



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

PIBIC-IBITI/CNPq/INPE
RELATÓRIO TÉCNICO DE ATIVIDADES

<v9>

[Referente ao período: fevereiro/2021 a agosto/2021]

Número do Processo Institucional: 800353/2018-8

Número do Processo Individual: 101161/2021-2

Bolsista: Patrick dos Santos Câmara

Orientador: Renato Galante Negri

Área: Meteorologia

Vigência original da bolsa: setembro/2020 a agosto/2021

Modalidade da bolsa: PIBIC



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

RELATÓRIO TÉCNICO - FINAL

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



Índice

1	Introdução.....	4
2	Objetivo.....	5
3	Revisão bibliográfica.....	5
3.1	O sensor ABI/GOES-16.....	5
3.2	Modelo de estimativa do vento.....	6
3.3	Radiossondagens.....	8
3.4	Reanálises.....	9
4	Dados e metodologia.....	9
4.1	AMV.....	9
4.2	Brazilian Atmospheric Model (BAM).....	10
4.3	Radiossondas.....	11
4.4	Imagens ABI/GOES-16.....	11
4.5	Reanálises.....	11
5	Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa.....	11
6	Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto.....	12
7	Conclusões Gerais.....	14
8	Referências Bibliográficas.....	14



1 Introdução

O deslocamento das massas de ar, ou seja, o vento, é classificado de acordo com sua intensidade e direção. A direção e a velocidade do vento em diferentes níveis da atmosfera são importantes para serem utilizadas 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), sendo baseada no rastreamento de nuvens presentes em imagens de satélite de uma mesma região. A determinação do deslocamento dessas nuvens definem a direção e a velocidade do vento. Essa técnica teve início no final da década de 60 e na primeira metade dos anos 70 (FUJITA et al., 1969), supondo 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 de estimativa do vento troposférico desenvolvido no CPTEC/INPE é baseado no rastreamento das nuvens que estão presentes nas imagens dos canais visível, infravermelho próximo, vapor d'água e infravermelho janela dos satélites da série 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 (LAURENT et al., 2000).

Atualmente o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) possui um modelo de extração de vento operacional utilizando imagens do satélite GOES-16. 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. Utilizando imagens de infravermelho, é possível realizar uma boa estimativa dos níveis médios e altos, mas não eficaz em estimar em baixos níveis devido ao baixo contraste 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 ($3,9 \mu\text{m}$) 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.

Por ser um método automático de extração de uma variável atmosférica, esse processo está sujeito à erros que comprometem parcialmente as medidas inferidas.

Este trabalho analisou estatisticamente os campos de vento, gerados operacionalmente no CPTEC/INPE, a partir de sequências de imagens do sensor *Advanced Baseline Imager* (ABI) a bordo do satélite geoestacionário GOES-16. Conhecer as deficiências desse dado auxilia na

compreensão dos impactos desse dado no processo de assimilação de dados ou no seu uso para o monitoramento do tempo e em *nowcasting*. Estes dados de vento foram comparados com re-análises e radiossondagens. O processo de verificação estatística envolveu o uso de ferramentas desenvolvidas nas linguagens *Fortran*, *Korn Shell* e *Python* além de trabalhar com a ferramenta de manipulação de dados de geociências *GrADS (Grid Analysis and Display System)*.

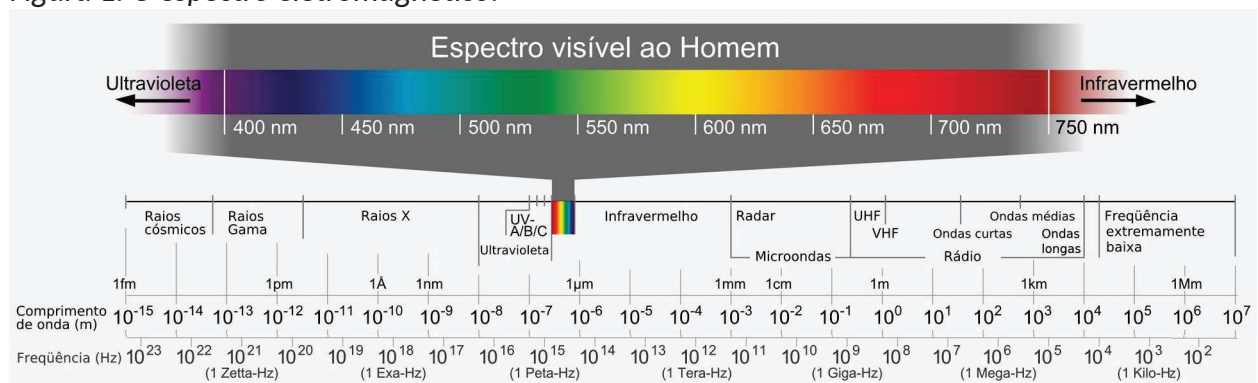
2 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi analisar os campos de vento gerados operacionalmente no CPTEC/INPE a partir de sequências de imagens dos canais visível e infravermelho próximo do satélite geostacionário GOES-16, buscando identificar erros sistemáticos, principalmente devido a erros na definição da altura dos vetores.

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 (Figura 1). 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 foram usados.

Figura 1: O espectro eletromagnético.

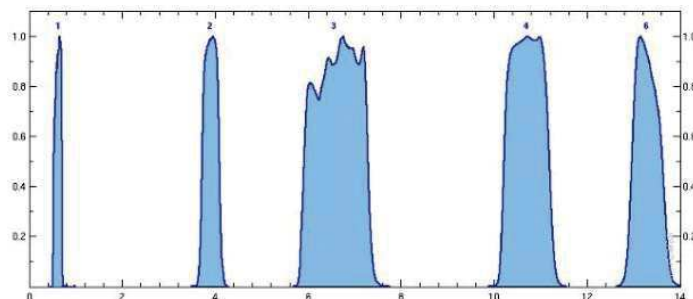


3.1 O sensor ABI/GOES-16

O sensor *Advanced Baseline Imager (ABI)* é um instrumento multi-canal que está a bordo do GOES-16. Ele permite monitorar continuamente os diversos alvos presentes na atmosfera e superfície do planeta mais detalhadamente quando comparado aos imageadores que equiparam as gerações anteriores dos satélites da série GOES. Comparado ao sensor *GOES-Imager*, que possuía 5 canais espectrais nas porções do visível e do infravermelho térmico (Figura 2), temos 11 bandas espectrais (canais) a mais (Figura 3), além de melhor resolução

espacial e temporal das observações (SCHMIT et al., 2017). Diversos produtos meteorológicos são derivados a partir das imagens obtidas por esses satélites, dentre eles, o vento na troposfera.

Figura 2: Funções resposta dos canais do sensor GOES-Imager.



3.2 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 geoestacionários. 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).

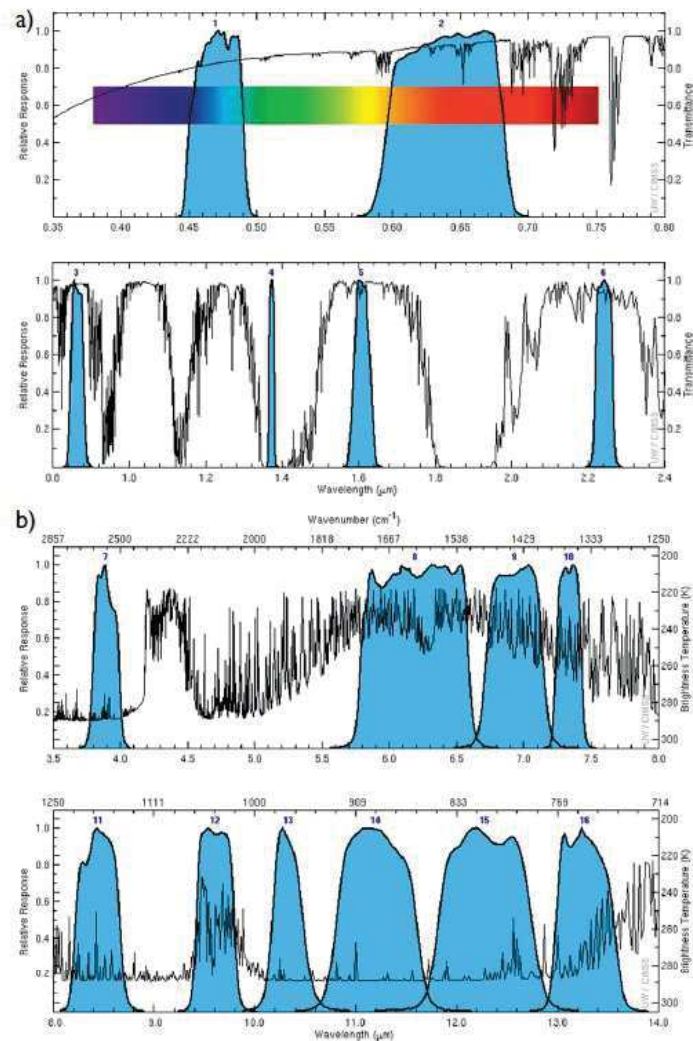
Sobre a superfície dos oceanos é praticamente impossível obter informação alguma sobre vento, no hemisfério sul a área oceânica é superior as áreas continentais, quando comparadas ao do hemisfério norte. Portanto os dados referentes ao vento, obtidos a partir de estações convencionais, são mais escassos.

Esse dado de vento é conhecido por diversos nomes como *Atmospheric Motion Vectors*, *Cloud drift winds*, *Cloud motion vectors*, *Satellite winds*, *Satwinds*, *Cloud track winds*, *Cloud motion winds*, *Feature track winds*, etc. Neste presente trabalho serão chamados de AMV (*Atmospheric Motion Vectors*), e são utilizados para descrever o escoamento desde a escala sinótica até a mesoescala nos esquemas de assimilação de dados, tornando necessário obter os AMVs 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 com tenham 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 (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. Num intervalo de até 30 minutos, um grupo de nuvens pode alterar sua forma excessivamente ou até desaparecer, mas, geralmente, uma quantidade suficiente de nuvens permanecem com pouca alteração para a produção dos AMVs. Em intervalos de tempo mais curtos, de 15 minutos por exemplo, esse problema é minimizado e mais AMVs são produzidos.

Figura 3: Funções resposta espectral para os 16 canais do sensor ABI/GOES-16.



Após a identificação do deslocamento das nuvens, a definição da altura do topo dessas nuvens, que define a altura do AMV, é necessária e é a maior fonte de erro nesse procedimento. A altura do topo da nuvem (CTH) é estimada por sensores passivos por meio de diferentes métodos que interpretam a radiação emitida do topo da nuvem e, a partir dela, infere sua



altura. Por essa razão, a CTH é considerada uma altura efetiva radiativa (STUBENRAUCH et al., 2013), em contraste com a estimativa de altura de sensores ativos que medem a radiação de retroespalhamento da nuvem. A CTH efetiva radiativa recuperada das radiâncias do satélite deriva da pressão do topo da nuvem na equação hidrostática. Uma abordagem simples para resolver o problema da estimativa da CTH é pressupor uma nuvem opticamente espessa e a cobertura de nuvens completa sobre o pixel. Isso significa que não haverá contribuição radiativa da superfície e da atmosfera abaixo da nuvem. Então, a partir de um perfil de temperatura e umidade previsto por um modelo numérico de previsão de tempo (PNT), é gerado um perfil de radiâncias. O nível de melhor ajuste será aquele em que as radiâncias calculadas mais se aproximam do valor observado pelo satélite.

Da mesma forma, o método da temperatura de corpo negro equivalente (EBBT) descrito por NIEMAN et al. (1993) utiliza um perfil de temperatura de PNT para comparar com a temperatura de corpo negro equivalente da nuvem na janela atmosférica. A suposição de uma nuvem completamente opaca e homogênea não é verdadeira na maioria das situações e, por essa razão, os métodos de ajuste de radiância subestimam a CTH para nuvens esparsas e nuvens semitransparentes. Isso ocorre devido às contribuições da superfície e da atmosfera abaixo da nuvem que não são completamente absorvidas pela nuvem e amplificam a radiância observada pelo sensor do satélite. Para nuvens opticamente rasas, há um método de correção semitransparente (SZEJWACH, 1982), chamado de *water vapor intercept*, que corrige a temperatura da nuvem para determinar a CTH, assumindo uma relação linear entre a radiância na janela atmosférica e na banda de absorção pelo vapor de água em função da cobertura de nuvens, em que a CTH é definida na interseção entre esta regressão linear e a curva simulada de radiâncias de nuvens opacas dos perfis previstos pelo modelo de PNT.

A Figura 4 apresenta um exemplo de campo de vento estimado a partir do uso do canal infravermelho janela. Os canais visível e infravermelho próximo são utilizados apenas para a estimativa do vento apenas nos baixos níveis, o canal do vapor d'água é empregado na estimativa do vento nos níveis médios e altos enquanto que o canal infravermelho janela permite estimar o vento em todos os níveis da troposfera apesar do desempenho nos baixos níveis ser inferior em relação aos canais visível e infravermelho próximo.

3.3 Radiosondagens

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 (VIANELLO, 2006). 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 série 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 de 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.

3.4 Reanálises

A reanálise atmosférica é uma fonte de dados com distribuição espacial e temporal uniforme, obtida através de um sistema de assimilação de dados que, por sua vez, utiliza um modelo de circulação geral da atmosfera para obter a estimativa do estado da atmosfera. Elas podem ser regionais ou globais e, geralmente, cobrem décadas de observações e são importantes para estudos de tempo e clima (KALNAY et. al, 1996).

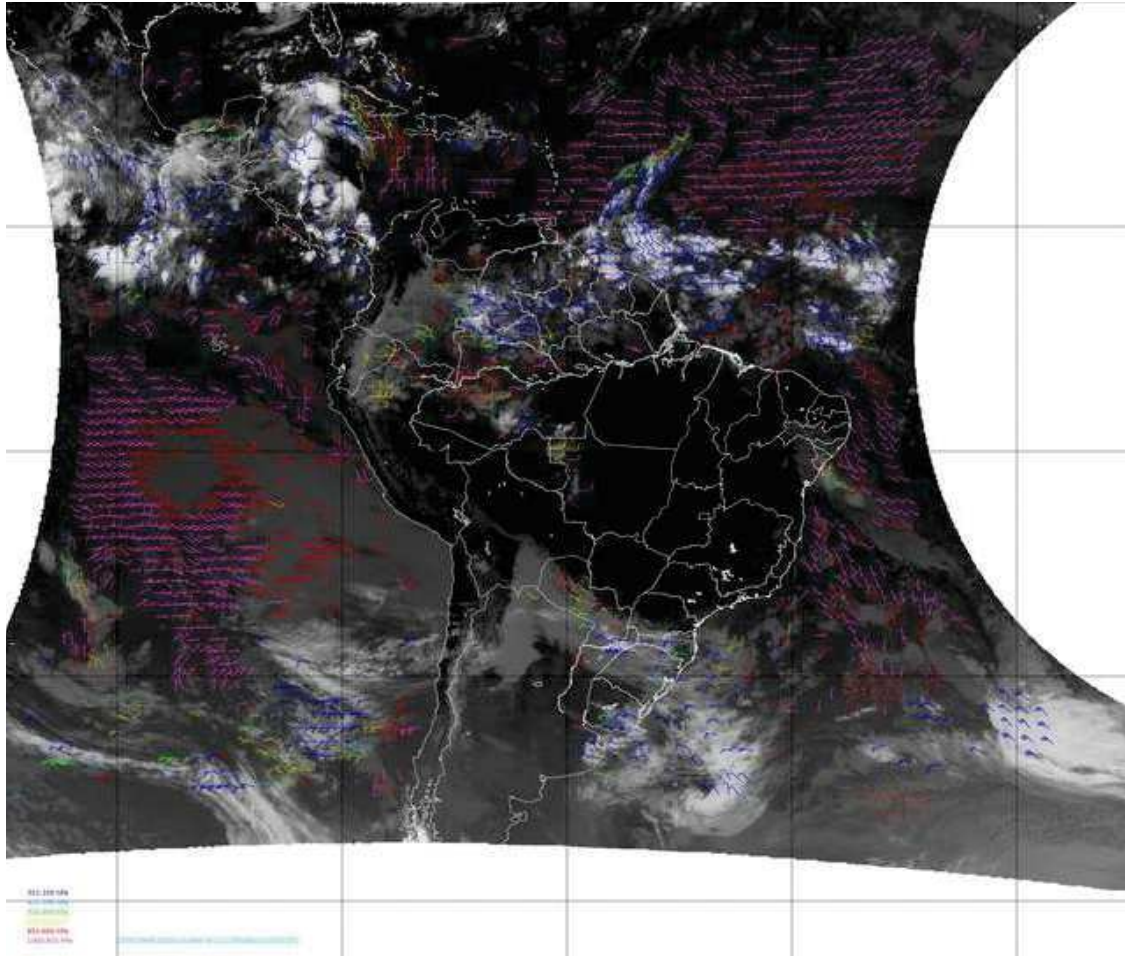
4 Dados e metodologia

Esta Seção enumera os dados utilizados e a função no trabalho proposto.

4.1 AMV

Campos de vento estimados operacionalmente no CPTEC/INPE utilizando os canais no visível ($0,65 \mu m$), infravermelho próximo ($3,9 \mu m$), vapor d'água ($6,19 \mu m$) e infravermelho janela ($10,2 \mu m$) foram o objeto de estudo. Utilizamos os dados em formato ASCII que compõem a base de dados oficial do centro. A Figura 4 apresenta um exemplo desses campos.

Figura 4: Campo de vento obtido a partir do canal 10.2 μm (infravermelho janela) do satélite GOES-13.



4.2 Brazilian Atmospheric Model (BAM)

O *Brazilian Atmospheric Model* (BAM) é o mais recente modelo global em desenvolvimento pelo CPTEC/INPE, e está em operação desde janeiro de 2016. Ele substituiu o modelo global operacional anterior do centro com uma série de melhorias no seu núcleo dinâmico e nas parametrizações físicas. A proposta do BAM é ser capaz de reproduzir desde a mesoescala (10 km) até fenômenos sinóticos (200 km) para previsões de tempo e clima (FIGUEROA et al., 2016). O BAM é o modelo responsável por fornecer os perfis verticais de temperatura, pressão, umidade e vento (componentes u e v) utilizadas como dados auxiliares na estimativa do vento pelo modelo operacional do CPTEC/INPE, que é o foco desse estudo. A qualidade dos campos de vento (AMVs) gerados a partir do rastreamento das nuvens é altamente dependente dessas variáveis pois elas são empregadas no procedimento de definição da altura e para a resolução de ambiguidades no procedimento de rastreamento de nuvens.

As saídas do modelo numérico de previsão de tempo BAM utilizadas neste trabalho têm grade regular de 0.18 graus (aproximadamente 20 km nos trópicos) e 37 níveis verticais. Este produto



foi utilizado como dado auxiliar na geração dos AMVs da DSA e para aplicação na avaliação dos AMVs através do método *Best Fit Pressure* (BFP).

O método BFP tem como objetivo identificar possíveis erros na determinação da altura dos AMVs ao comparar o AMV com o vento em toda a coluna atmosférica prevista pelo modelo numérico de previsão de tempo. Esse método pode ser aplicado apenas a locais com cisalhamento vertical, caso contrário o AMV tem uma diferença muito similar em vários níveis gerando ambiguidades.

4.3 Radiossondas

As radiossondagens realizadas em diversos pontos da América do Sul foram utilizadas no cálculo das estatísticas recomendadas pelo *International Winds Working Group*. Os parâmetros calculados são: erro quadrático médio (RMS), viés (Bias), diferença vetorial e número de observações. O AMV é comparado com a radiossonda mais próxima apenas se a distância for inferior a 50 km.

4.4 Imagens ABI/GOES-16

As imagens obtidas pelo satélites GOES-16 são a base dos campos de vento analisados nesse trabalho, porém também foram utilizadas nas análises dos erros identificados através da nefanálise e auxiliando na identificação de sistemas em escala sinótica e meso escala.

4.5 Reanálises

A reanálise NCEP-DOE (*National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy*) (KANAMITSU et al., 2002), ou R2, é uma versão atualizada da reanálise global NCEP-NCAR (*National Center for Atmospheric Research*)(KALNAY et al., 1996), ou R1. A base de dados de reanálises R2 apresenta correções e melhorias no modelo atmosférico e parametrizações físicas, além da inclusão de mais observações. Originalmente a R2 emprega um modelo de 28 camadas sigma, com resolução horizontal de aproximadamente 210 km.

As reanálises versão R2 foram utilizadas para avaliar mais detalhadamente o produto de vento do CPTEC/INPE. Os dados utilizados são dispostos em uma grade regular de 2,5 x 2,5 graus de latitude e longitude e em 17 níveis verticais, entre 1000 e 10 hPa. Para este trabalho, os níveis superiores (50, 30, 20 e 10 hPa) não são relevantes devido à ausência de nuvens nessas camadas e, conseqüentemente, nenhum AMV é obtido nessas altitudes.

5 Atividades Desenvolvidas durante o período da bolsa

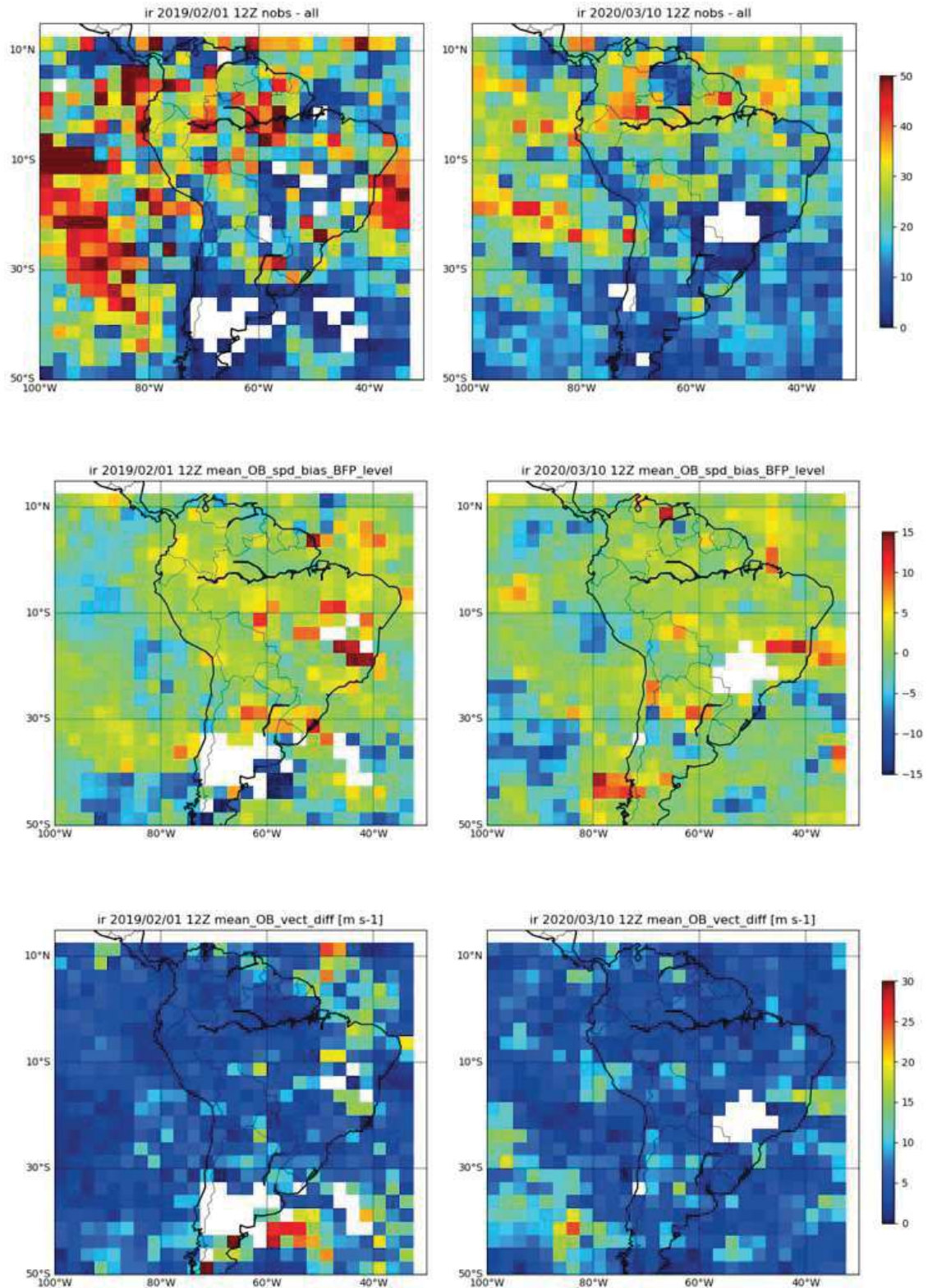
O presente projeto realizou:

- o desenvolvimento da revisão bibliográfica;
- a confecção de uma base de dados consolidada dos campos de vento, reanálises e radiossondagens;
- realizou uma comparação preliminar entre os campos de vento e dados de radiossondas e reanálises para o ano de 2020.

6 Resultados Obtidos em função do Plano de Trabalho proposto

O aluno realizou a revisão bibliográfica, confeccionou a base de dados amostrais dos campos de vento estimados a partir das imagens dos canais WV e IR do satélite GOES-16 e iniciou a avaliação do erro quadrático médio (RMS) e viés desses dados em relação às reanálises do NCEP além da distribuição espacial das medidas, o que é importante para a análise dos sistemas meteorológicos e para a assimilação em modelos numéricos de previsão de tempo. Contudo o aluno desistiu da bolsa por motivos pessoais antes de obter resultados que pudessem ser discutidos. A Figura 5 apresenta um exemplo dos resultados preliminares obtidos pelo aluno.

Figura 5: Número de observações (topo), viés médio (centro) e diferença vetorial média (baixo) para 12:00 UTC de 01 de fevereiro de 2019 (esquerda) e 10 de março de 2020 (direita) obtidos pela comparação entre os AMVs produzidos pelo CPTEC/INPE e as reanálises R2 do NCEP.





7 Conclusões Gerais

Não há conclusões visto que o aluno substituiu outro bolsista e desistiu da bolsa antes que pudesse obter algum resultado relevante além de realizar a revisão bibliográfica e iniciar o treinamento para utilização das ferramentas de análise desenvolvidas até o momento pelos bolsistas anteriores.

8 Referências Bibliográficas

FIGUEROA, Silvio N. et al. The Brazilian global atmospheric model (BAM): performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme and horizontal resolution. **Weather and Forecasting**, v. 31, n. 5, p. 1547-1572, 2016.

FUJITA, Tetsuya T.; WATANABE, Kazuo; IZAWA, Tatsuo. Formation and structure of equatorial anticyclones caused by large-scale cross-equatorial flows determined by ATS-I photographs. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 8, n. 4, p. 649-667, 1969.

KALNAY, Eugenia et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-472, 1996.

KANAMITSU, Masao et al. Ncep-doe amip-ii reanalysis (r-2). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 11, p. 1631-1644, 2002.

KISTLER, Robert et al. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. **Bulletin of the American Meteorological society**, v. 82, n. 2, p. 247-268, 2001.

LAURENT, Henri et al. A. Extração do Vento Utilizando Imagens de Satélite no CPTEC: Nova Versão e Avaliação com Dados do WETAMC/LBA e dados Operacionais da DSA/CPTEC. In: **International Winds Workshop**. 2002.

LEE, Thomas F.; TURK, F. Joseph; RICHARDSON, Kim. Stratus and fog products using GOES-8-9 3.9- μ m data. **Weather and Forecasting**, v. 12, n. 3, p. 664-677, 1997.

LEESE, John A.; NOVAK, Charles S.; CLARK, Bruce B. An automated technique for obtaining cloud motion from geosynchronous satellite data using cross correlation. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 10, n. 1, p. 118-132, 1971.

NIEMAN, Steven J.; SCHMETZ, Johannes; MENZEL, W. Paul. A comparison of several techniques to assign heights to cloud tracers. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 32, n. 9, p. 1559-1568, 1993.

RADFORD, A. Monitoring of cloud-motion winds at ECMWF. In: **Proc. ECMWF/EUMETSAT Workshop: the Use of Satellite Data In Operational Numerical Weather Prediction**. 1989. p.



249-262.

SCHMIT, Timothy J. et al. A closer look at the ABI on the GOES-R series. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, n. 4, p. 681-698, 2017.

STUBENRAUCH, Claudia J. et al. Assessment of global cloud datasets from satellites: Project and database initiated by the GEWEX radiation panel. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 94, n. 7, p. 1031-1049, 2013.

SZEJWACH, Gerard. Determination of semi-transparent cirrus cloud temperature from infrared radiances: Application to METEOSAT. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 21, n. 3, p. 384-393, 1982.

VIANELLO, Rubens Leite. **Meteorologia básica e aplicações**. UFV, 2006.

Cachoeira Paulista - SP, 13 de outubro de 2021

Bolsista: Patrick dos Santos Câmara

Orientador(a): Renato Galante Negri