



Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza  
Instituto de Geociências  
Departamento de Meteorologia

**AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA REANÁLISE CFSR PARA  
CARACTERIZAR O CLIMA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO E  
PARTE NORTE DA BACIA DE CAMPOS**

Italo dos Reis Lopes

*Orientadora:* D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Janeiro, 2018

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA REANÁLISE CFSR PARA CARACTERIZAR  
O CLIMA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO E PARTE NORTE DA BACIA DE  
CAMPOS

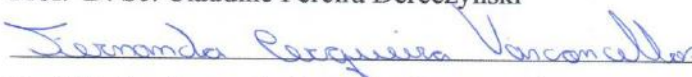
Italo dos Reis Lopes

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

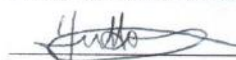
Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_

Prof.<sup>a</sup> D. Sc. Claudine Pereira Dereczynski

  
\_\_\_\_\_

Prof.<sup>a</sup> D. Sc. Fernanda Cerqueira Vasconcellos

  
\_\_\_\_\_

Prof. D. Sc. Hugo Abi Karam

Rio de Janeiro, RJ

Fevereiro, 2018

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA REANÁLISE CFSR PARA CARACTERIZAR  
O CLIMA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO E PARTE NORTE DA BACIA DE  
CAMPOS

LOPES, ITALO

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA REANÁLISE CFSR PARA CARACTERIZAR  
O CLIMA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO E PARTE NORTE DA BACIA DE  
CAMPOS [Rio de Janeiro], 2018

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Meteorologia

1. Avaliação de Reanálise
2. Dados Observados
3. CFSR
4. Sistemas Frontais
5. Região Sudeste do Brasil

*“O homem não é nada além daquilo que a educação faz dele.”*

(Immanuel Kant)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ser a força maior que governa o universo. Pela vida e pela ajuda prestada para vivê-la.

Aos meus pais Ana Claudia e Wilson por todo apoio e carinho e por me ensinarem que na vida existem dois caminhos: a violência e a educação. Obrigado por me ajudarem a sempre trilhar o correto.

Ao meu irmão Raphael que junto aos meus pais compõe minha base familiar e apesar de mais novo, ser um dos meus maiores amigos.

Ao meu tio Marcelo que sempre investiu e acreditou em mim. Obrigado pelo conhecimento e pela visão de mundo a mim ofertada.

Agradeço a minha família pelo afeto e carinho e por ser a minha referência de como viver em sociedade.

Agradeço a Natasha que não só fez parte do projeto no qual esta monografia foi gerada mas também, posteriormente, se tornou parte importante na minha vida como minha amiga e namorada. Obrigado por todo amor, ajuda e companheirismo que você me fornece e que possamos crescer juntos sempre.

À minha orientadora Claudine pelo ensino acadêmico e científico. Por todo o extremo suporte prestado não só a mim mas a todos os orientados da mesma. Por ser para mim, que quero ser professor e pesquisador, um referência e exemplo de orientadora.

Ao CEFET/RJ e a UFRJ onde adquiri meus conhecimentos de meteorologia e cresci imensamente como profissional e como pessoa.

A todos os meus amigos, em especial, Bruno e David que são como irmãos para mim. Por serem minha segunda família, não de sangue mas de escolha. Deus nos colocou no caminho uns dos outros mas também nos deu o livre arbítrio de continuar juntos.

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DA REANÁLISE CFSR PARA CARACTERIZAR O CLIMA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO E PARTE NORTE DA BACIA DE CAMPOS

*Italo dos Reis Lopes*

Janeiro/2018

Neste trabalho é avaliada a performance da reanálise do National Center for Environmental Prediction (NCEP), denominada Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) para caracterizar o clima da Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos (Área Geográfica do Espírito Santo - AGES). Para tal, são utilizados dados horários de Pressão ao Nível Médio do Mar (PNMM), Temperatura do ar a 2 metros de altura (T2M), Umidade Relativa do ar a 2 metros de altura (UR2M) e Velocidade (V10M) e Direção (DIR10M) do vento a 10 metros de altura extraídos do ponto de grade do CFSR mais próximo à plataforma FPSOBR, onde existe uma estação meteorológica da Petrobras na região de estudo. A avaliação é feita através de métricas de correlação, gráficos de dispersão, ciclos anuais e diurnos médios, séries temporais das médias mensais e análises espectrais. Ademais avalia-se a performance do CFSR para representar a passagem de sistemas frontais (SFs) pela AGES. Os resultados mostram que a PNMM é a variável melhor representada pelo CFSR seguida pela T2M. Para UR2M e V10M também são obtidos bons resultados, porém com correlações mais baixas e valores mais elevados de viés. Nota-se que o CFSR não é capaz de reproduzir o ciclo diurno de T2M e UR2M, pois não exhibe o aquecimento observado no período da tarde e conseqüentemente não há redução da UR2M nesse mesmo período. Com relação a DIR10M, nota-se na observação uma predominância de vento nos octantes NNE, NE e N, associado ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e baixas frequências de ocorrência de vento nos octantes SE e S associados a passagem de frentes frias. A Reanálise representa de maneira satisfatória os ventos na AGES, apesar da distribuição da frequência de ocorrência não ser exatamente como observada. Com relação a passagem de SFs, o CFSR novamente apresenta bons resultados: 76% de acerto, 10% de falso alarme, 86% de probabilidade de detecção e uma leve subestimativa dos dias de atuação dos SFs. Por fim, conclui-se que o CFSR pode ser utilizado para caracterizar o clima da região de estudo com boa confiança.

## ABSTRACT

### EVALUATION OF CFSR REANALYSIS FOR THE CLIMATOLOGY'S DESCRIPTION OF ESPÍRITO SANTO BASIN AND NORTH OF CAMPOS BASIN

In this study, an evaluation of the National Center for Environmental Prediction (NCEP) reanalysis, named Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) is carried out for the description of Espírito Santo basin and North of Campos basin (AGES) climatology. The hourly CFSR data products (Mean Sea Level Pressure (PNMM), Air Temperature at 2 meters height (T2M), Air Relative Humidity at 2 meters height (UR2M) and Velocity (V10M) and direction (DIR10M) of the Wind at 10 meters height) are extracted from the grid point nearest to FPSOBR, where there is a meteorological station operated by Petrobras. The data is compared through the metrics of correlation, dispersion graphics, mean annual and diurnal cycles, monthly means and spectral analysis. Furthermore, an evaluation of frontal systems passages into AGES is made. The results show that PNMM is the best represented variable, followed by T2M. For UR2M and V10M, CFSR also shows good results but with lower correlations and higher bias. CFSR is not capable to represent the T2M and UR2M daytime cycles, because it does not show the diurnal heating and consequently the reduction of observed UR2M. DIR10M shows wind predominance at NNE, NE and N, associated with the South Atlantic Subtropical Anticyclone and also low frequency occurrences of SE and S, associated with cold fronts passages. The CFSR satisfactorily represents V10M into AGES, although their frequencies are not exactly equal to the observation. The evaluation of frontal systems days exhibits good results: 76% of hit, 10% of false alarm, 86% of detection probability and a slight underestimation of systems days. The conclusion is that CFSR can be used to describe the climatology of the studied region with good confidence.

## ÍNDICE TEMÁTICO

1	Introdução .....	1
2	Revisão Bibliográfica .....	4
2.1	O Clima do Espírito Santo e da AGES .....	4
2.2	Avaliação de Reanálises a partir de Dados Observacionais .....	14
3	Dados e Metodologia.....	18
3.1	Dados .....	18
3.2	Metodologia .....	21
3.2.1	Avaliação das Séries de Dados .....	21
3.2.2	Critério de Identificação de Sistemas Frontais .....	22
3.2.3	Avaliação da Reanálise CFSR na Identificação de Sistemas Frontais .....	23
4	Resultados.....	25
4.1	Pressão Atmosférica ao Nível Médio do Mar - PNMM .....	25
4.2	Temperatura do Ar a 2 m de altura - T2M.....	29
4.3	Umidade Relativa do Ar a 2 m de altura - UR2M .....	34
4.4	Velocidade e Direção do Vento a 10 metros de altura - V10M e DIR10M.....	38
4.5	Avaliação da Passagem de Sistemas Frontais na AGES .....	44
4.5.1	Avaliação do critério objetivo para identificação de Sistemas Frontais .....	44
4.5.2	Comparação entre a passagem de sistemas frontais identificadas na Reanálise CFSR e observadas em FPSOBR.....	46
4.5.3	Avaliação dos Casos de Sistemas Frontais.....	49
5	Conclusões.....	54
6.	Referências Bibliográficas.....	58



## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1 - Mapa de localização da AGES, delimitada pela linha vermelha, no litoral da Região Sudeste do Brasil. 1
- Figura 2.1 - Classificação Climática do Brasil de acordo com o critério de Köppen. Fonte: Adaptado de Alvares et al. (2014). 5
- Figura 2.2 - Mapa do Estado do Espírito Santo, apresentando sua topografia (m) e localização dos postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA). Fonte: Regoto et al. (2018). 6
- Figura 2.3 - Climatologia sazonal da pressão (hPa) ao nível médio do mar no período 1981-2010 elaborada a partir de CFSv1 para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. 8
- Figura 2.4 - Climatologia sazonal da temperatura do ar ( $^{\circ}$  C) a 2 metros da superfície no período 1981-2010 elaborada a partir de CFSv1 para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. 9
- Figura 2.5 - Climatologia sazonal da umidade relativa do ar (%) à 2 metros da superfície no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSv1 para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. 11
- Figura 2.6 - Climatologia sazonal da intensidade do vento (m.s-1) à 10 metros da superfície no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSv1 para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. 12
- Figura 2.7 - Imagem do satélite GOES-8 no canal infravermelho as 18:00 UTC de 24/12/2013, durante um evento de ZCAS estabelecido entre 11 e 26/12/2013. Fonte: CPTEC/INPE. 13
- Figura 2.8 - Distribuição das correlações entre dados observados e simulados pelo CFSR para estações “onshore” classificadas como costeiras e não costeiras. Fonte: Sharp et al. (2015). 16
- Figura 2.9 - Distribuição da Raiz do Erro Quadrático Médio entre dados observados e simulados pelo CFSR para estações “onshore” classificadas como costeiras e não costeiras

– esquerda. Valores médios de intensidade do vento (m/s) - direita). Fonte: Sharp et al. (2015).	16
Figura 3.1 - Mapa da Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos (AGES). Os 25 pontos referentes a grade com resolução de 0,5° do CFSR são apresentados bem como a localização das 5 plataformas de coleta de dados da empresa Petrobras para esta grade.	20
Figura 3.2 - Instrumentos de medição da plataforma FPSOBR.	20
Figura 4.1 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de PNMM (hPa) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.	25
Figura 4.2 - Ciclo anual de PNMM (hPa) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	26
Figura 4.3 - Ciclo diurno (1 até 24 Z) de PNMM para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	27
Figura 4.4 - Série Temporal das médias mensais de PNMM (hPa) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	27
Figura 4.5 - Análise espectral de PNMM para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de jan/2009 à dez/2011. No eixo x estão as frequências em dias e no eixo y a densidade espectral (hPa <sup>2</sup> ).	29
Figura 4.6 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de T2M (°C) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.	30
Figura 4.7 - Ciclo anual de T2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	31
Figura 4.8 - Ciclo diurno (1 até 24 UTC) de T2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	32
Figura 4.9 - Série Temporal das médias mensais de T2M (°C) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	32

Figura 4.10 - Análise espectral de T2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de jan/2009 à dez/2011. No eixo x estão as frequências em dias e no eixo y a densidade espectral ( $^{\circ}\text{C}^2$ ).	34
Figura 4.11 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de UR2M (%) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.	35
Figura 4.12 - Ciclo anual de UR2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	36
Figura 4.13 - Ciclo diurno (1 até 24 UTC) de UR2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	37
Figura 4.14 - Série Temporal das médias mensais de UR2M ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	37
Figura 4.15 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.	39
Figura 4.16 - Ciclo anual de V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	40
Figura 4.17 - Ciclo diurno (1 até 24 UTC) de V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	41
Figura 4.18 - Série Temporal das médias mensais de V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.	41
Figura 4.19 - Análise espectral de V10M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de jan/2009 à dez/2011. No eixo x estão as frequências em dias e no eixo y a densidade espectral ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ): (a) frequência começando em 1/4 de dia e (b) frequência começando em 3 dias.	43
Figura 4.20 - Rosas dos ventos para o período de nov/2004 a dez/2013 elaboradas com: (esquerda) dados da FPSOBR e (direita) dados do CFSR.	44

- Figura 4.21 - Número total de sistemas frontais a cada mês, identificados segundo o critério objetivo (preto) e confirmados por imagens de satélite da rede GOES (azul) para o período de nov/2004 à dez/2013 na plataforma FPSOBR. 45
- Figura 4.22 - Frequência mensal média de sistemas frontais identificados segundo o critério objetivo (preto) e confirmados por imagens de satélite da rede GOES (azul) para o período de nov/2004 à dez/2013 na plataforma FPSOBR. 45
- Figura 4.23 - Porcentagem de sistemas frontais confirmados para o período de nov/2004 à dez/2013 na plataforma FPSOBR. 46
- Figura 4.24 - Número total de sistemas frontais a cada mês, observados na plataforma FPSOBR (preto) e simulados pela Reanálise CFSR para o ponto de grade mais próximo da plataforma (azul) para o período de nov/2004 à dez/2013. 47
- Figura 4.25 - Gráficos de dispersão para a série de dados de 1 dia antes até 1 dia depois da passagem dos sistemas frontais no período de nov/2004 e dez/2013 para (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C) e (c) V10M (m.s<sup>-1</sup>). 49
- Figura 4.26 - Série temporal de 1 dia antes até 1 dia depois do sistema frontal ocorrido em 16/06/2008 para as variáveis PNMM (hPa) (a), T2M (°C) (b) e V10M (m.s<sup>-1</sup>) e DIR10M (c). Linha preta sólida FPSOBR e linha azul tracejada CFSR. 51
- Figura 4.27 - Série temporal de 1 dia antes até 1 dia depois do sistema frontal ocorrido em 16/03/2012 para as variáveis PNMM (a), T2M (b) e V10M e DIR10M (c). Linha preta sólida FPSOBR e linha azul tracejada CFSR. 53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Coeficiente de correlação da magnitude do vento. Fonte: Stuker et al. (2016)	15
Tabela 3.1 - Localização da estação meteorológica da plataforma FPSOBR e períodos das respectivas séries de dados de PNMM, T2M, UR2M, V10M e DIR10M. Na coluna CFSR a primeira linha refere-se a grade de 0,5°, a segunda linha refere-se a grade de 0,312° e a terceira a grade de 0,204°.	19
Tabela 3.2 - Esquema de Tabela de Contingência idealizada.	23
Tabela 4.1 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da PNMM (hPa) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.	28
Tabela 4.2 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da T2M (°C) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.	33
Tabela 4.3 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da UR2M (%) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.	38
Tabela 4.4 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da V10M (m.s <sup>-1</sup> ) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.	42
Tabela 4.5 - Tabela de contingência para os dias de sistemas frontais observados na FPSOBR e simulados pelo CFSR e métricas estatísticas associadas.	48

## LISTA DE SIGLAS

- Af** - Clima Tropical Sem Estação Seca
- AGES** - Área geográfica da Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos
- Am** - Clima Tropical com Monção
- ANA** - Agência Nacional de Águas
- ASAS** - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
- Aw** - Clima Tropical com Inverno Seco
- BIAS** - Erro Médio
- CDD** - Dias Secos Consecutivos
- Cfa** - Clima Subtropical Úmido com Clima Oceânico Sem Estação Seca e com Verão Quente
- Cfb** - Clima Subtropical Úmido com Clima Oceânico Sem Estação Seca e com Verão Temperado
- CFSR** - Climate Forecast System Reanalysis
- CFSv1** - Climate Forecast System version 1
- CFSv2** - Climate Forecast System version 2
- CORR** - Correlação
- CPTEC** - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- Cwa** - Clima Subtropical Úmido com Inverno Seco e Verão Quente
- Cwb** - Clima Subtropical Úmido com Inverno Seco e Verão Temperado
- DIR10M** - Direção do Vento à 10 metros de altura
- DP** - Desvio Padrão
- ECMWF** - European Centre for Medium-Range Weather Forecast
- EMA** - Estações Meteorológicas Automáticas
- FAR** - Falso Alarme
- FFT** - Fast Fourier Transform
- GFS** - Global Forecast System
- GOES** - Geostationary Operational Environmental Satellite
- H** - Habilidade

**INCAPER** – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

**INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**M** – Média

**MERRA** – Modern ERA Restrospective Analysis for Research Applications

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

**NCAR** – National Center for Atmospheric Research

**NCEP** – National Centers for Environmental Prediction

**NOAA** – National Oceanic and Atmospheric Administration

**OMM** – Organização Meteorológica Mundial

**PNMM** – Pressão ao Nível Médio do Mar

**POD** - Probabilidade de Detecção

**R** – Coeficiente de Correlação

**RMSE** - Root Mean Square Error (Raiz do Erro Quadrático Médio)

**SF** – Sistema Frontal

**T2M** – Temperatura do ar à 2 metros de altura

**TS** – Índice Crítico de Sucesso

**TSM** – Temperatura da Superfície do Mar

**UR2M** – Umidade relativa do ar à 2 metros de altura

**V10M** – Intensidade do Vento à 10 metros de altura

**VIES** – Erro Médio

**ZCAS** – Zona de Convergência do Atlântico Sul

## 1 Introdução

A área geográfica que compreende a Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos (Área Geográfica do Espírito Santo - AGES) localiza-se no litoral da Região Sudeste do Brasil, aproximadamente entre os paralelos 22,5 e 18,5 °S e os meridianos 40,5 e 37,5° O, adjacente ao Estado do Espírito Santo (Figura 1.1).

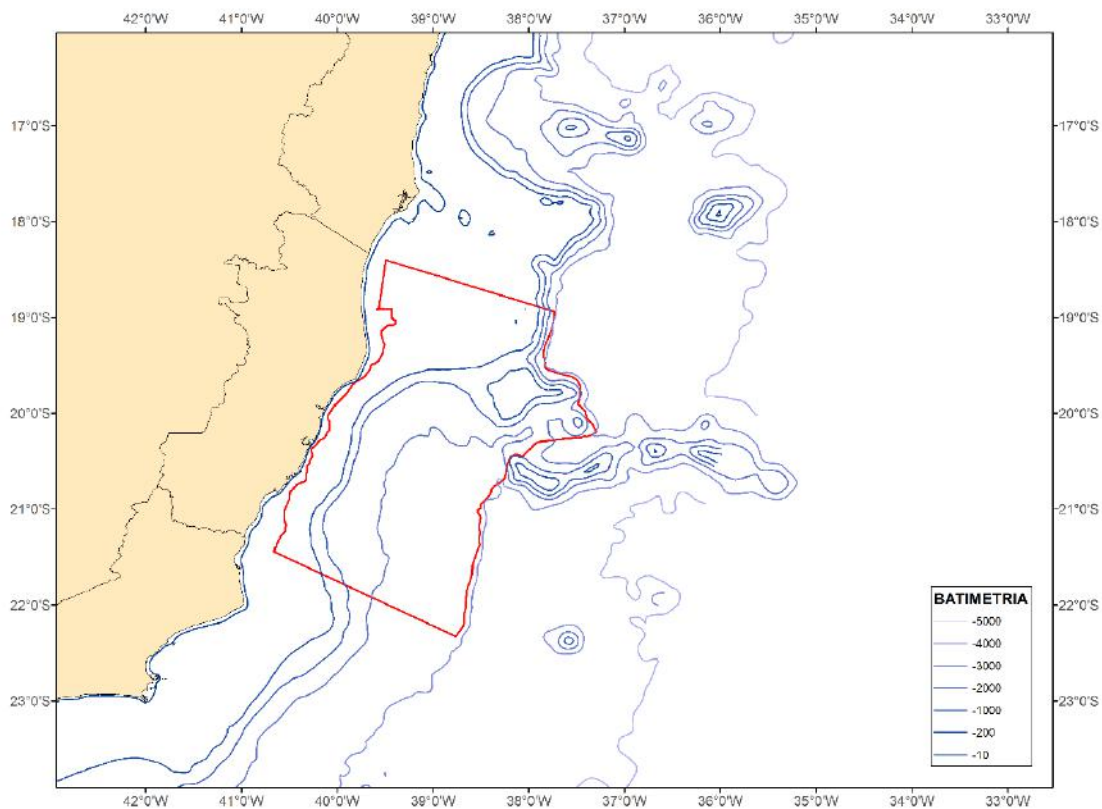


Figura 1.1 - Mapa de localização da AGES, com a bacia do Espírito Santo delimitada pela linha vermelha, no litoral da Região Sudeste do Brasil. Fonte: Petrobras

A região estudada é economicamente importante para o Brasil, pois reúne campos com grande produção de óleo leve e gás, tendo forte contribuição no fornecimento para o mercado nacional. Assim, devido à intensa atividade petrolífera na AGES, sua caracterização climática é de extrema importância, tanto para a engenharia oceânica quanto para engenharia costeira. Por exercerem grande influência sobre estruturas marinhas, tais informações são utilizadas em todas as fases de empreendimentos de engenharia no mar, sendo de grande importância para o planejamento e gestão ambiental da área.



Para descrever com detalhes o clima de uma região, e poder compará-lo com o clima de outras partes do globo, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) conduziu a definição de Normais Climatológicas (OMM, WMO-No. 100, 1983; 2011). As normais correspondem a médias das variáveis atmosféricas registradas em períodos de 30 anos. Segundo a Regulamentação Técnica da OMM número 49 (WMO-No. 49, 1988), considera-se como Normais Climatológicas Padrão a média de dados observados seguindo períodos como 1º de janeiro de 1931 a 31 de dezembro de 1960, 1º de 1961 a 31 de dezembro de 1990 e assim por diante. Como muitas estações meteorológicas não possuem registros longos, a OMM recomenda o cálculo das Normais Climatológicas Provisórias. Essas devem ser computadas para períodos com no mínimo dez anos de dados e começando em 1º de janeiro dos anos que terminem com o dígito 1. Por exemplo, 1º de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2010. Infelizmente na AGES a série mais longa possui 9 anos de dados (plataforma FPSOBR), que se estende de 10/11/2004 a 31/12/2013. Dessa forma, mesmo para a FPSOBR seria impossível calcular normais climatológicas padrão ou normais climatológicas provisórias. Assim, para estudos climatológicos na região, se faz necessária a utilização de dados gerados automaticamente por modelagem numérica e, para tal utilização, deve-se, primeiramente, avaliar os dados gerados via modelagem.

O objetivo deste trabalho, é elaborar uma avaliação da Reanálise do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) denominada *Climate Forecast System Reanalysis – CFSR* (Saha *et al.*, 2010; 2014), cuja menor resolução horizontal é de 0,5° de latitude x 0,5° de longitude e resolução temporal de 1 hora, confrontando-a com a série de 9 anos de dados observacionais coletados na plataforma FPSOBR, localizada na AGES. Essa reanálise foi escolhida para o trabalho devido à sua maior resolução horizontal, vertical e temporal em relação a outras reanálises, como por exemplo a Reanálise do NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996), com grade regular de 2,5° x 2,5° de resolução horizontal e resolução temporal de 6 horas ou a Reanálise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF), denominada ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011), que apresenta resolução horizontal de 0,75° x 0,75° e resolução temporal de 3 horas. Além disso, o CFSR está disponível e apresenta fácil acesso através do link <https://rda.ucar.edu/>

A avaliação é feita para as variáveis Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar (PNMM), Temperatura do ar a 2 metros de altura (T2M), Umidade Relativa do ar a 2 metros

de altura (UR2M) e Intensidade (V10M) e Direção (DIR10M) do vento a 10 metros de altura. Ademais avalia-se a performance do CFSR para identificar a passagem de sistemas frontais (SFs) na área em estudo.

Esta monografia está organizada em 5 capítulos. No Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a climatologia do Espírito Santo e da AGES e aborda também resultados de pesquisas que tratam da avaliação de reanálises em comparação com dados observacionais. No Capítulo 3 encontram-se os dados e a metodologia para a elaboração do estudo. Os resultados da avaliação da Reanálise CFSR para cada uma das variáveis e também para a identificação da passagem dos sistemas frontais encontram-se no Capítulo 4. Finalmente no Capítulo 5 estão as conclusões e considerações finais.

## 2 Revisão Bibliográfica

Neste Capítulo elabora-se na Seção 2.1 uma revisão da literatura sobre o clima do Espírito Santo e da AGES e na Seção 2.2 uma revisão sobre trabalhos dedicados a avaliação de Reanálises em comparação com dados observacionais.

### 2.1 O Clima do Espírito Santo e da AGES

Alvares *et al.*, (2014) utilizaram a classificação climática de Köppen para caracterizar o clima sobre o Brasil utilizando dados observados de estações em todo território brasileiro (Figura 2.1). Para o estado do Espírito Santo, cuja extensão é de 46078 Km<sup>2</sup>, encontraram que a porcentagem da área do estado em relação a classificação de Köppen é: i) 53,3% Tropical com inverno seco (Aw); ii) 14,9% Subtropical úmido com clima oceânico sem estação seca e com verão quente (Cfa); iii) 14,3% Tropical com monção (Am); iv) 10,4% Subtropical úmido com clima oceânico sem estação seca e com verão temperado (Cfb); v) 3,3% Subtropical úmido com inverno seco e verão temperado (Cwb); vi) 2,9% Tropical sem estação seca (Af) e vii) 0,8% Subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Cwa). As áreas com características mais tropicais são as próximas ao oceano e mais a norte do Estado enquanto as áreas com características subtropicais se encontram a sudoeste do estado associada a cadeias de montanhas na região. A temperatura na região costeira do Espírito Santo oscila entre 24 e 26 °C.

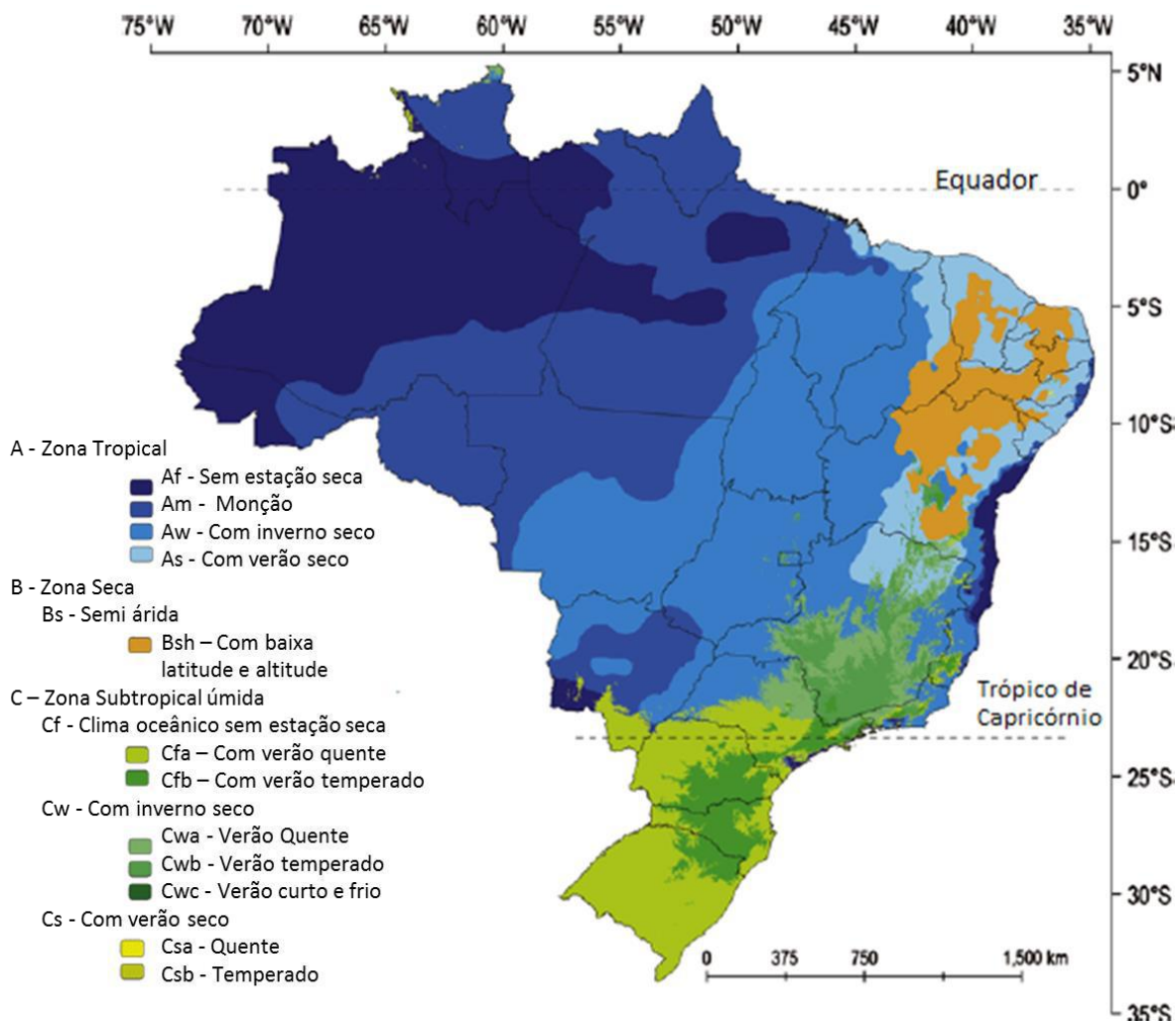


Figura 2.1 - Classificação Climática do Brasil de acordo com o critério de Köppen. Fonte: Traduzido de Alvares *et al.* (2014).

Em Regoto *et al.*, (2018) encontra-se uma climatologia da precipitação sobre o estado do Espírito Santo. Os autores enfatizam que apesar da pouca extensão territorial do estado (Figura 2.2), com área pouco superior a 46 mil quilômetros quadrados (<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?lang=&sigla=es>), o ES, apresenta uma variabilidade climática significativa. Isso se deve à presença de suas duas distintas regiões naturais: o litoral que se estende na direção norte-sul por 400 km e o planalto. Ao longo da costa Atlântica encontra-se uma faixa de planície que representa 40% da área total do estado, e à medida que se penetra em direção ao interior, o planalto dá origem a uma região serrana, com altitudes superiores a 1000 metros, onde se elevam a Serra do Caparaó e a Serra do Castelo. Na Serra do Caparaó encontra-se o Pico da Bandeira, com 2890 metros de altura, o terceiro mais alto do país e o mais alto do estado (<https://es.gov.br/geografia>).

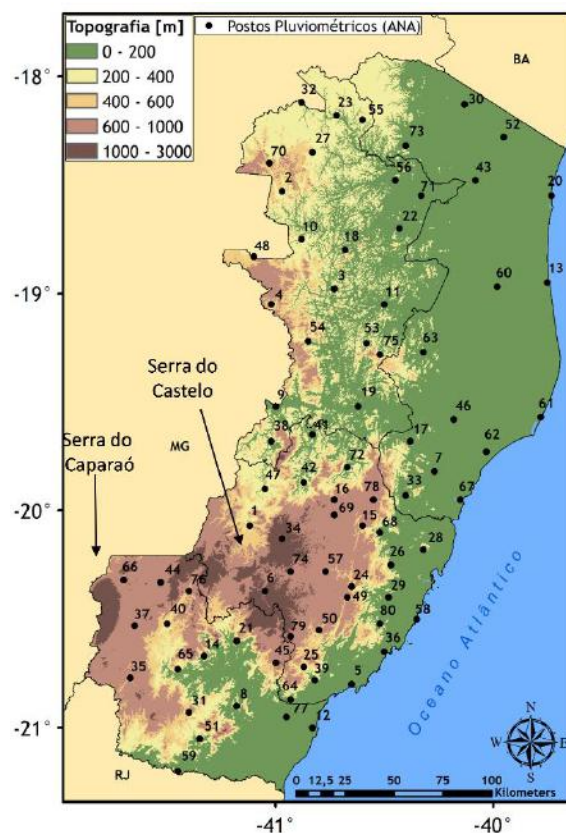


Figura 2.2 - Mapa do Estado do Espírito Santo, apresentando sua topografia (m) e localização dos postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA). Fonte: Regoto et al., (2018).

Os resultados de Regoto *et al.*, (2018), a partir de dados de precipitação coletados pela Agência Nacional de Águas (ANA) no período 1971-2010, indicam que os maiores totais pluviométricos anuais se encontram à barlavento da Serra do Castelo (2097 mm) e também sobre a Serra do Caparaó (1890 mm). A precipitação anual é reduzida em direção ao norte do estado, onde um mínimo de 873 mm sobre uma área afastada do oceano e à sotavento da Serra do Castelo. Em média ocorrem no ano entre 7 e 17 dias com chuva acima de 30 mm no estado. O número de dias secos consecutivos (CDD) é menor nas áreas serranas e também próximo ao litoral, onde a brisa marítima e a convergência dos ventos úmidos junto à costa promovem aumento de nebulosidade com ocorrência de precipitação ao longo do ano. Por outro lado, os maiores valores de CDD são observados no noroeste do estado.

Mapas climatológicos (1961-2013) mensais de temperaturas máxima, média e mínima para o ES podem ser consultados no sítio do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER; <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/>).

Nos três mapas (Figuras não apresentadas), como esperado, os valores mínimos ficam concentrados nas regiões serranas e os máximos predominam no noroeste do estado, confirmando o forte controle latitudinal e da topografia sobre a temperatura. A média anual da temperatura média varia entre 11°C na Serra do Caparaó e 25°C no norte do estado, ou seja, uma amplitude térmica média anual de 14°C no estado.

As Figuras 2.3 a 2.6, extraídas de Petrobras (2016), apresentam climatologias sazonais respectivamente para a PNMM, T2M, UR2M e V10M/DIR10M, elaboradas para o período 1981-2010 usando dados da reanálise CFSR, sobre o Oceano Atlântico, com destaque para a AGES e ES.

Na Figura 2.3 para a PNMM, nota-se no verão (Figura 2.3 a) menores valores de PNMM sobre a região em estudo (entre 1013 e 1014 hPa), quando o centro do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) se encontra em sua posição mais a sul e mais afastado do continente. Configura-se no verão um pequeno centro de baixa pressão de 1012 hPa ao sul da área em estudo, a aproximadamente 26 °S/46 °O. Apesar dos baixos valores de PNMM em toda a área no verão, observa-se que o gradiente horizontal de pressão é mais intenso do que nas demais estações do ano. No outono (Figura 2.3 b) o ASAS começa a se deslocar em direção ao continente e a pressão atmosférica na AGES se eleva, oscilando entre 1015 e 1016 hPa, apesar dos fracos gradientes de PNMM. O centro de baixa pressão ao sul da área em estudo continua configurado no outono, contudo apresentando menor área, e com centro de 1015 hPa, em aproximadamente 22 °S/45 °O. Ainda no outono, observa-se a presença de um centro de alta pressão de 1016 hPa a oeste da AGES, a aproximadamente 21 °S/44 °O. No inverno (Figura 2.3 c), o centro do ASAS encontra-se em sua posição mais ao norte e para o interior do continente, ocasião em que se observam os maiores valores médios de PNMM na área da AGES, entre 1020 e 1021 hPa. Na primavera (Figura 2.3 d) a pressão volta a cair na AGES, oscilando entre 1016 e 1017 hPa, e o gradiente de pressão volta a se elevar, à medida que o centro do ASAS novamente se afasta do continente. O centro de baixa pressão ao sul da área em estudo, apesar de não aparecer fechado nessa análise do campo de PNMM com intervalo de 1 hPa, pode ser notado no litoral do Rio de Janeiro e São Paulo, através da redução da pressão na área (1016 hPa).

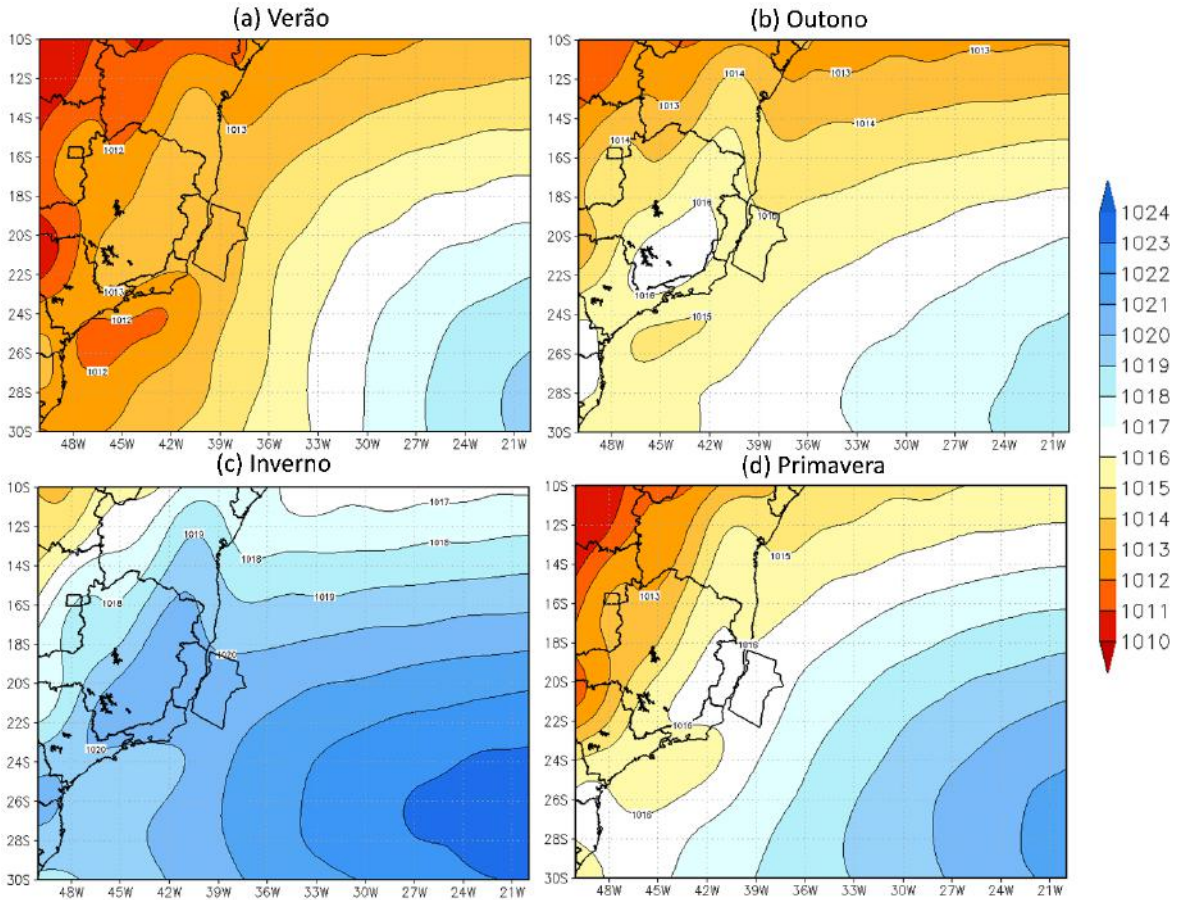


Figura 2.3 - Climatologia sazonal da PNMM (hPa) ao nível médio do mar no período 1981-2010 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. Fonte: Petrobras (2016).

A climatologia sazonal da temperatura do ar a 2 metros de altura (T2M) é apresentada na Figura 2.4. Observa-se que sobre os oceanos, as isotermas têm direção aproximadamente leste-oeste, decrescendo das baixas para as altas latitudes nas quatro estações do ano, uma vez que nas regiões próximas ao equador maiores quantidades de radiação são recebidas ao longo do ano. Devido a maior variação na radiação solar entre as latitudes baixas e altas no inverno, o gradiente térmico nessa estação é maior do que no restante do ano. As temperaturas sobre o oceano, em regiões afastadas do litoral, variam pouco do inverno para o verão, quando comparadas à variação muito maior sobre o continente. As razões para essas variações diferenciadas de temperatura do ar entre o continente e oceano são descritas em Ahrens (1993). Inicialmente a energia solar que chega ao solo é absorvida por uma fina camada, contudo quando chega ao oceano ela penetra mais profundamente. Como a água pode circular, ela distribui o calor por uma camada muito mais profunda. Outro ponto é que

grande parte da energia que atinge a água é usada para evaporá-la e não para aquecê-la. Também é importante para o contraste de temperatura entre oceano e continente é que a água tem um calor específico mais elevado do que os componentes do solo, ou seja, é necessário muito mais calor (aproximadamente cinco vezes mais) para aumentar a temperatura de uma dada quantidade de água em um grau centígrado do que para aquecer a mesma quantidade de solo. Além disso, de acordo com Ayoade (2006) sobre os oceanos existe um atraso de cerca de dois meses entre o máximo recebimento de radiação solar e a ocorrência das maiores temperaturas anuais, assim como entre o mínimo recebimento de radiação solar e a ocorrência das menores temperaturas anuais, enquanto em terra esse atraso é de apenas um mês.

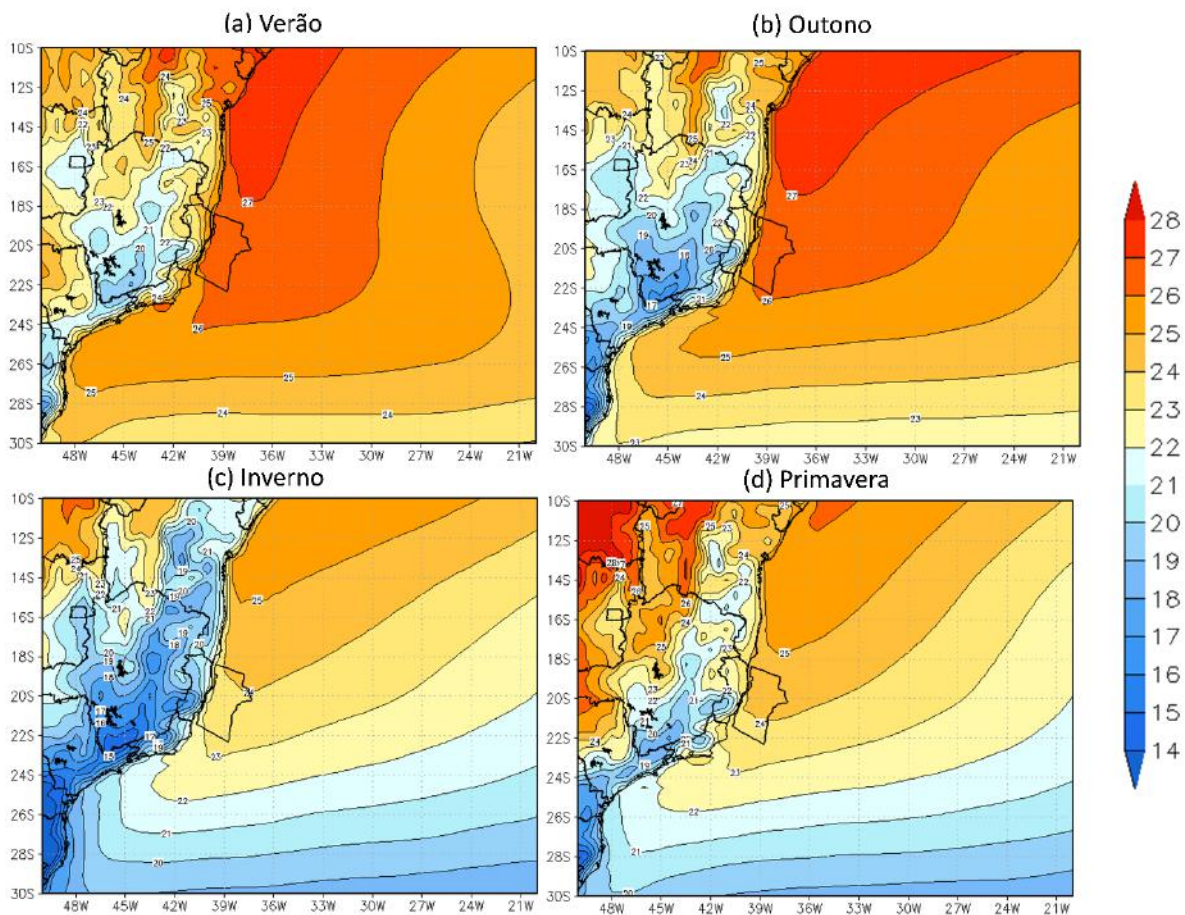


Figura 2.4 - Climatologia sazonal da T2M (°C) a 2 metros da superfície no período 1981-2010 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. Fonte: Petrobras (2016).



Observa-se ainda na Figura 2.4 a influência da corrente oceânica quente do Brasil na distribuição da temperatura do ar no litoral do país. Em geral, nas margens a oeste dos continentes ocorre transporte de água mais fria na direção do equador, como é o caso, por exemplo, da corrente do Peru na borda oeste da América do Sul. Nas margens a leste ocorre transporte de água mais quente na direção dos polos, como é o caso da corrente quente do Brasil. Assim, verifica-se que a temperatura do ar na AGES sofre influência direta da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), que oscila entre 22 e 24°C durante o inverno e entre 26 e 28°C durante o verão (Pereira *et al.*, 2005). As águas aquecidas ao longo da costa brasileira atuam como uma importante fonte de calor aquecendo o ar próximo a superfície e elevando também sua umidade.

No verão e outono (Figuras 2.4a e 2.4b), os valores médios de T2M sobre o oceano na área da AGES oscilam entre 25 e 27°C. No inverno (Figura 2.4c), predominam as menores temperaturas na região entre 22 e 23°C. Na primavera (Figura 2.4d), as temperaturas sobem 1°C em relação ao inverno, ficando com suas médias em torno de 23 e 24°C na maior parte da AGES.

Na Figura 2.5 apresenta-se a climatologia sazonal da UR2M. A umidade relativa do ar representa o grau de saturação do ar, isto é, quanto ainda falta para que o ar fique saturado em vapor de água. A saturação pode ocorrer devido ao declínio da temperatura do ar ou ao aumento da quantidade de vapor d'água no ar. Assim a umidade relativa do ar não depende apenas do teor de umidade do ar, mas também, inversamente, da temperatura do ar (Ayoade, 2006). Na AGES, a UR2M predomina entre aproximadamente 75 e 80% ao longo de todo o ano. No verão (Figura 2.5a), outono (Figura 2.5b) e primavera (Figura 2.5d) a umidade ultrapassa 80% em área significativa da AGES, enquanto no inverno (Figura 2.5c) a UR2M fica abaixo de 75%, em porção limitada da região. No outono (Figura 2.5b), a UR2M predomina entre 75% e 80%.

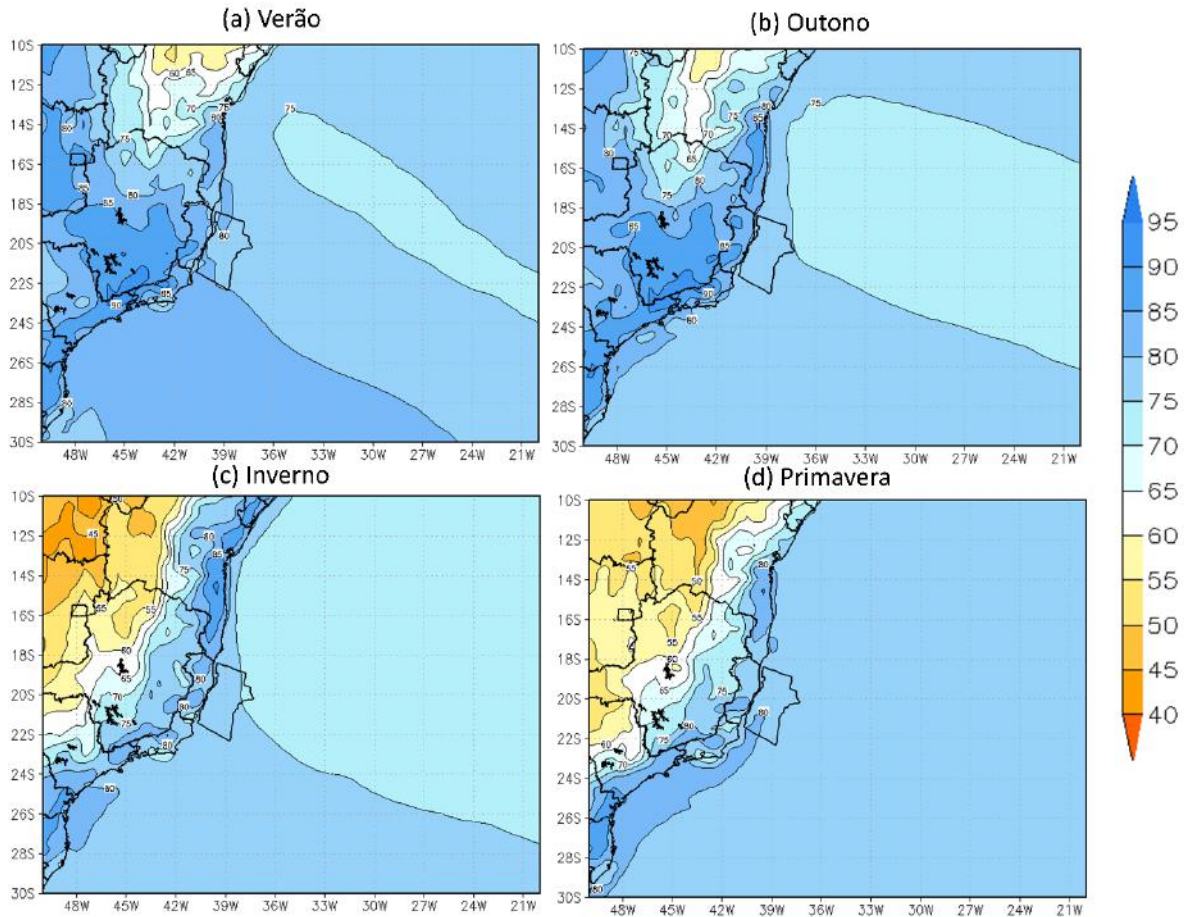


Figura 2.5 - Climatologia sazonal da umidade relativa do ar (%) à 2 metros da superfície no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. Fonte: Petrobras (2016).

A climatologia sazonal do vento a 10 metros de altura é apresentada na Figura 2.6. Durante o verão (Figura 2.6a), a região em estudo fica situada na borda oeste do ASAS, onde são maiores os gradientes horizontais de pressão. Nessa estação (verão) de acordo com a climatologia do CFSR, o vento atinge máxima intensidade média (6 m/s) e é proveniente de nordeste. No outono (Figura 2.6b), a intensidade do vento, predominantemente de leste, reduz-se pela metade (3,5 m/s) na região da AGES, atingindo a menor intensidade ao longo do ano. No inverno (Figura 2.6c), com a posição do ASAS mais para o interior do continente, as bordas do sistema adentram o continente e na região da AGES a velocidade do vento, ainda de quadrante leste, aumenta levemente (4 m/s) em relação ao outono. Finalmente, quando o centro do ASAS começa a se afastar do continente durante a primavera (Figura 2.6d), a região da AGES volta a localizar-se na borda oeste desse sistema e o vento torna a se intensificar, atingindo 4,5 m/s, novamente provenientes de nordeste.

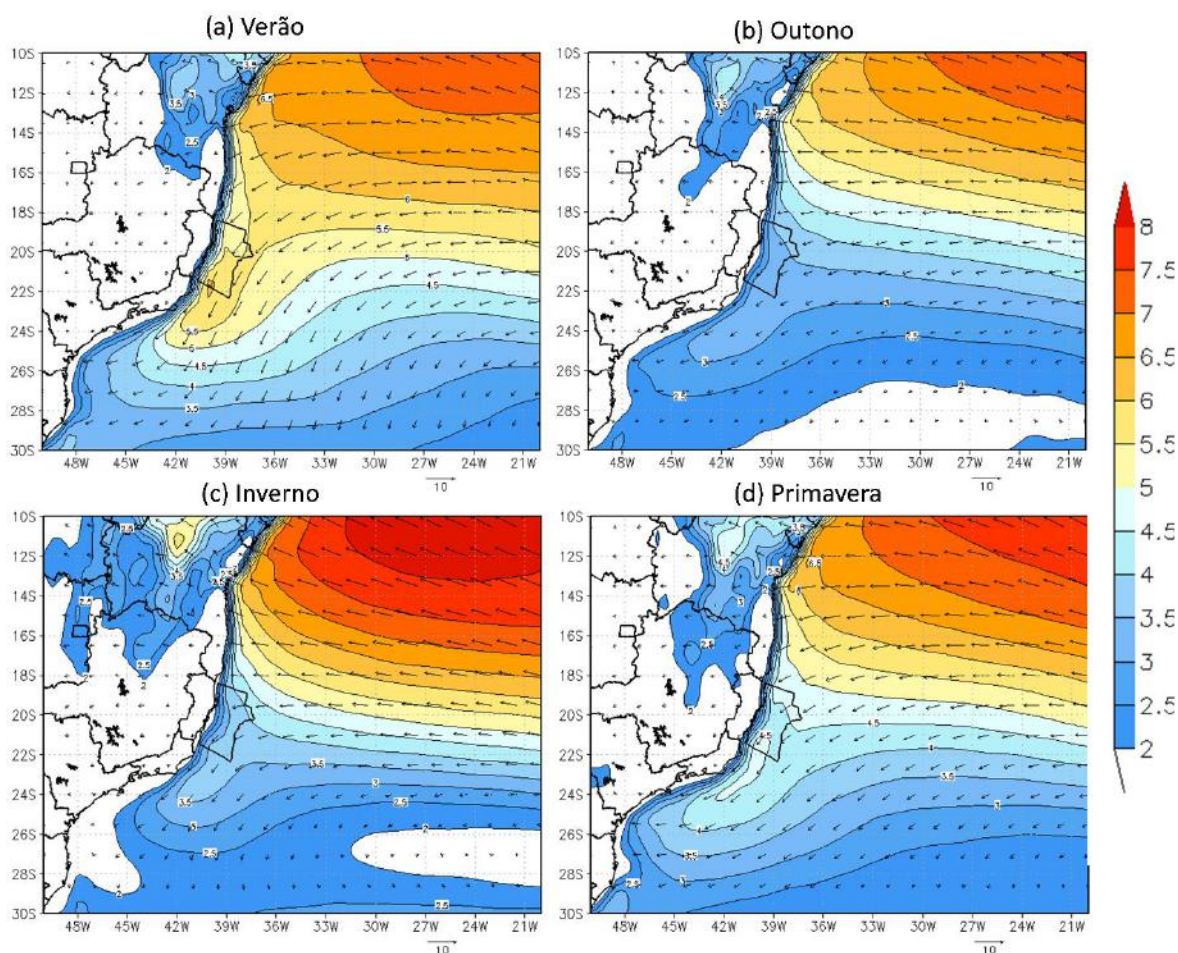


Figura 2.6 - Climatologia sazonal da intensidade do vento (m.s-1) à 10 metros da superfície (sombreado) no período 1980-2009 elaborada a partir de CFSR para: (a) verão, (b) outono, (c) inverno e (d) primavera. A região da AGES aparece em destaque sobre o oceano, a leste do Espírito Santo. Fonte: Petrobras (2016).

Nota-se, portanto, que o clima na AGES sofre influência direta do ASAS, onde a forte subsidência e a divergência dos ventos à superfície, inibem os movimentos verticais, dificultando a formação de nuvens e consequentemente a ocorrência de chuvas (Satyamurty *et al.*, 1998). Assim, na AGES, o ASAS garante condições de estabilidade, com ventos de quadrante norte e temperaturas amenas. As mudanças de tempo na área em estudo são provocadas, principalmente pela passagem de sistemas transientes, tais como as frentes frias.

No período do verão, com o continente mais aquecido, a pressão atmosférica reduzida e a convecção tropical intensificada, é comum o estabelecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), causando nebulosidade e chuvas sobre as Regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Figura 2.7). A ZCAS apresenta-se como uma banda de

nebulosidade alongada, orientada no sentido noroeste-sudeste, estendendo-se desde a região amazônica até o Oceano Atlântico, com duração superior a quatro dias (Kousky, 1988). Nos anos com poucos eventos de ZCAS ou naqueles em que a ZCAS não se estabelece (2014 e 2015, por exemplo) anomalias negativas de precipitação são observadas em grande parte do país (Coelho *et al.*, 2016). Isto reduz os níveis de armazenamento dos grandes reservatórios de água, com graves consequências tanto para geração de energia elétrica quanto para o consumo humano.

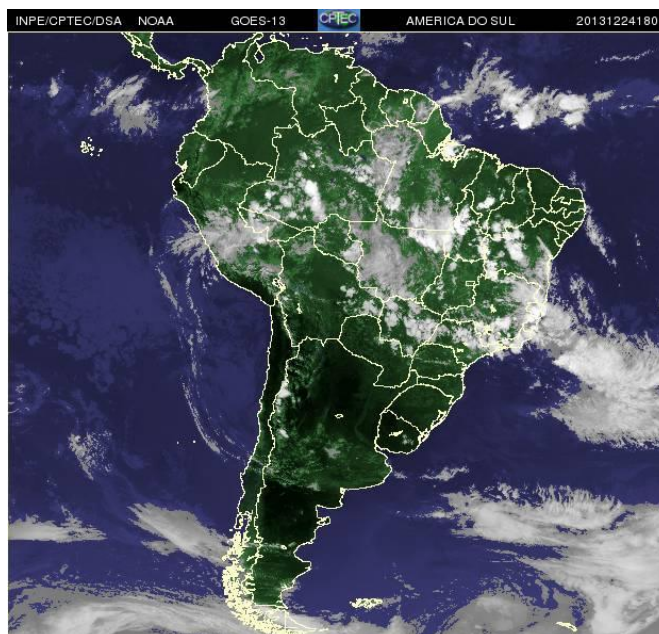


Figura 2.7 - Imagem do satélite GOES-8 no canal infravermelho as 18:00 UTC de 24/12/2013, durante um evento de ZCAS estabelecido entre 11 e 26/12/2013. Fonte: CPTEC/INPE.

Além do ASAS e da ZCAS, atuam também na AGES sistemas meteorológicos cujas dimensões espaciais e temporais variam desde a escala sinótica que compreende os sistemas frontais, os ciclones extratropicais, chegando até a escala regional, com os sistemas convectivos de mesoescala e as nuvens vírgula invertidas. Por outro lado, nota-se que as brisas terrestre/marítima e os sistemas de escala regional, não atuam na AGES devido a sua localização oceânica, afastada do continente em torno de 100 km (Petrobras, 2016).

## 2.2 Avaliação de Reanálises a partir de Dados Observacionais

Como ressaltado anteriormente, reanálises meteorológicas devem ser utilizadas com cautela e, antes de sua utilização, deve-se comparar seus dados com dados observados na região de estudo sempre que houver disponibilidade de tais dados.

Para caracterização ambiental da Bacia de Campos, localizada ao sul da AGES, adjacente ao Estado do Rio de Janeiro, Dereczynski e Menezes (2015) utilizam dados observados e dados das Reanálises ERA-Interim e NCEP/NCAR. Uma das estações utilizadas nesse trabalho é a FPSOBR, localizada no norte da Bacia de Campos, na área da AGES. Os ciclos anuais das variáveis, obtidos com as duas reanálises, considerando-se apenas o horário de 12 UTC, são confrontados com os ciclos anuais gerados a partir dos dados observacionais na Bacia de Campos. Os resultados encontrados em Dereczynski e Menezes (2015) indicam que em relação a estação FPSOBR, a Reanálise NCEP/NCAR superestima a PNMM e a UR2M e subestima a T2M. A Reanálise ERA-Interim apresenta o mesmo comportamento, contudo com valores mais próximos aos observados em FPSOBR. Os ciclos anuais das variáveis são relativamente bem representados, exceto o ciclo anual da UR2M pela Reanálise NCEP/NCAR, pois essa reanálise não exibe a redução característica nos meses de outono/inverno.

Na Bacia de Sergipe-Alagoas, os resultados apresentados em Petrobras (2017) para a estação Piranema que apresenta as séries mais longas de dados (58 meses), indicam que o CFSR superestima levemente a PNMM em todos os meses do ano enquanto subestima (superestima) a T2M entre abril e junho (agosto e dezembro), descrevendo muito bem o ciclo anual dessas duas variáveis. Para a UR2M nota-se que o CFSR não é capaz de reproduzir a redução que ocorre entre junho e setembro e, portanto, apresenta erros na representação do ciclo anual dessa variável. A intensidade do vento (V10M) em Piranema é subestimada na maior parte do ano pelo CFSR, mas o ciclo anual é razoavelmente bem reproduzido.

Em Stuker *et al.*, (2016), dados de vento das reanálises ERA-Interim e CFSR foram confrontados com dados de estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. Séries de intensidade e direção do vento nos horários de 0, 6, 12 e 18 UTC para o período de 1979-2014, obtidas dos pontos de grade mais próximos a cada uma das 33 Estações Meteorológicas Automáticas (EMAs) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no estado do Rio

Grande do Sul, foram comparadas. Os resultados para a magnitude do vento mostram que o coeficiente de correlação médio (R), para todo o período analisado, e considerando as 33 EMAs foi de 0,7127 para o CFSR e de 0,6965 para o ERA-Interim. Para a direção do vento, o coeficiente de correlação médio foi muito menor, sendo mais alto para o ERA-Interim (R=0,3642) do que para o CFSR (R=0,3331). Com relação a avaliação sazonal das reanálises para magnitude do vento, observa-se que os piores coeficientes de correlação ocorrem nos períodos da primavera e verão, e que no inverno encontram-se os melhores resultados gerais (Tabela 2.1). Também é possível notar que, o CFSR apresenta melhor desempenho para representação da intensidade do vento do que o ERA-Interim.

Tabela 2.1 - Coeficiente de correlação da magnitude do vento. Fonte: Stuker *et al.* (2016)

Reanálise	Verão	Outono	Inverno	Primavera
ERA	0,6856	0,6993	0,7016	0,6996
CFSR	0,7089	0,7125	0,7218	0,7074

Em Sharp *et al.*, (2015), foram confrontados dados horários de vento do CFSR com dados coletados no Reino Unido, incluindo 264 estações meteorológicas e 12 boias ao longo da costa para um período de 30 anos divididos em dados em terra (“*onshore*”) e dados no oceano (“*offshore*”). Os resultados apresentam valores de correlação médio “*onshore*” de 81% e “*offshore*” de 85%. Com relação aos dados “*onshore*”, a Figura 2.8 apresenta a distribuição de correlação para estações costeiras e não costeiras (mais continentais). É possível notar que, estações costeiras apresentam valores levemente melhores de correlação do que estações não costeiras. Na Figura 2.9 são apresentadas a distribuição de Raiz do Erro Quadrático Médio (Root Mean Square Error - RMSE) e dos valores médios de intensidade do vento. Nota-se que, para estações costeiras, há maiores valores de RMSE e de intensidade do vento.

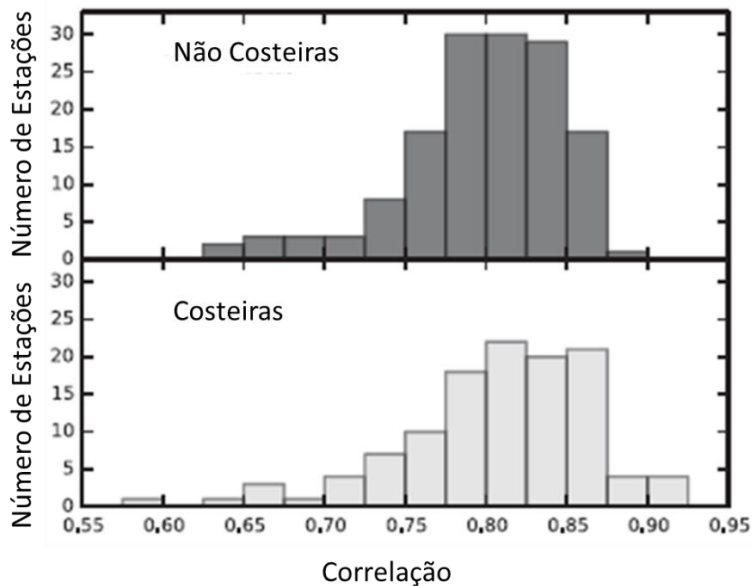


Figura 2.8 - Distribuição das correlações entre dados observados e simulados pelo CFSR para estações “onshore” classificadas como costeiras e não costeiras. Fonte: Sharp *et al.*, (2015).

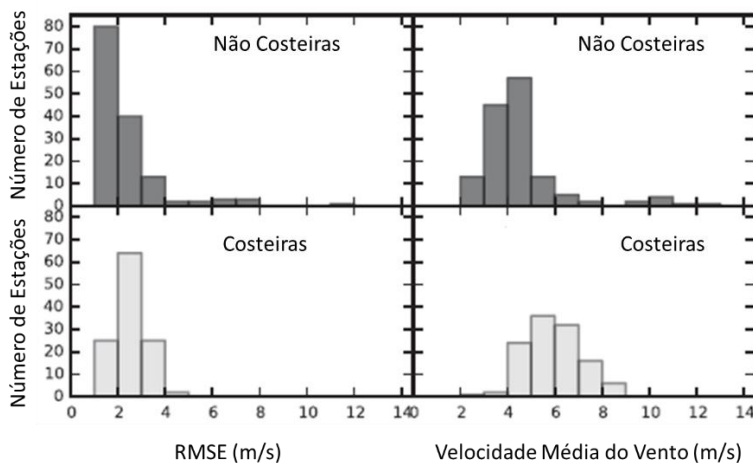


Figura 2.9 - Distribuição da RMSE entre dados observados e simulados pelo CFSR para estações “onshore” classificadas como costeiras e não costeiras – esquerda. Valores médios de intensidade do vento (m/s) - direita. Fonte: Sharp *et al.*, (2015).

A identificação da passagem de sistemas frontais pela América do Sul tem sido feita a partir de métodos subjetivos (por exemplo Oliveira, 1986; Lemos e Calbete, 1996; Bonnet, 2012) e objetivos (por exemplo, Cavalcanti e Kousky, 2003; Andrade e Cavalcanti, 2004; Andrade, 2007) considerando-se distintos períodos de tempo e distintas metodologias. O critério utilizado por Cavalcanti e Kousky (2003) para a identificação automática dos sistemas frontais foi que, no intervalo de um dia para o outro, houvesse queda de temperatura em 925 hPa, aumento de pressão ao nível médio do mar e mudança na componente

meridional do vento em 925 hPa. O número médio de sistemas frontais encontrados por Andrade e Cavalcanti (2004) para a região onde localiza-se a AGES de janeiro a dezembro, respectivamente, foi de: 1, 1, 2, 3, 3, 3, 4, 3, 3, 3, 2 e 2. Ou seja, a frequência varia de 1 SF em janeiro e fevereiro a 4 SFs em julho.



### 3 Dados e Metodologia

Neste Capítulo são apresentados, primeiramente, os dados e produtos utilizados no estudo. Em seguida, é apresentada a metodologia para avaliação das séries de dados do CFSR. O critério de identificação dos sistemas frontais e a metodologia para avaliação do mesmo também são apresentados. A seguir são descritas a avaliação da Reanálise CFSR na identificação de seus sistemas frontais, a avaliação das séries temporais horárias durante a passagem de sistemas frontais e a avaliação de dois casos selecionados.

#### 3.1 Dados

Para os dados da Reanálise, foram utilizados dados de duas versões, aqui denominadas CFSv1 (Saha *et al.*, 2010) e CFSv2 (Saha *et al.*, 2014). O CFSR possui um sistema acoplado atmosfera-terra-oceano o que o torna superior quando comparado a outras reanálises. O modelo atmosférico utilizado é o *Global Forecast System (GFS)* com resolução horizontal de 38 km para versão 1 e 24 km para a versão 2 além de 64 níveis verticais. A componente terrestre é o *Noah Land Surface Model* com 4 níveis verticais (Ek *et al.*, 2003). O CFSR inclui um modelo oceânico acoplado, o *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Modular Ocean Model version 4* (Griffies *et al.* 2004). A análise atmosférica gerada a cada 6 horas usa a técnica de *Gridpoint Statistical Interpolation* como utilizado na reanálise *Modern ERA Restrospective analysis for Reserach and Applications (MERRA)* da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*. A assimilação oceânica é separada da análise atmosférica mas ocorre também a cada 6 horas. A assimilação terrestre só ocorre a cada 24 horas e usa precipitação observada do *Climate Prediction Center*. Diferente da reanálise ERA-Interim, a temperatura do ar a 2 metros não é assimilada. Os dados de vento a 10 metros, temperatura do ar a 2 metros nos primeiros níveis, aquecimento turbulento e fluxo radiativo são previstos do modelo.

As saídas do CFSv1 disponíveis possuem resolução horizontal de 0,3, 0,5, 1,0, 1,9 e 2,5° enquanto o CFSv2 possui resolução de 0,2, 0,5, 1,0, e 2,5°. Ambos possuem 4 análises por dia (00, 06, 12 e 18 Z) com previsões de 1 a 6 horas. Apesar da pressão e da umidade específica estarem disponíveis na grade mais resolvida, para ambas as versões, a PNMM e a UR2M só estão disponíveis na grade de 0,5° sendo utilizadas para este estudo as análises de 0, 6, 12 e 18 Z e as previsões de 1 a 5 horas entre estes horários formando um conjunto de

dados horários. Alguns parâmetros como T2M e o vento a 10 metros utilizados neste estudo não são analisados e, por isso, são utilizadas as previsões de 1 a 6 horas. Para estas variáveis, a grade mais resolvida da reanálise está disponível.

Sendo assim, a CFSv1 possui dados horários de jan/1979 à dez/2010 com resolução de 0,5° para PNMM e UR2M e 0,312° para T2M, V10M e DIR10M. A CFSv2 possui dados horários de jan/2011 até atualmente com resolução de 0,5° para PNMM e UR2M e 0,204° para T2M, V10M e DIR10M. Para cada variável, será utilizada a maior resolução disponível.

Na região da AGES, estão localizadas 5 plataformas de coleta de dados da empresa Petrobras (Tabela 3.1 e Figura 3.1), dentre as quais, utilizou-se para o estudo a plataforma FPSOBR por contemplar a série de dados horários mais longa (nov/2004 à dez/2013). As variáveis coletadas são: Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar, Temperatura do ar, Umidade Relativa do Ar, Intensidade e Direção do vento. É importante ressaltar que os dados fornecidos foram previamente tratados por parâmetros internos da empresa Petrobras e, sendo assim, não houve necessidade de um novo tratamento de dados.

Para o ponto de grade do CFSR mais próximo da plataforma FPSOBR (ponto 24) são extraídas as séries temporais horárias das variáveis Pressão atmosférica ao Nível Médio do Mar (PNMM), Temperatura do ar à 2 metros (T2M), Umidade Relativa do Ar à 2 metros (UR2M), Intensidade (V10M) e Direção (DIR10M) do vento à 10 metros de altura para o mesmo período de coleta.

Tabela 3.1 - Localização da estação meteorológica da plataforma FPSOBR e períodos das respectivas séries de dados de PNMM, T2M, UR2M, V10M e DIR10M. Na coluna CFSR a primeira linha refere-se a grade de 0,5°, a segunda linha refere-se a grade de 0,312° e a terceira a grade de 0,204°.

Estação	Observação		CFSR		Período das Observações			
	Latitude (graus S)	Longitude (graus O)	Latitude (graus S)	Longitude (graus O)	PNMM	T2M	UR2M	V10M e DIR10M
FPSOBR	21,93425	39,817083	22,0	40,0		10/11/2004		10/11/2004
			22,005	39,6875	10/11/2004 a	a	10/11/2004	a
			22,01	39,8863	31/12/2013	31/12/2013	a 31/12/2013	31/12/2013

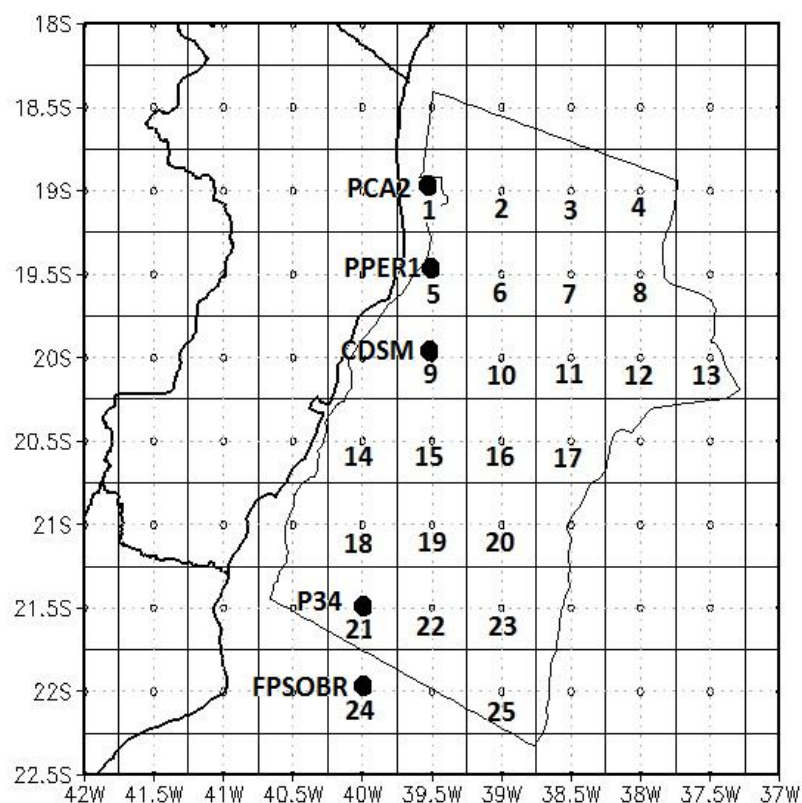


Figura 3.1 - Mapa da Bacia do Espírito Santo e parte norte da Bacia de Campos (AGES). Os 25 pontos referentes a grade com resolução de 0,5° do CFSR são apresentados bem como a localização das 5 plataformas de coleta de dados da empresa Petrobras para esta grade.

Na plataforma, os instrumentos de coleta de dados (Figura 3.2) foram deslocados três vezes ao longo do período total de coleta. As alturas de coleta do vento foram: 25 metros (10/11/2004-08/12/2005), 34,5 metros (09/12/2005-22/02/2011) e 30,5 metros (23/02/2011-31/12/2013).



Figura 3.2 - Instrumentos de medição da plataforma FPSOBR.

## 3.2 Metodologia

### 3.2.1 Avaliação das Séries de Dados

Primeiramente, para comparação dos dados de velocidade do vento da plataforma com os dados a uma altura de 10 metros do CFSR, foi feita a seguinte conversão utilizando o método apresentado em DNV, 1991:

$$V_{(10)} = \frac{V_{(z)}}{\left(1 + \left(0,37 \times \ln\left(\frac{z}{10}\right)\right)\right)} \text{ (Equação 3.1)}$$

Sendo  $Z$  = altura do anemômetro,  $V_{(z)}$  = Velocidade do vento medida pelo anemômetro e  $V_{(10)}$  = Velocidade do vento a uma altura de 10 metros.

A DIR10M, PNMM, T2M e UR2M não foram corrigidas com relação às suas alturas de medição.

Os dados horários extraídos do ponto de grade mais próximo do CFSR são confrontados com os dados coletados na FPSOBR. Para tal, são utilizados os programas EXCEL, WRPLOT e MATLAB e a linguagem de programação PYTHON.

No PYTHON, foram calculadas as métricas estatísticas (Wilks, 1995) de Erro Médio (BIAS), RMSE, Correlação (CORR), Média (M) e Desvio Padrão (DP) cujas fórmulas são:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (CFSR - FPSOBR) \text{ (Equação 3.2)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BIAS^2} \text{ (Equação 3.3)}$$

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^n (FPSOBR_i - \overline{FPSOBR}) \times (CFSR_i - \overline{CFSR})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (FPSOBR_i - \overline{FPSOBR})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (CFSR_i - \overline{CFSR})^2}} \text{ (Equação 3.4)}$$

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i) \text{ (Equação 3.5)}$$

$$DP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \text{ (Equação 3.6)}$$

Onde:

$x_i$  = medida (CFSR ou FPSOBR)

$\bar{x}$  = média (CFSR ou FPSOBR)

CFSR = Dado extraído do CFSR

FPSOBR= Dado Observado

n = Número de pontos na série de dados

O BIAS é uma medida que indica apenas se uma certa variável está sendo subestimada ou superestimada já que, devido sua formulação, não fornece informação da intensidade do erro. Para essa informação, é utilizado a RMSE pois, em sua formulação, utiliza valores absolutos. Já a CORR representa o quanto a Reanálise consegue representar da tendência dos dados observados.

Para gerar gráficos de análise espectral, foi utilizado o programa MATLAB e a função Fast Fourier Transform (FFT). Tal análise requer uma série temporal sem dados faltantes e, por isso, foi utilizado apenas 3 anos de dados (jan/2009 à jan/2011) pois, nesse período, os dados faltantes eram mínimos e podiam ser completados por uma simples interpolação linear. A análise foi feita para as variáveis PNMM, T2M e V10M em ambos os conjuntos de dados. Por fim, para a confecção de rosas dos ventos para a FPSOBR e CFSR foi utilizado o programa WRPLOT.

### **3.2.2 Critério de Identificação de Sistemas Frontais**

O critério adotado neste trabalho para identificação da passagem de sistemas frontais foi adaptado de Cavalcanti e Kousky (2003) e envolve três condições:

- i) Queda na T2M de pelo menos 1 °C em 24 horas;
- ii) Aumento na PNMM de pelo menos 1 hPa em 24 horas e
- iii) Vento de quadrante sul.

Se essas três condições são atendidas em um determinado horário, considera-se aquele horário como o início da passagem do sistema frontal. Para o fim da passagem do sistema, mesmo que as condições i e ii não sejam mais satisfeitas, só considera-se o fim da passagem quando a DIR10M deixa de ser de quadrante sul. Isso foi adotado pois, se um sistema frontal permanece mais de 24 horas na região, haverá nos dias posteriores pouca variação em T2M e de PNMM, no entanto, o vento poderá ainda permanecer de quadrante sul, caracterizando a presença do sistema frontal. Além disso, para que dois sistemas sejam considerados distintos, deve haver um intervalo de, pelo menos, 6 horas entre eles.

Tal critério é menos restritivo do que o critério de Cavalcanti e Kousky (2003) pois como a área de estudo se restringe a AGES, os gradientes de PNMM e T2M são bem inferiores aos encontrados em regiões de latitudes maiores.

Após a identificação dos sistemas frontais de forma objetiva, é feita a confirmação dos sistemas subjetivamente através de imagens de satélite da série Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

### 3.2.3 Avaliação da Reanálise CFSR na Identificação de Sistemas Frontais

O mesmo critério de identificação aplicado aos dados da plataforma é utilizado para a identificação dos sistemas frontais nos dados do ponto de grade mais próximo extraído do CFSR. Para fim de comparação, foram utilizados os totais mensais para o período de nov/2004 a dez/2013.

Em seguida, foram confrontados os casos identificados pela FPSOBR e CFSR. O acerto da Reanálise em identificar um sistema é considerado quando o início da passagem na Reanálise está num intervalo de até 24 horas antes ou depois do início da passagem na plataforma.

Tendo o CFSR como previsão e a FPSOBR como observação, foram separados os casos dicotômicos possíveis (previsto e observado, previsto mas não observado, não previsto mas observado, não previsto e não observado) e, então, contabilizados os dias de atuação para esses casos. Para a avaliação do CFSR na representação de passagens de sistemas frontais, foi confeccionada uma tabela de contingência utilizando os dias de atuação dos sistemas. A Tabela 3.2 apresenta um esquema idealizado de Tabela de Contingência.

Tabela 3.2 - Esquema de Tabela de Contingência idealizada.

		Observação		
		Sim	Não	TOTAL
Previsão	Sim	a	b	a+b
	Não	c	d	c+d
	TOTAL	a+c	b+d	n=a+b+c+d

Continuando, foram calculadas as métricas de avaliação (Wilks, 1995) Habilidade (H), Índice Crítico de Sucesso (TS), Falso Alarme (FAR), Probabilidade de Detecção (POD) e Viés (VIES):

$$H = \frac{a+d}{n} \text{ (Equação 3.7)}$$

$$TS = \frac{a}{a+b+c} \text{ (Equação 3.8)}$$

$$FAR = \frac{b}{a+b} \text{ (Equação 3.9)}$$

$$POD = \frac{a}{a+c} \text{ (Equação 3.10)}$$

$$VIES = \frac{a+b}{a+c} \text{ (Equação 3.11)}$$

Utilizando a série horária completa dos dados da FPSOBR e do CFSR, foram selecionados apenas os dados de um dia antes até um dia após a passagem dos sistemas frontais confirmados para a FPSOBR. As séries foram, então, confrontados através de métricas estatísticas de BIAS, RMSE e CORR apresentadas na Seção 3.2.1.

Por fim, foram selecionados dois casos de sistemas frontais com brusco decréscimo de temperatura para serem estudados de forma subjetiva utilizando séries temporais de PNMM, T2M, V10M e DIR10M para 1 dia antes até 1 dia depois das frentes frias cujas chegadas na FPSOBR ocorreram nos dias:

- i) 16/06/2008 sendo observado na FPSOBR e bem simulado pelo CFSR.
- ii) 16/03/2012 sendo observado na FPSOBR mas não simulado pelo CFSR.

## 4 Resultados

Neste Capítulo são apresentados os resultados da avaliação da Reanálise CFSR, considerando-se o comportamento das seguintes variáveis: i) PNMM; ii) T2M; iii) V10M e DIR10M. Ademais, apresenta-se uma avaliação da performance do CFSR para identificar a passagem de sistemas frontais na região da Bacia do ES.

### 4.1 Pressão Atmosférica ao Nível Médio do Mar - PNMM

Na Figura 4.1 é apresentado o gráfico de dispersão dos dados de PNMM simulados pelo CFSR e observados na plataforma FPSOBR no período de nov/2004 à dez/2013, com frequência horária, totalizando-se 77114 pontos em ambas as séries de dados. Nota-se uma elevada correlação entre as séries de dados (CORR=98%) e uma leve superestimativa. O valor de RMSE, de 0,89 hPa é baixo quando comparado ao valor do desvio padrão da observação, que é de 4,46 hPa.

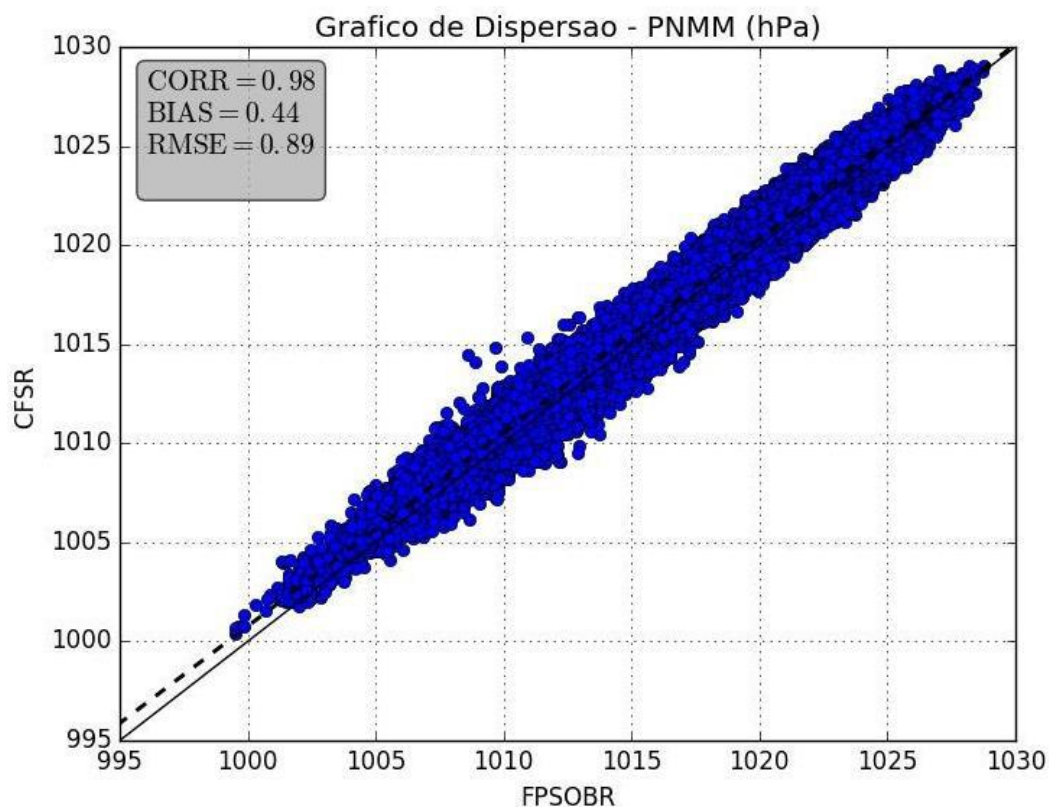


Figura 4.1 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de PNMM (hPa) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.



Nas Figura 4.2, 4.3 e 4.4, são apresentados, respectivamente, o ciclo anual da PNMM, o ciclo diurno da PNMM e as médias mensais da série temporal para os dados simulados pelo CFSR e observados na plataforma FPSOBR. Observa-se nos três gráficos uma leve superestimativa do CFSR, que é mais evidente no ciclo diurno, devido à pequena variação da escala do gráfico da Figura 4.3 (entre 1014 e 1018 hPa). Da Figura 4.2 fica claro que o CFSR representa de forma adequada a variabilidade sazonal da PNMM, com mínimos (entre 1012 hPa e 1013 hPa) no verão e máximos (em torno de 1020 hPa) no inverno. O ciclo diurno (Figura 4.3) também é bem representado, exibindo a maré semi diurna da PNMM, com dois máximos, que ocorrem aproximadamente a 1 e 13 Z (22 h e 10 h local) e dois mínimos as 7 e 19 Z (4 h e 16 h local). Na Figura 4.4 é possível notar que a variabilidade interanual também é muito bem representada pelo CFSR. Isso fica claro, por exemplo nos anos em que a PNMM média mensal atinge valores extremos, por exemplo em dez/2010 (1008,9 hPa) ou em ago/2012 (1022,5 hPa) e a Reanálise consegue reproduzir tais valores.

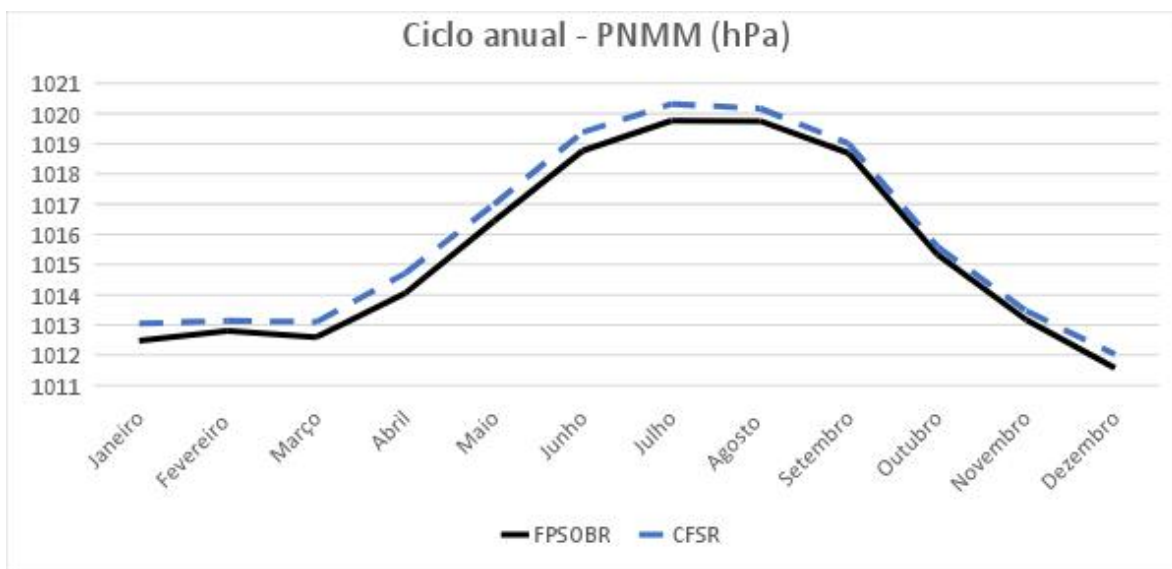


Figura 4.2 - Ciclo anual de PNMM (hPa) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

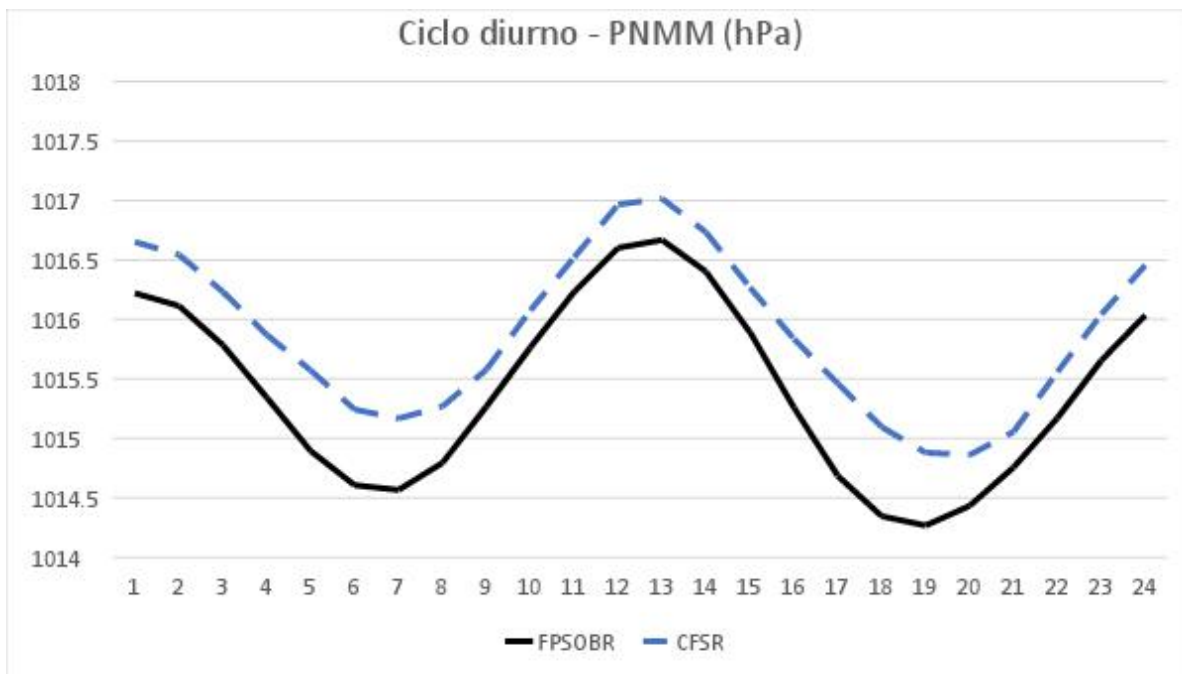


Figura 4.3 - Ciclo diurno (1 até 24 Z) de PNMM para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

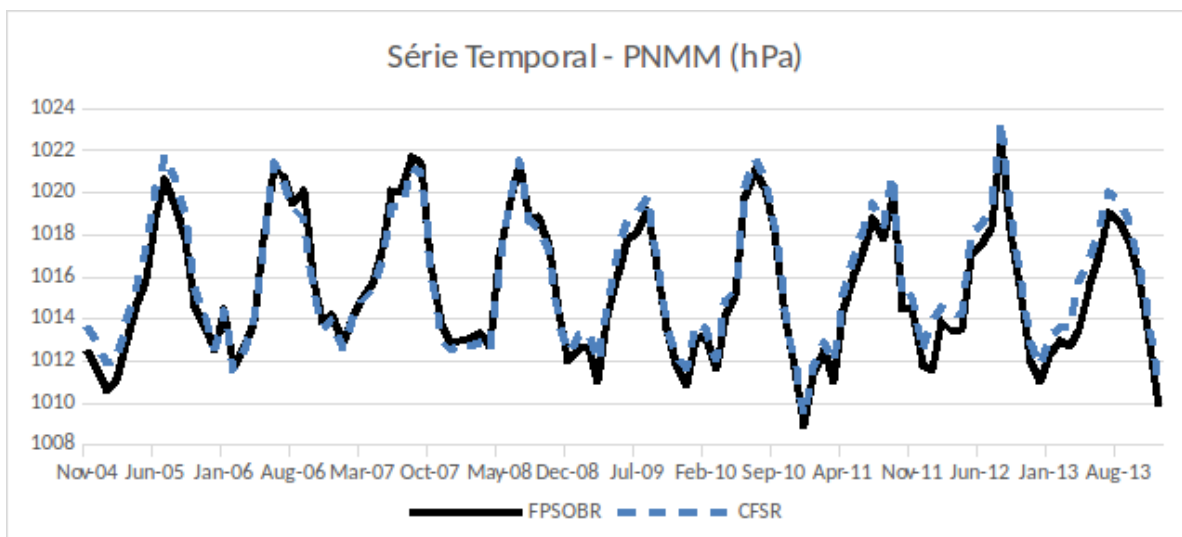


Figura 4.4 - Série Temporal das médias mensais de PNMM (hPa) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

A Tabela 4.1 apresenta uma síntese dos valores climatológicos da PNMM (hPa) simulados pelo CFSR e observados na FPSOBR, onde nota-se um ótimo desempenho da Reanálise para representar essa variável em relação a média, desvio padrão e amplitudes observados.

Tabela 4.1 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da PNMM (hPa) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.

	PNMM (hPa)	
	FPSOBR	CFSR
Máx/Mín do Período	1028,78/	1029,07/
Completo	999,49	1000,43
Amplitude do Período		
Completo	29,29	28,64
Média do Período		
Completo	1015,41	1015,87
Desvio Padrão do Período Completo	4,46	4,41
Máx/Mín do Ciclo	1019,76/	1020,32/
Anual	1011,57	1012,03
Amplitude do Ciclo		
Anual	8,19	8,29
Máx/Mín do Ciclo	1016,67/	1017,01/
Diurno	1014,27	1014,86
Amplitude do Ciclo		
Diurno	2,40	2,16

Na Figura 4.5, é apresentada a análise espectral dos dados horários de PNMM simulados pelo CFSR e observados na FPSOBR, no período de jan/2009 à dez/2011. Nessa figura, picos de energia (eixo y) estão associados a uma escala temporal (eixo x) de forma que, quanto maior o pico de energia, maior a influência de fenômenos com essa escala de tempo na região de estudo. Sendo assim, pode-se observar os dois maiores picos de energia e, portanto, as escalas de maior influência na variação intra-anual (180 dias) seguido por

variações intersazonais (90 dias). Também é possível notar picos significativos entre 8 e 10 dias que podem estar associados a passagens de sistemas frontais. Verifica-se que a Reanálise apresenta boa performance para representar o espectro dos dados em todas as frequências.

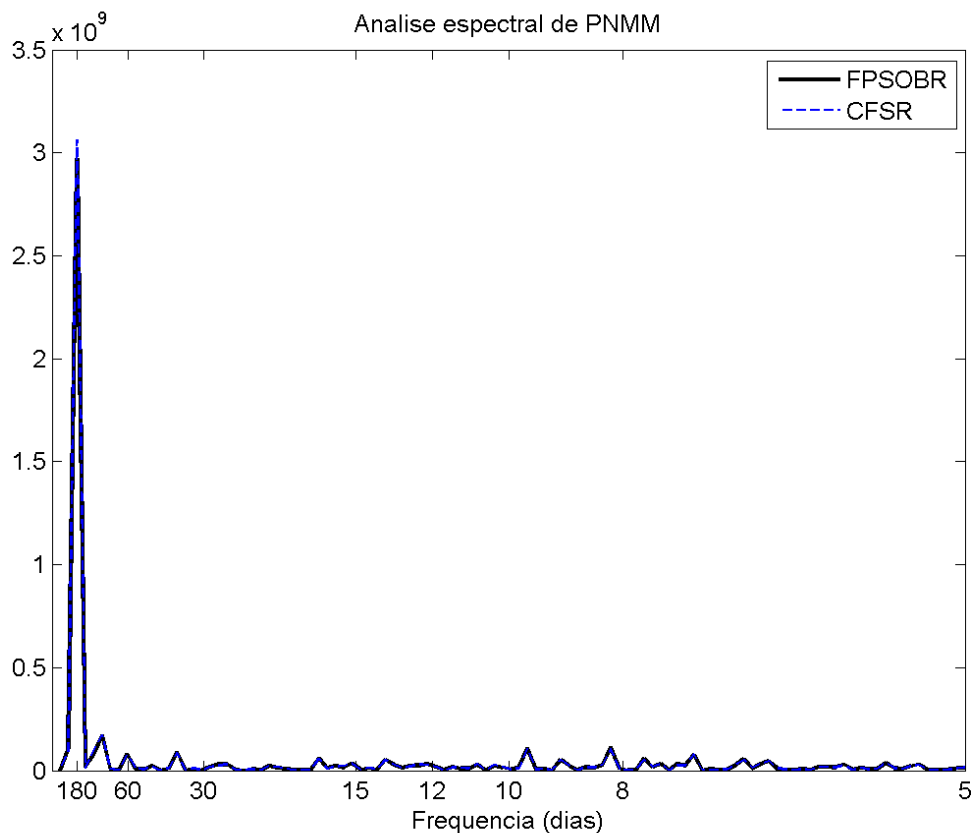


Figura 4.5 - Análise espectral de PNMM para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de jan/2009 à dez/2011. No eixo x estão as frequências em dias e no eixo y a densidade espectral ( $\text{hPa}^2$ ).

## 4.2 Temperatura do Ar a 2 m de altura - T2M

Na Figura 4.6 é apresentado o gráfico de dispersão dos dados de T2M simulados pelo CFSR e observados na plataforma FPSOBR no período de nov/2004 à dez/2013, com frequência horária, totalizando-se 77157 pontos em ambas as séries de dados. Nota-se uma elevada correlação entre as séries de dados ( $\text{CORR}=88\%$ ), apesar de inferior a CORR da PNMM, e uma leve subestimativa. O valor de RMSE, de  $0,95\text{ }^\circ\text{C}$  é pequeno quando comparado ao valor do desvio padrão da observação, que é de  $1,98\text{ }^\circ\text{C}$ .

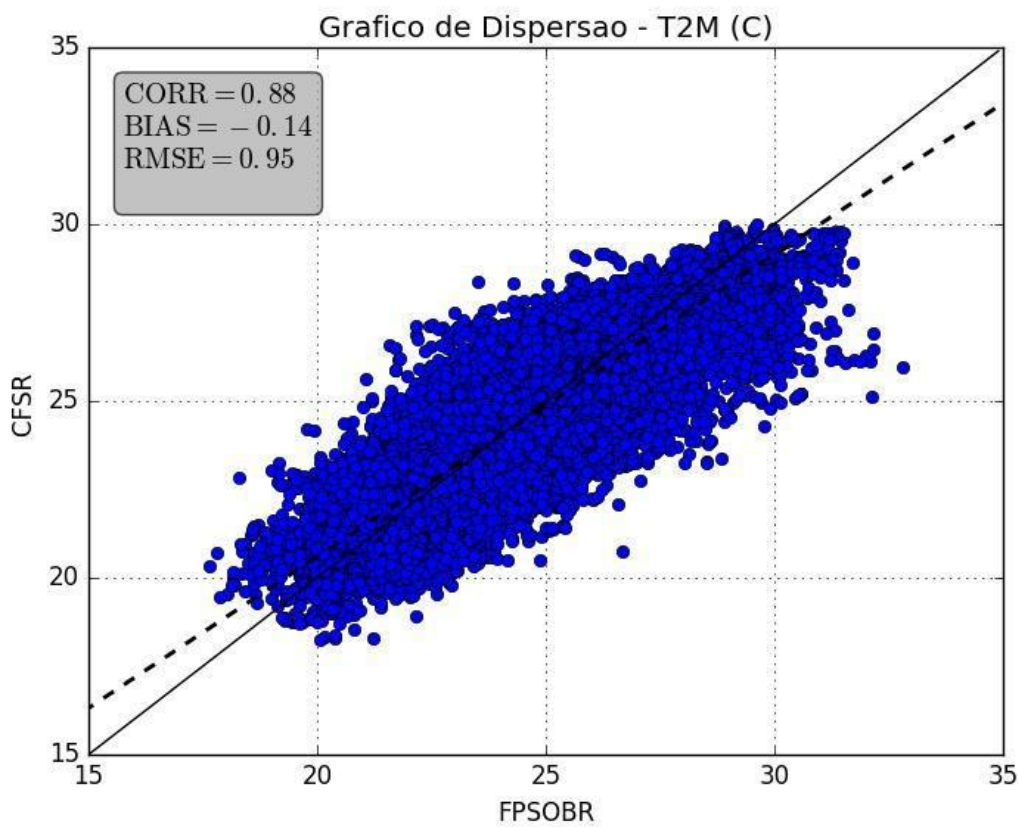


Figura 4.6 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de T2M (°C) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.

Na Figura 4.7 apresenta-se o ciclo anual da T2M simulado pelo CFSR e observado na FPSOBR. Fica evidenciado que o CFSR representa corretamente a variabilidade sazonal da T2M, apesar de uma leve subestimativa, que ocorre principalmente entre junho e novembro. A T2M observada exibe máximo (27,36 °C) em março e mínimo (23,31 °C) em setembro. A subestimativa de T2M é coerente com a superestimativa da PNMM, uma vez que se o modelo é mais frio na região da AGES, sua PNMM tenderia a ser mais elevada.

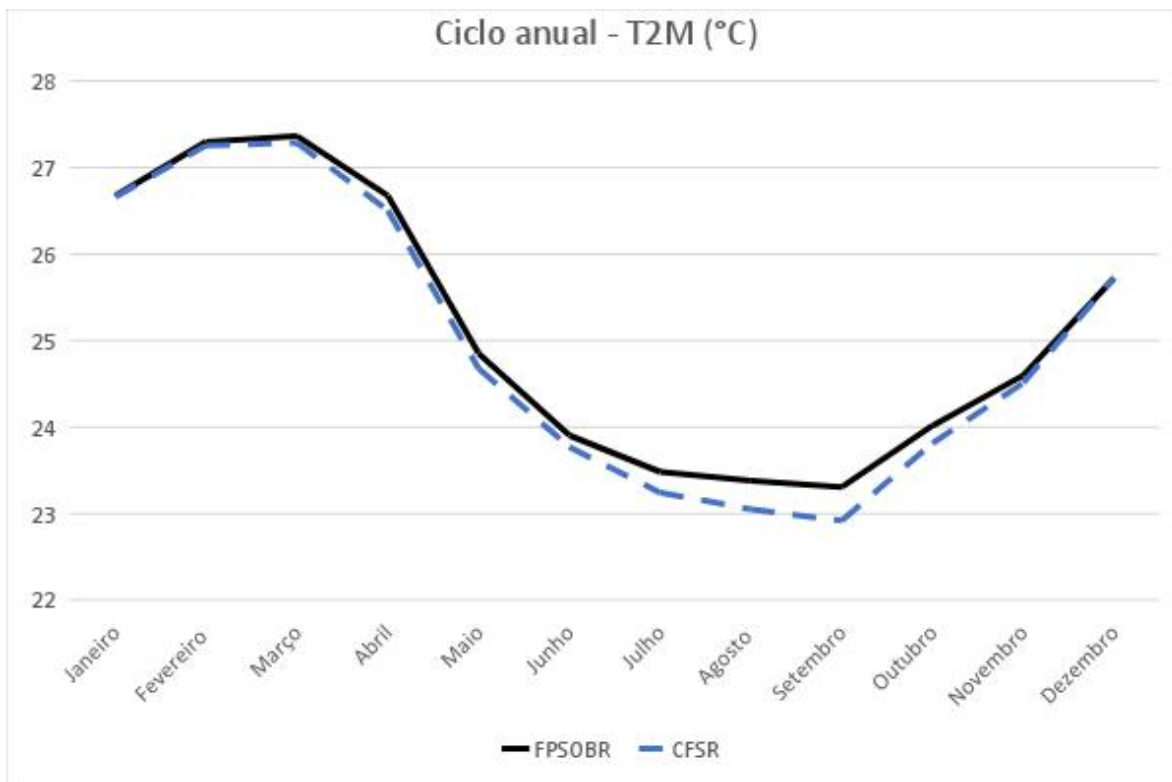


Figura 4.7 - Ciclo anual de T2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

No ciclo diurno da temperatura à 2 metros (Figura 4.8), a FPSOBR apresenta seu menor valor de T2M de 24,75 °C às 8 UTC (5 h local) e, a partir desse horário, nota-se um aquecimento diurno, chegando a um máximo valor de 25,48 °C às 16 UTC (13 h local) quando as temperaturas entram em declínio, tendo uma amplitude de apenas 0,73 °C. O CFSR não representa bem o ciclo diurno da T2M pois não consegue reproduzir o aquecimento diurno observado entre 9 UTC (6 h local) e 21 UTC (18 h local), apresentando um valor mínimo de 24,80 °C às 9 UTC (6 h local) e um máximo de 25,06 °C às 1 UTC (22 h local) e uma baixa amplitude de 0,23 °C. Provavelmente, isso acontece pois o ponto do CFSR localiza-se sobre o oceano onde a amplitude térmica é pequena. Por outro lado, os dados da FPSOBR são medidos sobre uma plataforma, que apesar da pequena dimensão espacial, pode contribuir para a elevação da temperatura do ar durante o dia. Provavelmente, devido à proximidade de torres e estruturas metálicas o calor absorvido por elas durante o dia eleva a temperatura do ar na plataforma.

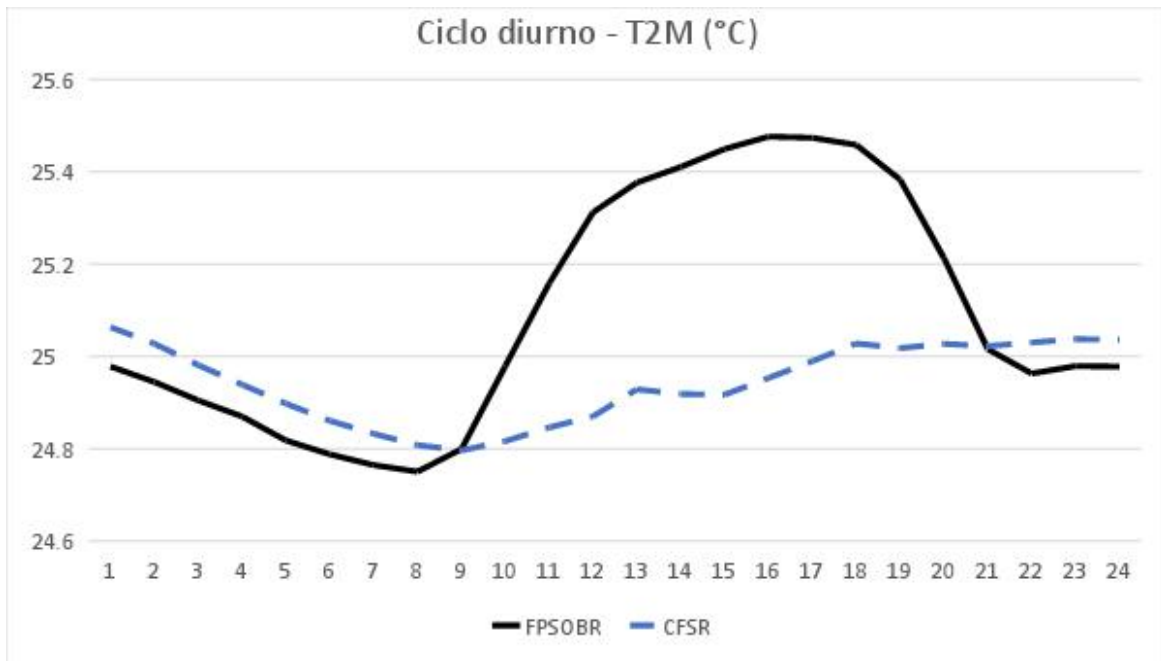


Figura 4.8 - Ciclo diurno (1 até 24 UTC) de T2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

Na Figura 4.9 é apresentada a série temporal das médias mensais de T2M simuladas pelo CFSR e observados na FPSOBR. É possível notar que a variabilidade interanual é bem representada pelo CFSR porém, nota-se uma leve superestimativa até janeiro de 2010 e uma leve subestimativa após essa data, provavelmente devido a mudança do CFSv1 para o CFSv2.

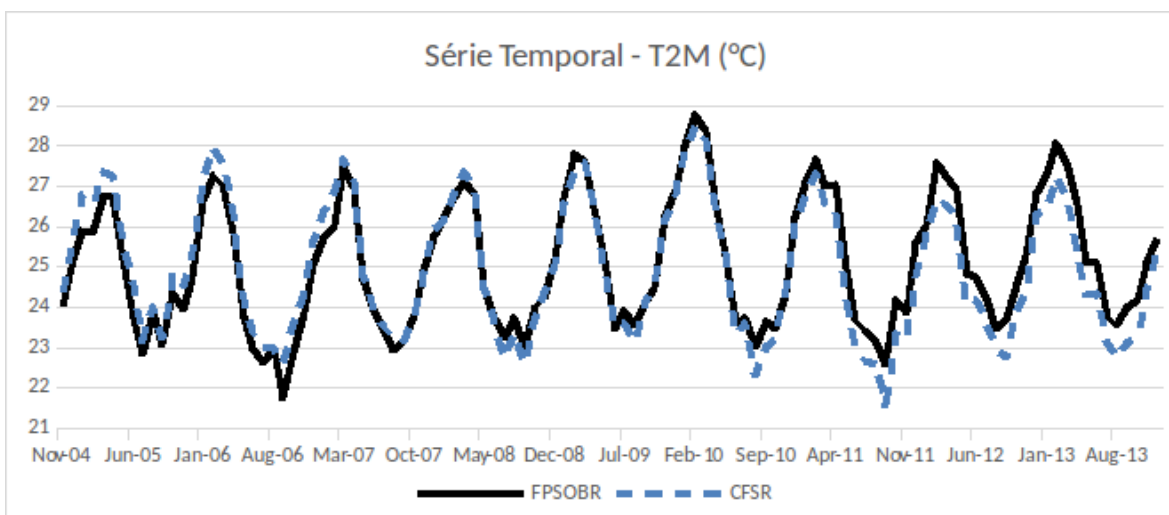


Figura 4.9 - Série Temporal das médias mensais de T2M (°C) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

A Tabela 4.2 apresenta uma síntese dos valores climatológicos da T2M (°C) simulados pelo CFSR e observados na FPSOBR, onde nota-se um bom desempenho da Reanálise para representar essa variável em relação a média, desvio padrão e amplitudes a não ser pela má representação do ciclo diurno.

Tabela 4.2 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da T2M (°C) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.

T2M (°C)		
	FPSOBR	CFSR
Máx/Mín do Período	32,80/	30,02/
Completo	17,63	18,25
Amplitude do Período		
Completo	15,17	11,77
Média do Período		
Completo	25,09	24,94
Desvio Padrão do Período Completo	1,98	1,91
Máx/Mín do Ciclo	27,36/	27,29/
Anual	23,31	22,92
Amplitude do Ciclo		
Anual	4,06	4,37
Máx/Mín do Ciclo	25,48/	25,06/
Diurno	24,75	24,80
Amplitude do Ciclo		
Anual	0,73	0,27

Na Figura 4.10 é apresentada a análise espectral dos dados horários de T2M simulados pelo CFSR e observados na FPSOBR, no período de jan/2009 à dez/2011. Pode-



se observar uma maior influência na variação intra-anual (180 dias) seguido por uma segunda maior influência de variações intersazonais (90 dias) assim como apresentado na análise de PNMM. Verifica-se que a Reanálise apresenta boa performance para representar o espectro dos dados em todas as frequências porém, o pico do CFSR em 180 dias mostra uma leve superestimativa de energia.

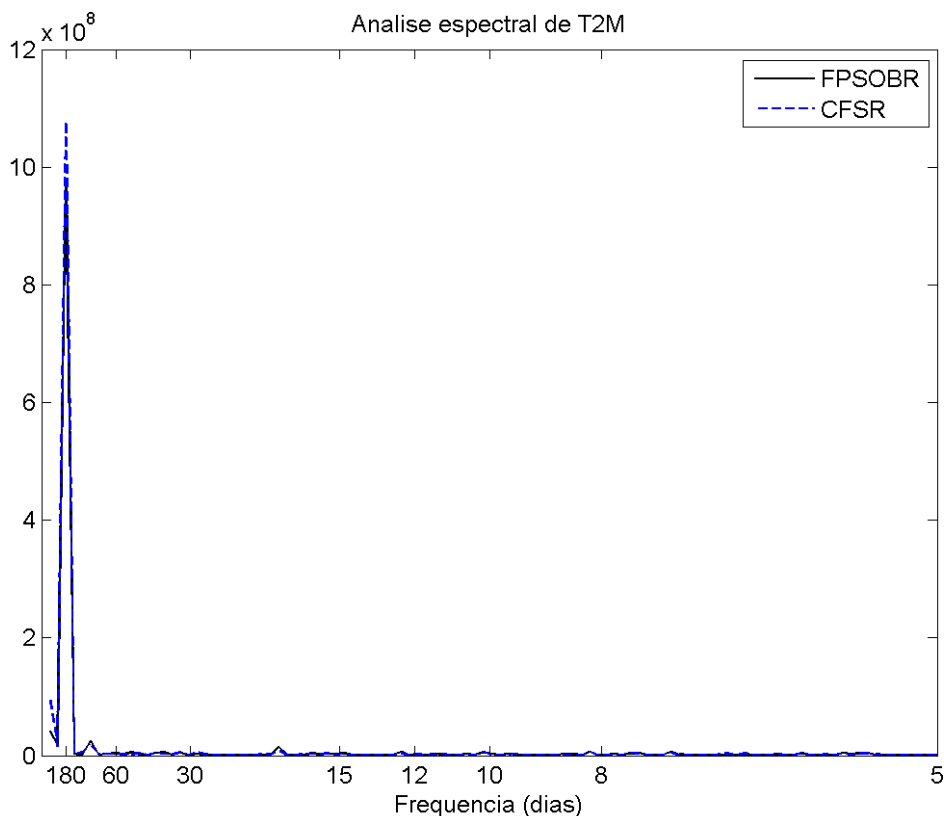


Figura 4.10 - Análise espectral de T2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de jan/2009 à dez/2011. No eixo x estão as frequências em dias e no eixo y a densidade espectral ( $^{\circ}\text{C}^2$ ).

### 4.3 Umidade Relativa do Ar a 2 m de altura - UR2M

Na Figura 4.11 é apresentado o gráfico de dispersão dos dados de UR2M simulados pelo CFSR e observados na plataforma FPSOBR no período de nov/2004 à dez/2013, com frequência horária, totalizando-se 75164 pontos em ambas as séries de dados. Nota-se uma boa correlação entre as séries de dados ( $\text{CORR}=74\%$ ), apesar de inferior a CORR de PNMM e T2M, e uma pequena superestimativa. O valor de RMSE, de 6,8% é elevado quando

comparado ao valor do desvio padrão da observação, que é de apenas um pouco maior (8,87%).

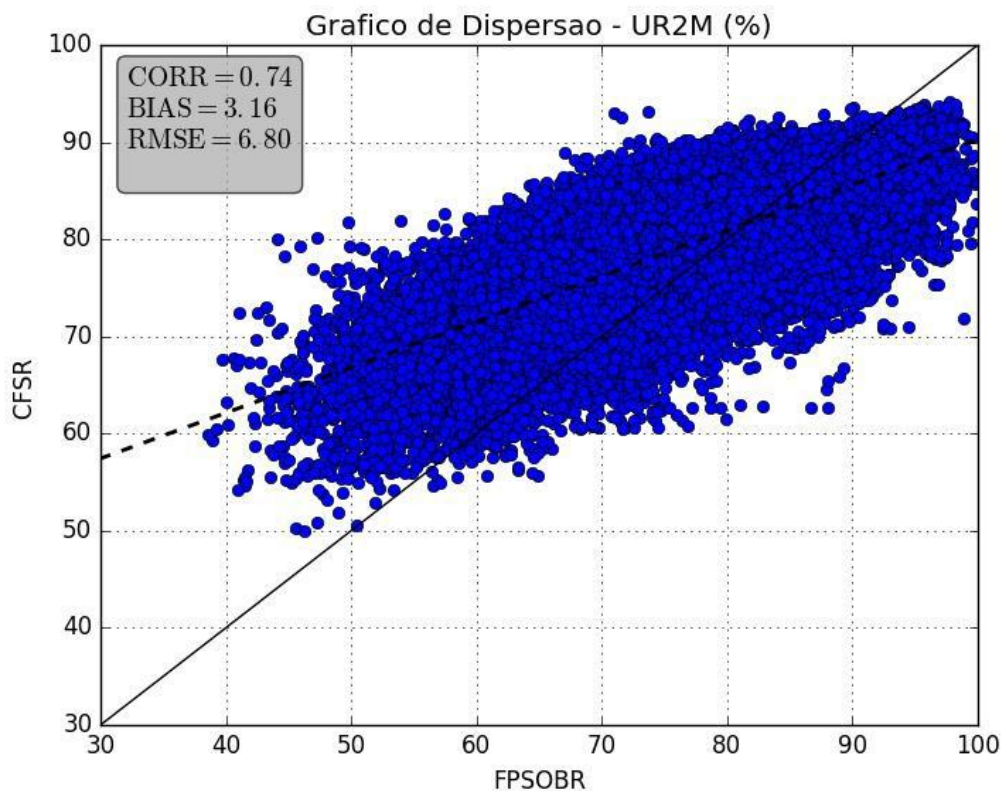


Figura 4.11 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de UR2M (%) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.

No ciclo anual da UR2M (Figura 4.12), fica evidenciado que o CFSR representa de maneira razoável a variabilidade sazonal da UR2M, apesar de uma leve superestimativa e de não representar de maneira tão acurada a tendência dos dados quando comparado as variáveis PNMM e T2M. A UR2M observada exibe máximo (81,61%) em dezembro bem representado pelo CFSR (81,81%) e mínimo (70,61%) em maio também representado pela Reanálise mas com superestimativa (74,55%).

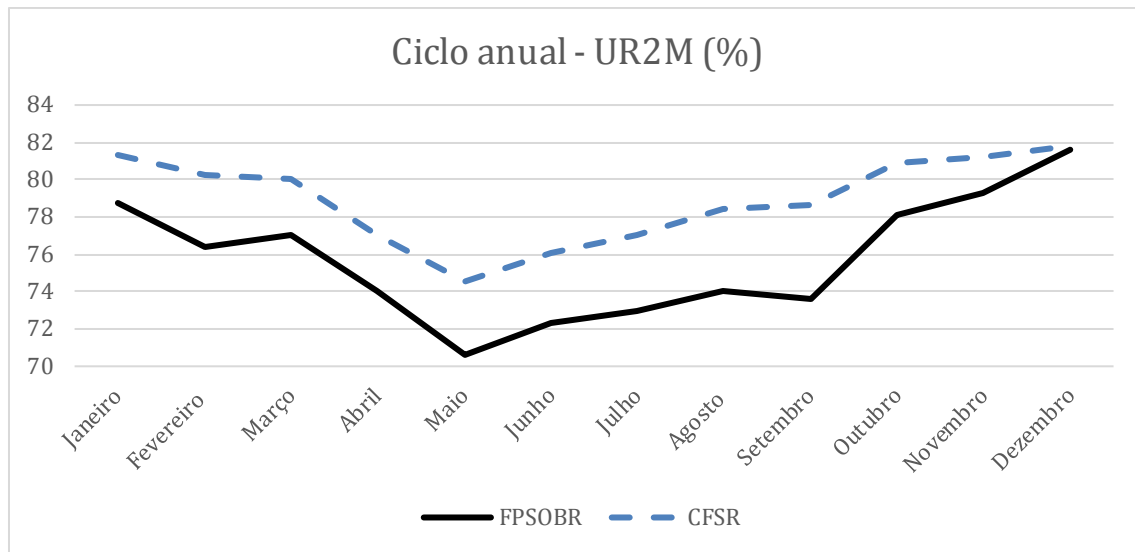


Figura 4.12 - Ciclo anual de UR2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

No ciclo diurno da umidade relativa do ar à 2 metros (Figura 4.13), a FPSOBR apresenta seus maiores valores de UR2M durante a noite e madrugada até o horário de 9 UTC (6 h local) quando o aquecimento diurno apresentado anteriormente auxilia numa diminuição da UR2M até um mínimo de 73,88% às 16 UTC (13 h local) quando as temperaturas voltam a diminuir e a UR2M volta a aumentar até um máximo de 77,13% às 5 UTC (2 h local) apresentando amplitude de 3,26%. Devido à UR2M ser dependente da T2M e o ciclo diurno da T2M não ser bem representado pelo CFSR, nota-se que o ciclo diurno de UR2M também não é bem representado pelo CFSR. A reanálise não consegue reproduzir a diminuição da UR2M ao longo do dia apresentando um valor mínimo de 78,17% às 20 UTC (17 h local) e um máximo de 79,53% às 8 UTC (5 h local), com uma baixa amplitude de 1,36% e uma grande superestimativa.

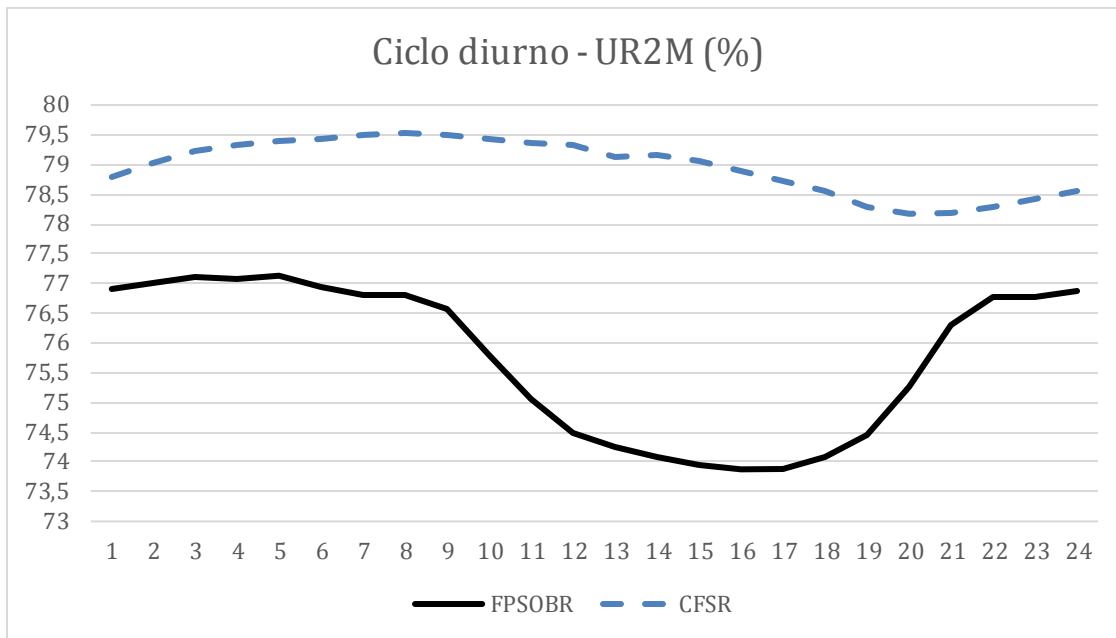


Figura 4.13 - Ciclo diurno (1 até 24 UTC) de UR2M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

Na Figura 4.14 se encontra as séries temporais das médias mensais simuladas pelo CFSR e observadas na FPSOBR. É possível notar que a variabilidade interanual é relativamente bem representada pelo CFSR mesmo não representando tão bem a tendência da variável em alguns momentos. Além disso, nota-se uma superestimativa até dezembro de 2008 e uma leve subestimativa após essa data. Isso pode estar associado a algum problema na medição do instrumento.

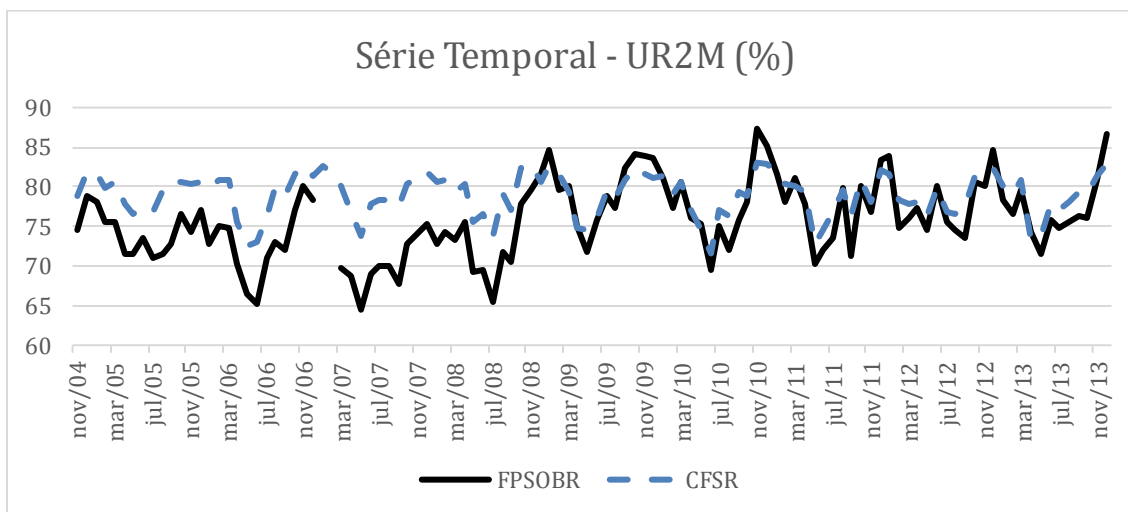


Figura 4.14 - Série Temporal das médias mensais de UR2M (°C) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

A Tabela 4.3 apresenta uma síntese dos valores climatológicos da U2M (%) simulados pelo CFSR e observados na FPSOBR, onde nota-se um desempenho razoável da Reanálise para representar essa variável a não ser pela má representação do ciclo diurno. Também nota-se a superestimativa da Reanálise e que essa sempre apresenta amplitudes menores que o dado observado.

Tabela 4.3 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da UR2M (%) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.

	UR2M (%)	
	FPSOBR	CFSR
Máx/Mín do	99,94/	94,10/
Período Completo	38,60	50,00
Amplitude do		
Período Completo	61,34	44,10
Média do		
Período Completo	75,76	78,97
Desvio Padrão		
do Período Completo	8,87	5,60
Máx/Mín do	81,61/	81,81/
Ciclo Anual	70,61	74,55
Amplitude do		
Ciclo Anual	10,99	7,26
Máx/Mín do	77,13/	79,53/
Ciclo Diurno	73,88	78,17
Amplitude do		
Ciclo Diurno	3,26	1,36

#### 4.4 Velocidade e Direção do Vento a 10 metros de altura - V10M e DIR10M

Na Figura 4.15 é apresentado o gráfico de dispersão dos dados de V10M simulados pelo CFSR e observados na plataforma FPSOBR no período de nov/2004 à dez/2013, com frequência horária, totalizando-se 74124 pontos em ambas as séries de dados. Nota-se uma

boa correlação entre as séries de dados ( $CORR=74\%$ ) e uma subestimativa em relação a FPSOBR. O valor de RMSE, de 2,06 m/s é elevado quando comparado ao valor do desvio padrão da observação, que é apenas um pouco maior (2,92 m/s). Ou seja, para essa variável o erro é consideravelmente grande.

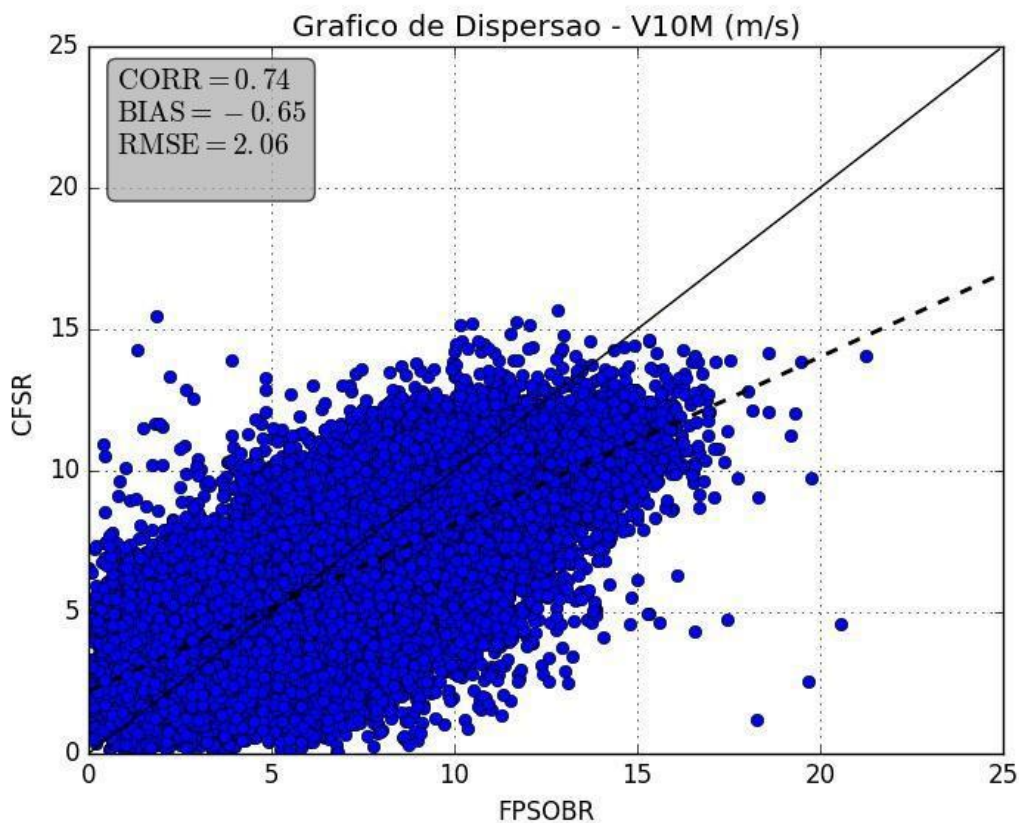


Figura 4.15 - Gráfico de dispersão e métricas estatísticas para os dados de V10M ( $m.s^{-1}$ ) observados na plataforma FPSOBR e simulados pelo CFSR no período de nov/2004 à dez/2013.

Na Figura 4.16 apresenta-se o ciclo anual da intensidade do vento à 10 metros de altura (V10M) para o CFSR e FPSOBR. Fica evidenciado que o CFSR representa razoavelmente bem a variabilidade sazonal da V10M, apesar da subestimativa de cerca de 1 m/s. Na observação o máximo observado (8,06 m/s) ocorre em setembro e o mínimo (5,71 m/s) em abril.

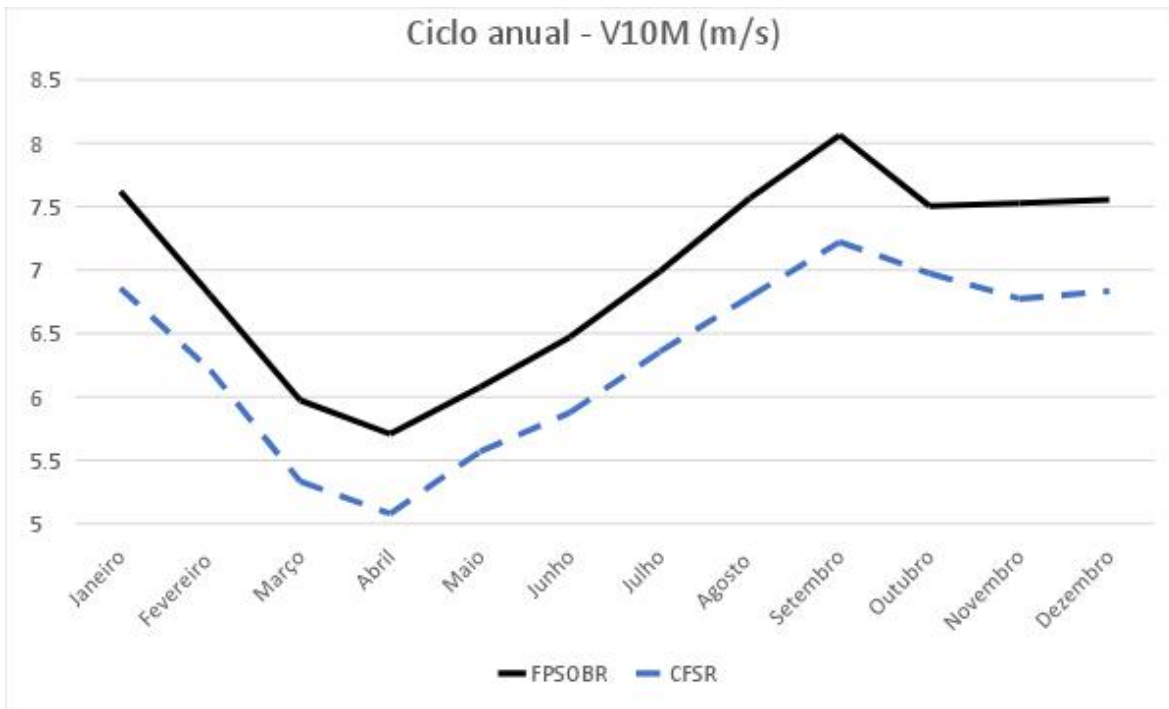


Figura 4.16 - Ciclo anual de V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

O ciclo diurno da V10M simulado pelo CFSR e observado na FPSOBR é apresentado na Figura 4.17. Nota-se também uma boa representação pelo CFSR (apesar da subestimativa de 0,8 m/s). Na observação ocorre um máximo de 7,29 m/s à 1 UTC (22 h local) que diminui com o começo do dia chegando a um mínimo de 6,53 m/s às 18 UTC (15 h local) e voltando a aumentar.

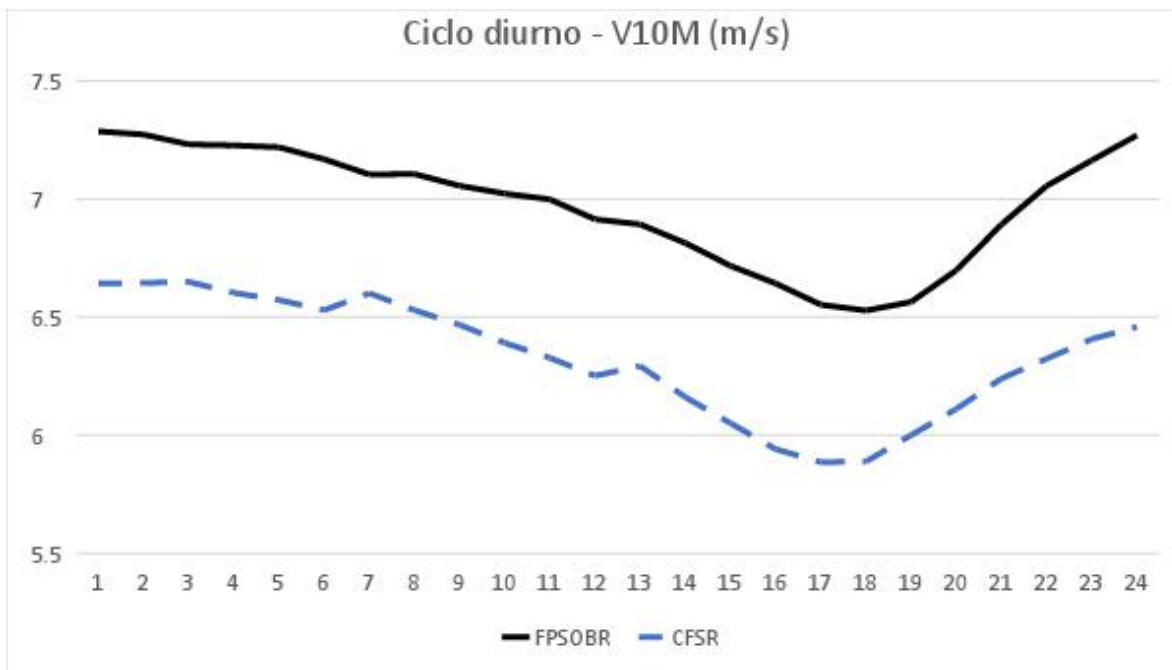


Figura 4.17 - Ciclo diurno (1 até 24 UTC) de V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

Na Figura 4.18 é apresentada a série temporal das médias mensais de V10M para o CFSR e FPSOBR. É possível notar que a variabilidade interanual é razoavelmente representada pelo CFSR com uma leve subestimativa.

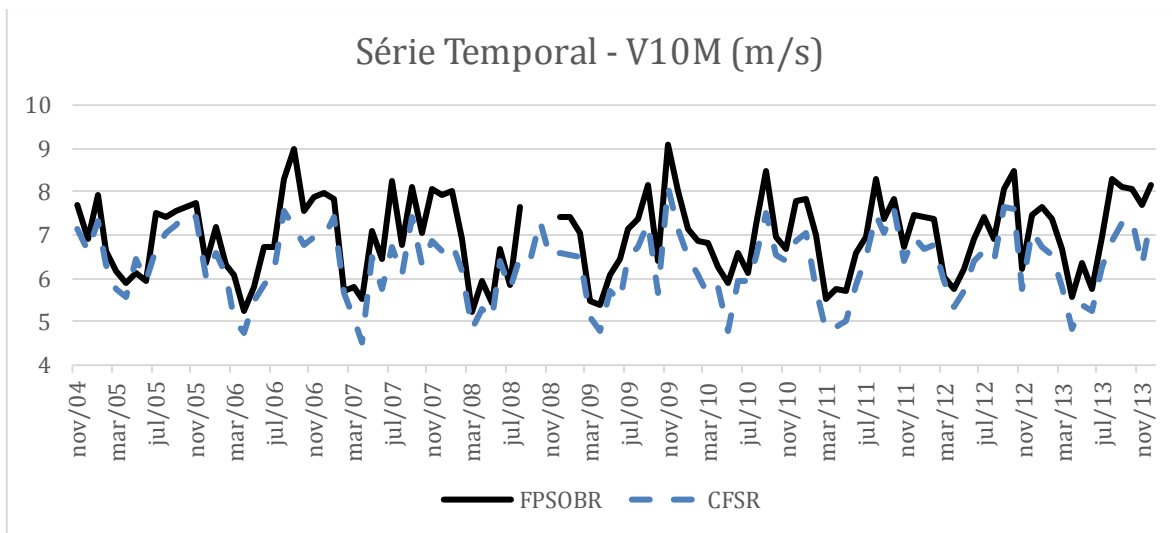


Figura 4.18 - Série Temporal das médias mensais de V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de nov/2004 à dez/2013.

A Tabela 4.4 apresenta uma síntese dos valores climatológicos da V10M ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) simulados pelo CFSR e observados na FPSOBR, onde nota-se um bom desempenho da



Reanálise para representar essa variável quando comparadas as médias, desvios padrões e amplitudes.

Tabela 4.4 - Valores máximos, mínimos, média, amplitude e desvio padrão da V10M ( $m.s^{-1}$ ) para o período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR e o CFSR.

	V10M ( $m.s^{-1}$ )	
	FPSOBR	CFSR
Máx/Mín do Período	21,26/	15,67/
Completo	0,00	0,05
Amplitude do Período		
Completo	21,26	15,63
Média do Período		
Completo	6,97	6,33
Desvio Padrão do Período Completo	2,92	2,33
Máx/Mín do Ciclo Anual	8,06/	7,22/
	5,71	5,08
Amplitude do Ciclo Anual	2,35	2,14
Máx/Mín do Ciclo Diurno	7,29/	6,65/
	6,53	5,89
Amplitude do Ciclo Diurno	0,76	0,76

Na Figura 4.19 é apresentada a análise espectral dos dados horários de V10M simulados pelo CFSR e observados na FPSOBR, no período de jan/2009 à dez/2011. Com relação aos picos mais relevantes, em (a) pode-se observar um pico considerável associado a uma variação de 12 horas (0,5 dias) que pode estar associada com um sistema de brisa ou

outro fenômeno nessa escala temporal. Em (b), nota-se uma maior influência na variabilidade intra-anual (180 dias) seguido por uma segunda maior influência de variações entre 8 e 10 dias que podem estar associadas com a passagem de sistemas frontais. Verifica-se que a Reanálise apresenta boa performance para representar o espectro dos dados em todas as frequências mesmo com algumas pequenas diferenças.

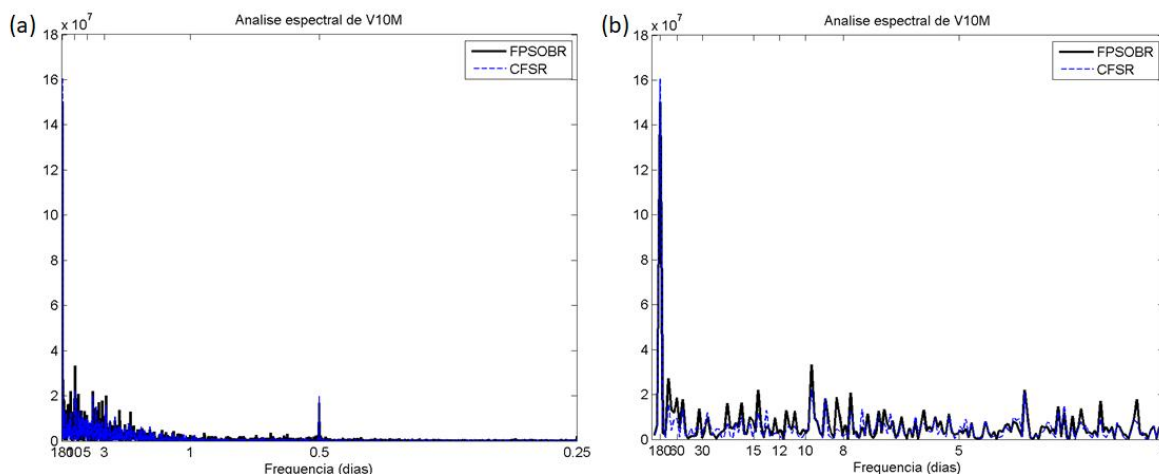


Figura 4.19 - Análise espectral de V10M para os dados da FPSOBR (linha sólida preta) e para o CFSR (linha tracejada azul) no período de jan/2009 à dez/2011. No eixo x estão as frequências em dias e no eixo y a densidade espectral ( $m^2/s^2$ ): (a) frequência começando em 1/4 de dia e (b) frequência começando em 3 dias.

Na Figura 4.20 são apresentadas as rosas dos ventos no período de nov/2004 à dez/2013 para a FPSOBR (Figura 3.20a) e CFSR (Figura 3.20b). Nota-se na observação uma predominância de vento nos octantes NNE, NE e N, associado ao ASAS e baixas frequências de ocorrência de vento nos octantes SE e S associados a passagem de frentes frias. Analisando a rosa dos ventos do CFSR, fica evidente que a Reanálise representa de maneira satisfatória os ventos na AGES, apesar da distribuição da frequência de ocorrência não ser exatamente como observada. Por exemplo, os ventos de NE associados ao ASAS apresentam maior frequência de ocorrência do que o observado; a seguir a segunda maior frequência de ocorrência é de N e não de NE e a terceira maior frequência é de NE, onde ocorre uma leve subestimativa. Com relação a intensidade do vento, verifica-se que o CFSR subestima a frequência de ocorrência de ventos fracos, inclusive apresenta a metade da frequência de calmaria observada em FPSOBR. Para o vento de NE (N e NNE), o CFSR subestima (superestima) a frequência de vento superior a  $10 \text{ m.s}^{-1}$ .

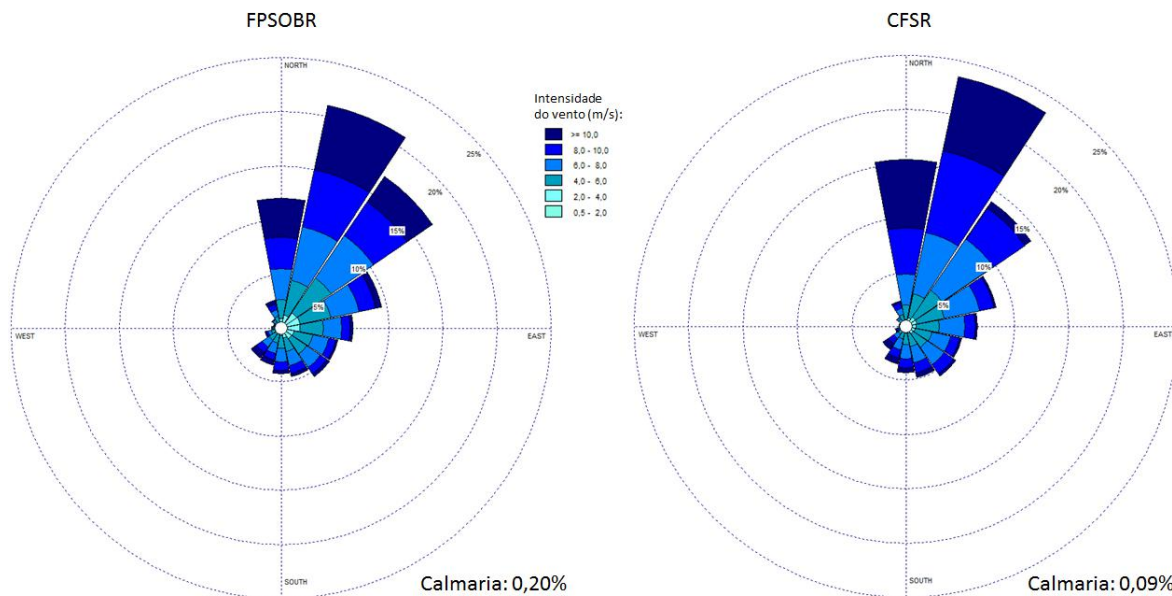


Figura 4.20 - Rosas dos ventos para o período de nov/2004 a dez/2013 elaboradas com: (esquerda) dados da FPSOBR e (direita) dados do CFSR.

#### 4.5 Avaliação da Passagem de Sistemas Frontais na AGES

Nesta Seção apresenta-se inicialmente os resultados da avaliação da passagem de sistemas frontais pela plataforma FPSOBR usando dados observacionais, considerando-se o critério objetivo apresentado na metodologia, em comparação com o método subjetivo utilizando-se imagens de satélite. A seguir é feita a comparação do número de sistemas frontais simulados pelo CFSR e observados em FPSOBR, ambos usando o critério objetivo descrito na metodologia. Por fim, para comparação entre Reanálise e observação, são apresentados dois casos de sistemas frontais com forte queda de temperatura, sendo: i) Observado na FPSOBR e simulado pelo CFSR e ii) Observado na FPSOBR mas não simulado pelo CFSR (segundo o critério de identificação).

##### 4.5.1 Avaliação do critério objetivo para identificação de Sistemas Frontais

A Figura 4.21 (Figura 4.22) apresenta o número total (médio) mensal de sistemas frontais identificados objetivamente a partir dos dados observacionais, utilizando-se o critério apresentado na metodologia, e também a quantidade desses sistemas frontais cuja passagem foi confirmada através da identificação subjetiva, utilizando-se imagens de satélite, ambos para o período de nov/2004 a dez/2013. Nota-se na Figura 4.21 que no mês de maio ocorre a maior diferença, com 44 frentes identificadas pelo critério objetivo e apenas 28

frentes confirmadas através das imagens do satélite GOES. No mês de dezembro ocorre a menor diferença entre o número de frentes identificadas objetivamente (27) e confirmadas subjetivamente (25).

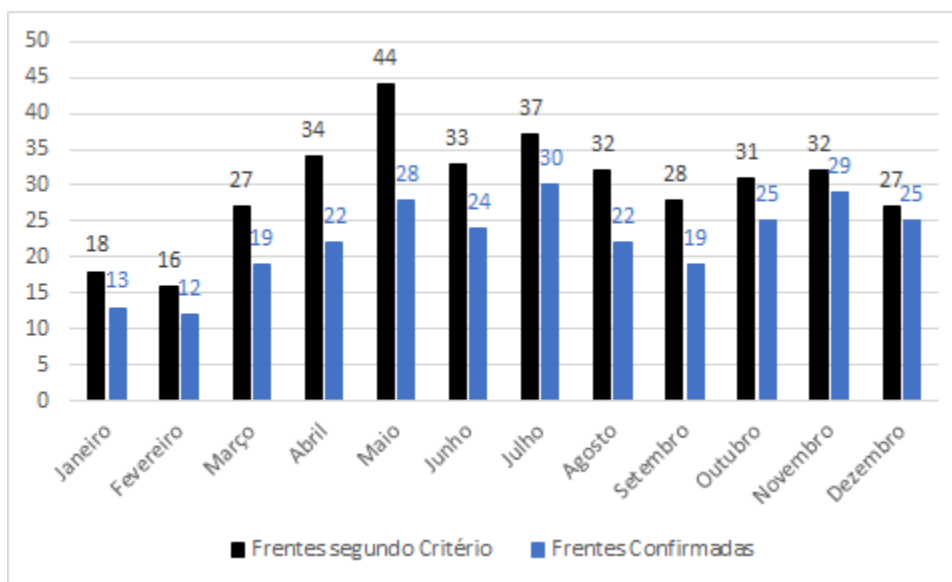


Figura 4.21 - Número total de sistemas frontais a cada mês, identificados segundo o critério objetivo (preto) e confirmados por imagens de satélite da rede GOES (azul) para o período de nov/2004 à dez/2013 na plataforma FPSOBR.

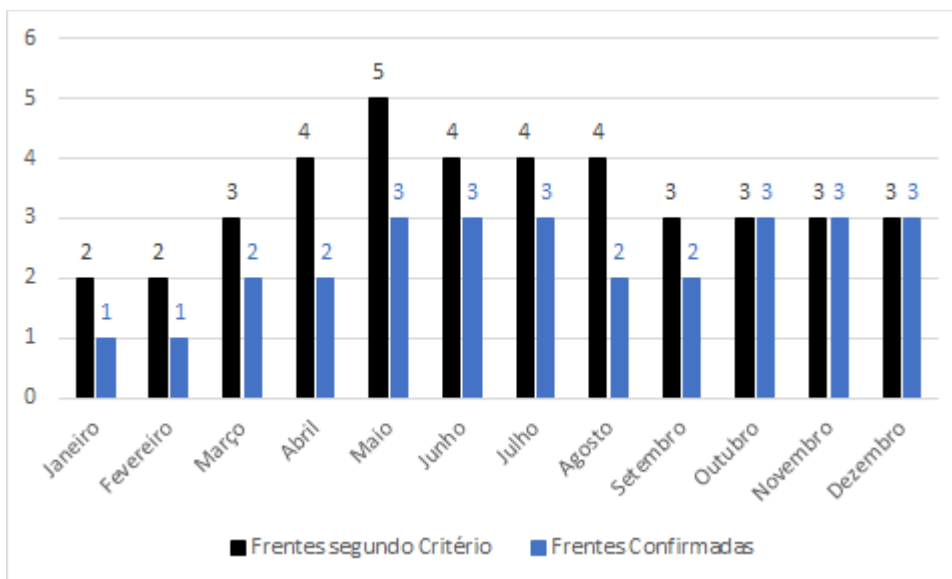


Figura 4.22 - Frequência mensal média de sistemas frontais identificados segundo o critério objetivo (preto) e confirmados por imagens de satélite da rede GOES (azul) para o período de nov/2004 à dez/2013 na plataforma FPSOBR.

Nota-se a partir da Figura 4.22, uma frequência mensal média de passagem de sistemas frontais, com mínimos no verão e máximos no inverno o que é esperado para a

Região Sudeste do Brasil. Os valores encontrados por Andrade e Cavalcanti (2004) são menores do que os encontrados pelo método objetivo mas são bem próximos mostrando que a escolha dos limiares do critério é de grande importância. Quando analisados os casos de sistemas confirmados subjetivamente, esses concordam ainda mais com os resultados de Andrade e Cavalcanti (2004) e também de Petrobras (2017) que contabilizou a passagem de sistemas na cidade de Vitória utilizando dados do Boletim Climanalise do CPTEC/INPE.

A Figura 4.23 apresenta o percentual de sistemas frontais confirmados pelo método subjetivo. Uma inspeção neste percentual mostra que os maiores erros do método objetivo (percentagens menores que 70%) ocorrem em abril, maio, agosto e setembro enquanto os menores erros (percentagens maiores que 80%) ocorrem em julho, outubro, novembro e dezembro. No mês de maio (dezembro) o percentual atinge um mínimo (máximo) de 63,6% (92,6%).

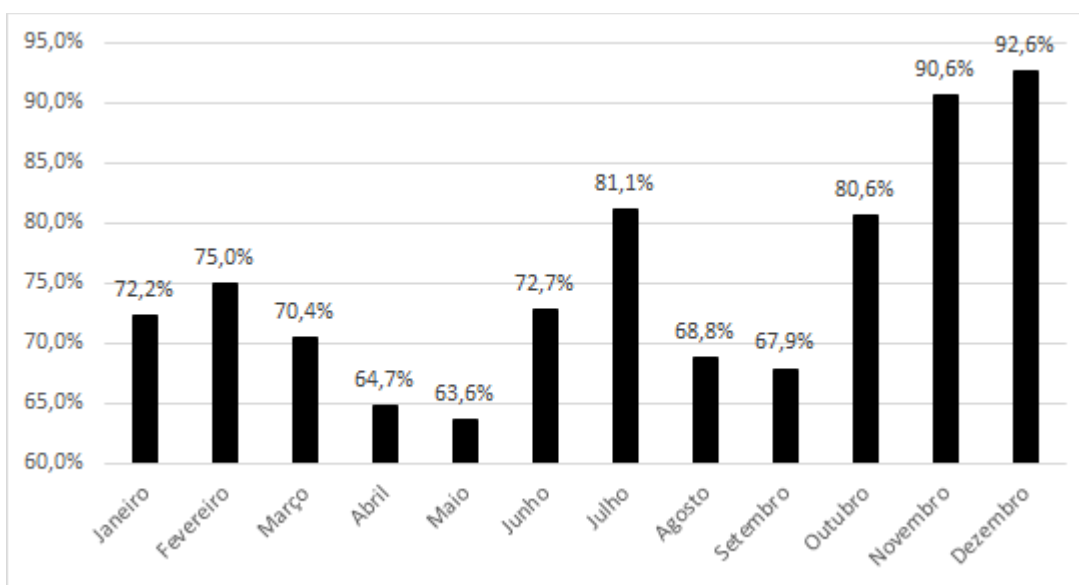


Figura 4.23 - Porcentagem de sistemas frontais confirmados para o período de nov/2004 à dez/2013 na plataforma FPSOBR.

#### 4.5.2 Comparação entre a passagem de sistemas frontais identificadas na Reanálise CFSR e observadas em FPSOBR

Nesta Seção apresentam-se os resultados da avaliação da passagem dos sistemas frontais identificados através da utilização dos dados do CFSR aplicados ao critério objetivo apresentado na metodologia. Para comparação utiliza-se o mesmo método objetivo aplicado aos dados observados na plataforma FPSOBR.

Na Figura 4.24 é apresentado o número de frentes observadas em FPSOBR e simuladas pelo CFSR. O mês de dezembro apresenta a maior diferença com 25 frentes observadas na plataforma e 19 simuladas pela CFSR. Já o mês de abril apresenta o melhor resultado com o mesmo número de sistemas para a plataforma e a Reanálise. Nota-se, portanto que a Reanálise consegue reproduzir bem a frequência de passagem de sistemas frontais pela AGES e a variabilidade do seu ciclo anual.

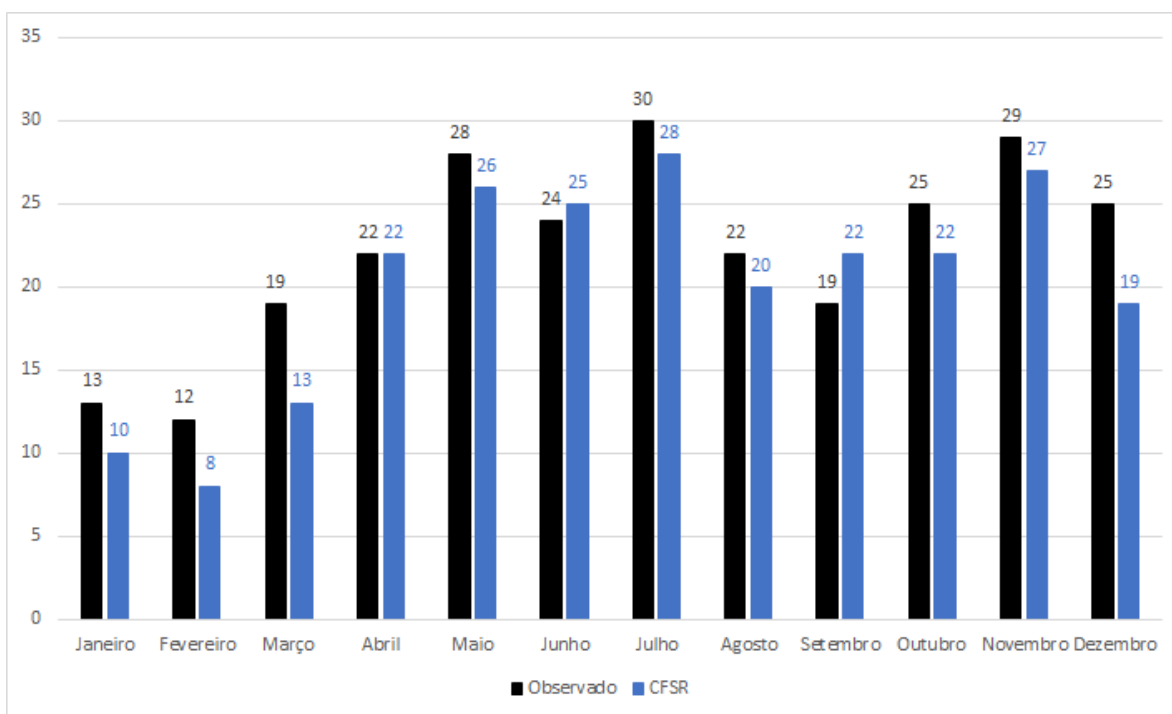


Figura 4.24 - Número total de sistemas frontais a cada mês, observados na plataforma FPSOBR (preto) e simulados pela Reanálise CFSR para o ponto de grade mais próximo da plataforma (azul) para o período de nov/2004 à dez/2013.

Todos os casos de passagem de sistema frontal simulados pelo CFSR foram confrontados com os casos observados em FPSOBR e a partir de tal comparação foi construída a tabela de contingência apresentada na Tabela 4.5.

Na Tabela 4.5, é possível observar que o CFSR apresenta 76% de acerto, FAR de 10%, POD de 86% e uma leve subestimativa ( $VIES < 1$ ) dos dias de atuação de sistemas frontais.

Tabela 4.5 - Tabela de contingência para os dias de sistemas frontais observados na FPSOBR e simulados pelo CFSR e métricas estatísticas associadas.

		Observado		
		Sim	Não	TOTAL
CFSR	Sim	603	70	673
	Não	121	2365	2416
	TOTAL	724	2365	3089
H	TS	FAR	POD	VIES
0,94	0,76	0,10	0,83	0,93

Com objetivo de verificar se o CFSR representa de maneira correta a mudança de tempo local associada a passagem de sistemas frontais, foram construídas séries temporais horárias de variáveis selecionadas para o número total de casos observados na FPSOBR utilizando dados de 1 dia antes até 1 dia depois da passagem dos sistemas frontais. Essas séries, aqui denominadas séries de sistemas frontais, foram confrontadas com as mesmas séries do CFSR para os casos observados e foram calculada as métricas estatísticas de CORR, BIAS e RMSE.

Na Figura 4.25 são apresentados os gráficos de dispersão de PNMM, T2M e V10M para as séries de dias sobre atuação de sistemas frontais. Nota-se que a correlação entre os dados é elevada com a menor sendo de 71% para a variável V10M e a maior sendo 99% para a PNMM, ou seja uma CORR para PNMM até mais elevada quando comparada a série total dos dados (de 98%). Há uma superestimativa do CFSR para a PNMM de aproximadamente 0,96 hPa. Para T2M e V10M, predomina uma subestimativa de aproximadamente 1 °C e 2 m/s, respectivamente. Ou seja, os resultados encontrados aqui para séries de sistemas frontais, permanecem apresentando superestimativa da PNMM, subestimativa de T2m e de V10M, com valores de REQM próximos aos encontrados para a série completa de dados.

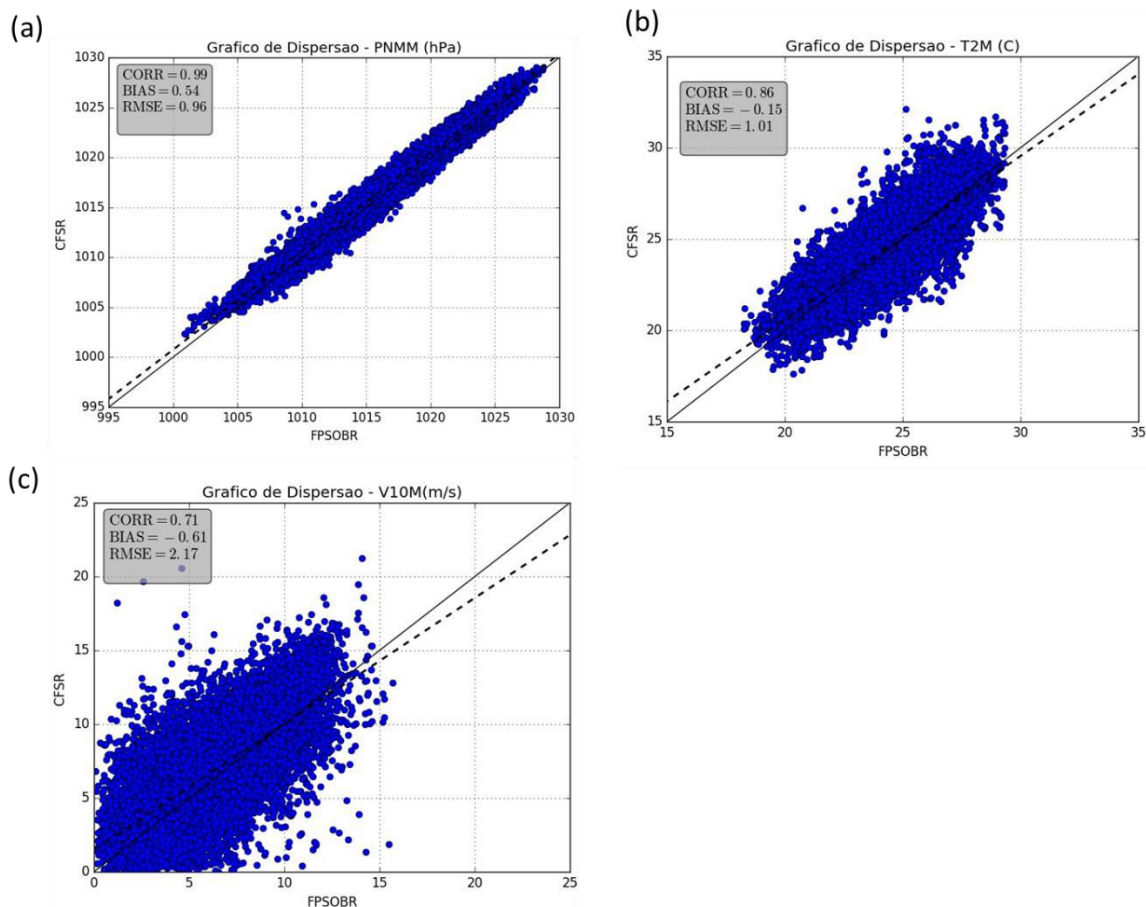


Figura 4.25 - Gráficos de dispersão para a série de dados de 1 dia antes até 1 dia depois da passagem dos sistemas frontais no período de nov/2004 e dez/2013 para (a) PNMM (hPa), (b) T2M (°C) e (c) V10M (m.s<sup>-1</sup>).

### 4.5.3 Avaliação dos Casos de Sistemas Frontais

Na Figura 4.26 são apresentadas as séries temporais de PNMM, T2M, V10M e DIR10M para 1 dia antes até 1 dia depois da frente fria cuja chegada na FPSOBR ocorreu no dia 16/06/2008 e ocasionou um brusco decréscimo de T2M em 24 horas, observado na FPSOBR e bem simulado pelo CFSR. Pode-se notar o aumento de PNMM e decréscimo de T2M depois da passagem do sistema frontal. Também pode-se perceber aumento de V10M antes da chegada do sistema e diminuição durante sua aproximação. Além disso, fica claro a mudança na DIR10M durante a passagem do sistema. O comportamento da PNMM e da T2M é muito bem representado pelo CFSR apesar de uma suavização já esperada pelo CFSR, onde o valor representa uma média na caixa de grade do modelo. Para V10M, o CFSR não consegue representar alguns picos de intensidade e algumas variações de menor amplitude, o que também já era esperado devido à localização da plataforma. A FPSOBR está próxima



a costa e a Reanálise apresenta uma certa dificuldade de simular a interação dos ventos oceânicos ao chegarem no continente. A DIR10M é muito bem representada pela Reanálise apresentando bons resultados até mesmo para o horário de virada do vento.

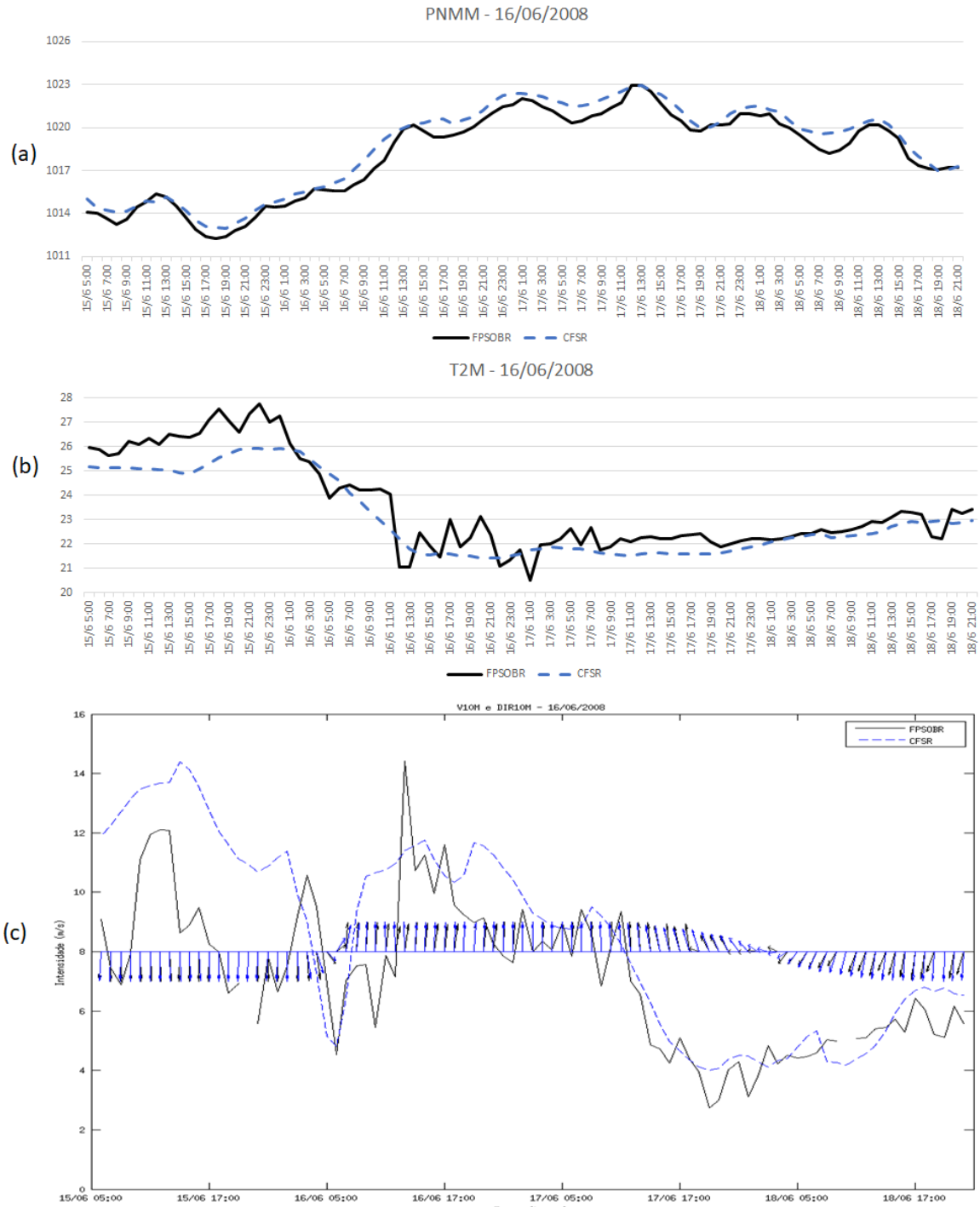


Figura 4.26 - Série temporal de 1 dia antes até 1 dia depois do sistema frontal ocorrido em 16/06/2008 para as variáveis PNMM (hPa) (a), T2M (°C) (b) e V10M (m.s<sup>-1</sup>) e DIR10M (c). Linha preta sólida FPSOBR e linha azul tracejada CFSR.

Na Figura 4.27 são apresentadas as mesmas séries de dados da Figura 4.26, mas para o sistema frontal do dia 16/03/2012 que foi observado na FPSOBR mas não simulado pelo CFSR, segundo o critério adotado. Pode-se notar em ambas as séries o aumento da PNMM

e redução de T2M após a passagem do sistema frontal. Também pode-se perceber o aumento de V10M antes da chegada do sistema e uma redução durante sua aproximação. Além disso, ficam nítidas as mudanças na DIR10M durante a passagem do sistema frontal. Neste caso, apesar das 3 condições terem sido satisfeitas, elas não ocorreram concomitantemente. Na ocasião em que a pressão se elevou de 1 hPa e houve queda na temperatura de mais do que 1 °C, a direção do vento não era de quadrante sul. Já quando o vento estava soprando de quadrante sul, o aumento de pressão em 24 horas já não era mais satisfeito. Assim, apesar da boa performance da reanálise, o critério não foi atendido. Para V10M, o CFSR não consegue representar alguns picos de intensidade e algumas variações de menor amplitude e neste caso chega até mesmo a errar consideravelmente a tendência de V10M. A DIR10M é relativamente bem representada pela Reanálise porém a duração da virada do vento é reduzida, com a simulação atrasando a virada de quadrante sul e adiantando a volta para o quadrante norte.

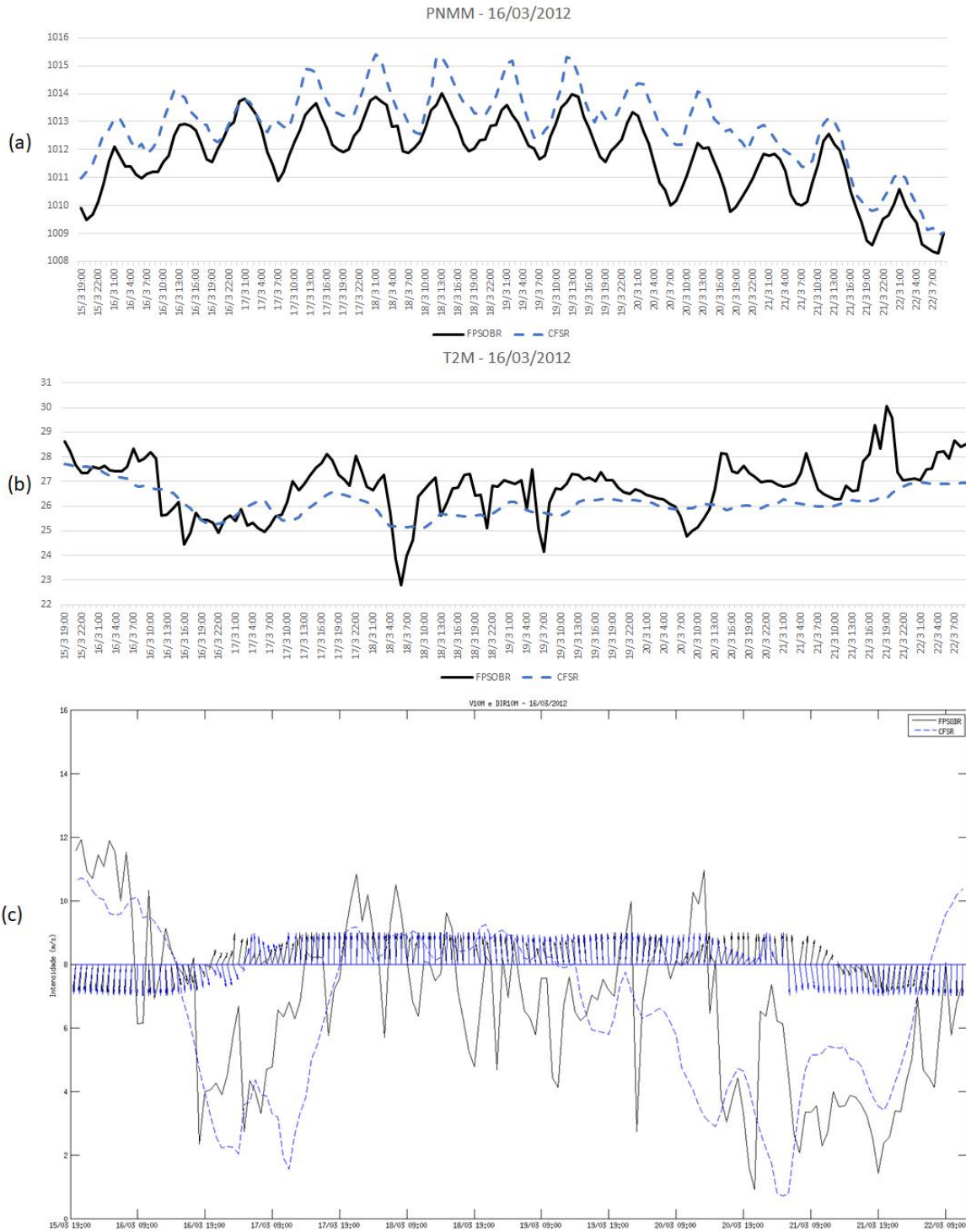


Figura 4.27 - Série temporal de 1 dia antes até 1 dia depois do sistema frontal ocorrido em 16/03/2012 para as variáveis PNMM (a), T2M (b) e V10M e DIR10M (c). Linha preta sólida FPSOBR e linha azul tracejada CFSR.

## 5 Conclusões

Neste trabalho elabora-se uma avaliação da Reanálise CFSR para representar o clima na AGES, confrontando com dados observacionais coletados pela Petrobras na área de estudo. As variáveis avaliadas são a PNMM, T2M, UR2M, V10M) e DIR10M. A avaliação é feita utilizando métricas estatísticas e gráficos de dispersão, ciclo anual, ciclo diurno, séries temporais e análise espectral. Além disso, aplica-se um método objetivo de identificação de passagens de sistemas frontais na região. Tais eventos são confirmados através de um método subjetivo utilizando imagens de satélite. Dessa forma elabora-se então, uma avaliação da performance do CFSR para identificar a passagem de sistemas frontais na área em estudo.

A PNMM é a variável melhor representada pelo CFSR com valor de correlação bastante elevado (98%) e uma leve superestimativa de 0,89 hPa que é baixo comparado ao valor de desvio padrão da observação (4,46 hPa). O CFSR representa de forma adequada a variabilidade sazonal da PNMM, com mínimos (entre 1012 hPa e 1013 hPa) no verão e máximos (em torno de 1020 hPa) no inverno e uma amplitude de aproximadamente 8 hPa. O ciclo diurno também é bem representado, exibindo a maré semi diurna da PNMM, com dois máximos às 1 e 13 UTC (22 h e 10 h local) e dois mínimos às 7 e 19 UTC (4 h e 16 h local) e uma amplitude de aproximadamente 2 hPa. É possível notar que a variabilidade interanual também é muito bem representada pelo CFSR reproduzindo de maneira correta inclusive os valores extremos da série. O espectro também é bem representado exibindo picos nas escalas de variação intra-anual (180 dias), intersazonais (90 dias) e entre 8 e 10 dias sendo estes últimos provavelmente associados a passagens de sistemas frontais.

A T2M também é bem simulada pelo CFSR, apesar dos resultados não serem tão bons quanto os da PNMM. A correlação é elevada (88%) e nota-se uma leve subestimativa de 0,95 °C que também é baixa quando comparada ao desvio padrão da observação (1,98 °C). Nesse sentido nota-se coerência entre as variáveis PNMM e T2M simuladas pelo CFSR, já que numa atmosfera mais fria espera-se maiores valores de PNMM. O mesmo resultado foi obtido por Dereczynski e Menezes (2015) para a Bacia de Campos, usando Reanálise NCEP/NCAR. Neste trabalho o CFSR representa corretamente a variabilidade sazonal da T2M, apesar de uma leve subestimativa, que ocorre principalmente entre junho e novembro. Para o ciclo diurno, a FPSOBR apresenta um aquecimento ao longo do dia chegando a um

máximo valor de 25,48 °C às 16 UTC (13 h local) e entrando em declínio até estabilizar às 22 UTC (19 h local) e a amplitude é de 0,73 °C. O CFSR não consegue reproduzir o aquecimento diurno observado entre 9 UTC (6 h local) e 21 UTC (18 h local), apresentando um valor mínimo de 24,80 °C às 9 UTC (6 h local) e um máximo de 25,06 °C à 1 UTC (22 h local) e uma baixa amplitude de 0,23 °C. Uma possível explicação para o reduzido ciclo diurno do CFSR é o fato do ponto de grade da reanálise localizar-se sobre o oceano enquanto na plataforma, as estruturas metálicas promovem um aumento das temperaturas ao longo do dia que não pode ser reproduzido pela reanálise. É possível notar que a variabilidade interanual é bem representada pelo CFSR mesmo apresentando um viés. O espectro também é bem representado pela Reanálise com uma maior influência da variação intra-anual (180 dias) seguido por uma segunda maior influência de variações intersazonais (90 dias) assim como apresentado na análise de PNMM. Porém, os valores do pico do CFSR para a variação intra-anual apresentam maiores valores de densidade espectral.

A UR2M apresenta resultados razoáveis em relação a representação pelo CFSR com correlação de 74%, apesar da subestimativa de 6,8% que é alta quando comparada ao desvio padrão da observação (8,87%). O CFSR representa razoavelmente bem a variabilidade sazonal da UR2M. Apesar da subestimativa considerável, a tendência dos dados é relativamente bem representada. Para o ciclo diurno, a FPSOBR apresenta seus maiores valores de UR2M durante a noite e madrugada até o horário de 9 UTC (6 h local) quando o aquecimento diurno apresentado anteriormente auxilia numa diminuição da UR2M até um mínimo de 73,88% às 16 UTC (13 h local) quando as temperaturas voltam a diminuir e a UR2M volta a aumentar até um máximo de 77,13% às 5 UTC (2 h local) apresentando amplitude de 3,26%. O CFSR não consegue reproduzir a diminuição da UR2M ao longo do dia apresentando um valor mínimo de 78,17% às 20 UTC (17 h local) e um máximo de 79,53% às 8 UTC (5 h local), uma baixa amplitude de 1,36% e uma grande superestimativa. A variabilidade interanual é relativamente bem representada pelo CFSR mesmo não representando tão bem a tendência da variável em alguns momentos. Nota-se uma superestimativa geral da Reanálise. Além disso, as amplitudes apresentadas são menores do que as observadas.

A V10M apresenta resultados razoáveis em relação a representação pelo CFSR com correlação de 74% e subestimativa de 2,06 m/s que é alta quando comparada ao desvio padrão

da observação (2,92 m/s). O valor de correlação encontrado concorda com os valores encontrados por Stuker *et al.*, (2016) para o estado do Rio Grande do Sul e são levemente inferiores aos de Sharp *et al.*, (2015) para regiões costeiras do Reino Unido o que indica que, em regiões costeiras e continentais, a correlação dos dados de V10M do CFSR com os dados observados parece estar entre 70 e 80%. O CFSR representa razoavelmente bem a variabilidade sazonal da V10M. Apesar da subestimativa de cerca de 1 m/s, a tendência dos dados é bem representada bem como a amplitude de cerca de 2 m/s e quando ocorrem os valores de máximo e mínimo. O ciclo diurno também é bem representado pelo CFSR (apesar da subestimativa de 0,8 m/s). Na observação nota-se um máximo de 7,29 m/s à 1 UTC (22 h local) que diminui com o começo do dia chegando a um mínimo de 6,53 m/s às 18 UTC (15 h local) e voltando a aumentar e apresentado amplitude de 0,76 m/s. Novamente, apesar do viés, a amplitude e quando ocorrem os máximos e mínimos são bem representados. A variabilidade interanual é razoavelmente representada pelo CFSR com uma leve superestimativa, porém fica claro que essa variável é representada de maneira pior quando comparada a PNMM e T2M. O espectro da variável também é razoavelmente representado apesar de algumas leves diferenças. Pode-se observar que o pico associado a uma variação de 12 horas (0,5 dia), a variabilidade intra-anual (180 dias) e as variações entre 8 e 10 dias são bem representados, apesar do pico associado a variação intra-anual, assim como para a variável T2M, ser maior para o CFSR do que o dado observado.

Quando analisadas as rosas dos ventos, nota-se na observação uma predominância de vento nos octantes NNE, NE e N, associado ao ASAS e baixas frequências de ocorrência de vento nos octantes SE e S associados a passagem de frentes frias. A rosa dos ventos do CFSR evidencia que a Reanálise representa de maneira satisfatória os ventos na AGES, apesar da distribuição da frequência de ocorrência não ser exatamente como observada. Os ventos de NE associados ao ASAS apresentam maior frequência de ocorrência do que o observado, a segunda maior frequência de ocorrência é de N e não de NE e a terceira maior frequência é de NE, onde ocorre uma leve subestimativa. Com relação a intensidade do vento, nota-se que o CFSR subestima a frequência de ocorrência de ventos fracos, inclusive apresenta a metade da frequência de calmaria observada em FPSOBR. Para o vento de NE (N e NNE), o CFSR subestima (superestima) a frequência de vento superior a  $10 \text{ m.s}^{-1}$ . Numa análise subjetiva, a reanálise apresenta boa representação dos quadrantes de ocorrência de ventos.

Há uma superestimativa das frentes pelo critério objetivo. Isso se dá pois alguns sistemas que influenciam a região podem causar variações semelhantes a passagem de um sistema frontal. Por exemplo, a atuação de sistemas convectivos de mesoescala pode afetar os campos de PNMM, T2M e DIR10M apesar de não se observar a passagem de um sistema frontal na imagem de satélite. O número médio de sistemas frontais para a região onde localiza-se a AGES pelo critério subjetivo de janeiro a dezembro, respectivamente, foi de: 1,1,2,2,3,3,3,2,2,3,3,3.

Quando comparados os sistemas frontais observados e os contabilizados pelo CFSR, o mês de dezembro apresenta a maior diferença com 25 frentes observadas na FPSOBR e 19 simuladas pelo CFSR. Já o mês de abril apresenta o melhor resultado com o mesmo número de sistemas para a plataforma e a Reanálise. Apesar disso, o CFSR consegue reproduzir o ciclo anual da passagem de sistemas frontais pela AGES.

Com relação aos dias de passagens de sistemas frontais, o CFSR apresenta 76% de acerto, falso alarme de 10%, probabilidade de detecção de 86% e uma leve subestimativa dos dias de atuação dos sistemas. Há uma superestimativa do CFSR.

Por fim, apesar dos problemas pontuados, considera-se que a Reanálise CFSR apresenta bons resultados tanto para a representação das variáveis analisadas quanto para identificação dos sistemas frontais na região da AGES e que seus dados são úteis e viáveis para estudos na região.



## 6. Referências Bibliográficas

- Ahrens, A. D. *Essentials of Meteorology: an invitation to the atmosphere*, 3a ed. West Publishing Company, New York, 1993, pp 53-71.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas P. C., Gonçalves J. L. M., Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 2014, Vol. 22, No. 6, pp 711–728.
- Andrade, K. M., Cavalcanti, I. F. A. *Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul*. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. SBMET, Fortaleza, 2004.
- Andrade, K.M. *Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul*. Dissertação de Mestrado - INPE/SJC, São José dos Campos – SP, 2007.
- Ayoade, J. O. *Introdução a Climatologia para os Trópicos*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2006, 11ª ed., Tradução Profa. Maria Juraci Zani dos Santos.
- Bonnet, S. M., *Caracterização sinótica e climatológica de eventos de chuva pós-frontal no Rio de Janeiro*. Monografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2012.
- Cavalcanti, I.F.A., Kousky, V. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. *Frentes frias sobre o Brasil*, pp. 135-145.
- Coelho, C.A.S., Cardoso, D.H.F., Firpo, M.A.F. *Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil*. *Theoretical and Applied Climatology*, 2016, v. 125 (3-4), pp. 769-784.
- Dee, D.P., S.M. Uppala, A.J. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi, U. Andrae, M.A. Balmaseda, G. Balsamo, P. Bauer, P. Bechtold, A.C.M. Beljaars, L. Van De Berg, J. Bidlot, N. Bormann, C. Delsol, R. Dragani, M. Fuentes, A.J. Geer, L. Haimberger, S./B. Healy, H. Hersbach, E.V. Hólm, L. Isaksen, P. Kållberg, M. Köhler, M. Matricardi, A.P. McNally, B.M. Monge-Sanz, J.-J. Morcrette, B.-K. Park, C. Peubey, P. De Rosnay, C. Tavolato, J.-N. Thépaut And F. Vitart. "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137, 2011, pp. 553-597.

Dereczynski, C.P., Menezes, W.F. Meteorologia da Bacia de Campos. In: Falcão, Ana Paula C. e Fernandez, Maria Patrícia, C. (Eds.). Caracterização ambiental regional da Bacia de Campos (Atlântico Sudoeste). Elsevier, 2015, Vol. 2, Cap.1.

Det Norske Veritas (DNV), Environmental Conditions and Environmental Loads, Classification Notes, 1991, no. 30.5.

Ek, M. B., K. E. Mitchell, Y. Lin, E. Rogers, P. Grunmann, V. Koren, G. Gayno, and J. D. Tarplay, 2003: Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. *J. Geophys. Res.*, 2003.

Griffies, S. M., and R. W. Hallberg, 2000: Biharmonic friction with a Smagorinsky viscosity for use in largescale eddy-permitting ocean models. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2935–2946.

Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gadin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woolen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Jonawiak, J.; Mo, K.C.; Ropelewisk, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynold, R.; Jenne, R.; Joseph, D. The NCEP/NCAR 40- Year Reanalysis Project. *Bulletin of the Meteorological Society*, 77, 1996, pp. 437-471.

Kousky, V. E. Pentad Outgoing Longwave Radiation Climatology for the South American Sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 1988, v. 3, p. 217–231.

Lemos C. F.; Calbete, N. O. Sistemas Frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995. *Climanálise Especial*, 1986, Edição Comemorativa de 10 anos.

Oliveira, A. S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia. *Dissertação de Mestrado - INPE/SJC, São José dos Campos – SP*, p. 115, 1986.

Pereira, C. S., Espírito Santo, C. M., Giarolla, E., An In Situ-Based Climatology of the Sea Surface Temperature Field for the Southwestern Atlantic Ocean and its Anomalies in ENSO Years. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2005, v.20, n.3, p.333–246.

Petrobras, Projeto de caracterização regional da área geográfica da bacia do Espírito Santo e parte norte da bacia de Campos. Petrobras, Rio de Janeiro, 2016, Relatório I.

Petrobras, Projeto de caracterização regional da bacia de Sergipe-Alagoas. Petrobras, Rio de Janeiro, 2017, Etapa III, Relatório IV.

Regoto, P; Dereczynski, C. P., Luiz Silva, W.; Santos, R. Confalonieri, U. Tendências de Extremos de Precipitação para o Estado do Espírito Santo. Aceito para publicação no Anuário do Instituto de Geociências, 2018.

Saha, S., Moorthi, S., Pan, H., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y., Chuang, H., Juang, H. H., Sela, J., Iredell, M., Treadon, R., Kleist, D., Delst, P. V., Keyser, D., Derber, J., Ek, M., Meng, J., Wei, H., Yang, R., Lord, S., van den Dool, H., Kumar, A., Wang, W., Long, C., Chelliah, M., Xue, Y., Huang, B., Schemm, J., Ebisuzaki, W., Lin, R., Xie, P., Chen, M., Zhou, S., Higgins, W., Zou, C., Liu, Q., Chen, Y., Han, Y., Cucurull, L., Reynolds, R. W., Rutledge, G., Goldberg, M. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 2010, pp. 1015–1057.

Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., van den Dool, H., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., Becker, E. The NCEP Climate Forecast System Version 2. *J. Climate*, 27, 2014, pp. 2185-2208.

Satyamurty, P., Nobre, C. A., Silva Dias, P. L. *Meteorology of the Southern Hemisphere*, 1998, South America, v. 27, n. 49, pp. 119-139.

Sharp, E., Dodds, P., Barrett, M., Spataru, C. Evaluating the accuracy of CFSR reanalysis hourly wind speed forecasts for the UK, using in situ measurements and geographical information. *Renewable Energy*, 2015.

Stüker, E., Schuster, C. H., Schuster, J. J., Santos, D. C., Medeiros, L. E., Costa, F. D., Demarco, G., Puhales, F. S., Comparação entre os dados de vento das reanálises meteorológicas ERA-Interim e CFSR com os dados das estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. *Ciência e Natura*, 38, 2016.

Wilks, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. Academic Press, 1995.

World Meteorology Organization nº 49. *Technical Regulations: General Meteorological Standards and Recommended Practices*. Vol. 1, Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 1988.

World Meteorology Organization nº 100. *Guide to Climatological Practices*. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 1983.

World Meteorology Organization nº 100. *Guide to Climatological Practices*. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 2011.