julho de 2016 às 12:00 UTC.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo analisar estatisticamente os campos de vento, gerados no CPTEC/INPE a partir de uma sequências de imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janela do satélite geoestacionário GOES-13.

Foi feita uma análise a partir da comparação entre os campos de vento e de dados provenientes de radiossondagens. E assim dar o auxílio ao CPTEC/INPE a melhorar o impacto desses campos de vento, e identificar possíveis erros presentes nesses algoritmos que deverão ser reparados futuramente.

Através dos resultados apresentados, podemos verificar que os valores das estatísticas calculadas de 2012 até fevereiro de 2016 apresentam valores similares, contudo a partir de março de 2016, verificou-se uma alteração considerável para os valores do BIAS e RMS para os AMVs localizados ao sul da latitude 20S.

Esta piora nos valores do erro entre os AMVs e as radiossondagens deve estar associada à diminuição da quantidade de AMVs estimados sobre a região continental, como pode ser observado ao comparar os AMVs aos dados de reanálises.

De fato, este aumento no erro deve ser explorado com maiores detalhes para obtermos uma explicação mais segura e definitiva. Até o momento, apenas a distribuição espacial das amostras foi analisada, sendo necessário verificar também quais eventos meteorológicos ocorreram durante o ano de 2016 que, associados à diminuição do número de AMVs, pode ter ocasionado a elevação dos valores do erro.

REFERENCES

- FUJITA, T. T.; WATANABE, K.; IZAWA, T. Formation and structure of equatorial anticyclones caused by large-scale cross-equatorial flows determined by ats-i photographs. **Journal of Applied Meteorology**, v. 8, n. 4, p. 649–667, 1969. 5
- LAURENT, H.; MACHADO, L. A. T.; FOMIN, B.; GONDIM, M. A.; IRD, L.; GGRENOBLE, F. Extração do vento utilizando imagens de satélite no cptec: Nova versão e avaliação com dados do wet amc/lba. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro**. [S.l.: s.n.], 2000. p. 16–20. 5, 6
- LEE, T. F.; TURK, F. J.; RICHARDSON, K. Stratus and fog products using goes-8–9 3.9- μ m data. **Weather and Forecasting**, v. 12, n. 3, p. 664–677, 1997. 6
- LEESE, J. A.; NOVAK, C. S.; CLARK, B. B. An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross correlation. **Journal of applied meteorology**, v. 10, n. 1, p. 118–132, 1971. 5, 11
- RADFORD, A. Monitoring of cloud-motion winds at ecmwf. In: **Proc. ECMWF/EUMETSAT Workshop: the Use of Satellite Data In Operational Numerical Weather Prediction**. [S.l.: s.n.], 1989. v. 1993, p. 249–262. 5