



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.30.13.23-TDI

**A EMISSIVIDADE DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL
EM MICRO-ONDAS E SUAS IMPLICAÇÕES NA
ASSIMILAÇÃO DE RADIÂNCIAS**

Bruna Barbosa Silveira

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, aprovada em 18 de setembro de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PH9BTE>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial
(ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos
Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



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

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.30.13.23-TDI

**A EMISSIVIDADE DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL
EM MICRO-ONDAS E SUAS IMPLICAÇÕES NA
ASSIMILAÇÃO DE RADIÂNCIAS**

Bruna Barbosa Silveira

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, aprovada em 18 de setembro de 2017.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PH9BTE>>

INPE
São José dos Campos
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silveira, Bruna Barbosa.
Si39e A emissividade da superfície continental em micro-ondas e suas implicações na assimilação de radiâncias / Bruna Barbosa Silveira.
– São José dos Campos : INPE, 2017.
xxviii + 209 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.30.13.23-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

Orientador : Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves .

1. Emissividade. 2. Micro-ondas. 3. Assimilação de dados.
4. Análise de sensibilidade global. 5. Radiância. I.Título.

CDU 551.509.313.3



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Bruna Barbosa Silveira**

Título: "A EMISSIVIDADE DA SUPERFÍCIE CONTINENTAL EM MICRO-ONDAS E SUAS IMPLICAÇÕES NA ASSIMILAÇÃO DE RADIANCIAS".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Meteorologia

Dr. José Antonio Aravéquia



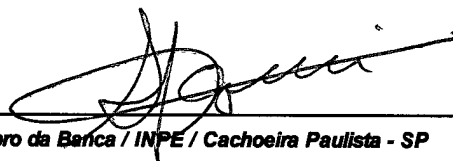
Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Luis Gustavo Gonçalves de
Gonçalves



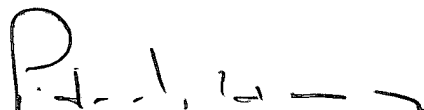
Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Luiz Fernando Sapucci



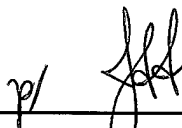
Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Pedro Leite da Silva Dias



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Dra. Débora Regina Roberti



Convidado(a) / UFSM / Santa Maria - RS

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 18 de setembro de 2017

A meus pais Marlei e Solano, pelo apoio e amor. Ao Leonardo, pelo apoio, amor e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde para enfrentar mais essa etapa da minha vida.

A meus pais Marlei e Solano pelo apoio em todos os momentos, pelo amor, por tudo, muito obrigada!

A meu irmão Elton, cunhada Maria e o sobrinho Guilherme pelas palavras de apoio, muito obrigada.

A meu "namorado" Leonardo, pelo apoio, compreensão, parceria que contribuíram muito para essa jornada acontecer, muito obrigada!!

Ao Seu Ubirácio, Dona Izilda e Carolina obrigada pelo apoio e carinho.

Ao meu orientador Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves pela confiança, paciência, ensinamentos e amizade.

Ao Dr. Rafael Rosolem e Dra. Francesca Pianosi pela disponibilidade da ferramenta SAFE, assim como contribuição no desenvolvimento da análise de sensibilidade.

Aos membros da banca examinadora pelas críticas e sugestões.

Agradeço a minha amiga Thalyta pelas palavras de apoio sempre que precisava e pela contribuição no texto, muito Obrigada!

Aos colegas do grupo de assimilação que contribuíram muito para o desenvolvimento deste trabalho na parte técnica, científica e nos momentos de descontração, em especial para ao Carlos, João, Fábio, Ivette, Sapucci, Eduardo e Lucas. Ao Carlos pelas contribuições no texto.

À Divisão de Satélites Ambientais (DSA), em nome do Diego Souza pela disponibilidade dos dados do GeonetCast.

A todas as pessoas que de alguma maneira o trabalho influenciou direta ou indiretamente no desenvolvimento desta tese.

Aos meus colegas de doutorado da turma de 2013, pelas horas de descontração e de estudo. Aos colegas da PGMET e pessoas que eu conheci durante essa jornada.

A secretaria da PGMET pela contribuição na resolução de assuntos burocráticos.

Ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela disponibilidade dos recursos computacionais necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsas concedidas.

RESUMO

Para que medidas de satélite na banda de micro-ondas (MO) possam ser assimiladas em modelos de previsão numérica do tempo, em particular nos canais sensíveis à superfície, é necessária uma correta caracterização da emissividade da superfície. Enquanto o papel da emissividade é facilmente entendido sobre a superfície oceânica, sobre os continentes existem limitações devido à complexidade da superfície terrestre, em particular associada a heterogeneidade da cobertura da superfície. Nesse sentido, esta tese propôs quantificar a contribuição das características do solo e da vegetação na estimativa da emissividade em micro-ondas e estimar o seu impacto na assimilação de radiâncias [no sistema *GridPoint Statistical Interpolation* (GSI) e o modelo *Brazilian Global Atmospheric Model* (BAM)] para os canais sensíveis à superfície terrestre. Para regiões onde a cobertura de vegetação é escassa os resultados mostram que a emissividade simulada para os canais de 1 a 3 do sensor *Advanced Microwave Sounding Unit* (AMSU-A) em geral é superestimada. Com a finalidade de identificar os parâmetros/variáveis que mais contribuem para a simulação da emissividade foram aplicados dois métodos de análise de sensibilidade, os quais indicaram que no caso de solo nu a temperatura da superfície terrestre, temperatura do solo e umidade do solo são os parâmetros que mais contribuem para a simulação da emissividade. Para superfícies caracterizadas como floresta tropical, a espessura da folha, conteúdo gravimétrico de água no dossel e a densidade da vegetação foram os parâmetros/variáveis que apresentaram maior contribuição. De tal modo, foi proposta a utilização de campos alternativos de umidade do solo e temperatura da superfície terrestre para a simulação da emissividade e consequentemente temperatura de brilho no sistema de assimilação GSI-BAM. Com isso foram realizados três experimentos [alterando a umidade do solo (EXP02), alterando a temperatura da superfície terrestre (EXP03) e por fim alterando as duas em conjunto (EXP04)], nos quais se encontrou que as maiores contribuições na simulação da emissividade ocorreram em coberturas da superfície sem vegetação densa. Tal comportamento é explicado pela análise de sensibilidade. Os três canais analisados apresentaram as mesmas características. Quando avaliados os canais sensíveis à superfície do AMSU-A no sistema de assimilação, as alterações na umidade do solo sozinha, ou em conjunto com a temperatura da superfície, resultam em um aumento do número de observações seguido de uma melhoria dos campos de análise e estimativa inicial. Por sua vez, quando alterada somente a temperatura da superfície, houve, na média, uma diminuição no número de dados assimilados e pequena degradação da análise e estimativa inicial. Notou-se ainda que com as mudanças realizadas nos experimentos EXP02 e EXP04 ocorreu um ganho no coeficiente de correlação de anomalia da altura do geopotencial em 500 hPa em relação ao experimento controle, e esses ganhos foram encontrados a partir de 90 horas de previsão. Todavia, no experimento EXP03 houve degradação das previsões a partir de 42 horas.

Palavras-chave: Emissividade. Micro-ondas. Assimilação de Dados. Análise de Sensibilidade Global. Radiância.

THE MICROWAVE LAND SURFACE EMISSIVITY AND ITS IMPLICATIONS IN THE RADIANCE ASSIMILATION

ABSTRACT

In order to assimilate satellite measurements in the microwave band into numerical weather prediction models, particularly for those channels sensitive to the surface, a correct characterization of the surface emissivity is necessary. While the role of the surface emissivity over the ocean is well understood, over the continents, there are limitations due to the complexity of the land surface, particularly related to the heterogeneity of the land cover. Therefore, this thesis proposes to quantify the contribution of the soil and vegetation characteristics used to simulate the microwave land surface emissivity and estimate their impact on the radiance data assimilation [in the system comprised by the GridPoint Statistical Interpolation (GSI) and the Brazilian Global Atmospheric Model (BAM)] for surface sensitive channels. In regions with sparse vegetation, results show that the simulated emissivity for the channels 1-3 of the Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU-A) sensor is generally superestimated. With the purpose of identifying the parameters/variables that contribute most to the emissivity estimation, two methods for sensitivity analysis were employed. These methods indicated that for bare soil the skin temperature, soil temperature and soil moisture are the parameters that contribute more to the emissivity simulations. For tropical forest cover type, leaf thickness, canopy gravimetric water content and vegetation density were the parameters/variables that contributed most. Thus, the use of alternative soil moisture and temperature for emissivity simulation and consequent brightness temperature simulation in the data assimilation system GSI-BAM were proposed. Three experiments were performed [modifying soil moisture (EXP02), modifying skin temperature (EXP03) and lastly modifying both soil moisture and temperature together (EXP04)] where the major contribution to the simulated emissivity occurred over sparse vegetation regions, what can be corroborated by the sensitivity analysis. All channels show the same characteristics. The surface sensitivity channels from AMSU-A were evaluated within the data assimilation framework. The experiments EXP02 and EXP04 show an increase in the number of observations assimilated following an improvement in the analysis and background. Whereas, in the EXP03 occurred a decrease in the assimilation of the surface sensitivity channels and a small degradation in the analysis and background. It was noted with the changes performed in the experiments EXP02 and EXP04 resulted in an improvement in the anomaly correlation coefficient (ACC) at 500-hPa geopotential height, when compared with the control experiment. These improvements were found after 90 forecast hours, whereas in the EXP03 there was a degradation in the forecasts starting at 42 hours forecast time.

Keywords: Emissivity. Microwave. Data Assimilation. Global Sensitivity Analysis. Radiance.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Diagrama esquemático das principais componentes da assimilação de dados.	9
2.2 Transmitância da atmosfera (Total, H_2O , O_2) no espectro do micro-ondas em função do comprimento de onda e da frequência.	11
2.3 Contribuintes da temperatura de brilho no topo da atmosfera sobre condições de atmosfera sem nuvens, representada pelos termos da Equação 2.5.	13
2.4 Características de varredura do sensor AMSU-A e os ângulos associados a geometria da varredura.	15
2.5 Função peso dos canais do sensor AMSU-A.	17
3.1 Mapa do tipo de cobertura da superfície utilizado pelo modelo SSiB.	29
3.2 Fluxograma das principais componentes da assimilação de radiancia no sistema GSI-BAM.	31
3.3 Diagrama esquemático das principais componentes do modelo direto do CRTM.	34
3.4 Esquema da transferência radiativa para um meio de três camadas.	36
3.5 Histograma de frequência para as simulações da emissividade do modelo utilizado na análise de sensibilidade referente à frequência de 23,8 GHz, polarização vertical e ângulo zenital 53°	44
3.6 Exemplo da CDF incondicional e da CDF condicional do modelo (y) e a representação do KS.	45
3.7 Cobertura de neve no globo.	48
3.8 Produto da emissividade da superfície terrestre do canal 23,8 GHz a bordo do METOP-B. Passagem referente ao dia 15/08/2014 entre às 01:18Z e 02:16Z.	52
3.9 Convergência dos índices de sensibilidade em função do número de simulações do modelo para o solo nu, na frequência de 50,3 GHz, ângulo zenital de 53° e polarização vertical.	55
3.10 Produto de umidade do solo (m^3/m^3) do SMOPS para o dia 01/08/2014.	57
3.11 Produto de temperatura da superfície terrestre do MIRS para o dia 15/08/2014 passagem ascendente.	58
3.12 Mapa espacial dos dados do GLDAS para o dia 15/08/2014.. . . .	60

4.1	Histogramas de frequência da emissividade simulada e da estimada por satélite para o mês de agosto de 2014 referentes às florestas tropical, temperada, mista, boreal e conífera, a caatinga, tudra e cultivo.	66
4.2	Histogramas de frequência da emissividade simulada e da estimada por satélite para o mês de agosto de 2014 referente à savana, campos, semi-deserto e solo nu para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z.	68
4.3	Diferença entre o produto de emissividade da superfície terrestre em micro-ondas e a emissividade simulada no EXP01 para o canal 23,8 GHz referente ao dia 07/08/2014.	71
4.4	Índice de Primeira ordem (S_i) e o índice de sensibilidade total (S_T) referente à frequência 23,8 GHz e ângulo zenital de 45°.	73
4.5	Índice de Primeira ordem (S_i) referente à polarização vertical e horizontal para os parâmetros/variáveis relacionados ao solo nu aos quais o modelo de emissividade é mais sensível.	76
4.6	Índice de Segunda Ordem para as frequências de 23,8 GHz e 50,3 GHz, nos ângulos de 0°, 45° e 53° para polarização vertical. Índice referente ao solo nu.	78
4.7	Distribuição empírica incondicional (linhas vermelha) e condicional (linhas cinzas) da simulação do modelo. As figuras referem-se à frequência de 23,8 GHz, ângulo zenital de 45° e polarização vertical.	80
4.8	Estatística do Kolmogorov-Smirnov (KS) para os valores condicionais x_i dos parâmetros SM , T_{skin} , Sig e T_{soil} . As figuras referem-se à frequência de 23,8GHz.	82
4.9	Mesmo que a Figura 4.8 para os parâmetros f_{sa} , R_{hob} e R_{hos}	83
4.10	Índice de sensibilidade PAWN para a frequência de 23,8 GHz, polarização vertical e horizontal, e ângulo de 53°.	85
4.11	Índice de Primeira ordem (S_i) para os parâmetros/variáveis aos quais o modelo de emissividade combinando as duas polarizações é mais sensível.	86
4.12	Índice de Segunda Ordem para as frequências de 23,8 GHz e 50,3 GHz, nos ângulos de 0°, 45° e 53° para polarização vertical. Índice referente ao solo nu.	88
4.13	Índice de Primeira ordem (S_i) e índice de sensibilidade total (S_T) referente à frequência 23,8 GHz e ângulo zenital de 45°.	89
4.14	Índice de Primeira ordem (S_i) referente à polarização vertical e horizontal para os parâmetros/variáveis aos quais o modelo de emissividade é mais sensível.	91

4.15	Índice de Segunda Ordem para a frequência de 23,8 GHz, nos ângulos de 0°, 15°, 45° e 53° para polarização vertical. Índice referente à floresta tropical.	92
4.16	Distribuição empírica incondicional (linhas vermelha) e condicional (linhas cinzas) da simulação do modelo. As figuras referem-se à frequência de 23,8 GHz e ângulo zenital de 53°.	94
4.17	Estatística do Kolmogorov-Smirnov (KS) para os diferentes condicionais x_i dos parâmetros SM , LAI , LT , vf , Mg e $Rhov$. As figuras referem-se à frequência de 23,8GHz.	96
4.18	Índice de sensibilidade PAWN para a frequência de 23,8 GHz, polarização vertical e horizontal, e ângulo de 53°.	98
4.19	Média diária da umidade do solo simulada no EXP01 e do produto de umidade do solo diária estimada por satélite do SMOPS para o dia 15/08/2014.	101
4.20	Diferença da média da Temperatura da superfície do MIIRS e do EXP01 para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z referente ao mês de agosto de 2014.	103
4.21	Média diária da umidade do solo simulada do GLDAS e do produto de umidade do solo diária estimada por satélite do SMOPS para o dia 15/08/2014.	104
4.22	Diferença da média da temperatura da superfície do MIRS e do GLDAS para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z. Os valores são a média do mês de agosto de 2014.	106
4.23	Diferença absoluta $Absdif = [Abs(M - EXP01) - Abs(M - EXP03)]$, onde EXP01 e GLDAS são a temperatura da superfície terrestre para o experimento EXP01 e o GLDAS, respectivamente. M é a temperatura da superfície terrestre do MIRS. As diferenças são para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z. Os mapas representam a média de agosto de 2014 para esses horários.	107
4.24	Histogramas de frequência da emissividade simulada nos quatro experimentos para o mês de agosto de 2014. A emissividade é referente ao canal 23,8 GHz do AMSU-A.	111
4.25	Variação temporal (17/07/2014 as 00Z à 01/09/2014 00Z) da média global da pressão à superfície nas análises geradas nos diferentes experimentos no sistema GSI-BAM.	116
4.26	Variação temporal (17/07/2014 à 31/08/2014) das estatísticas das observações de pressão à superfície para o horário das 00Z.	117

4.27	Variação temporal das diferenças entre os dados assimilados de radiância (exceto AMSU-A e ATMS) nos diferentes experimentos com relação ao EXP01 para o mês de agosto/2014.	121
4.28	Variação temporal (agosto/2014) da diferença do número de observações assimiladas entre os experimentos e o experimento controle para as observações dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do sensor AMSU-A.	125
4.29	Taxa de uso dos dados do canal 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz para gerar as análises para o mês de agosto/2014 sobre os 12 tipos de cobertura da superfície.	127
4.30	Diferença entre a porcentagem das observações que são rejeitadas no experimento controle e passam a ser aceitas nos experimentos avaliados (Rej->Acei) e a porcentagem das observações que são aceitas no EXP01 e passam a ser rejeitadas nos experimentos avaliados (Acei->Rej).	130
4.31	Distribuição espacial da T_B observada menos a simulada no ponto da observação utilizando a estimativa inicial (OMF) e OMA (observação menos a análise) do canal 23,8 GHz do sensor AMSU-A para o dia 18/08/2014 às 18Z, sobre a região de floresta tropical.	132
4.32	Distribuição espacial da T_B observada menos a simulada no ponto da observação utilizando a estimativa inicial (OMF) e OMA (observação menos a análise) do canal 23,8 GHz do sensor AMSU-A para o dia 15/08/2014 às 00Z, sobre a região de caatinga.	133
4.33	Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 23,8 GHz para as observações aceitas no EXP01 e no EXP02.	138
4.34	Mesmo que a Figura 4.33 para o caso das observações do canal 23,8 GHz rejeitadas no EXP01 e aceitas no EXP02.	140
4.35	Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 23,8 GHz para as observações aceitas no EXP01 e rejeitadas no EXP02.	142
4.36	Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 50,3 GHz para as observações aceitas no EXP01 e no EXP03.	146
4.37	Mesmo que a Figura 4.36 para os dados rejeitados no EXP01 e aceitos no EXP03 para o canal 50,3 GHz.	148
4.38	Mesmo que a Figura 4.36 para os dados aceitos no EXP01 e rejeitados no EXP03.	150
4.39	Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 50,3 GHz para as observações aceitas no EXP01 e no EXP04.	154
4.40	Mesmo que a Figura 4.39 para os dados do canal 23,8 GHz rejeitados no EXP01 e aceitos no EXP04.	156

4.41	Mesmo que a Figura 4.39 para os dados aceitos no EXP01 e rejeitados no EXP04.	157
4.42	Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas sobre o continente do quatro experimentos. As observações são referentes aos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3GHz.	160
4.43	Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões com floresta mista (Tipo 3).	161
4.44	Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões com Caatinga (Tipo 8).	162
4.45	Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões de Semi-Deserto (Tipo 9).	163
4.46	Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões de Campos (Tipo 7).	164
4.47	Média do Coeficiente de Correlação de Anomalia da altura geopotencial (ZGEO) em 500hPa sobre o globo (GL), região tropical (TR), Hemisfério Sul (HS), Hemisfério Norte (HN) e América do Sul (AS) durante o período de 11/08/2014 à 19/08/2014.	167
4.48	Ganho Percentual nos valores de RMSE nas variáveis analisadas para 24 h, 48 h, 72 h, 96 h e 120 h de previsão para região Tropical.	169
4.49	Ganho Percentual nos valores de RMSE nas variáveis analisadas para 24 h, 48 h, 72 h, 96 h e 120 h de previsão para região da América do Sul.	170

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 Características dos canais do sensor AMSU-A.	16
3.1 Configuração da dinâmica e da física do modelo BAM.	27
3.2 Tipos de cobertura da superfície do modelo SSiB.	28
3.3 Marcas de CQ interna do GSI associadas as observações do sensor AMSU-A. 33	33
3.4 Características da superfície utilizadas para a simulação da emissividade no modelo descrito em Weng et al. (2001).	38
3.5 Dados assimilados no sistema GSI-BAM. Temp. é a temperatura, pressão é a pressão à superfície, Refra. é refratividade.	39
3.6 Sensores e satélites utilizados no sistema de assimilação de dados. N15 representa o satélite NOAA-15, N18 o NOAA-18 e o N19 o NOAA-19. . .	41
3.7 Requisitos para os dados de emissividade do MSPPS e da emissividade simulada pelo sistema GSI-BAM serem selecionados para comparação. . .	50
3.8 Coeficientes lineares dos canais 1, 2 e 3 do sensor AMSU-A usados na estimativa da emissividade desses canais.	52
3.9 Limites físicos dos parâmetros/variáveis referentes ao solo nu.	53
3.10 Limites físicos dos parâmetros/variáveis referentes à floresta tropical. . .	54
3.11 Experimentos realizados e principal diferença na configuração.	59
4.1 Média mensal (Agosto/2014) da diferença entre a emissividade estimada por satélite e a simulada no EXP01 para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz. Os valores entre parênteses se refere ao desvio padrão. Os valores em negrito se referem a diferenças absolutas maiores ou iguais a 0.04.	69
4.2 S_i e S_{T_i} de todos os parâmetros e suas posições na classificação para a frequência de 23,8 GHz e ângulo de 45°.	74
4.3 S_i e S_{T_i} de todos os parâmetros e suas posições na classificação para a frequência de 23,8 GHz e ângulo de 45°.	90
4.4 Média mensal (Agosto/2014) da diferença entre a umidade do solo (m^3/m^3) do GLDAS e do EXP01 ($SM_{GLDAS} - SM_{EXP01}$) e diferença da temperatura da superfície terrestre (K) do GLDAS e do EXP01 ($Ts_{GLDAS} - Ts_{EXP01}$). Os valores negativos representam que o EXP01 é maior.	108

4.5	Média mensal (Agosto/2014) da diferença entre a emissividade estimada por satélite e a simulada nos quatro experimentos para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz sobre 12 tipos de cobertura da superfície. Os valores entre parenteses se referem ao desvio padrão. Os valores em negrito representam onde a diferença absoluta entre o experimento e a referência foi menor que o controle e a referência.	113
4.6	Correlação entre a diferença das variáveis modificadas no experimento com relação ao controle e a diferença entre a emissividade do experimento e a do controle para o canal 23,8 GHz.	114
4.7	Número médio de dados assimilados no mês de agosto de 2014 referente aos quatro horários sinóticos para as observações de pressão à superfície, vento e GPS. Os valores em destaque são do experimento que mais assimila esse tipo de dado.	118
4.8	Número médio de dados assimilados no mês de agosto de 2014 para os quatro horários de análise dos sensores MHS, AIRS, IASI e HIRS-4, para os quatro experimentos. Os valores em destaque são do experimento que mais assimila esse tipo de dado.	120
4.9	Número médio de observações assimiladas em um ciclo de análise de agosto/2014 para os canais de 1 a 5 do sensor AMSU-A (a bordo de todos os satélites) e para os canais 1 a 6 do ATMS. Os números fora do parênteses são referentes às observações que estão sobre 100% continente (exceto gelo e neve), e os dentro dos parênteses são os outros tipos de superfície (água, neve e gelo). Os valores em negrito destacam o experimento que na média assimila mais dados.	123
4.10	Análise do comportamento da <i>SM</i> no experimento EXP02 relacionada a <i>SM</i> no experimento controle. A avaliação se refere aos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz.	135
4.11	Análise do uso dos dados dos três canais para o experimento EXP01 e EXP03, para o mês de agosto/2014 e sobre os 12 tipos de cobertura e sobre o globo. <i>TM</i> é a temperatura da superfície terrestre do MIRS, <i>T1</i> do EXP01 e <i>T3</i> do EXP03. Desse modo <i>Abdif</i> representa a diferença do valor absoluto da diferença entre <i>TM</i> e <i>T1</i> [$abs(TM - T1)$] menos o valor absoluto da diferença entre <i>TM</i> e <i>T3</i> , isto é, para identifica qual dos experimentos está mais afastado da referência (<i>TM</i>).	144

4.12	Análise do uso dos dados dos três canais para os experimentos EXP01 e EXP04, para o mês de agosto/2014 e sobre os 12 tipos de cobertura. Onde TM é a temperatura da superfície terrestre do MIRS e T1 do EXP01, e T4 do EXP04. Desse modo Abdif representa a diferença do valor absoluto da diferença entre TM e T1 [$abs(TM - T1)$] menos o valor absoluto da diferença entre TM e T4. u1 é a SM do experimento controle e u4 do experimento EXP04.	152
4.13	Média mensal (Agosto/2014) do OMF (OMA) dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz sobre os 12 tipos de cobertura da superfície. Os valores em negrito indicam o experimento onde o OMF/OMA é menor.	159
A.1	Conjunto de canais, dos sensores na frequência do infravermelho (sensor HIRS-4, AIRS e o IASI) e micro-ondas (MHS, AMSU-A e ATMS), que foram utilizados no processo de assimilação no sistema GSI-BAM. Os canais apresentados na tabela foram utilizados nos quatro experimentos realizados.	197
B.1	Número médio de observações assimiladas em um ciclo de análise de agosto/2014 para os canais de 6-15 do sensor AMSU-A (à bordo de todos os satélites) e para os canais 7-22 do ATMS. Os números fora do parênteses são referentes as observações que estão sobre 100% continente (exceto gelo e neve), e os dentro dos parênteses são os outros tipos de superfície (água, neve e gelo). O canal 14 dos sensor AMSU-A e o 15 do ATMS não são utilizados na assimilação.	200
C.1	Porcentagem (%) do total de observações sobre cada tipo de cobertura do canal 23,8 GHz no mês de agosto/2014 relacionado com a marca do controle de qualidade do experimento controle. As colunas identificadas como Manteve é a porcentagem do total que manteve o mesma marca de controle entre o experimento e o controle. A coluna identificada como Rejeitado-Aceito é a porcentagem das observações que tiveram a marca de controle modificada para serem aceitas. Já a coluna definida Aceito-Rejeitado representa a porcentagem das observações que modificaram a marca de uso para não uso dessa observação no sistema de assimilação.	203
C.2	Mesmo que a Tabela C.1 para o canal 31,4 GHz.	205
C.3	Mesmo que a Tabela C.1 para o canal 50,3 GHz.	207

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	–	Assimilação de Dados
AIRS	–	<i>Atmospheric Infrared Sounder</i>
AMSR-E	–	<i>Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS</i>
AMSU-A	–	<i>Advanced Microwave Sounding Unit Version A</i>
AMSU-B	–	<i>Advanced Microwave Sounding Unit Version B</i>
ASG	–	Análise de Sensibilidade Global
ATMS	–	<i>Advanced Technology Microwave Sounder</i>
ATOVS	–	<i>Advanced TIROS Operational Vertical Sounder</i>
BAM	–	<i>Brazilian Global Atmospheric Model</i>
BUFR	–	<i>Binary Universal Form for the Representation</i>
CPTEC	–	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CQ	–	Controle de Qualidade
CRTM	–	<i>Community Radiative Transfer Model</i>
DSA	–	Divisão de Satélites Ambientais
DTC	–	<i>Developmental Testbed Center</i>
ECMWF	–	<i>European Center for Medium range Weather Forecasting</i>
EOS-AQUA	–	<i>Earth Observation System AQUA</i>
EXP01	–	Experimento Controle
EXP02	–	Experimento 2 onde foi modificada a <i>SM</i>
EXP03	–	Experimento 3 onde foi modificada a T_s continental
EXP04	–	Experimento 4 onde foi modificada a <i>SM</i> e T_s continental
fsa	–	Fração de Areia
G3DVAR	–	Sistema de Assimilação Global Variacional em três Dimensões
GFS	–	Global Forecast System
GHz	–	Giga Hertz
GLDAS	–	Global Land Data Assimilation System
GMAO	–	Global Modeling and Assimilation Office
GPS	–	<i>Global Positioning System</i>
GSI	–	<i>Gridpoint Statistical Interpolation</i>
HIRS-4	–	<i>High Resolution Infrared Sounder 4</i>
IASI	–	<i>Infrared Atmospheric Sounding Interferometer</i>
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JCSDA	–	<i>Joint Center for Satellite Data Assimilation</i>
LAI	–	<i>Leaf Area Index</i>
LT	–	Espessura da Folha
MCGA	–	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
METOP-A	–	<i>Meteorological Operational Satellite - A</i>
METOP-B	–	<i>Meteorological Operational Satellite - B</i>
Mg	–	Conteúdo gravimétrico de água do dossel
MHS	–	<i>Microwave Humidity Sounder</i>

MIRS	–	<i>Microwave Integrated Retrieval System</i>
MO	–	Micro-ondas
MSPPS	–	<i>Microwave Surface and Precipitation Product System</i>
MTR	–	Modelo de Transferência Radiativa
NASA	–	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NCEP	–	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NESDIS	–	<i>NOAA's Satellite and Informations Service</i>
NOAA	–	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OMA	–	Observação menos análise
OMF	–	Observação menos estimativa inicial
OPTRAN	–	<i>Optical Path TRANsmittance</i>
PH	–	Polarização Horizontal
PNT	–	Previsão Numérica de Tempo
PREPBUFR	–	Prepared BUFR
PV	–	Polarização Vertical
RTTOV	–	<i>Radiative Transfer for TOVS</i>
Rhob	–	Densidade total do solo
Rhos	–	Densidade dos sólidos
Rhov	–	Densidade da vegetação
SCANTEC	–	Sistema de Avaliação de Modelos numéricos de Previsão de Tempo e Clima
Sig	–	Desvio Padrão da altura da rugosidade
SMOPS	–	<i>Soil Moisture Operational Product System</i>
SMOS	–	<i>Soil Moisture and Ocean Salinity</i>
SSM/I	–	<i>Special Sensor Microwave Imager</i>
S-NPP	–	<i>Suomi- National Polar-orbiting Partnership</i>
TMI	–	<i>Microwave Imager from TRRM</i>
TOVS	–	<i>TIROS Operational Vertical Sounder</i>
TRRM	–	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
T_B	–	Temperatura de Brilho
T_s	–	Temperatura da superfície
Tskin	–	Temperatura da superfície terrestre
Tsoil	–	Temperatura do solo
SM	–	Umidade do Solo
vf	–	Fração de vegetação
VIIRS	–	<i>Visible Infrarec Imager Radiometer Suite</i>

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	4
1.2 Objetivo	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Fundamentação Teórica	7
2.2 Revisão Bibliográfica	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 Materiais	25
3.1.1 Modelo atmosférico	26
3.1.1.1 Modelo de superfície	27
3.1.2 Sistema de assimilação	29
3.1.2.1 Etapas da assimilação dos dados do sensor AMSU-A	31
3.1.3 Descrição do CRTM	33
3.1.4 Descrição do modelo de emissividade	35
3.1.5 Dados utilizados nos experimentos de assimilação	39
3.1.6 Ferramentas para a análise de sensibilidade	41
3.1.7 SCANTEC	47
3.2 Metodologia	48
3.2.1 Período selecionado	48
3.2.2 Principais características dos experimentos numéricos	48
3.2.3 Avaliação da emissividade	49
3.2.3.1 Dados do MSPPS	50
3.2.4 Análise de sensibilidade global	53
3.2.5 Avaliação dos campos de umidade do solo e temperatura da superfície	55
3.2.5.1 SMOPS - dados de umidade do solo	56
3.2.5.2 MIRS - dados de temperatura da superfície terrestre	57
3.2.6 Impacto do uso de variáveis obtidas a partir de assimilação de superfície na AD	58
3.2.6.1 Dados do GLDAS	60
3.2.6.2 Avaliação da emissividade simulada utilizando dados do GLDAS	61
3.2.6.3 Avaliação das estatísticas da assimilação	61

3.2.6.4	Verificação das previsões de 120 horas	61
4	RESULTADOS	63
4.1	Avaliação da emissividade terrestre em micro-ondas simulada pelo sistema GSI-BAM	63
4.2	Análise de sensibilidade global	72
4.2.1	Solo nu	73
4.2.2	Floresta tropical	89
4.3	Avaliação da umidade do solo e da temperatura da superfície terrestre do experimento controle (EXP01)	99
4.4	Impacto das variáveis obtidas de um sistema de assimilação de dados de superfície na emissividade simulada	104
4.4.1	Avaliação da umidade do solo e da temperatura da superfície terrestre	104
4.4.2	Avaliação da emissividade simulada	108
4.5	Impacto do uso de condições de superfície do GLDAS na assimilação do AMSU-A	115
4.5.1	Desempenho dos experimentos	115
4.5.2	Estatística da assimilação dos dados de pressão à superfície, temperatura, vento, umidade e refratividade do GPS	117
4.5.3	Estatística da assimilação dos dados de radiância dos sensores MHS, HIRS-4, IASI e AIRS	119
4.5.4	Estatística da assimilação dos dados de radiância dos sensores AMSU-A e ATMS	121
4.5.4.1	Número de observações assimiladas	121
4.5.4.2	Análise das marcas de controle de qualidade	128
4.5.4.3	Avaliação do OMF/OMA médio das observações assimiladas	158
4.5.5	Verificação das Previsões	165
5	CONCLUSÕES	171
5.1	Trabalhos Futuros	178

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	181
APÊNDICE A - Canais utilizados na assimilação.	197
APÊNDICE B - Número de observações assimiladas dos canais sem sensibilidade à superfície.	199
APÊNDICE C - Avaliação das marcas de controle de qualidade.	201
ANEXO A.	209

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os dados de satélite vêm sendo utilizados de forma direta [radiância/Temperatura de Brilho (T_B)] na Previsão Numérica de Tempo (PNT). O uso de técnicas de Assimilação de Dados (AD) possibilita a inclusão de forma direta dessas observações nos modelos de PNT. Neste contexto, a AD é responsável pela geração da condição inicial (análise) para o modelo atmosférico. Para isto, utiliza-se uma previsão de curto prazo (tipicamente 6 horas) de um modelo de PNT em conjunto com as observações válidas para o mesmo horário. A combinação dessas duas informações é realizada levando em conta os erros associados a essas.

Estudos sobre a contribuição das observações para as análises e previsões mostram a importância do uso dos dados de satélite para a PNT. Isto porque esses dados contribuem substancialmente para melhorias na qualidade da previsão, principalmente em regiões nas quais os dados de superfície são esparsos, como por exemplo sobre o Hemisfério Sul (BOUTTIER; KELLY, 2001). Andreoli et al. (2008) realizaram experimentos utilizando a técnica *Observing System Experiments* (OSE) no sistema *Physical-space Statistical Analysis System* (GPSAS) do Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Os autores constataram que o uso de sondagem atmosférica dos sensores *Atmospheric InfraRed Sounder/Advanced Microwave Sounding Unit* (AIRS/AMSU) são fundamentais para uma previsão de qualidade sobre o Hemisfério Sul. Também no âmbito do CPTEC/INPE, Azevedo et al. (2017) aplicaram essa técnica no Sistema de Assimilação Global Variacional em Três Dimensões (G3DVar) do CPTEC/INPE, e verificaram que os dados de radiância contribuem para a melhora da qualidade das previsões no Hemisfério Sul.

As observações de satélites utilizadas na PNT em forma de T_B podem ser provenientes de sensores na faixa do micro-ondas (MO) e no infravermelho. A assimilação de dados de sensores na faixa do MO é importante para a redução do erro de previsão de 24 horas, e o sensor que apresenta impacto significativo é o AMSU-A, como apresentado por Gelaro et al. (2010) e Cardinali (2009).

As informações contidas nas medidas dos sensores de MO podem ser interpretadas como estimativa de temperatura ou umidade de alguma camada da atmosfera, ou ainda das características da superfície, dependendo da frequência (canal) a que se referem. Porém, pela complexidade da superfície continental, a utilização de canais de MO nas frequências que caracterizam o canal como de janela ou sensíveis à superfície, é pouco aplicada na AD (KARBOU et al., 2006). Segundo ITSC NWP

(2015) somente o *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) dos Estados Unidos e o *National Centre for Medium Range Weather Forecasting* (NCMRWF) da Índia, utilizam, operacionalmente, sobre o continente os canais sensíveis à superfície do sensor AMSU-A. No CPTEC/INPE esses canais foram avaliados por Penna et al. (2015) no contexto da assimilação de dados do sistema G3DVar.

Para o uso direto das observações de T_B na assimilação, faz-se necessário a utilização de modelos de transferência radiativa (MTR). Estes utilizam previsões de curto prazo de perfis atmosféricos, assim como de variáveis de superfície para realizar a simulação da T_B . Na AD a simulação da T_B é comparada com as observações provenientes de sensores a bordo de satélite. Desse modo, uma boa representação da superfície (emissividade e temperatura da superfície) torna-se fundamental para a simulação da T_B dos canais de janela e sensíveis à superfície, visto que a componente da superfície é a que mais contribui para a simulação de T_B desses canais.

Estudos que avaliam a contribuição da temperatura da superfície na assimilação de canais sensíveis à superfície no sistema de assimilação G3DVar do CPTEC/INPE foram realizados por Penna (2014). A autora corrigiu a temperatura de superfície fornecida pelo modelo *Simplified Simple Biosphere* (SSIB), acoplado ao Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA/CPTEC/INPE), e encontrou um aumento da assimilação desses canais sensíveis à superfície do sensor AMSU-A sobre regiões semiáridas e sobre a América do Sul no período de janeiro/fevereiro de 2013. Araujo (2015), utilizando o mesmo sistema, realizou modificações na parametrização relacionada ao comprimento de rugosidade térmica para estimar de forma mais acurada a temperatura da superfície continental e assim trazer um benefício para assimilação desses canais.

Além da temperatura da superfície a emissividade também contribui de forma efetiva para a simulação da T_B . Estudos como de English (2008) e Yan e Weng (2011), mostram que erros na estimativa da emissividade da superfície continental em canais de janela e sensíveis à superfície, representam erros na simulação da T_B . Contudo estimar de forma correta a emissividade não é uma tarefa fácil, visto que as informações utilizadas para representar a emissividade não são bem conhecidas globalmente. Um dos fatores é a não homogeneidade da superfície continental.

Desta maneira, quantificar as incertezas na simulação da emissividade sobre superfícies continentais ainda é um tópico importante (CHOUDHURY et al., 1979; SELLERS et al., 1995; WENG et al., 2001; ESCORIHUELA et al., 2007; CHEN; WENG, 2016; XIE et al., 2015). Incertezas na emissividade da superfície de 5% a 10% podem contribuir

para erros de alguns graus na simulação da T_B (WENG; GRODY, 1998). Métodos de análise de sensibilidade podem ser aplicados para melhorar a compreensão de como as incertezas nos parâmetros do solo ou da vegetação (e dados de entrada do modelo como umidade do solo e temperatura) afetam as incertezas na simulação da emissividade. Em modelagem, esses métodos são uma ferramenta utilizada para estudar fontes de incertezas nos resultados dos modelos que são provenientes de incertezas nos dados de entrada do modelo (SALTELLI et al., 2008; SALTELLI et al., 2004; GLEN; ISAACS, 2012; WANG et al., 2013).

Alguns estudos recentes investigaram as incertezas em modelos de emissividade da superfície continental no MO. Em Ma et al. (2017) foi realizada análise de sensibilidade para canais de frequência entre 1.4 GHz e 10 GHz, para a polarização vertical e horizontal e para diferentes ângulos zenitais. Tian et al. (2014) investigaram fontes de incerteza de produtos de emissividade provenientes de dados de satélite sobre dois tipos de superfície continental, deserto e floresta tropical. Ringerud et al. (2014) também realizaram análise de sensibilidade, contudo não utilizaram um método robusto para isso, ao contrário, mantiveram todas variáveis utilizadas para simular o modelo de emissividade fixa e modificaram somente uma.

No contexto da AD existem algumas alternativas para a representação da emissividade continental em MO. Alguns autores propõem o uso de dados provenientes de um banco de dados de emissividade, como os descritos em Prigent et al. (1997), Karbou et al. (2006), Ferraro et al. (2013), Aires et al. (2011). Outros autores descrevem metodologias que utilizam produto de emissividade a partir de observações de satélite, (GROUP, 2005; HE et al., 2011). Além das fontes descritas existem os modelos de emissividade, como o descrito por Weng et al. (2001), e aplicado por He et al. (2011), Karbou et al. (2010a), Ferraro et al. (2013), Ringerud et al. (2014), Prigent et al. (2015), Xie et al. (2015).

Outros avaliaram a influência de diferentes parametrizações de emissividade na AD, como os de Karbou et al. (2010a) e Karbou et al. (2010b). Os autores encontraram que ao modificar as parametrizações, mesmo sem acrescentar os canais de superfície na assimilação, ocorria impacto em outros canais. Com as metodologias aplicadas, os autores encontraram aumento no número de observações assimiladas do canal 7 do AMSU-A (canal de sondagem) sobre o continente. O estudo de He et al. (2011) utilizou estimativa de emissividade por satélite em substituição da simulada pelo modelo no sistema de AD.

1.1 Motivação

Os dados de radiância contribuem para uma melhora substancial das previsões no Hemisfério Sul onde a rede de estações de superfície não é densa e nem bem distribuída. Assim, a melhora das componentes que contribuem para assimilação de observações sobre a superfície continental é relevante, de modo que possam ser utilizadas de forma mais eficiente na AD e, de tal maneira, serem usadas para melhorar a análise. Com isso surgiu o interesse em se estudar e avaliar a influência da emissividade dos canais de MO no sistema denominado *Gridpoint Statistical Interpolation-Brazilian Global Atmospheric Model* (GSI-BAM). Como estudos anteriores mostraram, há um maior uso desses canais quando se corrige a temperatura da superfície no sistema que antecede ao GSI-BAM. Agora, os esforços visam examinar a emissividade da superfície continental em MO.

1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como principal objetivo quantificar a contribuição das características do solo e da vegetação na estimativa da emissividade em micro-ondas e estimar o seu impacto na assimilação de radiâncias para os canais sensíveis à superfície terrestre. Afim de alcançá-lo, foram executadas as seguintes etapas:

- a) Avaliação do comportamento da emissividade terrestre no MO gerada pelo sistema de assimilação GSI-BAM;
- b) Estimativa da sensibilidade do modelo de emissividade para superfície terrestre no espectro do MO aos parâmetros/variáveis físicos associados as características da superfície;
- c) Quantificação do impacto da utilização de variáveis obtidas a partir de um sistema de assimilação de superfície na simulação da emissividade;
- d) Determinação de como que mudanças na emissividade alteram a assimilação de dados de MO nos canais sensíveis à superfície.

Neste domínio, o trabalho se organiza da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica da assimilação de dados e das características da radiação em micro-ondas, tal como, também, uma revisão bibliográfica do uso da emissividade nessas faixas do espectro; a Seção 3 tange aos materiais e os métodos utilizados, isto é, descreve as ferramentas empregadas, os dados usados na assimilação e a metodologia proposta, e, através disso, chegar ao objetivo principal do trabalho;

na quarta Seção são listados os resultados encontrados; e, por fim, na Seção final serão apresentadas as conclusões encontradas a partir dos resultados assim como os trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fundamentação Teórica

Com o início da utilização de sensores a bordo de satélite para realizar medidas de radiância, surgiu a possibilidade de se obter observações sobre os oceanos e sobre as regiões continentais onde a distribuição espacial das estações de superfície é não homogênea. Assim, os satélites destinados a realizar medidas utilizadas na meteorologia possuem sensores na faixa espectral no visível até MO. Através do conhecimento do espectro eletromagnético e de como a radiação em diferentes comprimentos de onda interage com a atmosfera é que os sensores são construídos. Esses sensores possuem canais em algumas faixas do espectro no qual o intuito é estimar uma determinada variável meteorológica em uma específica região da atmosfera. As observações na faixa do MO, foco do estudo, são utilizadas para aferir variáveis, tais como: perfis atmosféricos de temperatura e umidade e características da superfície.

De tal maneira, a AD é responsável, dentro do contexto da PNT, pela geração da condição inicial para o modelo de previsão de tempo. Essa condição inicial é caracterizada como sendo o estado atual da atmosfera. A AD é composta, de forma geral, por três componentes: o método (algoritmo) de assimilação, o modelo de PNT e as observações. Ao longo da história, alguns métodos de assimilação foram empregados: Correções Sucessivas, Interpolação Ótima, Métodos Variacionais, o Filtro de Kalman e suas variações; além desses, também os métodos chamados híbridos (KALNAY, 2003). Todas essas metodologias tratam o mesmo problema de formas diferentes. Na AD existem elementos chaves que podem ser caracterizados através da Equação 2.1:

$$\mathbf{x}_a = \mathbf{x}_b + \mathbf{W}[\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}_b)] \quad (2.1)$$

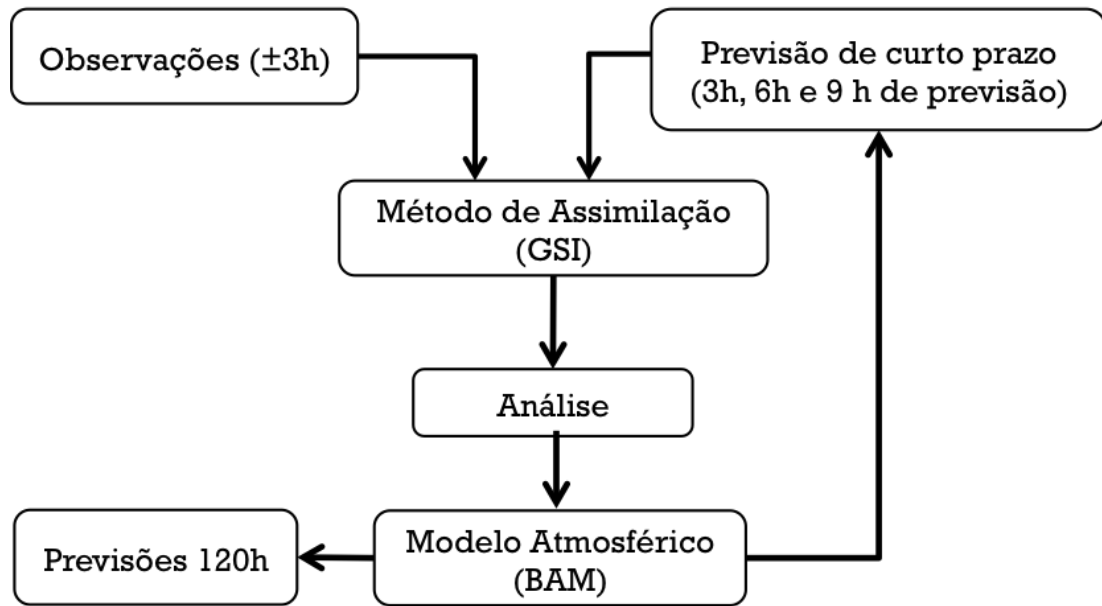
\mathbf{x}_b é o vetor das variáveis de estado da estimativa inicial, tipicamente uma previsão de 6 horas proveniente de um modelo de PNT. O \mathbf{H} é o operador observação responsável por projetar o modelo no espaço da observação. Se o modelo e a observação são da mesma variável (por exemplo, temperatura), funciona como um interpolar. Porém, se a variável observada não está contida em \mathbf{x}_b , o \mathbf{H} converte as variáveis do modelo para a variável da observação, como ocorre no caso da assimilação de observações de T_B , na qual o \mathbf{H} é um MTR. O vetor \mathbf{y}_o contém as observações que serão utilizadas em conjunto com a estimativa inicial para gerar a análise (KALNAY, 2003).

A diferença entre \mathbf{y}_o e $\mathbf{H}(\mathbf{x}_b)$ recebe o nome de incremento de observação ou inovação. E \mathbf{x}_a é o vetor das variáveis de estado da análise, que representa a estimativa inicial acrescida do incremento de observação ponderado pela covariância dos erros estatísticos do modelo (\mathbf{B}) e das observações (\mathbf{R}), representados na Equação 2.1 pela matriz W , conhecida como matriz de peso (KALNAY, 2003). No método variacional em 3 dimensões (3DVar), que representa o que será utilizado no presente estudo, a análise é obtida através da minimização de uma função custo, como a apresentada na Equação 2.2:

$$J = \frac{1}{2} \left[(\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x}))^T R^{-1} (\mathbf{y}_o - \mathbf{H}(\mathbf{x})) + (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T B^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) \right] \quad (2.2)$$

O mínimo dessa função custo é encontrado quando $\mathbf{x} = \mathbf{x}_a$ (KALNAY, 2003), gerando, assim, a condição inicial para o modelo de PNT. Tipicamente, em um centro de previsão de tempo a análise é gerada a cada 6 horas, e a passagem por todas etapas descritas é definida como ciclo de assimilação. A Figura 2.1 apresenta o ciclo de assimilação típico, onde se pode identificar as componentes do processo de assimilação: os dados observados, o modelo de PNT e o algoritmo de assimilação. Esses dados geralmente são um conjunto composto por observações que foram geradas ± 3 horas do horário central da análise, correspondentes (na maioria dos casos) aos quatro horários sinóticos. O modelo de PNT é utilizado também para realizar as previsões estendidas (5-7 dias). Os elementos descritos na Figura 2.1, o método de assimilação (GSI) e modelo atmosférico (BAM) são os utilizados nesta pesquisa.

Figura 2.1 - Diagrama esquemático das principais componentes da assimilação de dados.



Fonte: Adaptado de Kalnay (2003).

Os dados de T_B começaram a ser utilizados na PNT como perfis atmosféricos estimados a partir de dados de satélite. Estes, por sua vez, foram utilizados como perfis na AD até o começo dos anos 90. Contudo, tais dados tinham erros associados ao modelo (através dos perfis atmosféricos utilizados para estimá-los). A solução para evitar esses erros foi utilizar de forma direta os dados de T_B . O uso direto dessas observações só foi possível com o desenvolvimento das técnicas de assimilação de dados variacional, a qual possibilita trabalhar com um grande número de observações e ainda permite o emprego de um operador observação não-linear (MIGLIORINI, 2012), como os MTR.

Os MTR são utilizados para simular a radiância/ T_B observada por um satélite. Para isso, são empregados os conhecimentos da transferência radiativa nas frequências de interesse. Esses modelos ainda podem, por exemplo, através da observação de satélite, estimar um perfil atmosférico de temperatura. Nos MTR é descrita toda física das medições, isto é, neles estão contidas as relações entre as variáveis de estado (temperatura, pressão, umidade, entre outras) e as variáveis medidas (radiância e T_B), (RODGERS, 2000).

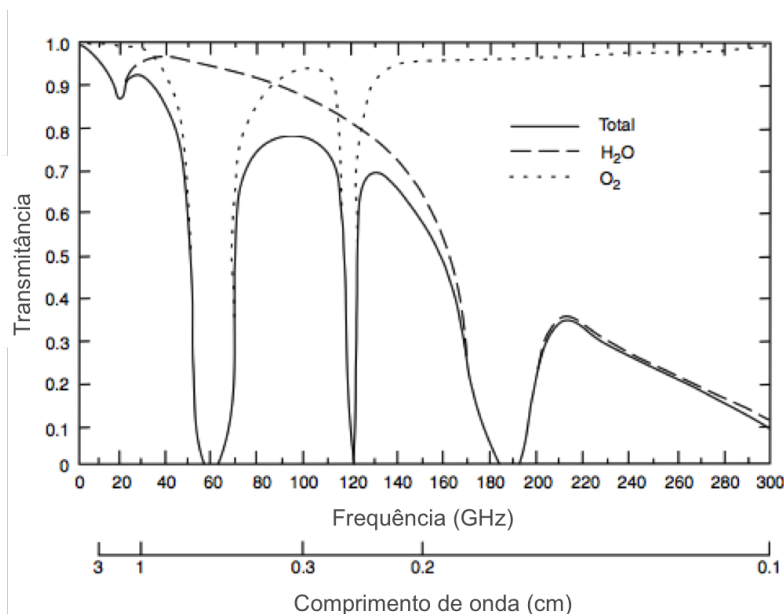
Algumas pesquisas [Ma et al. \(2017\)](#), [Neelam e Mohanty \(2015\)](#), entre outras, descrevem alguns dos MTRs existentes. No entanto, na PNT em centros operacionais, com a finalidade de assimilar dados de radiância, os mais utilizados são o *Community Radiative Transfer Model* (CRTM), descrito em [Liu et al. \(2012\)](#), [van Delst \(2013\)](#). Esse modelo, por exemplo, é utilizado em conjunto com o sistema de assimilação do NCEP, do *Global Modeling Atmospheric Office* pertencente a *National Aeronautics and Space Administration* (GMAO/NASA). No CPTEC, o CRTM¹ é utilizado em modo pesquisa em conjunto com a ferramenta de assimilação GSI. O outro MTR empregado em grandes centros operacionais é o *Radiative Transfer for TOVS* (RTTOV), apresentado em [Saunders et al. \(1999\)](#), que é utilizado, por exemplo, no *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) e no *UK Meteorological Office* (MetOffice). No CPTEC também já foi aplicado em pesquisas como de [Negri \(2012\)](#) e [Calheiros \(2013\)](#).

As observações do sensor AMSU-A impactam significativamente na redução do erro da previsão de 24 horas ([GELARO et al., 2010](#); [CARDINALI, 2009](#)), como apresentado na seção anterior. Desse modo, conhecer o comportamento dos canais presentes nesse sensor é importante para sua utilização. Para tanto, em primeiro lugar, são apresentadas as características da radiação dos canais de MO, a fim de compreender o uso desses dados.

No MO, somente o vapor d'água (H_2O) e o oxigênio molecular (O_2) apresentam linhas de absorção, enquanto a absorção pelos outros gases é insignificante nessas frequências, como mostrado em [Liou \(2002\)](#). A Figura 2.2 apresenta a transmitância total para uma atmosfera padrão, assim como o do H_2O e do O_2 . Na figura, na região das frequências abaixo de 10 GHz, pode-se considerar que são regiões de janela atmosférica: a atmosfera é transparente à radiância nessas frequências. Outras regiões do espectro como no 23 GHz, 31-37 GHz e no 89 GHz, por exemplo, também são regiões de janela. Na mesma figura nota-se ainda a existência de duas bandas de absorção do vapor d'água, uma na frequência de 22,235 GHz, e uma mais ampla em torno de 183 GHz. Isto pode ser observado a partir da linha tracejada na Figura 2.2. A absorção pelo O_2 está representada pela linha pontilhada. Nota-se a presença de uma forte absorção na linha em 118,75 GHz e centrada em torno 60 GHz ([CALHEIROS, 2013](#)).

¹Este modelo é explorado na metodologia.

Figura 2.2 - Transmitância da atmosfera (Total, H_2O , O_2) no espectro do micro-ondas em função do comprimento de onda e da frequência.



Fonte: Adaptado de Liou (2002).

Como uma boa aproximação para o MO, pode-se negligenciar o efeito de espalhamento realizado pelos cristais de gelo e gotículas de água na atmosfera e, dessa forma, desprezar esses efeitos no cálculo da transferência radiativa em MO. Sendo assim, em uma atmosfera sem espalhamento, sem nuvens e em equilíbrio termodinâmico local, tem-se que a Equação 2.3 da transferência radiativa pode ser escrita como em Liou (2002):

$$I_\nu(0) = \epsilon_\nu B_\nu(T_s) \Gamma_\nu(p_s, 0) + (1 - \epsilon_\nu) \Gamma_\nu(p_s, 0) \int_0^{p_s} B_\nu[T(p)] \frac{\partial \Gamma_\nu(p_s, p)}{\partial p} dp + \int_{p_s}^0 B_\nu[T(p)] \frac{\partial \Gamma_\nu(p, 0)}{\partial p} dp \quad (2.3)$$

na Equação 2.3 ν representa a frequência, $I_\nu(0)$ a radiância que chega no topo da atmosfera, $\Gamma_\nu(p, 0)$ é a transmitância expressa com respeito ao topo da atmosfera, ϵ_ν representa a emissividade da superfície na frequência ν , $B_\nu(T)$ é a função de Planck, p representa o nível de pressão, p_s refere-se a pressão na superfície, T ao perfil de

temperatura e T_s a temperatura na superfície. O primeiro termo da Equação 2.3 representa a contribuição da emissão da superfície, o segundo a contribuição da reflexão da superfície da radiação emitida pela atmosfera para a superfície, e o último termo da equação mostra a emissão da atmosfera. A transmitância pode ser definida através da Equação 2.4

$$\Gamma_\nu = \exp\left[-\frac{1}{g} \int_0^{p_s} \kappa_\nu q dp\right] \quad (2.4)$$

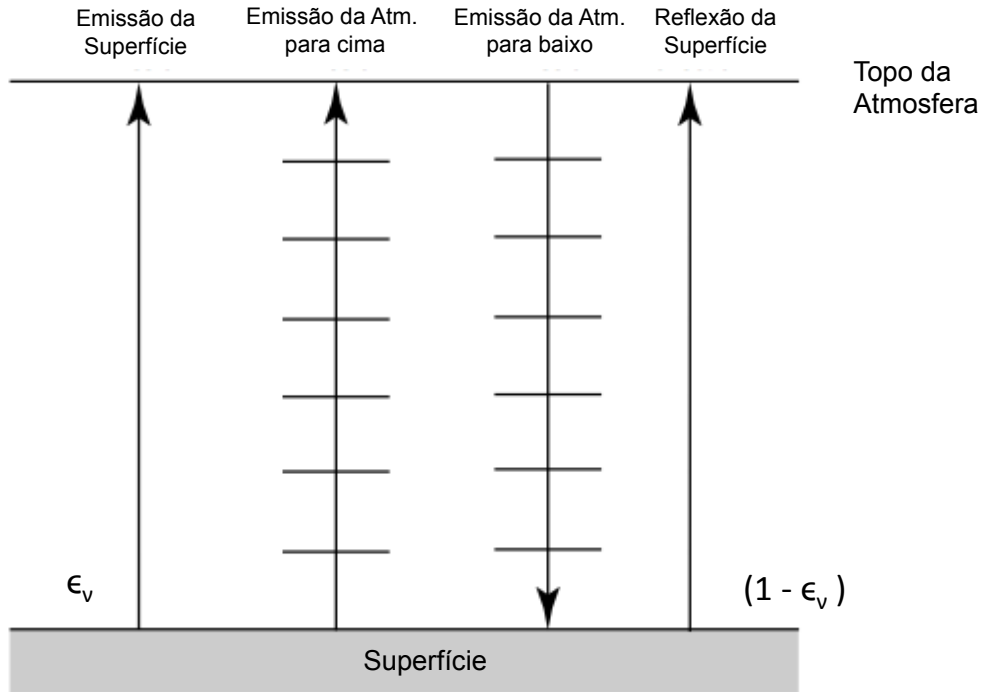
onde κ_ν é o coeficiente de absorção, q é a razão de mistura do gás, e g é a aceleração da gravidade. A variação da transmitância com a vertical é conhecida como função peso (WF), o pico dessa função representa a camada da atmosfera de onde a radiação é proveniente, por exemplo, em uma atmosfera que é transparente a radiação em uma determinada frequência, a energia que chega no sensor a bordo do satélite é originária da superfície, nesse caso o pico da função peso é na superfície. WF é uma informação importante, pois os sensores possuem WF típica de cada canal, e essa auxilia na escolha de qual canal utilizar, visto que através WF se conhece de que camada da atmosfera a energia é, tipicamente, proveniente.

Para o MO pode se admitir que o comprimento de onda é grande ($\lambda \rightarrow \infty$). Assim, permite-se considerar, pela função de Planck, que a radiação é linearmente proporcional à temperatura. Tal aproximação é conhecida como Rayleigh-Jean. Dessa maneira, a equação (2.5) de transferência radiativa em termos de temperatura de brilho pode ser escrita como apresentada em Liou (2002):

$$T_B(\nu) = \epsilon_\nu T_s \Gamma_\nu(p_s, 0) + (1 - \epsilon_\nu) \Gamma_\nu(p_s, 0) \int_0^{p_s} T(p) \frac{\partial \Gamma_\nu(p_s, p)}{\partial p} dp + \int_{p_s}^0 T(p) \frac{\partial \Gamma_\nu(p, 0)}{\partial p} dp \quad (2.5)$$

T_B representa a temperatura de brilho que chega no topo da atmosfera na frequência ν . Uma forma simples de entender a contribuição de cada termo da Equação 2.5 é através da Figura 2.3, na qual o primeiro termo desta equação representa a contribuição da emissão da superfície, o segundo termo representa a reflexão da superfície e o terceiro termo a emissão da atmosfera.

Figura 2.3 - Contribuintes da temperatura de brilho no topo da atmosfera sobre condições de atmosfera sem nuvens, representada pelos termos da Equação 2.5.



Fonte: Adaptado de Liou (2002).

A emissão da superfície é controlada pela emissividade e temperatura da superfície e pela transmitância da atmosfera. Na região do MO, a contribuição da emissividade da superfície no cálculo da T_B é importante, pois essa varia de 0,4 a 1 (KARBOU et al., 2006). A emissividade, além de ser influenciada pelas características físicas da superfície, também altera em função do ângulo zenital, frequência e polarização (ULABY et al., 1981). Para os canais sensíveis à superfície de sensores de MO a emissividade da superfície continental pode ser recuperada através de dados de satélite, como apresentado em Prigent et al. (1997), Karbou (2005), Karbou et al. (2006), pela manipulação da Equação 2.5, que é expressa na Equação 2.6,

$$\epsilon_\nu = \frac{T_{B\nu}(\theta_z, \varphi) - \uparrow T_{av}(\theta_z, \varphi) - \downarrow T_{av}(\nu, \varphi)\Gamma_\nu}{[T_s - \downarrow T_{av}(\theta_z, \varphi)]\Gamma_\nu} \quad (2.6)$$

onde $\uparrow T_{av}$ e $\downarrow T_{av}$ representam a T_B emergente e incidente da atmosfera na frequên-

cia ν , respectivamente. O φ representa a polarização, vertical ou horizontal, e θ_z representa o ângulo zenital da observação.

As Equações 2.4, 2.5 e 2.6 podem ser utilizadas para caracterizar a T_B e a emissividade dos canais do sensor AMSU-A. Entretanto, existem algumas peculiaridades referentes à varredura do sensor, que possui varredura *cross-tracking* (ROBEL; GRAUMANN, 2014). Como consequência disso, a emissividade depende da polarização vertical e da horizontal como pode ser visto na Equação 2.7

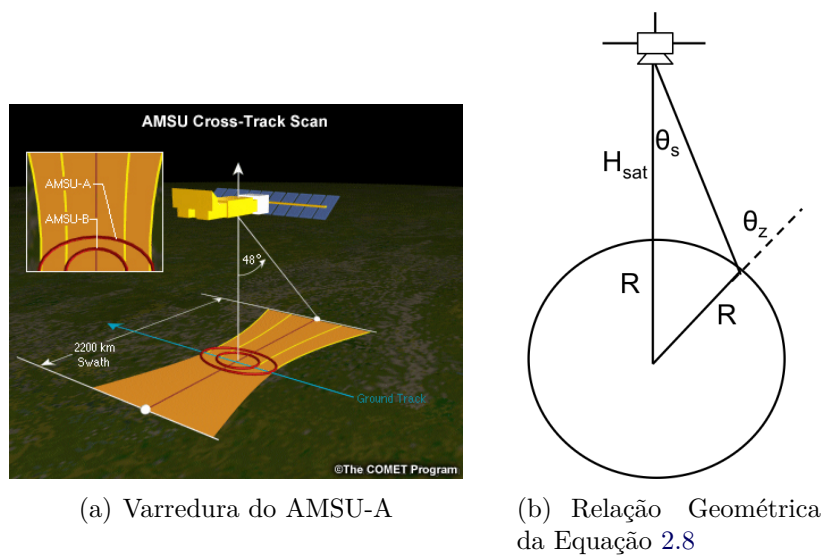
$$\epsilon = \epsilon_v(\theta_z) \cos^2(\theta_s) + \epsilon_h(\theta_z) \sin^2(\theta_s) \quad (2.7)$$

onde $\epsilon_{v,h}$ é a emissividade da polarização vertical e horizontal, θ_z é o ângulo zenital, θ_s é o ângulo de varredura, o qual pode ser definido na Equação 2.8, como

$$\theta_s = \arcsin\left(\frac{R}{R + H_{sat}} \sin(\theta_z)\right) \quad (2.8)$$

onde R é o raio médio da terra, H_{sat} é a altura do satélite (KARBOU, 2005; van Delst, 2013). Este sensor apresenta 30 campos de visada com variação de $3,3^\circ$. Assim, tem ângulo de varredura entre $\pm 48^\circ$, ângulo zenital do satélite entre $\pm 58^\circ$, e resolução de 45 Km no nadir. A Figura 2.4a é a representação da varredura do satélite e a Figura 2.4b apresenta a relação entre os ângulos utilizados na Equação 2.8. Na Figura 2.4a a medida que o ângulo de varredura se afasta do nadir, o campo de visada aumenta. Esta é uma das características dos sensores com esse tipo de varredura.

Figura 2.4 - Características de varredura do sensor AMSU-A e os ângulos associados a geometria da varredura.



a) os círculos vermelhos representam o campo de visada do AMSU-A e AMSU-B, em destaque na Figura. Na Figura b) as características indicadas são as presentes na Equação 2.8 e H_{sat} representa a altura do satélite e R o raio da terra.

Fonte: a) Adaptado de COMET-MetEdu (2015) e b) adaptado de van Delst (2013).

A Tabela 2.1 expõe as principais características dos canais do sensor AMSU-A. Nela estão em destaque os canais que serão explorados na metodologia. Ainda, estão descritas a frequência, a polarização e o pico da função peso, que, como mencionado no texto, identificam a qual região da atmosfera/superfície a informação que chega no sensor é proveniente. A polarização apresentada na Tabela 2.1 representa a polarização no nadir (θ_z e θ_s iguais a zero). O sensor AMSU-A está a bordo de satélites da série *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e da série *Meteorological Operational Satellite* (METOP).

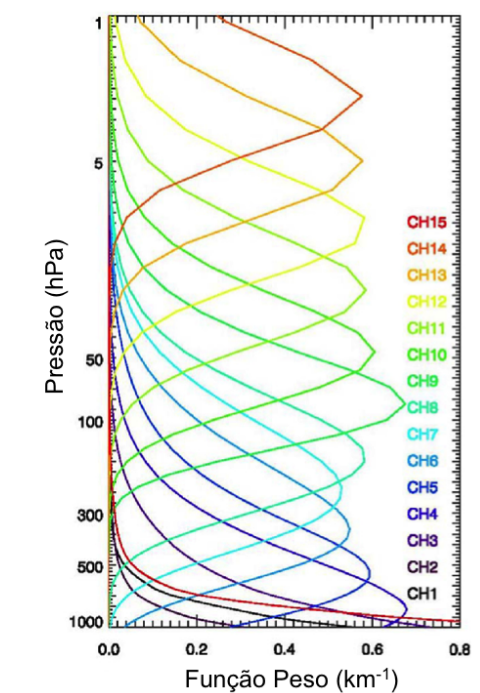
Tabela 2.1 - Características dos canais do sensor AMSU-A.

Canais	Frequência	Polarização no Nadir	Pico da Função Peso (hPa)
1	23,8	Vertical	Superfície
2	31,4	Vertical	Superfície
3	50,3	Vertical	Superfície
4	52,8	Vertical	1000
5	$53,596 \pm 0,115$	Horizontal	700
6	54,4	Horizontal	400
7	54,94	Horizontal	270
8	55,5	Horizontal	180
9	$F_o=57,290344$	Horizontal	90
10	$F_o \pm 0,217$	Horizontal	50
11	$F_o \pm 0,322 \pm 0,048$	Horizontal	25
11	$F_o \pm 0,322 \pm 0,022$	Horizontal	12
13	$F_o \pm 0,322 \pm 0,010$	Horizontal	5
14	$F_o \pm 0,322 \pm 0,0045$	Horizontal	2
15	89	Vertical	Superfície

Fonte: Adaptado de Weng (2012) e Robel e Graumann (2014)

A Figura 2.5 apresenta a WF típica dos 15 canais do sensor AMSU-A. As linhas referentes aos canais 1, 2 e 15 (Figura 2.5), conhecidos como canais de janela, apresentam o pico da função peso na superfície. Os outros canais são conhecidos como canais de sondagem, pois através da combinação de todos eles é possível estimar um perfil atmosférico de temperatura. O canal 3 também apresenta pico da função peso na superfície. Todavia ele e o canal 4 são chamados canais com sensibilidade à superfície. O canal 3 é tratado como canal de janela nos algoritmos de estimativa de emissividade usando dados de satélite (YAN; WENG, 2011).

Figura 2.5 - Função peso dos canais do sensor AMSU-A.



As linhas representam cada canal, que são identificados pelas cores.

Fonte: Adaptado de Kim et al. (2014).

2.2 Revisão Bibliográfica

Na fundamentação teórica foram abordados os principais elementos relacionados ao uso de dados de sensores de MO na PNT, assim como as características desses sensores. Na presente seção será apresentada a revisão bibliográfica relacionada ao uso desses dados, tais como, também, os trabalhos que avaliaram as características da emissividade da superfície continental em MO e a utilização da emissividade desses canais no contexto da assimilação de dados. Serão também apresentados trabalhos que visaram avaliar as incertezas na emissividade através de metodologias de análise de sensibilidade.

No CPTEC/INPE trabalhos vêm sendo realizados na área de assimilação de radiação de forma direta, como o de Medeiros (2011). A autora assimilou dados dos sensores AMSU-A e do AIRS. Para tanto, utilizou o Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) do CPTEC/INPE em conjunto com o método de assimilação *Local Ensemble Transform Kalman Filter* (LETKF). No trabalho de Medeiros (2011) o operador observação utilizado foi o CRTM, e sua implementação seguiu

a metodologia descrita em [Aravequia \(2008\)](#). A autora encontrou que a assimilação desses dados contribuiu para redução dos erros das variáveis de análise, como temperatura e componentes do vento sobre a América do Sul.

Para uso dos dados do sensor AMSU-A, no contexto da assimilação de dados, faz-se necessário o entendimento das características apresentadas na Equação 2.5. Isto porque essas são as informações utilizadas por um MTR para a simulação da T_B . Para a utilização dos canais de janela e sensíveis às características da superfície, principalmente sobre regiões continentais, necessita-se de uma descrição de forma precisa da emissividade e da temperatura da superfície terrestre (T_s). Incertezas na estimativa dessas duas variáveis trazem incertezas na simulação da T_B , como apresentado em [Karbou et al. \(2006\)](#), [English \(2008\)](#), [Yan e Weng \(2011\)](#).

Todavia, a assimilação dos dados do sensor AMSU-A vem sendo preferencialmente desenvolvida para canais que não são sensíveis à superfície. A assimilação desses canais sobre regiões continentais requer uma representação acurada tanto da temperatura da superfície quanto da emissividade. Contudo, como mencionado, o uso destes dados de forma operacional ainda se limita a poucos centros ([ITSC NWP, 2015](#)).

A T_s utilizada para a simulação da T_B na assimilação pode ser proveniente do modelo de superfície acoplado no modelo atmosférica ([YAN; WENG, 2011](#); [ZHENG et al., 2012](#); [ARAUJO, 2015](#)). Em outros casos, a T_s é estimada a partir de observações de satélite ([KARBOU et al., 2010a](#); [HE et al., 2011](#)), ou ainda pode ser uma combinação das duas ([PENNA, 2014](#)). Alguns trabalhos apresentam um aumento no uso dos dados dos canais com sensibilidade à superfície a partir de melhorias na representação da T_s .

[Zheng et al. \(2012\)](#) realizaram modificações na parametrização de superfície, pois haviam erros associados a essa na T_s simulada sobre regiões áridas. Com isso obtiveram melhoria significativa na utilização de canais sensíveis à superfície. [Penna \(2014\)](#), utilizando o sistema G3DVar, corrigiu a estimativa inicial da temperatura da superfície continental com objetivo de assimilar mais dados dos canais 1 a 3 e 15 do sensor AMSU-A. Desse modo, obteve um maior número de observações assimiladas sobre a América do Sul. [Araujo \(2015\)](#), também utilizando o sistema G3DVar, aplicou correções na parametrização de superfície no modelo SSiB, para assim tentar obter uma melhor representação da T_s e dos fluxos de superfície.

A emissividade da superfície continental no MO pode ser proveniente de diferentes fontes, como ocorre com a T_s . Além da estimativa da emissividade através de dados

de T_B , Equação 2.6, existem também os modelos de emissividade, que podem ser físicos, empíricos ou ainda podem ser valores tabelados (do inglês *lookuptable*). Tais modelos são, na maioria das vezes, associados ao tipo de superfície que se deseja simular.

Para a simulação da emissividade continental em MO no CRTM é utilizado o modelo descrito em Weng et al. (2001). Tal modelo² foi desenvolvido utilizando uma aproximação de dois feixes (do inglês *two-stream*), a qual caracteriza os processos de emissão e espalhamento de superfícies com cobertura de neve, deserto e vegetação.

Yang e Weng (2011) estudaram as fontes de erros na recuperação da emissividade sobre o continente em canais de MO do *Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System* (AMSR-E) (6,9 até 89 GHz) e encontraram que, em canais de baixa frequência (abaixo de 23GHz), a principal fonte de erros é a temperatura da superfície, pois nessa frequência a radiação pode penetrar mais fundo a superfície. Nas altas frequências, onde a emissão da atmosfera baseada na transferência radiativa pode ser mais problemática, as maiores influências são dos erros nos perfis atmosféricos utilizados. English (2008) apontou que, para realizar recuperação de perfis atmosféricos (sondagem atmosférica), erros na emissividade têm maiores impactos que erros na temperatura da superfície sobre o oceano. Enquanto sobre o continente os erros da temperatura da superfície apresentam maior impacto. No entanto, se a transmitância da atmosfera é alta, essas duas variáveis se tornam importante na simulação da T_B . Karbou et al. (2006) encontraram que o impacto dos erros da emissividade e da T_s (erro de 2% na emissividade e de 5K na temperatura da superfície) na simulação da T_B , variam com a frequência e com as condições da atmosfera e superfície.

Prigent et al. (2015) realizaram avaliação do modelo de emissividade descrito por Weng et al. (2001) e os dados provenientes do *Tool to Estimate Land Surface Emissivities at Microwaves* (TELSEM). Os canais analisados foram do AMSR-E. Para realizar as simulações da emissividade os autores utilizaram o sistema *Land Information System* (LIS) em conjunto com o CRTM, conhecido como LIS/CRTM. Os autores encontraram que a emissividade simulada concorda com os dados do TELSEM. Apesar disso, as maiores diferenças entre os dados ocorrem nos desertos e em regiões com neve, e isso pode estar relacionada a uma representação pobre das variáveis do modelo, assim como a complexidade do tipo de superfície.

²Esse modelo é o foco da avaliação do presente estudo e é apresentado na seção seguinte.

Tian et al. (2014) compararam diferentes fontes de recuperação da emissividade da superfície continental em micro-ondas para os sensores *Special Sensor Microwave Imager* (SSM/I), *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM)/*Microwave Imager* (TMI) e AMSR-E. As frequências desses sensores variam de 6,9GHz até 89GHz. Os autores quantificaram as incertezas na recuperação da emissividade para dois tipos de superfície, deserto e floresta tropical, pois nessas superfícies considera-se que não ocorram mudanças na emissividade. Os resultados mostraram que nas altas frequências (85/89 GHz) existem diferenças sistemáticas entre as várias fontes de dados. A variação das diferenças sistemáticas é de aproximadamente 1%-4% do valor médio (equivale 3 a 12 K na T_B) sobre o deserto, e sobre a floresta tropical varia de 1-7% (3 a 20 K). O erro randômico entre as fontes de dados varia de 0,5-2% (2-6K) sobre os dois tipos de superfície.

Para a região do Brasil, Bastos et al. (2002) estimaram a emissividade em MO da superfície continental, a partir de dados de satélite do sensor SSM/I (frequências de 19,35GHz e 85,5GHz polarizações vertical e horizontal) para os meses de julho e dezembro de 1997. Para estimar a emissividade, os autores usaram a Equação 2.6, e como fonte de dados de T_B utilizaram observações do SSM/I, os dados de T_s foram estimados pelos sensores *TIROS Operational Vertical Sounder* (TOVS), e os dados da atmosfera pelo modelo ATM. A partir das diferenças de polarização das emissividades eles estimaram a rugosidade da superfície e encontraram também que as estimativas de emissividade continental são consistentes com a topografia de grande escala e com a distribuição espacial da vegetação. Os autores demonstraram, com isso, que é possível monitorar à superfície terrestre.

Por sua vez, os modelos físicos são controlados por diversos parâmetros, e estimar acuradamente o valor de todos estes é uma tarefa quase impossível. Uma análise de sensibilidade pode determinar os parâmetros mais influentes de um modelo. Além disso, essa análise pode fornecer informações cruciais sobre o uso e a sensibilidade dos parâmetros do modelo (NOSSENT et al., 2011). Calheiros (2013) realizou testes de sensibilidade para avaliar a T_B de sensores de MO (AMSU-A, SSMI, SSMIS, AMSR-E e TMI) a variações em parâmetros, tais como: tipo de precipitação, intensidade da precipitação, características microfísicas das nuvens, perfis termodinâmicos e, principalmente, emissividade. Todos os dados utilizados para alimentar o MTR (RTTOV) foram extraídos do Projeto Chuva realizado em Fortaleza/CE, exceto a emissividade. Os dados de emissividade foram médias de cada canal de MO, baseado em atlas de emissividade ($\bar{\epsilon} + \delta\epsilon$). O autor verificou que as frequências mais afetadas por mudanças na emissividade são aquelas abaixo de 50GHz, principalmente as de

canais de janela.

Ringerud et al. (2014) fizeram uma análise de sensibilidade simplificada sobre a região das Grandes Planícies do Sul dos Estados Unidos, modificando algumas variáveis de entrada do modelo de emissividade de Weng et al. (2001). Os valores variaram entre um máximo e um mínimo do modelo de superfície Noah, e o teste foi realizado modificando uma variável e deixando as outras constantes (valor médio). Analisaram a variação da emissividade para os canais do sensor AMSR-E em função da temperatura e umidade do solo [no inglês *Soil Moisture (SM)*], índice de área foliar [no inglês *Leaf Area Index (LAI)*] e fração de areia. Eles encontraram que aumentando a temperatura da primeira camada do solo ocorre uma discreta diminuição da emissividade em todas as frequências. A emissividade apresentou conexão mais forte com a umidade do solo, ou seja, quando aumenta a umidade diminui a emissividade. Este efeito aumenta a medida que a frequência diminui. Aumentando o conteúdo de areia se observa uma diminuição na emissividade. Para os valores mais altos do LAI (4-5) as diferenças de emissividade entre a mesma frequência e diferentes polarizações vai a zero. O LAI é o parâmetro mais não-linear da análise de sensibilidade apresentando um aumento da emissividade nos valores de LAI de 2-3.

Alguns trabalhos aplicaram métodos de análise de sensibilidade para avaliar modelos que realizam simulação da emissividade na banda L, os quais são utilizados para estimar *SM*. Neelam e Mohanty (2015) utilizaram medidas de experimentos para realizar uma Análise de Sensibilidade Global (ASG), a fim de estudar a influência da heterogeneidade e incertezas nos parâmetros de entrada de um modelo de transferência radiativa de ordem zero e também quantificar a interação entre estes parâmetros. O método de ASG utilizado pelos autores foi o denominado Sobol.

Ma et al. (2017) aplicaram várias técnicas de ASG para avaliar a sensibilidade do modelo *Advanced Integral Equation Model (AIEM)* na simulação de emissividade e T_B aos parâmetros do solo em variáveis que apresentavam características que poderiam ser utilizadas em diferentes tipos de cobertura de vegetação. Os autores avaliaram as frequências de 1.4 a 10 GHz. Analisaram também as variações dos índices com relação às frequências avaliadas, assim como variação com relação aos ângulos zenitais utilizados para realizar as simulações. Os autores verificaram que, para as frequências utilizadas, os parâmetros mais importantes na simulação da emissividade e da T_B foram *SM* e os parâmetros relacionados com a rugosidade da superfície. Também constataram que a medida que a frequência aumenta o histograma de frequência da emissividade simulada tem comportamento assimétrico.

A principal diferença entre a análise de sensibilidade aplicada em [Ma et al. \(2017\)](#) da aplicada por [Ringerud et al. \(2014\)](#), é que na primeira o método possibilita quantificar a sensibilidade do modelo quando ocorre a variação simultânea de dois parâmetros (interação entre os parâmetros). Os trabalhos de análise de sensibilidade do modelo de emissividade utilizado no CRTM não contemplam as características dos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A. Avaliar a emissividade e as variáveis/parâmetros que mais influenciam na sua simulação é importante, pois isso permite melhorar a simulação de T_B , e com isso diminuir a rejeição desses dados sobre o continente.

[Karbou et al. \(2010a\)](#) avaliaram a influência de diferentes parametrizações de emissividade no sistema de AD do *Météo-France*, e compararam estimativas de modelo de emissividade com um atlas de emissividade, o qual considera a emissividade do canal 3 do sensor AMSU-A para todos os outros canais de sondagem (parametrização 1), um atlas dinâmico fazendo a mesma consideração do canal 3 (utiliza informações de duas semanas, parametrização 2), e uma outra metodologia que utiliza o atlas de emissividade para estimar a temperatura da superfície (parametrização 3). Mesmo não assimilando canais sensíveis à superfície dos sensores AMSU-A e AMSUA-B, utilizando as parametrizações 2 e 3 encontraram um aumento no número de canais assimilados que não apresentam essa sensibilidade. Além disso, o estudo mostrou consideráveis melhorias nas estatísticas (viés e desvio padrão) do OMF (observação menos estimativa inicial) dos canais de janela.

Além do mais, [Karbou et al. \(2010b\)](#) também analisaram a influência do modelo de emissividade [[Weng et al. \(2001\)](#), considerado o controle pelos autores], contra um método que utiliza atlas dinâmico de emissividade [parametrização 2 de ([KARBOU et al., 2010b](#))], e da inclusão de canais sensíveis à superfície de sensores de MO AMSU-A e AMSU-B em um sistema de assimilação. Os autores avaliaram o uso das metodologias em conjunto com o sistema de assimilação do *Météo-France*, e averiguaram grande impacto dessa mudança principalmente nos trópicos. Fisicamente, as mudanças realizadas resultaram em uma melhora na organização da Monção Africana, com uma forte Zona de Convergência Intertropical em termos de ascendência, vortacidade e precipitação.

[He et al. \(2011\)](#) estudaram a sensibilidade da T_B a diferentes configurações da superfície. Para tanto, fizeram uso de uma configuração com o modelo de emissividade ([WENG et al., 2001](#)) com a T_s proveniente da estimativa inicial, e outra usando o mesmo modelo de emissividade com T_s recuperada por satélite. Concluíram que, utilizando temperatura recuperada por satélite, pode-se aprimorar a simulação da

radiância e, assim, mais observações foram assimiladas. Porém, quando alteraram a emissividade simulado por Weng et al. (2001) pela recuperada por satélite (dados do *Microwave Surface and Precipitation Product System* (MSPPS)) para o canal 5 do AMSU-A, encontraram pouca influência na simulação da radiância. Além disso, examinaram o impacto dessas modificações na assimilação de dados e avaliaram a previsão de 24 horas, onde encontraram impacto positivo na previsão de temperatura na baixa atmosfera quando utilizada a T_s recuperada por satélite.

Uma avaliação detalhada do uso da emissividade na assimilação de dados sobre regiões de deserto foi realizada por Yan e Weng (2011). Os autores mostram como os erros de 0,04 na simulação da emissividade nos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A podem afetar a simulação da T_B . Esse erro, mesmo que pequeno, não pode ser negligenciado quando se trata de uma atmosfera com alta transmitância (canais de janela). Esses autores avaliaram o uso de três diferentes fontes de emissividade: o modelo de emissividade (WENG et al., 2001), emissividade estimada por satélite e um banco de dados de emissividade. De tal forma, verificaram que as fontes alternativas de emissividade melhoram a utilização dos dados do AMSU-A no modelo *Global Forecast System* (GFS) quando comparadas com o uso do modelo emissividade. O uso dessas fontes alternativas ainda trouxeram, ainda, impacto positivo nas previsões sobre os dois hemisférios.

Nesse sentido, por meio desses estudos prévios, pode-se notar que existe um impacto tanto na assimilação dos dados de canais sensíveis à superfície quanto na previsão de tempo quando ocorre uma melhor representação da emissividade da superfície continental em MO.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo são apresentadas as ferramentas empregadas na execução do trabalho, assim como a metodologia aplicada e os dados utilizados. A emissividade da superfície continental foi avaliada como um resultado da assimilação de dados de radiância, tendo em vista isso, faz-se necessário o uso de um sistema de assimilação, que no presente estudo é composto pelo modelo BAM (parametrização de superfície (SSiB)) e o sistema GSI. Com esse sistema foram geradas as previsões (modelo) e as análises (modelo mais observações).

Como o interesse é nos dados assimilados de radiância/ T_B provenientes de sensores de MO, na seção dos materiais serão apresentados os principais componentes da assimilação desses dados, isso inclui o modelo de transferência radiativa CRTM, o modelo de emissividade (WENG et al., 2001) e os passos do tratamento desses dados dentro do GSI. Além dos dados de MO, no processo de assimilação foram utilizados os dados descritos na Seção de Dados Assimilados nos Experimentos. Nesse estudo também foram utilizadas ferramentas para realizar a análise de sensibilidade global.

A metodologia aplicada para alcançar o objetivo principal do trabalho, está relacionadas com as etapas descritas na introdução, isto é, primeiramente é avaliada a emissividade simulada pelo sistema GSI-BAM, esta avaliação utiliza o produto de emissividade estimada por satélite do MSPPS. Posteriormente, é apresentada as metodologias de ASG utilizadas para identificar quais parâmetros/variáveis a emissividade em MO nos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A é mais sensível.

Sabendo que a emissividade é sensível a variáveis que são resultado das previsões do BAM (SSiB), a umidade do solo e a temperatura da superfície terrestre são avaliadas contra observações estimadas por satélite dessas variáveis. Para a etapa relacionada a utilização de variáveis de superfície provenientes de um sistema de assimilação de superfície na simulação da emissividade, são apresentados os dados *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), que são utilizados dentro do sistema de assimilação com o objetivo de realizar uma melhor simulação da emissividade na faixa do MO e assim assimilar mais dados dos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A.

3.1 Materiais

Os sistemas de assimilação possuem duas componentes principais, o esquema de assimilação e o modelo atmosférico. O esquema de assimilação empregado no sistema GSI-BAM é variacional em três dimensões que utiliza a ferramenta GSI ver-

são 3.3 em conjunto com o BAM. O modelo BAM é uma evolução/atualização do antigo Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) do CPTEC/INPE. O MCGA/CPTEC/INPE em conjunto com o GSI (versão 3.1) formavam o sistema de assimilação G3DVar, esse sistema foi descrito por Penna et al. (2015) e Azevedo et al. (2017). O sistema GSI-BAM utiliza a mesma estrutura computacional utilizada no G3DVar.

O modelo atmosférico fornece previsões de curto prazo (estimativa inicial) para o esquema de assimilação (GSI), o qual combina as informações proveniente do modelo com as observações, construindo assim a análise, como descrito anteriormente. O BAM utiliza essa análise como condição inicial para gerar as previsões de curto prazo a serem utilizadas no próximo ciclo de assimilação, bem como as previsão de 120 horas. O ciclo de assimilação está ilustrado na Figura 2.1 da Seção da Fundamentação Teórica, o qual ocorre a cada 6 horas, nos horários sinóticos das 00, 06, 12 e 18 UTC.

A seguir são descritos o modelo BAM, o sistema GSI e o modelo de transferência radiativa – CRTM. Além desses, também é apresentado o modelo de emissividade de Weng et al. (2001) contido dentro do CRTM. Posteriormente, nessa Seção, são descritas as ferramentas utilizadas para a realização da ASG e a empregada para a avaliação das previsão estendidas do modelo atmosférico.

3.1.1 Modelo atmosférico

O *Brazilian Global Atmospheric Model* (BAM), Figueroa et al. (2016), é a componente do modelo no sistema de assimilação utilizado nessa pesquisa, e também é o modelo global utilizado de forma operacional no CPTEC/INPE. O modelo utilizado no sistema BAM-GSI está configurado com resolução espacial de aproximadamente 45 km sobre a linha do equador, e resolução vertical de 64 níveis em coordenada sigma.

As parametrizações físicas do BAM incluem o esquema de onda curta de CLIRAD desenvolvido por Chou e Suarez (1999), a parametrização de onda longa de Harshvardhan et al. (1987), a camada limite foi implementada por Kubota (2012). A parametrização de convecção rasa utilizada é a descrita em Tiedtke (1983), esquema de onda de gravidade de Alpert et al. (1988), o esquema de convecção profunda de Grell e Dévényi (2002) modificado (FIGUEROA et al., 2016) e a parametrização de superfície SSiB (XUE et al., 1991). A Tabela 3.1 apresenta essas parametrizações, assim como outras características do modelo utilizado para executar os experimentos.

Tabela 3.1 - Configuração da dinâmica e da física do modelo BAM.

Dinâmica	Transporte (vento)	Eureliano
	Transporte de massa (umidade)	Semi-Lagrangeano
	RESTART Conservação de Massa	Superfície ln(p)
Física	Radiação de Onda Longa	Harshvardhan
	Radiação de Onda Curta	Clirad
	Convecção Profunda	Grell
	Convecção Rasa	Tiedke
	Fechamento Convectivo	Grell
	Modelo de Superfície	SSiB
	Fluxo de Umidade sobre o oceano	Modelo MetOffice
	Camada Limite	Mellor e Yamada
	Condensação de Grande Escala	Microfísica de Nuvens

3.1.1.1 Modelo de superfície

O modelo de superfície utilizado nessa pesquisa é o *Simplified Simple Biosphere* (SSiB), descrito em [Xue et al. \(1991\)](#). Esse modelo é uma versão simplificada do modelo Simple Biosphere model (SIB) que foi desenvolvido por [Sellers et al. \(1986\)](#). As variáveis prognósticas desse modelo consistem em três camadas de solo e uma camada de vegetação. A *SM* e temperatura do solo nas três camadas, profundidade de neve sobre o solo e água interceptada sobre as copas. A camada superficial no SSiB é representada por três resistências aerodinâmicas, que são: r_a que representa a resistência entre o espaço aéreo do dossel e a altura de referência, r_b que se refere a resistência entre o dossel e o espaço aéreo do dossel e r_d que é a resistência entre o espaço aéreo do dossel e solo ([XUE et al., 1991](#); [GONCALVES et al., 2004](#)).

Para realizar as simulações das variáveis de superfície o modelo SSiB recebe da componente atmosférica do modelo BAM os campos de pressão de vapor, velocidade do vento no primeiro nível sigma, temperatura, ângulo solar zenital, taxa de precipitação, controle de recebimento de chuva ou neve baseado na temperatura em 850 hPa, assim como os fluxos de radiação de onda longa e curta na superfície ([MATTOS, 2016](#)). Desse modo, o modelo de superfície devolve para o modelo atmosférico os fluxos de calor latente, sensível e momentum.

O modelo SSiB considera 13 tipos diferentes de cobertura da superfície, e para caracterizar a superfície utiliza parâmetros relacionados à cada tipo. O mapa utilizado no presente estudo é o apresentado na [Figura 3.1](#), e as classes dos tipos de cobertura

estão descritas na Tabela 3.2. Esses 13 tipos de cobertura foram derivados da base de dados global da Universidade de Maryland (UMD) e são provenientes do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) que apresenta resolução espacial de 1 km (HANSEN et al., 2000).

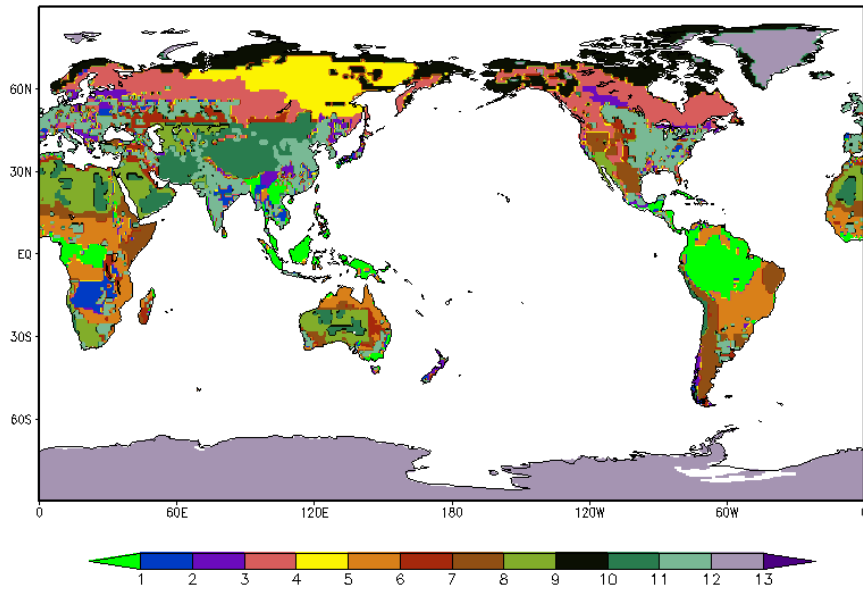
Esse modelo foi utilizado no sistema G3DVAR do CPTEC/INPE em trabalhos que focaram avaliar a contribuição das variáveis simuladas por esse modelo SSiB no contexto da assimilação de canais sensíveis à superfície (PENNA, 2014; ARAUJO, 2015), assim como em trabalhos interessados na assimilação da umidade do solo (MATTOS, 2016; MASKE, 2016). Operacionalmente o modelo BAM utiliza o modelo de superfície *Integrated Biosphere Simulator* (IBIS), descrito por Foley et al. (1996), contudo esse modelo, acoplado ao modelo BAM, ainda não está preparado para fornecer as variáveis de superfície no formato que o sistema GSI necessita.

O sistema de assimilação necessita ainda dos tipos de solo para a realização da simulação da transferência radiativa. Contudo, o modelo SSiB não possui os tipos de solo explicitamente definidos, sendo as informações do solo construídas a partir das características da cobertura da superfície. Desse modo, o mapa de solo utilizado no sistema de assimilação é o proveniente do *Food and Agriculture Organization* (FAO), onde são identificados 9 tipos de solo.

Tabela 3.2 - Tipos de cobertura da superfície do modelo SSiB.

Tipo de cobertura	Tipo de cobertura
1 - Floresta Tropical	8 - Caatinga
2 - Floresta Temperada	9 - Semi-Deserto
3 - Floresta Mista	10 - Tundra
4 - Floresta Boreal	11 - Solo Nú
5 - Floresta de Coníferas	12 - Cultivos
6 - Savanas/Cerrados	13 - Gelo
7 - Campos	

Figura 3.1 - Mapa do tipo de cobertura da superfície utilizado pelo modelo SSiB.



Os valores da barra de cores estão relacionados aos tipos de cobertura da superfície descritos na Tabela 3.2

Fonte: Adaptado de Hansen et al. (2000)

3.1.2 Sistema de assimilação

O *Gridpoint Statistical Interpolation* (GSI) é um sistema variacional que pode ser utilizado em 3 ou 4 dimensões. Kleist et al. (2009) descrevem a implementação do GSI em 3 dimensões no NCEP. O GSI possui desenvolvimento comunitário e é distribuído pelo *Developmental Testbed Center* (DTC).

A Equação 3.1 representa a função custo variacional tridimensional do GSI (HU et al., 2014a). Essa função considera as diferenças entre modelo e observações ponderados pelas covariância dos erros desses

$$J(x) = \frac{1}{2}(x - x_b)^T \mathbf{B}^{-1}(x - x_b) + \frac{1}{2}(Hx - y_o)^T \mathbf{R}^{-1}(Hx - y_o) + J_c \quad (3.1)$$

Onde:

x: estimativa do vetor de estado

x_b : Vetor estimativa inicial (previsão de curto prazo do modelo atmosférico)

\mathbf{B} : Matriz de covariância dos erros de estimativa inicial

y_o : Vetor observação

\mathbf{R} : Matriz de covariância dos erros de observação

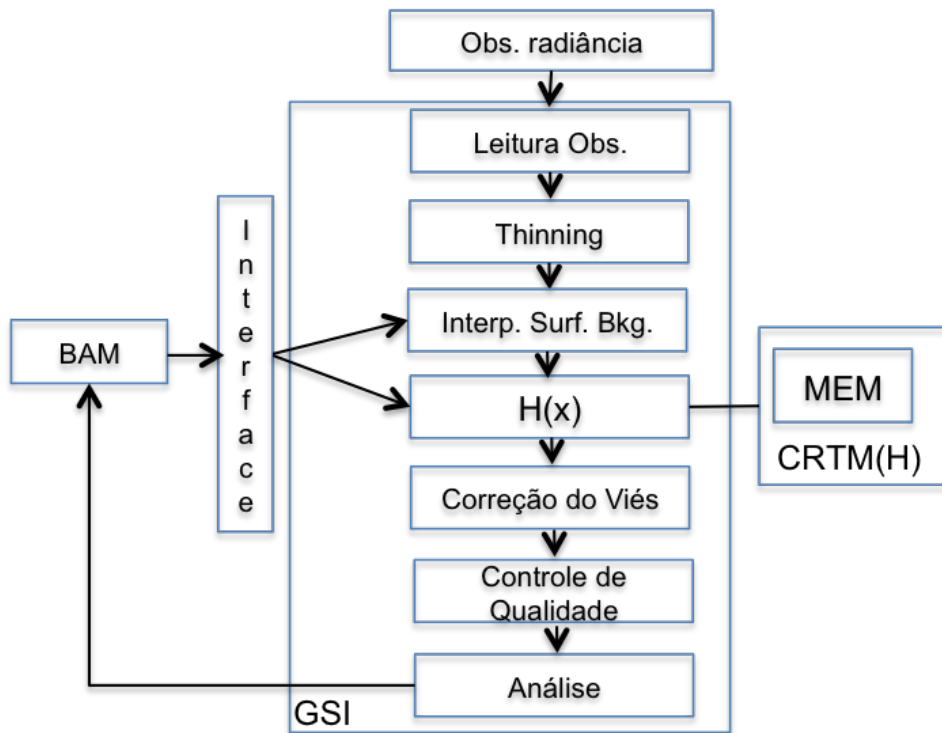
H : Operador observação não linear

J_c : Termos de *constraint*

A determinação da análise se dá através da minimização da função custo, como apresentado anteriormente. As variáveis do vetor análise do sistema GSI são: velocidade potencial (χ), função de corrente (Ψ), temperatura (t), pseudo-umidade relativa (q), pressão em superfície (ps), ozônio (oz), temperatura da superfície do mar (tsm), conteúdo de água de nuvens (cw), as três últimas não são analisadas pelo sistema GSI-BAM. O operador observação (H), no caso da assimilação de radiância o MTR acoplado ao GSI é o CRTM (HU et al., 2014a). O termo J_c é utilizado para realizar restrições no sistema, como por exemplo, umidade negativa e supersaturação.

Todas as observações apresentam peculiaridades em seu uso dentro do sistema de assimilação, e essas são inerentes as características de cada tipo de observação. O detalhamento é focado no uso dos dados de radiância do sensor AMSU-A. A Figura 3.2 apresenta de forma simplificada o fluxograma com as principais etapas da assimilação dos dados de radiância dentro do sistema GSI-BAM.

Figura 3.2 - Fluxograma das principais componentes da assimilação de radiancia no sistema GSI-BAM.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.1.2.1 Etapas da assimilação dos dados do sensor AMSU-A

Os dados de radiancia precisam ser processados antes de serem assimilados. Os outros tipos de observações também passam por etapas semelhantes as de radiancia, porém cada uma com sua peculiaridade. As etapas da Figura 3.2 são descritas abaixo, como o foco do estudo são os dados do sensor AMSU-A, os passos descritos a seguir são os realizados a esse sensor.

Primeiramente, os dados são extraídos do arquivo *Binary Universal Form for the Representation of meteorological data* (BUFR), onde são lidas informações como: latitude, longitude, dia, horário, ângulo zenital do satélite e solar, azimute do satélite e solar, posição da observação na varredura do satélite, valor da observação (T_B), entre outros, descrito em Hu et al. (2014a) e Sapucci et al. (2016). Os dados que estiverem dentro da janela de assimilação, isto é, três horas a mais ou a menos do horário central da análise, passam para os próximos passos. Além disso são realizados

testes com relação as informações do ângulo zenital da observação, assim como no valor da observação, se esses estiverem fora de valores aceitáveis a observação já é descartada.

A próxima etapa se refere a aplicação do *thinning*, onde observações a cada 180 Km, no caso dos dados de radiância, são selecionadas. Isso ocorre para diminuir a densidade dos dados de radiância, pois o uso de todos os dados teria alto custo computacional. O *thinning* é aplicado também para diminuir a correlação espacial entre as observações e conseqüentemente a correlação entre os erros dessas, e ainda evitar a redundância dos dados. Dando et al. (2007) realizaram estudos para encontrar a densidade ótima de dados dos instrumentos do *Advanced TIROS Operational Vertical Sounder* (ATOVS) para o modelo do MetOffice, isto é, eles realizaram testes com diferentes valores de *thinning*. Como o objetivo do presente trabalho não é avaliar este aspecto da assimilação de dados de radiância, foi selecionado um valor igual para todos os sensores.

As observações em condição de nuvens não são assimiladas, assim depois do *thinning* ocorre a exclusão dessas observações. Esse procedimento é realizado através de índices como o conteúdo de água da nuvem, índice de espalhamento, entre outros descritos em Grody et al. (1999). Esse índices são baseados no valor da observação de T_B . Seguindo as etapas da assimilação dos dados do AMSU-A, a próxima é a interpolação da estimativa inicial da superfície para a localização da observação.

Na Figura 3.2, a etapa do cálculo da estimativa inicial no ponto da observação para as observações de radiância é realizado na caixa representada pelo $H(x)$, e utiliza como ferramenta o CRTM, que é descrito posteriormente, assim como o modelo de emissividade, para o calcular a contribuição da emissão da superfície. A interpolação das informações dos perfis atmosféricos do modelo para o ponto de observação também é realizada nessa etapa. Os dados dos perfis atmosféricos em conjunto com as informações de superfície são utilizados para simular a T_B /radiância.

Depois da obtenção do valor do modelo projetado no espaço da observação, o próximo passo realizado é a correção de viés relacionado ao ângulo e a massa (HARRIS; KELLY, 2001). A correção de viés é necessária, pois existem erros entre a observação de satélite e modelo, o próprio instrumento pode conter erros, por exemplo, mudanças nas características deste com o tempo, assim como os erros no modelo de transferência radiativa. Os coeficientes utilizados para a correção do viés da massa são calculados durante o processo de assimilação, já a correção do ângulo (varredura) utiliza uma ferramenta do GSI (não é gerado dentro do processo de assimilação),

como apresentado em [Hu et al. \(2014a\)](#). Os coeficiente são calculados no ciclo das 00Z, por exemplo, para serem utilizados no ciclo das 06Z.

A próxima etapa é o Controle de Qualidade (CQ), onde todas as observações tem atribuídas a si uma marca. A Tabela 3.3 apresenta as marcas de controle internas do GSI específicas para as observações do AMSU-A, onde zero representa o uso do dado, e as outras indicam que a observação falhou em algum passo do CQ e não é utilizada na assimilação. No presente estudo só foi explorado o uso ou não uso das observações do sensor AMSU-A, não foram analisadas as diferentes marcas que excluem a observação da geração da análise.

Tabela 3.3 - Marcas de CQ interna do GSI associadas as observações do sensor AMSU-A.

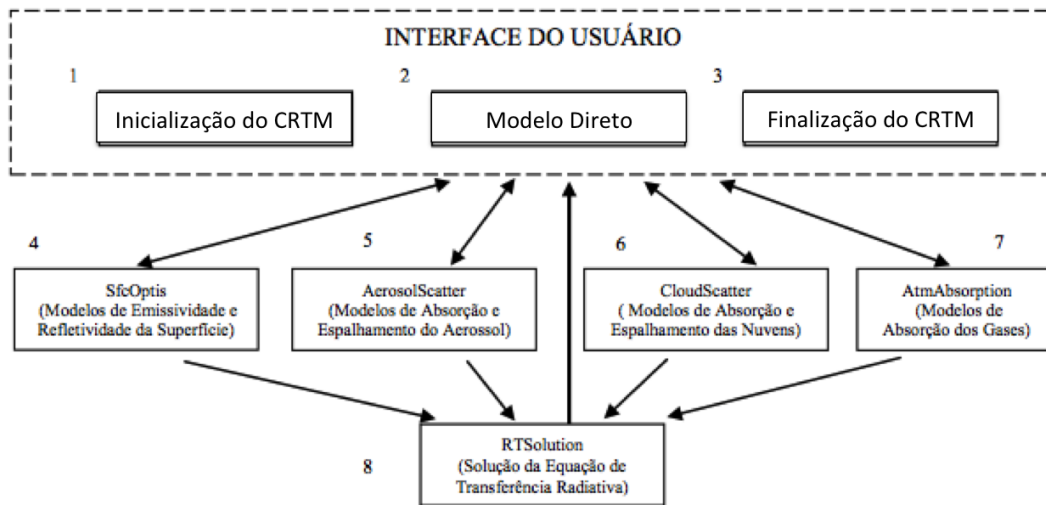
Marca de Controle de Qualidade	Significado
0	Observação é assimilada
3	Falhou na verificação do erro grosseiro [OMF < erro máximo(tabelado)]
4	Rejeita devido a verificação entre canais, se um canal é rejeitado, um grupo de canais é rejeitado.
50	A simulação da radiância está associada com presença de nuvens, descarta os canais de 1 a 6 e o 15 (factch6 > 1.0), considera o índice de espalhamento.
51	A simulação da radiância está associada com presença de nuvens, descarta os canais de 1 a 6 e o 15 (factch4 > 0.5), considera o cálculo do conteúdo de água líquida na nuvem).

3.1.3 Descrição do CRTM

O operador observação é uma das partes fundamentais na assimilação de dados de radiância. O modelo de transferência radiativa CRTM, disponibilizado pelo *Joint Center for Satellite Data Assimilation/National Oceanic Atmospheric Administration* (JCSDA/NOAA), é um modelo utilizado para realizar simulações da T_B /radiância de sensores a bordo de satélites, assim como a partir de valores de T_B estimar variáveis de estado. O CRTM realiza simulações de sensores que operam na faixa do espectro do visível até o micro-ondas ([HAN et al., 2006](#)).

O diagrama esquemático simplificado (Figura 3.3) auxilia a compreender o funcionamento do modelo direto do CRTM. O módulo 1, na Figura 3.3, representa a inicialização do CRTM, nesse módulo são especificadas as informações dos sensores/canais para cada satélite para o qual os dados são simulados. O modelo direto é representado pelo módulo 2, o qual é responsável pela simulação da T_B . O módulo 3 é acionado para remover da memória as variáveis do CRTM e finalizar a execução do modelo. Os módulos subsequentes estão inseridos no módulo 2, o módulo 4 é o modelo de emissividade/refletividade da superfície, o 5 é o modelo de absorção e espalhamento pelo aerossóis. O módulo 6 representa o modelo de absorção/espalhamento pelas nuvens, o módulo 7 é o modelo de absorção pelos gases, e o 8 é responsável pela solução da transferência radiativa (HAN et al., 2006; SILVEIRA, 2011).

Figura 3.3 - Diagrama esquemático das principais componentes do modelo direto do CRTM.



Os números se referem aos módulos apresentados no diagrama.

Fonte: Adaptado de Han et al. (2006).

No CRTM os modelos de emissividade/refletividade da superfície são utilizados para a radiância da faixa do MO ou na faixa do infravermelho para superfícies cobertas por terra, oceano, gelo e neve. Desse modo, o CRTM utiliza uma diferente aproximação (modelo) para cada tipo de cobertura da superfície e região do espectro. Alguns

dos modelos de emissividade são formulados com base em relações física, enquanto outros são formulações empíricas ou semi-empíricas. Para o MO sobre superfície continental pode-se utilizar como opção de informação de emissividade o modelo descrito em [Weng et al. \(2001\)](#), que está descrito posteriormente. No MO o CRTM suporta 9 tipos de solo e 13 tipos de cobertura da superfície (Tabela 3.2), esses tipos são os mesmos definidos no modelo GFS. Além da opção de simular a emissividade, o usuário do CRTM pode ainda informar a emissividade proveniente de uma outra fonte, por exemplo, um altas.

A óptica das nuvens, representada no módulo 6, se baseia numa tabela de parâmetros onde o usuário informa dados do raio efetivo da gotícula, conteúdo de água na nuvem e tipo de nuvem para caracterizar a óptica da nuvem ([HAN et al., 2006](#)). O modelo *Compact Optical Path TRANsmittance* (OPTRAN) é utilizado para absorção de gases, esse modelo é descrito em [Han et al. \(2006\)](#).

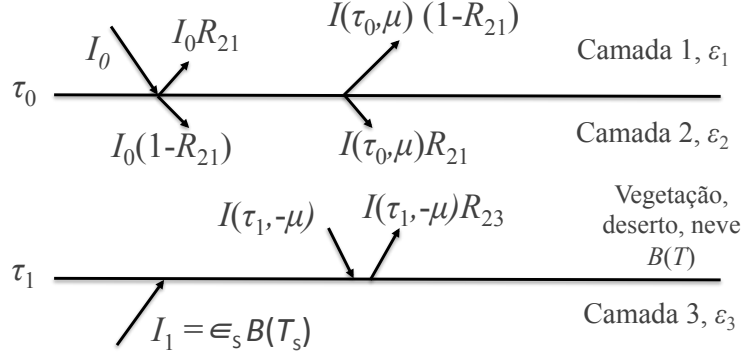
O módulo 8 resolve a equação da transferência radiativa para um dado perfil atmosférico de profundidade óptica, emissividade e refletividade da superfície e parâmetros ópticos das nuvens (quando essas existirem). As informações da atmosfera (perfis de temperatura e umidade) que servem como dados de entrada do CRTM são fornecidas pelo BAM, no caso do sistema GSI-BAM, e as informações da superfície tais como: temperatura da superfície, temperatura do solo, tipos de superfície e vegetação, umidade do solo, entre outras, são provenientes do modelo de superfície que está acoplado ao BAM, o SSiB.

3.1.4 Descrição do modelo de emissividade

O modelo de emissividade descrito em [Weng et al. \(2001\)](#) quantifica a emissividade da superfície continental em micro-ondas para superfícies com diferentes coberturas, tais como neve, deserto e vegetação variada. Para representar a superfície os autores consideraram um meio com multicamadas, como é apresentado esquematicamente na Figura 3.4, onde o meio 1 é o ar, o 2 é a vegetação e o 3 é o solo. As camadas superior e inferior são consideradas espacialmente homogêneas e são representadas pelas constantes dielétrica uniforme ε_m , onde m varia de 1 a 3 ([WENG et al., 2001](#)). Por exemplo, na camada superior, o ar possui constante dielétrica ε_1 , já na inferior é caracterizada por constante dielétrica ε_3 . A camada do meio é espacialmente não homogênea e contém dispersores como grãos de neve, partículas de areia, e cobertura vegetal. Os cálculos da transferência radiativa são usados para determinar o espalhamento volumétrico dentro da camada média, enquanto que equações de Fresnel modificadas são utilizadas para determinar a reflexão nas duas interfaces ([WENG et](#)

al., 2001).

Figura 3.4 - Esquema da transferência radiativa para um meio de três camadas.



Fonte: Adaptado de Weng et al. (2001) e Xie et al. (2015).

A partir das equações de transferência radiativa descrita em Weng et al. (2001), pode-se notar que a emissividade é definida como $\epsilon = I_T/B$ em um meio de três camadas. I_T é a razão entre a radiância total emitida pelo meio e a a radiância do corpo negro (B) calculada utilizando a função de Planck. Assim, a emissividade é:

$$\epsilon = \alpha R_{12} + (1 - R_{21}) \frac{(1 - \beta) [1 + \gamma e^{-2\kappa(\tau_1 - \tau_0)}]}{(1 - \beta R_{21}) - (\beta - R_{21}) \gamma e^{-2\kappa(\tau_1 - \tau_0)}} \quad (3.2)$$

$$+ (1 - R_{21}) \frac{\alpha(1 - R_{12}) [\beta - \gamma e^{-2\kappa(\tau_1 - \tau_0)}]}{(1 - \beta R_{21}) - (\beta - R_{21}) \gamma e^{-2\kappa(\tau_1 - \tau_0)}}$$

ϵ é a emissividade. $\alpha = I_0/B$, onde I_0 é a radiação incidente proveniente da camada 1 e incidente na camada 2 da superfície (Figura 3.4) e B é a função de Planck. $\beta = (1 - a)/(1 + a)$, onde a é o parâmetro de similaridade, que é representado por $a = \sqrt{(1 - \omega)/(1 - \omega g)}$, ω representa o albedo simples e g é o fator de assimetria para o partículas espalhadoras. R_{ij} (i e j varia de 1 a 3) representa a refletividade na interface entre duas camadas (Figura 3.4). $\gamma = (\beta - R_{23})/(1 - \beta R_{23})$, onde κ é o autovalor da solução de dois feixes, e é definido como $\kappa = \sqrt{(1 - \omega)/(1 - \omega g/\mu)}$, μ representa o cosseno do ângulo zenital, τ_0 a espessura óptica no meio 1, e τ_1 a espessura óptica no meio 2 (WENG, 2001; WENG et al., 2001; XIE et al., 2015). A

emissividade descrita na Equação 3.2 varia em função da frequência e da polarização.

O primeiro termo da Equação 3.2 está relacionado à reflexão da interface entre os meios 1 e 2, o segundo termo está associado com o espalhamento e a emissão do meio 2, o terceiro termo é devido a radiação termal incidente do meio 1 e é absorvida e reemitida pelo meio 2 (WENG, 2001; WENG et al., 2001).

O conhecimento dos parâmetros óticos que influenciam na simulação da emissividade (Equação 3.2) possibilita a relação desses com as características físicas da superfície para a qual se deseja simular a emissividade (ϵ). Essas relações estão descritas na Tabela 3.4, onde nota-se que as características do solo e da vegetação são utilizadas para estimar a ótica da superfície, e assim simular a emissividade.

Tabela 3.4 - Características da superfície utilizadas para a simulação da emissividade no modelo descrito em Weng et al. (2001).

Características da Superfície	Propriedades Óticas estimadas
Umidade e temperatura da primeira camada do solo, densidade dos sólidos, fração de areia e argila (as duas são função do tipo de solo).	Propriedades dielétricas do solo (constante dielétrica do solo descoberto). Algumas das relações utilizadas estão descritas em Dobson et al. (1985).
Constante dielétrica do meio 1 (o ar) e do meio 2 (estimada com as informações anteriores).	Refletividade da superfície utilizando as equações de Fresnel para uma superfície rugosa (rugosidade da superfície formada entre os meios 1 e 2), os valores calculados referem-se a R_{23} da Figura 3.4.
R_{23} , desvio padrão da altura da rugosidade da superfície (no CRTM é utilizado como constante).	Modifica a refletividade calculada anteriormente utilizando a contribuição cruzada da polarização. Utiliza uma forma simplificada das equações 26 e 27 descritas em Weng et al. (2001).
Conteúdo gravimétrico de água, densidade específica da vegetação (ambas são função do tipo de vegetação).	Calcula a constante dielétrica da cobertura da vegetação (das folhas). Utiliza as equações 10, 19, 20, 21 e 22 descritas em Ulaby e El-rayes (1987).
Constante dielétrica da folha (calculada no passo anterior), índice de área foliar (LAI), espessura da folha (função do tipo de vegetação).	Calcula os parâmetros óticos da cobertura da vegetação, isto é, a refletividade, transmissividade, fator de assimetria (constante), albedo simples e a profundidade ótica. Utiliza as equações de 9 a 11 e de 13 a 16, descritas em Weng et al. (2001).
Todas as informações de ótica da superfície/vegetação calculadas anteriormente e ainda, temperatura da superfície e temperatura do solo.	Nesta etapa que é aplicada a Equação 3.2 que é descrita em Weng et al. (2001). Tendo como resultado a emissividade na frequência (ν), na polarização vertical e horizontal.

Fonte: Sub-rotinas do módulo *NESDIS_LandEM_Module.f90* do CRTM v2.1.3 (van Delst, 2013).

Como apresentado no capítulo anterior, os dados do sensor AMSU-A, por causa da varredura do sensor, apresentam influência das duas polarizações no cálculo da emissividade. Desse modo, a emissividade que o CRTM utiliza para a realização do cálculo da transferência radiativa é a resultante da Equação 2.7, onde a emissividade na polarização vertical e horizontal ($\epsilon_{v,h}$) são fornecidas pelo módulo

NESDIS_LandEM_Module.f90 o qual contém o modelo de emissividade descrito em Weng et al. (2001).

3.1.5 Dados utilizados nos experimentos de assimilação

O GSI tem a possibilidade de assimilar diversos tipos de observações provenientes das mais diferentes fontes, como descrito em Hu et al. (2014b). Os dados podem ser divididos em dados convencionais (pressão, temperatura, umidade e vento), radiâncias provenientes de sensores a bordo de satélite, dados de refratividade de rádio ocultação de *Global Position System* (GPS), observação de radar, entre outras.

Os dados utilizados pelo GSI, nesse trabalho, foram obtidos da área pública do NCEP. As observações de refratividade de rádio ocultação de GPS, de T_B e de vento por satélite são distribuídas em formato binário BUFR, os dados de temperatura, pressão, umidade e vento estão em formato PREPBUFR, que possui esse nome por ser um arquivo BUFR que passou por um pré-processamento (PREP), um controle de qualidade. Mais informações sobre os arquivos BUFR/PREPBUFR podem ser encontradas em Hu et al. (2014a).

A Tabela 3.5 apresenta as observações, exceto as de radiâncias, que foram assimiladas em todos experimentos descritos na metodologia. As observações de navio, radiossondas, dropsondas e aviões são as fonte de dados de temperatura e de umidade (exceto aviões). Os dados de pressão são provenientes das mesmas fontes que os de temperatura (exceto aviões), além das estações de superfície. As observações de vento são de satélite, perfiladores, balões piloto e das mesmas fontes dos dados de temperatura. As observações de refratividade de rádio ocultação de GPS são provenientes da rede de observações de GPS.

Tabela 3.5 - Dados assimilados no sistema GSI-BAM. Temp. é a temperatura, pressão é a pressão à superfície, Refra. é refratividade.

Fonte	Temp.	Umidade	Vento	Pressão	Refra.
Radiosonda	X	X	X	X	-
Navio	X	X	X	X	-
Dropsonda	X	X	X	X	-
Aviões	X	-	X	-	-
Estação Sup.	-	-	-	X	-
Vento por Sat.	-	-	X	-	-
Perfiladores	-	-	X	-	-
Balões Piloto	-	-	X	-	-
GPS	-	-	-	-	X

Os dados de radiância (T_B) são provenientes de sensores com canais no espectro do infravermelho e no MO (resumo na Tabela 3.6). Os sensores no infravermelho utilizados são os descritos a seguir:

- *High Resolution Infrared Radiation Sounder 4* (HIRS-4) a bordo do satélite METOP-A. O HIRS-4 tem 19 canais no infravermelho e um canal no visível (número de onda de 669cm^{-1} à 14500cm^{-1});
- *Atmospheric Infrared Sounder* (AIRS) no satélite *Earth Observation System* (EOS) AQUA. Esse sensor possui 2378 canais no infravermelho (número de onda de 650cm^{-1} à 2760cm^{-1}), porém os arquivos BUFR possuem somente 281 canais que é um conjunto selecionado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration/Satellite and Information Service* (NOAA/NESDIS);
- *Infrared Atmospheric Sounding Interferometer* (IASI) no satélite METOP-A e METOP-B. O IASI tem 8641 canais no espectro do infravermelho (número de onda de 645cm^{-1} à 2760cm^{-1}). Como o sensor AIRS, o IASI também possuiu um subconjunto de 616 canais no arquivo BUFR.

Os sensores de micro-ondas utilizados na assimilação são:

- *Advanced Microwave Sounding Unit Version A* (AMSU-A) a bordo dos satélites NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, AQUA, METOP-A e METOP-B. O AMSU-A é um sondador que opera na faixa do espectro do micro-ondas e possui 15 canais (frequência de 23,8 GHz à 89 GHz);
- *Microwave Humidity Sounder* (MHS) a bordo dos satélites NOAA-18, NOAA-19, METOP-A e METOP-B, esse sensor possui 5 canais na região do micro-ondas (frequência de 89 GHz à 190,311 GHz);
- *Advanced Technology Microwave Sounder* (ATMS), esse sensor está a bordo do satélite *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (S-NPP). O ATMS possui 22 canais na faixa do micro-ondas (frequência de 23,8 GHz até $183,31\pm 1$ GHz), esse sensor une as funcionalidade dos sensores AMSU-A e do MHS.

Tabela 3.6 - Sensores e satélites utilizados no sistema de assimilação de dados. N15 representa o satélite NOAA-15, N18 o NOAA-18 e o N19 o NOAA-19.

Sensores	Satélites						
	METOP-A	METOP-B	N15	N18	N19	S-NPP	AQUA
HIRS-4	X	-	-	-	-	-	-
AIRS	-	-	-	-	-	-	X
IASI	X	X	-	-	-	-	-
AMSU-A	X	X	X	X	X	-	X
MHS	X	X	-	X	X	-	-
ATMS	-	-	-	-	-	X	-

As observações que foram utilizadas na assimilação, já estavam previamente configuradas para serem assimiladas nos arquivos de configurações distribuídos com a versão 3.3 do GSI. Uma verificação foi realizada afim de averiguar se os canais de interesse estavam configurados para serem utilizados. A Tabela A.1 apresenta todos canais usados, de todos os sensores. Dos 1669 canais disponíveis (total de todos sensores/satélites citados acima) apenas 410 são selecionados no arquivo de configuração para serem assimilados pelo GSI.

3.1.6 Ferramentas para a análise de sensibilidade

A Análise de Sensibilidade Global (ASG) é utilizada, normalmente, para três propósitos descritos em Saltelli et al. (2008) e Pianosi e Wagener (2015), que são: Classificação (*Factor Priorization*), que tem por objetivo classificar os fatores de entrada (parâmetros) de acordo com a sua relativa contribuição para a variabilidade do resultado do modelo; Triagem (*Factor Fixing*), visa identificar os fatores de entrada que a influência pode ser negligenciada na variabilidade do resultado do modelo; Mapeamento (*Mapping*), visa determinar a região da variabilidade do fator de entrada que produz valores significativos, extremos, do resultado do modelo.

No presente estudo a análise de sensibilidade será utilizada para encontrar o classificação (ordem de importância) dos parâmetros, e com isso também identificar os parâmetros que não apresentam influência significativa. Desse modo, com o objetivo de encontrar a quais parâmetros a emissividade simulada pelo modelo descrito em Weng et al. (2001) apresenta maior sensibilidade, dois métodos de ASG foram aplicados. O método conhecido como Sobol que se baseia na variância, proposto por Sobol' (1990), e o método PAWN que se baseia na função Densidade de Probabili-

dade Cumulativa (CDF do inglês *Cumulative Distribution Function*), proposto por Pianosi e Wagener (2015).

Para os dois métodos de análise de sensibilidade utilizados o modelo pode ser representado pela função

$$y = f(\mathbf{x}) \quad (3.3)$$

$\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_i]$ é um vetor dos fatores de entrada, e f é o modelo, que no presente estudo é o modelo de emissividade, e y é o resultado da simulação do modelo. O modelo é utilizado para simular o comportamento da variável de interesse, e os fatores de entrada podem ser os parâmetros do modelo, as condições iniciais do modelo ou até mesmo as condições de contorno (PIANOSI et al., 2016).

No método Sobol a variância do resultado do modelo $V(y)$ pode ser decomposta em termos de

$$V(y) = \sum_{i=1}^n V_i + \sum_{1 < i < j < n} V_{i,j} + \dots + V_{1,2,\dots,n} \quad (3.4)$$

onde V_i é a porção da variância de $V(y)$ da contribuição do parâmetro x_i , e $V_{i,j}$ é a porção da contribuição da interação entre os parâmetros x_i e x_j (MA et al., 2017). A contribuição fracional do i -ésimo parâmetro na variância total do resultado do modelo $V(y)$ é chamada de índice de sensibilidade de primeira ordem (S_i), também conhecido como "efeito principal", o S_i pode ser descrito por

$$S_i = \frac{V_i}{V(y)}. \quad (3.5)$$

O índice de segunda ordem S_{ij} é definido por

$$S_{ij} = \frac{V_{ij}}{V(y)}. \quad (3.6)$$

O índice de sensibilidade total (S_{Ti}) fornece o resultado do S_i do parâmetro x_i e todos as interações deste parâmetro com os demais. O S_{Ti} é expresso por

$$S_{Ti} = 1 - \frac{V_{-i}}{V(y)} \quad (3.7)$$

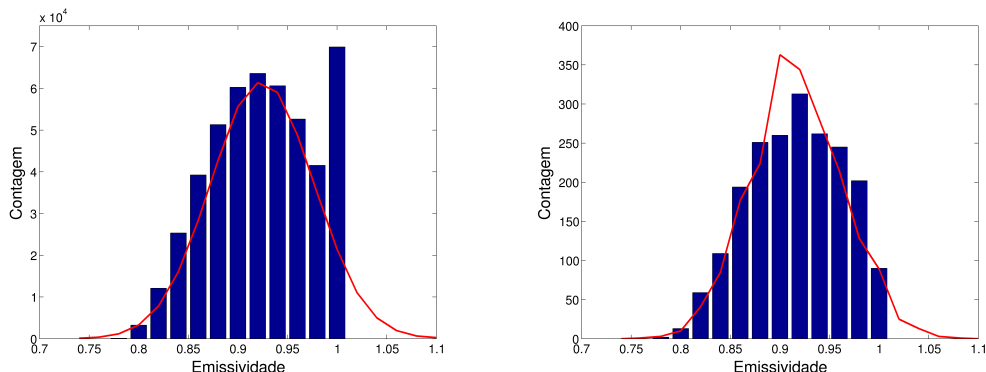
onde V_{-i} é a variância obtida quando todos os parâmetros variam, exceto o x_i (ROSOLEM et al., 2012; ZADEH et al., 2017). Para o cálculo do índice de primeira ordem são necessárias $N * (D + 2)$ simulações do modelo, onde N é o tamanho da amostra e D é o número de parâmetros, no caso do índice de segunda ordem são necessárias $N * (2D + 2)$ simulações.

A estratégia para realizar a amostragem da estimativa dos parâmetros é o esquema de Saltelli que é uma extensão da sequência Sobol como explicado em Herman e Usher (2017). E os parâmetros são amostrados seguindo uma distribuição uniforme, isto é, a probabilidade de ocorrência de todos os valores amostrados é a mesma. Para os testes de análise de sensibilidade do Sobol foi utilizada a biblioteca SALib desenvolvida na linguagem python, a SALib é descrito em Herman e Usher (2017).

A análise de sensibilidade utilizando o índice PAWN ocorreu devido a uma característica do modelo de emissividade em algumas situações que dependem da superfície para qual se deseja simular a emissividade, assim como frequência e ângulo zenital. O modelo de emissividade, dentro do CRTM tem uma condição, se a simulação da emissividade for superior a 1,0, o valor da emissividade é considerado 1,0. Deste modo, a distribuição de frequência da simulação da emissividade para a frequência 23,8 GHz e ângulo zenital 53°, por exemplo, não é uma distribuição normal, mas sim uma distribuição assimétrica, Figura 3.5a. Prigent et al. (1997) também encontrou valores não físicos de emissividade, maior que 1,0 para regiões de deserto quando aplicou uma técnica de recuperação da emissividade utilizando dados do SSM/I canal 19 GHz.

O modo como os parâmetros são amostrados na metodologia Sobol impossibilita a aplicação de um filtro no modelo de emissividade (para filtrar os valores superiores a 1,0). Por esse motivo foi empregado o índice PAWN, o qual permite a inclusão de um filtro. Desse modo, a distribuição de frequência da emissividade simulada se aproxima de uma distribuição normal, como apresentado na Figura 3.5b. O índice PAWN também pode ser utilizado para distribuições do tipo assimétrica. Esse índice foi utilizado para confirmar que a classificação dos parâmetros encontrada pela metodologia Sobol não é modificada com quando os valores maiores que 1 são removidos do histograma de frequência.

Figura 3.5 - Histograma de frequência para as simulações da emissividade do modelo utilizado na análise de sensibilidade referente à frequência de 23,8 GHz, polarização vertical e ângulo zenital 53°.



(a) Distribuição de Frequência utilizada no Sobol (b) Distribuição de Frequência utilizada no PAWN

Fonte: Produção do próprio autor.

Assim, o método utilizado para avaliar o classificação dos parâmetros, em conjunto com o Sobol, foi um método baseado na densidade conhecido como PAWN, apresentado e descrito detalhadamente em Pianosi e Wagener (2015). Esse tipo de índice de sensibilidade é independente do momento estatístico, esse método não caracteriza as incertezas do modelo baseado em um momento estatístico específico da distribuição de frequência da simulação desse modelo.

Em geral, o índice de sensibilidade baseado na densidade mede a sensibilidade do parâmetro x_i pela distância entre a Função Densidade de Probabilidade (PDF do inglês *Probability Density Function*) incondicional do modelo (y), a qual é obtida variando todos parâmetros simultaneamente, e a PDF condicional de y , que é obtida variando todos os parâmetros exceto x_i (x_i é fixado em um valor nominal \bar{x}_i), como descrito em Zadeh et al. (2017). Na prática as PDFs são desconhecidas e devem ser aproximadas utilizando um conjunto de dados.

Pianosi e Wagener (2015) apresentaram as dificuldades e limitações de se derivar a PDF empírica, e sugeriram o uso da CDF ao invés da PDF, pois o cálculo da CDF a partir de uma amostra de dados não requer o ajuste dos parâmetros e é mais fácil do que a aproximação de uma PDF. Desse modo, o índice PAWN é muito fácil de ser implementado e a robustez da análise assim como a convergência do índice é computacionalmente eficiente. Outras vantagens e limitações do índice de

sensibilidade PAWN foram discutidas em Pianosi e Wagener (2015).

Considerando o mesmo modelo dado na Equação 3.3, Pianosi e Wagener (2015) propuseram que a medida da distância entre a CDF condicional e incondicional de y , como representado na Figura 3.6, pode ser dada pela estatística de Kolmogorov-Smirnov (KS), que é descrito por

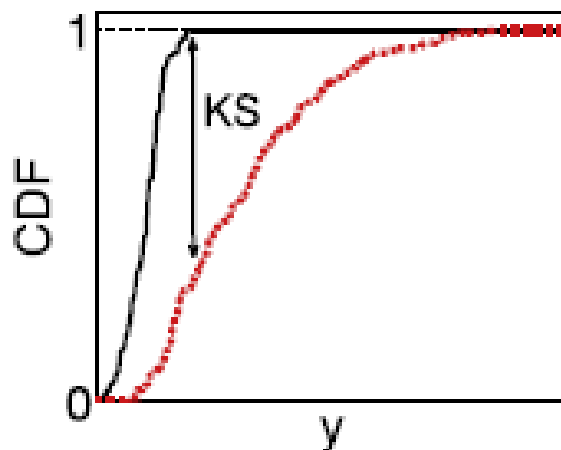
$$KS(x_i) = \max_y |F_y(y) - F_{y|x_i}(y)| \quad (3.8)$$

onde $F_y(y)$ é a CDF incondicional do resultado do modelo y , e $F_{y|x_i}(y)$ é a CDF condicional quando x_i é fixo. Como KS depende do valor fixo x_i , o índice PAWN T_i considera uma estatística (no presente estudo será utilizado o valor máximo) sobre todas as possibilidades do valor x_i , isto é,

$$T_i = \underset{x_i}{stat}[(KS(x_i))] \quad (3.9)$$

onde T_i pode variar entre 0 e 1. Se o valor de T_i é baixo, representa x_i menos influente, e se $T_i = 0$, então o parâmetro x_i não tem influência em y .

Figura 3.6 - Exemplo da CDF incondicional e da CDF condicional do modelo (y) e a representação do KS.



Linha vermelha representa a CDF incondicional e a preta a CDF condicional.

Fonte: Adaptado de Pianosi e Wagener (2015).

A implementação numérica do índice PAWN exige algumas aproximações pois resolver esse índice de forma analítica poderia ser impossível na maioria dos casos. Primeiramente, a estatística do KS (Equação 3.8) é aproximada utilizando as distribuições empíricas condicional e incondicional. A CDF empírica incondicional é estimada por N_u simulações do modelo utilizando o espaço completo dos parâmetros. As CDFs empíricas condicionais são estimadas utilizando N_c simulações do modelo usando todos os parâmetros exceto x_i . Depois das CDF calculadas, a Equação 3.9 é utilizada para calcular a estatística com respeito aos valores condicionantes de x_i que é aproximada usando n valores dos parâmetros fixos x_i que são amostrados aleatoriamente. O número total de simulações do modelo necessários para o cálculo do índice T_i para todos os parâmetros D é $N_u + n \times N_c \times D$ (ZADEH et al., 2017).

Para a identificação dos parâmetros que são não influentes, etapa da triagem, a abordagem do PAWN pode ser utilizada em combinação com o teste de duas amostras de Kolmogorov-Smirnov (PIANOSI; WAGENER, 2015). O teste rejeita a hipótese de que as duas distribuições ($F_y(\cdot)$ e $F_{y|x_i}(\cdot)$) são iguais quando

$$KS > KS_{critico} = c(\alpha) \sqrt{\frac{N_c + N_u}{N_c N_u}} \quad (3.10)$$

onde $c(\alpha)$ é um valor crítico que pode ser encontrado na literatura (WALL, 1996), e α é o nível de confiança. Desse modo quando o KS calculado entre as duas CDFs for maior que o $KS_{critico}$ as duas CDFs são diferentes. A estratégia de amostragem utilizada para estimar os parâmetros foi a *All-Factors-At-a-Time* (AAT) descrita em Pianosi et al. (2016), onde foi utilizado o método *Latin-Hypercube*, que gera a mostra de forma quase aleatória. Os parâmetros também foram amostrados de forma a seguir uma distribuição uniforme.

O PAWN está inserido dentro da ferramenta *Sensitivity Analysis For Everybody* (SAFE), a qual visa atender os usuários que não são especialistas em análise de sensibilidade. O SAFE foi desenvolvido para ser utilizado tanto no Matlab quanto no Octave (opção utilizada no presente estudo). Essa ferramenta está descrita em Pianosi et al. (2015). Os trabalhos de Pianosi et al. (2016), Pianosi e Wagener (2016), Sarrazin et al. (2016) e Zadeh et al. (2017) utilizam e descrevem os métodos de análise de sensibilidade contidos no SAFE.

3.1.7 SCANTEC

O Sistema de Avaliação de Modelos Numéricos de Previsão de Tempo e Clima (SCANTEC) é uma ferramenta para avaliar estatisticamente a PNT, tornando possível a comparação entre os resultados de diferentes experimentos (SAPUCCI et al., 2011). O SCANTEC fornece algumas métricas estatísticas, nesse trabalho foi calculado a raiz do erro quadrático médio (do inglês *Root Mean Square Error* (RMSE)) e o Coeficiente de Correlação de Anomalia (CCA). O RMSE é calculado utilizando a relação

$$RMSE = \sqrt{\sum_{n=1}^N \frac{(v_{i,j}^{Prev} - v_{i,j}^A)^2}{N}} \quad (3.11)$$

onde v é o valor da variável de estado qualquer, o índice $Prev$ é o valor previsto ou simulado no ponto i, j para em um determinado tempo t , e o índice A representa o valor da análise para esse mesmo ponto i, j e tempo t . O CCA é utilizado para indicar o desempenho do modelo de PNT, e pode ser expresso por

$$CCA = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J [(v_{i,j}^{Prev} - v_{i,j}^C) \cdot (v_{i,j}^A - v_{i,j}^C)]}{\left\{ \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (v_{i,j}^{Prev} - v_{i,j}^C)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (v_{i,j}^A - v_{i,j}^C)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (3.12)$$

onde v , $Prev$, A , i e j representam o mesmo que no caso do RMSE e C representa uma climatologia (SAPUCCI et al., 2014). Nos resultados de correlação de anomalia foi aplicado o teste t-student para verificar a significância estatística das diferenças entre os experimentos e o experimento controle, a metodologia utilizada foi a mesma aplicada em Azevedo et al. (2017). A partir dos valores de RMSE calculados também foi estimado o ganho no RMSE entre os experimentos realizados, para isto utiliza-se a relação

$$GANHO_{V_t}^{RMSE} = \frac{RMSE_{V_t}^{E_k} - RMSE_{V_t}^{E_{crt}}}{RMSE_{perfeito} - RMSE_{V_t}^{E_{01}}} \times 100\% \quad (3.13)$$

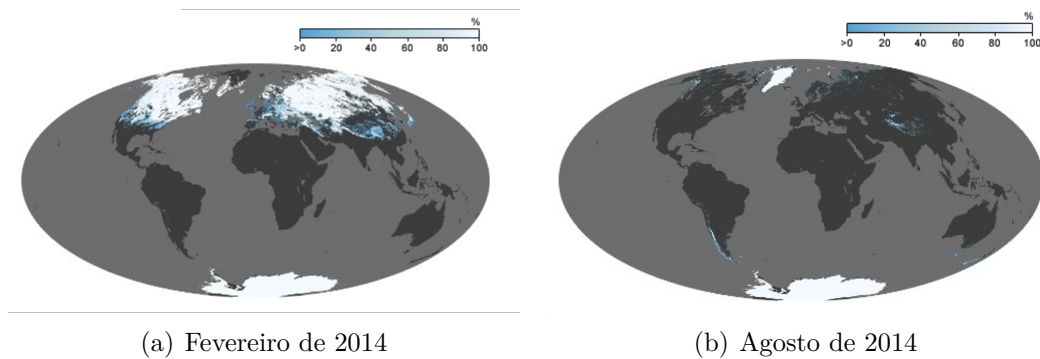
o índice E indica os resultados dos k experimentos e E_{crt} representa os resultados do experimento de referência. O $RMSE_{perfeito}$ representa o $RMSE$ para previsão perfeita, que significa que é zero (SAPUCCI et al., 2011; BAÑOS, 2017).

3.2 Metodologia

3.2.1 Período selecionado

O período de estudo utilizado para a avaliação da emissividade em micro-ondas sobre superfície continental e para os experimentos de assimilação de dados foi agosto de 2014. O mês de agosto foi selecionado, pois o interesse é avaliar superfícies sem cobertura de neve e/ou gelo. Os mapas de cobertura de neve para os meses de fevereiro (Figura 3.7a) e agosto de 2014 (Figura 3.7b), mostram que o mês de agosto apresenta uma área maior sem neve, representando assim uma maior região onde é possível realizar a avaliação dos dados utilizados.

Figura 3.7 - Cobertura de neve no globo.



Fonte: Extraído de [NASA Earth Observation -NEO \(2017\)](#).

3.2.2 Principais características dos experimentos numéricos

As configurações do modelo BAM apresentadas na Seção 3.1 são as utilizadas para todos experimentos de assimilação que estão apresentados na Seção 3.2. As observações assimiladas são as descritas nas Tabelas 3.5 e 3.6 e a matriz de covariância dos erros do modelo (\mathbf{B}) utilizada foi a proveniente do NCEP, do mesmo modo que foi utilizado em [Azevedo et al. \(2017\)](#). O GSI foi configurado para realizar 100 iterações internas dentro de um ciclo externo. Outra característica importante do sistema é a escolha da variável de umidade, que no presente estudo foi selecionada a opção de pseudo umidade-relativa, baseado no estudo de [Campos et al. \(2015\)](#). Os autores avaliaram a sensibilidade do sistema GD3Var ao uso de duas variáveis de umidade distintas, encontraram que para uma assimilação cíclica nesse sistema o experimento utilizando pseudo umidade-relativa apresentou melhor desempenho.

Os parâmetros de controle de umidade negativa e supersaturada foram configurados em $factqmin = 0,005$ e $factqmax = 0,905$, os mesmos valores foram empregados por Baños (2017) em seu estudo que usou o sistema com as mesmas componentes utilizadas no presente trabalho (GSI-BAM).

Todos os experimentos de assimilação de dados realizados, foram inicializados com a análise do NCEP do dia 16/07/2014 às 18Z. O período de simulação foi de 45 dias (17/07/2014 às 00Z a 31/08/2014 às 18Z), o que representa 180 ciclos de assimilação. Para execução do sistema GSI-BAM foi utilizado o supercomputador Tupã. Para o GSI foram usados 72 processadores, com um tempo estimado de execução de 35 minutos, e o modelo BAM utilizou 240 processadores e 10 minutos para as 9 horas de previsão, o tempo médio de execução de cada ciclo de assimilação foi de aproximadamente 1 hora.

O volume de dados gerados em cada ciclo, considerando somente o que o modelo BAM gera e é utilizado pelo GSI, e as saídas do GSI, somam 3 GB. Contudo, ainda existem as observações e outros arquivos gerados que servem para auxiliar os processos tanto do modelo como do GSI. Um exemplo são os arquivos gerados pelo modelo chamados de "restart" que são arquivos gerados para armazenar o histórico da simulação que é utilizado na próxima inicialização do modelo e, que por motivo de espaço não são armazenados. Com isso para cada experimento realizado foi gerado aproximadamente 540 GB.

3.2.3 Avaliação da emissividade

A primeira etapa do trabalho está relacionada a avaliação da emissividade gerada no sistema GSI-BAM contra estimativas de emissividade por satélite. Isto é, avaliar o estado atual do comportamento da emissividade da superfície terrestre em MO, no contexto de um sistema de assimilação, utilizando previsões de curto prazo (9h) do modelo BAM dentro do sistema GSI-BAM. Para esta avaliação foi realizado um experimento controle, que na Tabela 3.11 está identificado como EXP01. Esse experimento utiliza as condições de superfície provenientes do modelo SSiB, que é a configuração padrão do sistema GSI-BAM.

A avaliação da emissividade simulada foi realizada contra o produto de emissividade estimada por satélite do *Microwave Surface and Precipitation Product System* (MSPPS). Os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz do sensor AMSU-A a bordo dos satélites METOP-A, METOP-B, NOAA-15, NOAA-18 e NOAA-19 foram avaliados. Só participaram da avaliação os dados que cumpriram os requisitos descritos

na Tabela 3.7. Esses critérios tiveram que ser aplicados, pois os arquivos do produto de emissividade apresentam um número maior de observações que os arquivos provenientes do ciclo de assimilação. Um dos fatores que contribuem para um menor número nos resultados da assimilação é o processo de *thinning*.

A mesma metodologia de avaliação empregada para o EXP01, que é o experimento controle, foi aplicada para a emissividade simulada nos outros experimentos, onde algumas hipóteses foram testadas (EXP02, EXP03 e EXP04, que são descritos posteriormente). A emissividade foi avaliada somente para as regiões onde o sistema de assimilação considerou que a observação estivesse sobre região 100% terrestre, e não estivesse sobre superfície de neve e nem de gelo.

Os dados foram separados sobre os diferentes tipos de cobertura de superfície identificados pelo sistema de assimilação (baseados na Tabela 3.2), depois disso foram gerados histogramas de frequência dos dados do MSPPS e do EXP01. Os histogramas foram construídos com 31 classes de 0,7 à 1, com intervalo de 0,01 entre elas. Para avaliar o comportamento da diferença entre os dados foi calculada a média das diferenças entre os dados do MSPPS e as simulações de emissividade do EXP01.

Tabela 3.7 - Requisitos para os dados de emissividade do MSPPS e da emissividade simulada pelo sistema GSI-BAM serem selecionados para comparação.

Variável	Requisito
Dia	O dia deve ser o mesmo, o horário já é selecionado em função dos horários de análise.
Latitude	Diferença absoluta da latitude do dado simulado e do estimado por satélite ser menor que 0,001.
Longitude	Diferença absoluta da longitude do dado simulado e do estimado por satélite ser menor que 0,001.
Ângulo Zenital	Diferença absoluta do ângulo zenital do satélite do dado simulado e do estimado por satélite ser menor que 0,001.

3.2.3.1 Dados do MSPPS

As observações diretas de emissividade são escassas, e uma alternativa para realizar a avaliação da emissividade simulada pelo sistema GSI-BAM foi utilizar os dados do MSPPS. Esses dados também foram usados por He et al. (2011) como uma alternativa a emissividade simulada utilizando o modelo WRF. Os dados do MSPPS foram adquiridos junto a Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do CPTEC/INPE,

esses dados fazem parte do Geonetcast. Os dados estão em ponto de grade, resolução horizontal de 720 X 360, com informações da passagem ascendente e descendente. Além dos dados adquiridos via DSA também foram adquiridos via ftp no banco de dados NOAA's *Comprehensive Large Array-data Stewardship System* (CLASS), esses dados são informações da órbita da passagem.

Os dois bancos de dados estão no formato *Hierarchical Data Format -Earth Observing System* (HDF-EOS). Esses dados possuem produtos do sensor AMSU-A a bordo dos satélites METOP-A, METOP-B, NOAA-15, NOAA-18 e NOAA-19. As informações contidas nos arquivos do MSPPS são dos produtos de emissividade nos canais 23,8GHz, 31,4GHz e 50,3GHz do sensor AMSU-A, temperatura em 2 metros, conteúdo de água na nuvem (CLW), total de água precipitável (TPW), concentração de gelo no oceano (SIce), posição geográfica, ângulo zenital do satélite, T_B dos 15 canais do AMSU-A, entre outros. As informações utilizadas na avaliação são a localização da observação (latitude e longitude), ângulo zenital, data (hora/dia) e emissividade.

O algoritmo utilizado para gerar os produtos de emissividade está descrito em Ferraro et al. (2005) e (GROUP, 2005). Esse é baseado no modelo de emissividade terrestre em MO (WENG et al., 2001) e utiliza informações da T_B dos canais 1, 2 e 3 do AMSU-A, assim como os coeficientes provenientes de uma regressão linear para estimar a emissividade da superfície terrestre em MO. A relação utilizada na recuperação da emissividade é descrita como segue

$$\epsilon_i = b_{0,i} + b_{1,i}AT_1 + b_{2,i}AT_1^2 + b_{3,i}AT_2 + b_{4,i}AT_2^2 + b_{5,i}AT_3 + b_{6,i}AT_3^2 \quad (3.14)$$

onde ϵ_i é a emissividade terrestre dos canais i , $i = 1, 2, 3$, e AT é a temperatura da antena, e b são os coeficientes (FERRARO et al., 2005). A Tabela 3.8 apresenta os coeficientes lineares b derivados dos canais 1, 2 e 3 do AMSU-A, esses coeficientes são obtidos a partir de radiosondas e dados de temperatura da superfície co-localizados com as observações do AMSU-A, em conjunto com cálculo de transferência radiativa, para remover a contribuição da atmosfera na estimativa da emissividade.

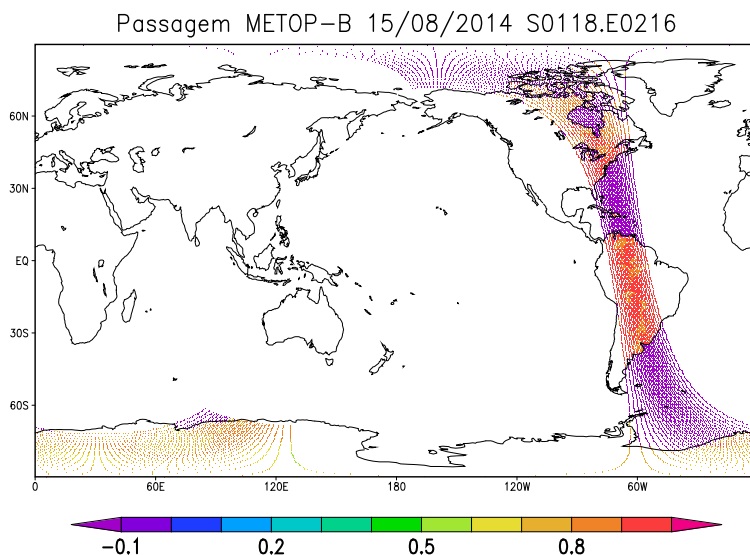
Tabela 3.8 - Coeficientes lineares dos canais 1, 2 e 3 do sensor AMSU-A usados na estimativa da emissividade desses canais.

Coeficientes	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_1
b_0	$-2,5404e^{-1}$	$-2,2606e^{-1}$	$8,9494e^{-2}$
b_1	$1,1326e^{-2}$	$3,4481e^{-3}$	$-3,6615e^{-3}$
b_2	$-1,9479e^{-5}$	$-9,7185e^{-6}$	$-4,2390e^{-7}$
b_3	$-4,5763e^{-3}$	$4,3299e^{-3}$	$1,0636e^{-2}$
b_4	$1,7833e^{-5}$	$5,3281e^{-6}$	$-6,4559e^{-6}$
b_5	$3,2324e^{-3}$	$1,8668e^{-3}$	$-4,2449e^{-4}$
b_6	$-1,9056e^{-5}$	$-1,5369e^{-5}$	$-6,6878e^{-6}$

Fonte: Adaptado de Ferraro et al. (2005).

A emissividade é somente recuperada sobre superfície terrestre, enquanto sobre o oceano o valor é constante e negativo (-0,1). Essa característica pode ser observada na Figura 3.8, que apresenta uma passagem do satélite METOP-B no dia 15/08/2015 entre às 01:18Z e 02:16Z. A acurácia do produto de emissividade recuperada por satélite é de 90% (GROUP, 2005).

Figura 3.8 - Produto da emissividade da superfície terrestre do canal 23,8 GHz a bordo do METOP-B. Passagem referente ao dia 15/08/2014 entre às 01:18Z e 02:16Z.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.2.4 Análise de sensibilidade global

A ASG foi realizada sobre duas condições extremas de superfície continental: o solo nu e a floresta tropical. Esses dois tipos de superfície foram selecionados pois apresentam erros sistemáticos na simulação da T_B . Mesmo que as características desses dois tipos de superfície não mudem muito no tempo, apresentam problemas quando ocorre a simulação dessas.

Os dois métodos de análise de sensibilidade utilizados necessitam que sejam informados os parâmetros e seus limites físicos. Para o solo nu foram avaliadas as variáveis que são fornecidas pela previsão de curto prazo, quando o modelo de emissividade é utilizado dentro do processo de assimilação, isto é, umidade do solo (SM), temperatura da superfície terrestre (T_{skin}) e temperatura do solo (T_{soil}). Também foi utilizado como parâmetro a ser avaliado a fração de areia (f_{sa}), que no modelo de emissividade depende do tipo de solo fornecido, a fração de argila ficou dependente do valor da fração de areia. O desvio padrão da rugosidade (Sig), densidade dos sólidos (R_{hos}) e densidade total do solo (R_{hob}) foram os outros parâmetros utilizados, o sig é considerado fixo no modelo de emissividade e os outros dois são dependentes do tipo de solo.

A Tabela 3.9 apresenta os limites físicos dos parâmetros descritos anteriormente. O valor atribuído ao índice de área foliar (LAI) e a fração de vegetação [no inglês *vegetation fraction* (vf)], que também são fornecidas para o modelo de emissividade, foi 0,01. Para os outros parâmetros que são dependentes do tipo de vegetação foram utilizados os valores padrões do modelo de emissividade para este tipo de cobertura da superfície.

Tabela 3.9 - Limites físicos dos parâmetros/variáveis referentes ao solo nu.

Parâmetros	Limites		Unidades	Fonte
	Inferior	Superior		
Umidade do Solo (SM)	0,05	0,45	g/m^3	Ma et al. (2017)
Temperatura da Superfície Terrestre (T_{skin})	273,15	318,15	K	Ma et al. (2017), Fuchs e Tanner (1968)
Desvio Padrão da Altura da rugosidade (Sig)	0,21	2,5	cm	Xie et al. (2017)
Temperatura do Solo (T_{soil})	273,15	312,15	K	Ma et al. (2017), Fuchs e Tanner (1968)
Fração de Areia (f_{sa})	0,1	0,9	adimensional	
Densidade dos Sólidos (R_{hos})	2,6	2,7	g/cm^3	Yu et al. (1993)
Densidade Total do solo (R_{hob})	1,1	1,6	g/cm^3	Yu et al. (1993)

Para os testes em condições de floresta tropical os parâmetros utilizados foram: SM , T_{skin} , sig , T_{soil} , f_{sa} , r_{hob} , LAI , vf , o conteúdo gravimétrico de água (Mg)

e a densidade da vegetação (R_{hov}), os dois últimos são definidos no modelo em função do tipo de cobertura da superfície. A Tabela 3.10 apresenta os parâmetros utilizados e os limites físicos referente aos parâmetros e variáveis utilizados para a floresta tropical.

Tabela 3.10 - Limites físicos dos parâmetros/variáveis referentes à floresta tropical.

Parâmetros	Limites		Unidades	Fonte
	Inferior	Superior		
Umidade do Solo (US)	0,15	0,45	g/m^3	Gash et al. (1996)
Skin Temperatura da Superfície Terrestre (Tskin)	296,15	306,15	K	Gash et al. (1996)
Desvio Padrão da Altura da rugosidade (Sig)	0,25	5,0	cm	Ma et al. (2017)
Temperatura do Solo (Tsoil)	297,15	298,15	K	Gash et al. (1996)
Fração de Areia (f _{sa})	0,1	0,9	adimensional	Todo o range
Índice de Área Folear (LAI)	4,26	6,1	adimensional	Gash et al. (1996)
Espessura da Folha (LT)	0,11	0,3	mm	Camargo e Marengo (2011)
Fração de Vegetação (vf)	0,7	1,0	adimensional	
Densidade Total do Solo (R_{hob})	1,1	1,6	g/cm^3	Yu et al. (1993)
Conteúdo Gravimétrico de Água (Mg)	0,55	0,8		Weng et al. (2001)
Densidade da Vegetação (R_{hov})	0,25	0,4	g/cm^3	Limites do Modelo

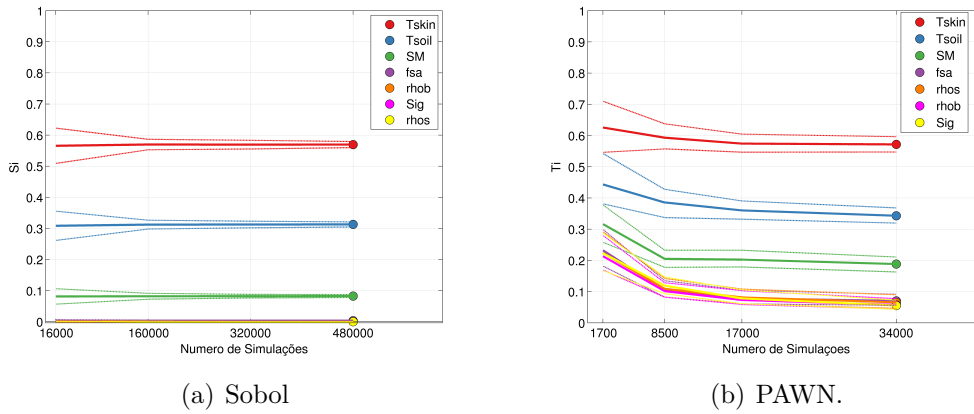
A emissividade depende das características da superfície e também depende da frequência em que está sendo simulada, da polarização e do ângulo zenital (θ). Desse modo, a análise de sensibilidade foi realizada para as frequências dos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A (canal 23,8 GHz 31,4 GHz e 50,3 GHz). Os quatro ângulo foram selecionados com base na literatura (HAN et al., 2006; PRIGENT et al., 2005), que são 0° , 15° , 45° e 53° . Para cada tipo de superfície de interesse e para cada metodologia de análise de sensibilidade foram realizados 24 testes (3 frequências *4 ângulos *2 polarizações).

Para análise de sensibilidade baseada na variância (método Sobol), descrito na Seção 3.1.6, o valor de N selecionado foi 30.000, o que representa 480.000 simulações do modelo para o caso do solo nu e 720.000 para a situação de floresta. A Figura 3.9a apresenta a convergência do índice S_i pelo número de simulações para o caso do solo nu, para a frequência de 50,3GHz e ângulo zenital 53° , nessa figura as linhas pontilhadas representam o intervalo de confiança de 0,05.

Para a análise utilizando o método PAWN, apresentado na Seção 3.1.6, o valor atribuído para N_u foi de 2.000 e de 1.600 para o N_c , o número de valores condicionais utilizados para construir as CDFs condicionais foi 20 (n). Esses valores são baseados no trabalho de Pianosi et al. (2016), onde os autores utilizaram a estatística de KS para validar a triagem de três diferentes métodos de análise de sensibilidade. Os

valores escolhidos representam que para o caso do solo nu são realizadas 226.000 simulações do modelo e para o caso da floresta 354.000. A Figura 3.9b mostra a convergência do índice T_i e o número de simulações necessárias para o índice PAWN convergir. No método PAWN a convergência dos índices ocorre com menos simulações do modelo quando comparado com o método Sobol, como discutido em Pianosi e Wagener (2015).

Figura 3.9 - Convergência dos índices de sensibilidade em função do número de simulações do modelo para o solo nu, na frequência de 50,3 GHz, ângulo zenital de 53° e polarização vertical.



Fonte: Produção do próprio autor.

Com a finalidade de avaliar a emissividade simulada como conjunto das duas polarizações, característica do sensor AMSU-A (Equação 2.7), foram realizados os mesmos testes anteriores. Desse modo, a contribuição dos parâmetros na simulação da emissividade resultante da combinação das duas polarizações foi avaliada, para isso foram utilizadas as Equações 2.7 e 2.8. Os pares de ângulo zenital (θ_z) e ângulo de varredura (φ) usados foram extraídos das observações do sensor AMSU-A, assim as combinações foram: $\theta_z = 0^\circ$ e $\varphi = 0^\circ$, $\theta_z = 17^\circ$ e $\varphi = 15^\circ$, $\theta_z = 45^\circ$ e $\varphi = 39^\circ$, $\theta_z = 53^\circ$ e $\varphi = 45^\circ$.

3.2.5 Avaliação dos campos de umidade do solo e temperatura da superfície

Com o objetivo de analisar o quão distante de um referencial está a umidade do solo e a temperatura da superfície terrestre simulada pela interação entre o modelo

atmosférico (BAM) e a parametrização de superfície SSiB, foram utilizados dois dados. Os dados do *Soil Moisture Operational Product System* (SMOPS) foi usado para avaliar a umidade do solo e os dados do *Microwave Integrated Retrieval System* (MIRS) para avaliar a temperatura da superfície, esses dados são descritos a seguir.

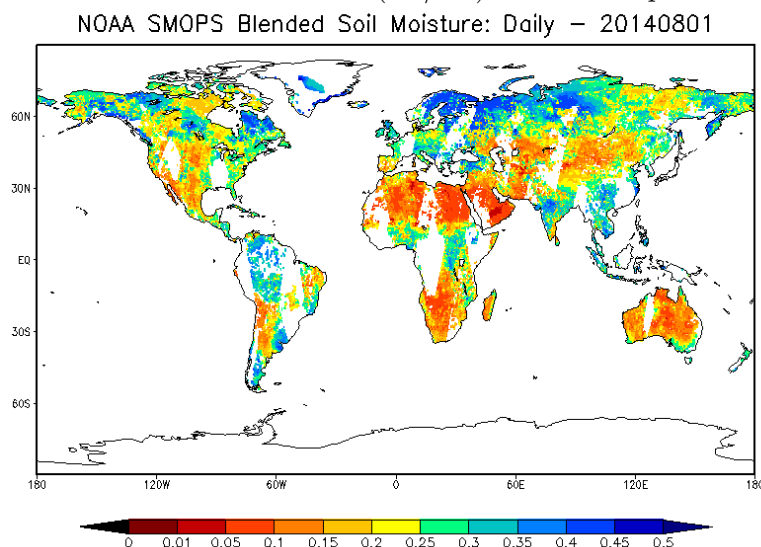
3.2.5.1 SMOPS - dados de umidade do solo

O SMOPS vem sendo desenvolvido pela NOAA/NESDIS, e é operacional desde de 2012. Esse sistema fornece produtos de umidade do solo de sensores individuais, tais como *Advanced Scatterometer* (ASCAT) a bordo do METOP-A e METOP-B, *Soil Moisture and Ocean Salinity* (SMOS) da *European Space Agency* (ESA) e o sensor WindSat do *Naval Research Laboratory* (NRL), além disso fornece também um produto chamado *BLENDED*, que é a combinação da umidade do solo recuperada por satélite proveniente dos sensores mencionados anteriormente (ZHAN et al., 2016). O algoritmo e a metodologia utilizada para a geração do produto que combina as várias fontes de umidade do solo estão descritos em Zhan et al. (2016) e Liu et al. (2016).

O ASCAT-A e ASCAT-B apresentam um erro na estimativa de umidade do solo em torno de 25% (aproximadamente de 0,03-0,07 (vol/vol)) e a resolução espacial é de 25 Km. As informações provenientes do SMOS apresentam um erro em torno de 4%, e tem uma resolução espacial de 40 Km (ZHAN et al., 2016).

Os dados não estão disponíveis (disponível publicamente a partir de março/2017) para a data de interesse. Porém, o banco de dados das imagens do SMOPS apresenta o período que é foco do presente estudo, assim as comparações entre a umidade do solo gerada pelos experimentos e o produto de umidade do solo do SMOPS foram realizadas de forma visual. A Figura 3.10 apresenta o produto *BLENDED* de umidade do solo para o dia 01/08/2014.

Figura 3.10 - Produto de umidade do solo (m^3/m^3) do SMOPS para o dia 01/08/2014.



Produto do SMOPS identificado como *BLENDED*.

Fonte: Extraído de Soil Moisture Operational Products System - SMOPS (2017).

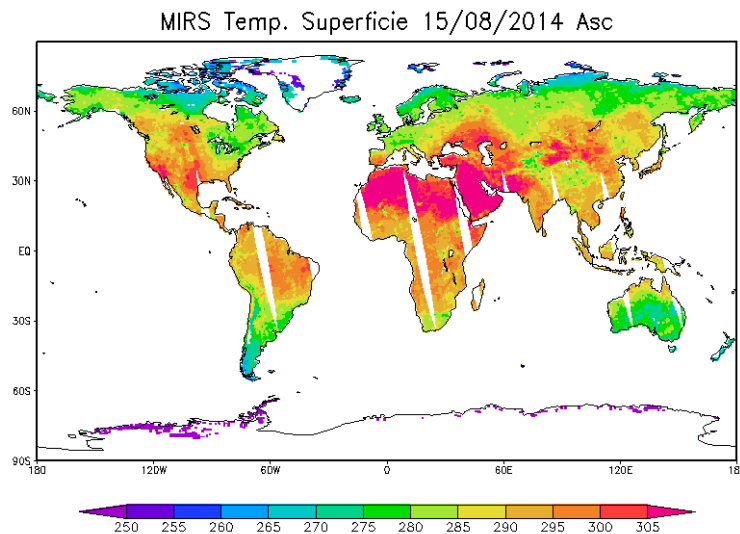
3.2.5.2 MIRS - dados de temperatura da superfície terrestre

O MIRS é um sistema de assimilação em uma dimensão (1Dvar) e um sistema de recuperação de dados/produzidos de satélite em micro-ondas. Esse foi desenvolvido pela NOAA/NESDIS *Center for Satellite Application and Research* (STAR) como uma atualização para o conjunto de algoritmos do MSPPS (ZHANG et al., 2014). Contudo, o MIRS não tem disponível os produtos de emissividade da superfície continental para os três canais de interesse. Os produtos de MIRS estão no formato EOS-HDF e dentro do mesmo arquivo são divididos em passagem ascendente e descendente (relacionado à varredura do satélite). Esses dados foram extraídos do banco de dados do NOAA's CLASS, a opção selecionada foi produto de precipitação e superfície, projeção estereográfica cilíndrica.

Os dados de T_s são provenientes dos satélites METOP-A, NOAA-18 e NOAA-19. Os arquivos foram convertidos em um arquivo manipulável no software *Grid Analysis and Display System* (GrADS). Para realizar as comparações com as previsões do BAM foi selecionado sempre o horário da produto do MIRS correspondente aos horários de previsão de 3 horas (que correspondem aos arquivos das 03Z, 09Z, 15Z e 21Z) e de 6 horas de previsão (00Z, 06Z, 12Z e 18Z). A resolução espacial do

produto de T_s é de $0,5^\circ$. A Figura 3.11 apresenta o campo espacial da T_s para o dia 15/08/2015 para a passagem ascendente do METOP-A. O viés global do produto de T_s é de 1-2 Kelvin, e o desvio padrão entre 5-6 Kelvin. As principais características dos produtos do MIRS estão descritas em Boukabara et al. (2011).

Figura 3.11 - Produto de temperatura da superfície terrestre do MIRS para o dia 15/08/2014 passagem ascendente.



Mapa referente aos dados ao AMSU-A a bordo do satélite METOP-A
Fonte: Produção do próprio autor.

3.2.6 Impacto do uso de variáveis obtidas a partir de assimilação de superfície na AD

Com o conhecimento prévio de que as características da superfície simulada pelo modelo SSiB em conjunto com o modelo BAM apresentam erros, como o descrito em Mattos (2016). O autor mostrou em seu estudo que o umidade do solo do modelo quando comparada com o *Global Land Data Assimilation System* (GLDAS), por exemplo, é subestimada, isto é, o modelo é mais seco que o GLDAS. Na simulação da emissividade isso implica na superestimativa da emissividade, pela relação inversa entre emissividade e conteúdo de água no solo. Um valor alto de emissividade implica que as simulações de T_B também serão superestimadas.

Estudos do comportamento da temperatura da superfície terrestre simulada pelo acoplamento MCGA-SSiB também mostraram que há uma estimativa errada dessa variável. Penna (2014) aplicou uma correção de viés para utilizar a temperatura da superfície terrestre dentro do sistema de assimilação e Araujo (2015) realizou modificações na parametrização de superfície para corrigir a estimativa da temperatura da superfície.

O GLDAS foi escolhido pois é um dado global e apresenta uma distribuição temporal compatível com os horários utilizados (LIU; MISHRA, 2017). Alguns autores como Prigent et al. (2006) sugerem que um GLDAS é uma opção como dado de entrada de um modelo de transferência radiativa para a simulação da emissividade.

O presente estudo propõe o uso dos campos da umidade do solo e da temperatura da superfície terrestre provenientes do GLDAS com a finalidade de substituir a previsão de curto prazo dessas variáveis de superfície fornecidas pelo modelo BAM-SSiB para o sistema GSI. No processo descrito na Figura 3.2 essa inserção foi realizada na interface entre o modelo BAM e o sistema de assimilação. Portanto, 4 experimentos foram realizados, descritos na Tabela 3.11, o controle EXP01 que utiliza o modelo BAM-SSiB, o EXP02 que é igual ao EXP01 porém utiliza a umidade do solo do GLDAS. O EXP03 que utiliza a temperatura da superfície do GLDAS e as outras variáveis de superfície provenientes do acoplamento BAM-SSiB e, por fim, o EXP04 que usa a umidade do solo e a temperatura da superfície do GLDAS e as outras variáveis do BAM-SSiB. Os dados do GLDAS foram incluídos para realizar a assimilação, isto é, eles não foram utilizados de forma direta dentro do modelo BAM.

Tabela 3.11 - Experimentos realizados e principal diferença na configuração.

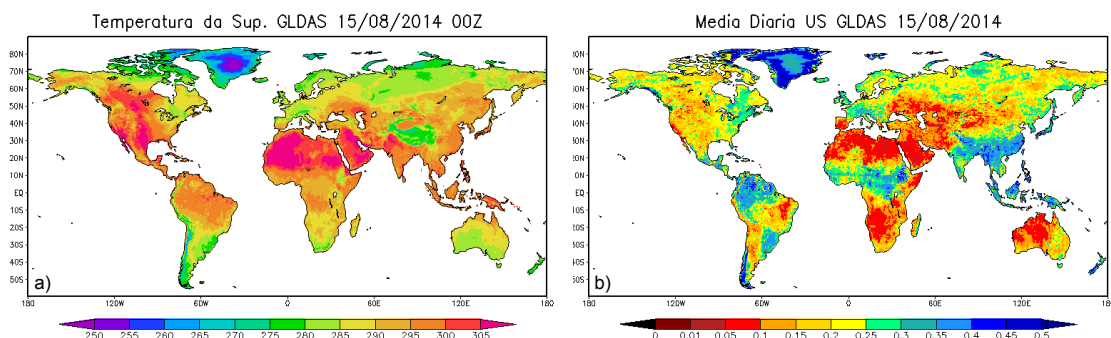
Experimento	Configuração
EXP01	Utiliza as informações de superfície proveniente do SSiB-BAM
EXP02	Utiliza a umidade do solo proveniente do GLDAS e as outras informações do SSiB-BAM
EXP03	Utiliza a temperatura da superfície do GLDAS e as outras informações do SSiB-BAM
EXP04	Utiliza a umidade do solo e a temperatura da superfície do GLDAS e as outras informações do SSiB-BAM

3.2.6.1 Dados do GLDAS

Os dados do GLDAS utilizados são da versão 1. Esses contêm variáveis de superfície simuladas com o modelo de superfície NOAH 2.7.1. As simulações desse modelo são forçadas por uma combinação dos campos de análise do NOAA/GDAS, desagregados espacialmente e temporalmente dos campos do NOAA *Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation* (CMAP). As observações de radiação de onda curta incidente e onda longa utilizadas são derivadas com o método do sistema de modelagem do *Air Force Weather Agency's AGRicultural METeorological* (AGRMET). A resolução espacial dos campos do GLDAS é de $0,25^\circ$ e a temporal de 3 horas. A região de abrangência desses dados é de -60° à 90° de latitude, e de -180° à 180° de longitude, como apresenta a Figura 3.12. Esses dados foram adquiridos no formato GRIB no endereço ftp do GES DISC e as principais características desses dados estão descritas em Rodell et al. (2004), Rui (2017).

No presente estudo foram utilizadas as informações de temperatura da superfície terrestre (K) e da umidade do solo na primeira camada (0-10 cm) (m^3/m^3). Na Figura 3.12 há um exemplo do campo da temperatura (3.12a) e da umidade do solo (3.12b). Os dados substituíram os dados do modelo BAM nas área apresentadas na Figura 3.12, ao sul de $-60S$ e sobre os oceanos foram mantidos os dados do modelo BAM. Como a resolução é diferente da utilizada no BAM, os dados foram interpolados para a resolução do modelo atmosférico. Para todo esse processo foram utilizados o software GrADS, assim como as rotinas de interface entre o BAM e o GSI.

Figura 3.12 - Mapa espacial dos dados do GLDAS para o dia 15/08/2014..



O painel da esquerda, a), representa o mapa de temperatura da superfície para as 00Z do dia 15/08/2014 e o da direita b) é a umidade do solo média do dia 15/08/2014.

Fonte: Produção do próprio autor.

3.2.6.2 Avaliação da emissividade simulada utilizando dados do GLDAS

Nessa etapa a emissividade simulada nos experimentos EXP02, EXP03 e EXP04 foi avaliada contra a emissividade simulada no experimento controle e ainda contra os dados do MSPPS. Os resultados estão em forma de histograma de frequência da emissividade simulada nos quatro experimentos. O objetivo é analisar como as mudanças realizadas nos diferentes experimentos afetam a emissividade simulada. Os histogramas foram construídos com 31 classes de 0,7 à 1, com intervalo de 0,01 entre elas. Também foram realizadas as diferenças entre os experimentos e o produto de emissividade do MSPPS.

3.2.6.3 Avaliação das estatísticas da assimilação

Com o intuito de avaliar como as modificações realizadas nos experimentos influenciam na assimilação dos dados, foram avaliadas de forma geral o número de observações total assimilada dos dados de temperatura, pressão à superfície, umidade, vento, refratividade do GPS e radiância. Essa avaliação foi realizada, pois estudos como de Dumelow (2003) mostram que com o emprego de técnicas de OSE existe um comportamento distinto quando ocorrem diferentes combinações no uso de diferentes fontes de dados.

Os dados dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz do AMSU-A, sobre a superfície continental, foram avaliados sobre diferentes aspectos. Além da contagem dos dados, a diferença/semelhança da marca do controle de qualidade entre o experimento controle e os outros experimentos foi investigada. O $y_o - Hx_b$, conhecido como observação menos estimativa inicial (OMF) e o $y_o - Hx_a$ conhecido como observação menos análise (OMA) foram mensurados. Essas informações são calculadas para todas as observações assimiladas, contudo, no capítulo dos resultados foram avaliados somente o OMF/OMA referentes as observações de T_B /radiância dos canais citados. As informações de OMF/OMA consideradas nessa análise são as com a correção de viés (o objetivo desse estudo não é avaliar a eficiência da correção de viés). Todas as avaliações realizadas nessa etapa foram comparando os experimentos EXP02, EXP03 e EXP04 com o experimento controle.

3.2.6.4 Verificação das previsões de 120 horas

Além da avaliação do uso dos dados na geração das análises, também foi realizada a verificação das previsões. Para isso foram realizadas previsões de 120h dos quatro experimentos e o período escolhido foi de 11/08/2014 às 00Z à 19/08/2014 às 18Z. As

métricas estatísticas mencionadas anteriormente foram avaliadas para o Globo (GL), Hemisfério Sul (HS) entre 80S°-20S°, Hemisfério Norte (HN) entre 80N°-20N°, para a região Tropical (TR) (20S°-20N°) e para a América do Sul (AS) entre 50S°-10N° e entre 80W°-30W°.

A correlação de anomalia foi calculada para altura geopotencial (ZGEO) em 500 hPa. O $GANHO_{V_t}^{RMSE}$ foi calculado para o ZGEO, conteúdo integrado de água precipitável (AGPL), umidade específica (UMES), temperatura virtual (VTMP) e sensível (TEMP) e as componentes do vento (UVEL e VVEL). Os níveis atmosféricos utilizados para avaliar ZGEO, UVEL, VVEL e TEMP foram 250, 500 e 850 hPa, para as outras variáveis foram analisados os níveis de 500, 850 e 925 hPa.

As configurações do modelo BAM para realizar as previsões de 120 horas foram as mesmas do modelo utilizado no ciclo de assimilação. Contudo, o restart da superfície foi desligado para as simulações das previsões de 120 horas do BAM.

4 RESULTADOS

Os resultados estão apresentados seguindo as etapas da metodologia. Primeiramente é apresentada a avaliação da simulação da emissividade terrestre no MO para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz do sensor AMSU-A do EXP01 contra os dados do produto de emissividade por satélite. Essa avaliação foi realizada para os diferentes tipos de cobertura da superfície terrestre descritos na Figura 3.1. Depois da avaliação, análises de sensibilidade foram realizadas para melhor compreender as características da superfície que mais influenciam a emissividade simulada nessas frequências. Essa análise foi realizada no módulo do CRTM que carrega o modelo de emissividade descrito em [Weng et al. \(2001\)](#).

Para melhor entender as características da emissividade simulada no EXP01 foram avaliados os campos espaciais da umidade do solo e da temperatura da superfície terrestre do EXP01 contra os dados do SMOPS e MIRS, respectivamente. Desta forma é possível identificar as principais características dessas variáveis que podem estar associadas ao comportamento da emissividade simulada.

A avaliação da umidade do solo e da temperatura da superfície terrestre simuladas pelo sistema BAM-SSiB permite identificar os erros das mesmas. Assim, foi proposta a utilização dos campos provenientes do GLDAS como alternativa para essas variáveis na simulação da emissividade. Desse modo, foram avaliados os experimentos onde utilizou-se a umidade do solo (EXP02), a T_s (EXP03) e a combinação de ambas (EXP04) provenientes do GLDAS.

Posteriormente, os impactos das modificações realizadas nos três experimentos foram avaliados contra o experimento controle (EXP01), para identificar os principais ganhos (ou perdas) no sistema GSI-BAM.

4.1 Avaliação da emissividade terrestre em micro-ondas simulada pelo sistema GSI-BAM

Para alcançar o objetivo principal, a primeira etapa realizada foi a avaliação da emissividade simulada no experimento controle (identificado como EXP01 na Tabela 3.11). A comparação entre a emissividade simulada no EXP01 e o produto de emissividade recuperada por satélite do MSPPS foi por meio de histogramas de frequência. Essa avaliação foi realizada para o mês de agosto de 2014 para os 12 tipos diferentes de cobertura da superfície terrestre descritos na Tabela 3.2, para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz do sensor AMSU-A a bordo dos saté-

lites METOP-A e METOP-B, NOAA-15, NOAA-18 e NOAA-19. A avaliação foi realizada separadamente para os quatro horários sinóticos (00Z, 06Z, 12Z e 18Z) e para os tipos de cobertura que apresentam diferenças representativas entre esses horários. Como descrito na metodologia só foram comparadas as observações que estavam em superfície considerada pelo sistema GSI-BAM como terrestre, evitando assim avaliação sobre regiões de superfície mista, de água, de neve ou de gelo.

As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam os histogramas de frequência da emissividade em termos de porcentagem (%). Na Figura 4.1 estão apresentados os histogramas dos tipos de cobertura os quais o comportamento não varia entre os horários sinóticos. Os tipos de cobertura são: floresta tropical (Figura 4.1a), floresta temperada (Figura 4.1b), floresta mista (Figura 4.1c), floresta boreal (Figura 4.1d), floresta coníferas (Figura 4.1e), caatinga (Figura 4.1f), tundra (Figuras 4.1g) e as áreas identificadas como cultivos (Figura 4.1h). Ao passo que na Figura 4.2 estão os tipos que apresentam diferenças nos histogramas de frequência, que são: savana ((Figuras 4.2a,e,i,m)), campos (Figuras 4.2b,f,j,n), semi-deserto (Figuras 4.2c,g,k,o) e solo nu (Figuras 4.2d,h,l,p). Nessas figuras as linhas contínuas (tracejadas) representam o EXP01 (MSPPS), a cor preta representa o canal 23,8 GHz, a vermelha o canal 31,4 GHz e o canal 50,3 GHz é representado pela cor azul.

Os histogramas de frequência da emissividade para todos os horários e canais, de forma geral, mostram uma superestimativa da emissividade simulada com relação ao produto de emissividade do MSPPS. Entre os canais simulados no EXP01, linhas contínuas nas figuras, nota-se que nos tipos de cobertura da superfície caracterizados como floresta o canal 50,3 GHz apresenta maior frequência de ocorrência em valores de emissividade menores, quando comparado com os outros dois canais. Nos dados de emissividade estimada por satélite (linhas tracejadas) também observa-se que existem mais pontos em classes com menores valores de emissividade para o canal 50,3 GHz, principalmente quando se analisa o limite superior dos valores de emissividade.

À medida que diminui a densidade da vegetação, isto é, quando não trata-se mais de regiões caracterizadas como florestas, observa-se que ocorre um aumento na frequência de valores de emissividade simulada próximos do limite superior de emissividade (1,0). Essa característica pode ser vista em todos os horários e canais do EXP01, como por exemplo o canal 23,8 GHz (linha preta contínua) na região de Caatinga (Figura 4.1f).

Nas Figuras 4.1 e 4.2, ainda pode-se observar que o comportamento dos histogra-

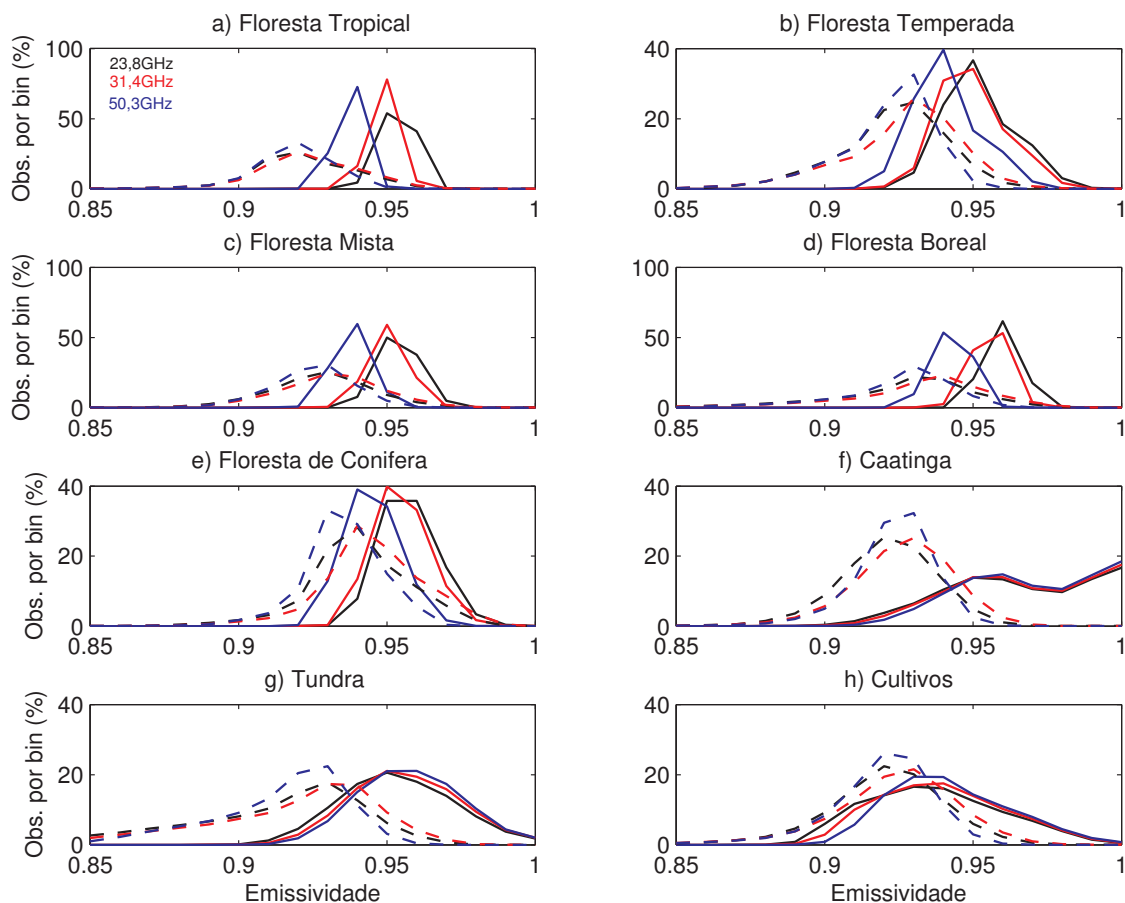
mas de frequência para todos os tipo de cobertura da superfície se aproxima de uma distribuição normal para os dados do MSPPS (linhas tracejadas). Com relação aos dados simulados no EXP01 nota-se essa característica somente nos superfícies caracterizadas como floresta, na tundra e nas regiões de cultivos (linhas contínuas). Essa característica da distribuição da emissividade foi apresentada por [Karbou \(2005\)](#), tanto para o deserto quanto para a floresta.

No comportamento de regiões caracterizadas como floresta tropical (Figura 4.1a), temperada (Figura 4.1b), mista (Figura 4.1c) e boreal(Figura 4.1d) nota-se que os valores simulados de emissividade para os canais 23,8 GHz e 31,4 GHz são maiores que o canal 50,3 GHz. A emissividade tem um máximo de frequência de ocorrência em 0,95 para o canal 23,8 GHz e 31,4 GHz para a floresta tropical, temperada e mista e de 0,96 para as florestas boreal e coníferas. Todos os tipos relacionados à floresta apresentam máximo de ocorrência da emissividade simulada no valor de 0,94 para o canal 50,3 GHz. Enquanto os dados do MSPPS apresentam maior frequência de ocorrência no valor de 0,92 na floresta tropical para os três canais, em 0,93 para todos os canais nas regiões caracterizadas como floresta temperada, mista e floresta boreal (exceto para o canal 31,4 GHz que é 0,94). Os dados do MSPPS sobre floresta conífera (Figura 4.1e) apresentam máximo 0,93 para os canais 23,8 GHz e 31 GHz e em 0,94 para o canal 50,3 GHz.

A emissividade simulada para os três canais analisados em áreas caracterizadas como caatinga apresentam uma máxima frequência de ocorrência em 1,0. Contudo, na Figura 4.1f se observa um segundo máximo para os canais 23,8GHz e 31,4 GHz em 0,95 e 0,96 para o canal 50,3 GHz. Ao passo que para todos os canais os dados do MSPPS apresentam máxima ocorrência é em 0,93 (Figura 4.1f). Nas áreas identificadas como tundra (Figuras 4.1g, a maior parte dos valores simulados no EXP01 nos canais 23,8 GHz e 50,3 GHz estão em valores de 0,93. No canal 31,4 GHz o número maior de observações está no valor de 0,94. Os dados do MSPPS apresentam a máxima frequência de ocorrência em 0,93 para os três canais.

Nas regiões caracterizadas como cultivos (Figura 4.1h) nos canais de 23,8 GHz e 50,3 GHz tem-se que a máxima ocorrência é em valores de 0,93 de emissividade, e de 0,94 para o canal 31,4 GHz. Os dados do MSPPS apresentam comportamento semelhante ao EXP01 com máxima ocorrência em valor menor nos canais 23,8 GHz e 50,3 GHz (0,92) e no canal 31,4 GHz a maior frequência de ocorrência em 0,93 (Figura 4.1h).

Figura 4.1 - Histogramas de frequência da emissividade simulada e da estimada por satélite para o mês de agosto de 2014 referentes às florestas tropical, temperada, mista, boreal e conífera, a caatinga, tundra e cultivo.



A Figura a) representa a floresta tropical, b) floresta temperada, c) floresta mista, d) floresta boreal, e) floresta conífera, f) caatinga, g) tundra e h) cultivos. Os histogramas foram elaborados com classes de 0,01 e foram selecionados entre 0,7 e 1,0, contudo nas figuras só são apresentados os valores de 0,85-1,0 pois abaixo desses valores não há ocorrência de pontos. Linha contínua (tracejada) preta representa o canal 23,8 GHz do EXP01 (MSPPS), vermelha canal 31,4 GHz do EXP01 (MSPPS) e linha azul canal 50,3 GHz do experimento controle (MSPPS).

Fonte: Produção do próprio autor.

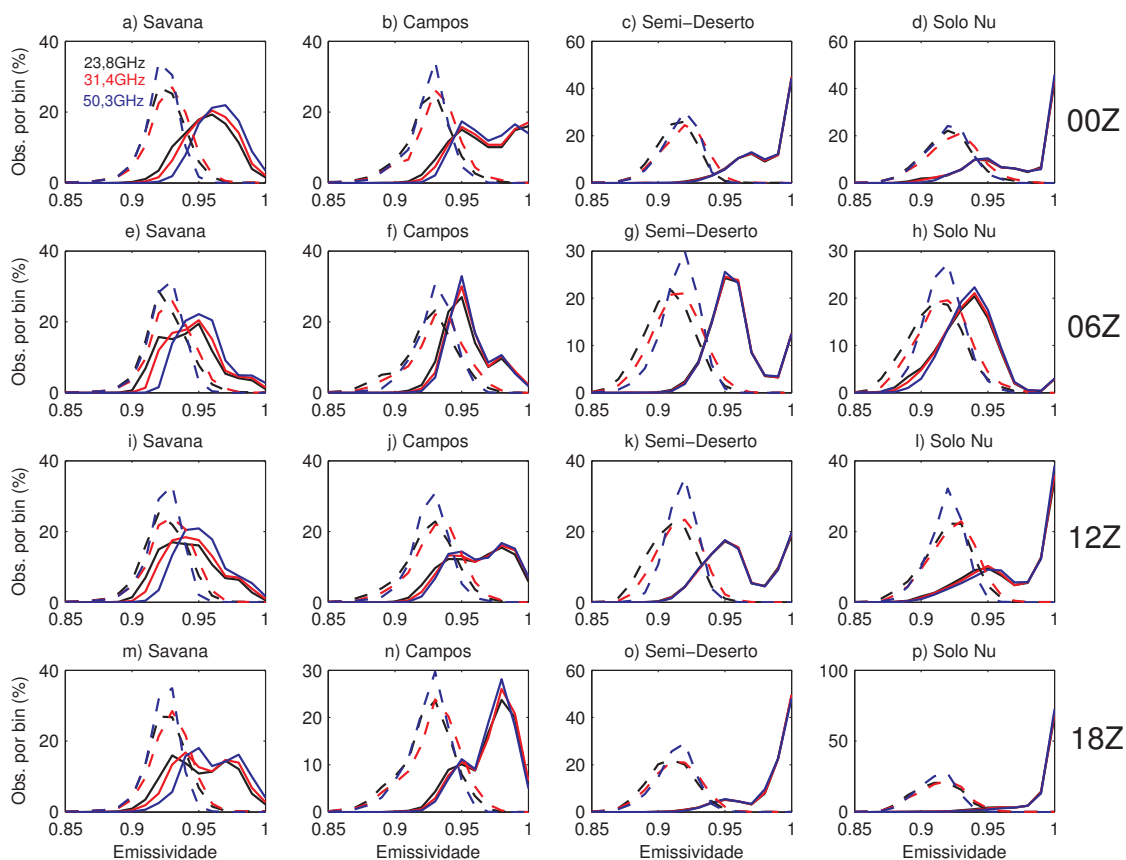
As Figuras 4.2b, 4.2f, 4.2j e 4.2n, representam as regiões com cobertura da superfície caracterizadas como savana, onde no horário das 00Z nota-se que a maior ocorrência da emissividade simulada do EXP01 para os canais 23,8 GHz e 31,4 GHz é em 0,96, e em 0,97 para o canal 50,3 GHz. No horário das 06Z (Figura 4.2f) os três canais apresentam maior frequência de ocorrência no mesmo valor de emissividade 0,95,

às 12Z e 18Z o canal 23,8 GHz tem o máximo em 0,93, o canal 31,4 GHz em 0,94 e o canal 3 em 0,95. Enquanto que os dados do MSPPS (Figuras 4.2b, 4.2f, 4.2j e 4.2n) apresentam, para todos os horários, maior frequência de ocorrência em 0,92 para o canal 23,8 GHz, e em 0,93 para o canal 31,4 GHz. Enquanto que os dados do canal 50,3 GHz mostram maior ocorrência em 0,92 às 00Z e 0,93 nos demais horários. Nas regiões identificadas como campos (Figuras 4.2c, 4.2g, 4.2k e 4.2o), às 00Z os dados simulados (linhas contínuas) para os três canais apresentam dois picos de máxima ocorrência, nos canais 23,8 GHz e o 31,4 GHz há um pico 0,95 e o outro em 1,0. Enquanto no canal 50,3 GHz um em 0,95 e o outro em 0,98, como pode ser observado na Figura 4.1c. Com relação ao horário das 06Z o máximo de frequência dos três canais ocorre em 0,95, ao passo que nos horários das 12Z e 18Z os canais apresentam máxima frequência de ocorrência dos valores de emissividade em 0,98. Nos dados do MSPPS ocorrem mais observações (linhas tracejadas) em 0,93 para todos os canais e horários, exceto para o canal 31,4 GHz às 12Z (0,94).

Ao analisar o comportamento da emissividade simulada sobre o semi-deserto, Figuras 4.2a, 4.2e, 4.2i e 4.2m, nota-se que todos os canais para os horários das 00Z, 12Z e 18Z apresentam valor preferencial de ocorrência em 1,0, para as 06Z a maior ocorrência é em 0,95. Com relação aos dados estimados por satélite (linhas tracejadas) o canal 23,8 GHz apresenta maior frequência em 0,92 às 00Z e de 0,91 nos outros horários. Enquanto os canais 31,4 GHz e 50,3 GHz apresentam os maiores valores de ocorrência em 0,92 em todos os horários, exceto o canal 31,4 GHz às 18Z com maior frequência no valor de 0,91.

As características da emissividade simulada para regiões de solo nu, Figuras 4.2c, 4.2g, 4.2k e 4.2o, é semelhante ao de semi-deserto, isto é, maior frequência de ocorrência de valores de emissividade em 1,0 para os horários das 00Z, 12Z e 18Z, e de 0,94 para o horário das 06Z, esse comportamento é notado nos três canais analisados. Os dados de emissividade do MSPPS em solo nu mostram que para o canal 23,8 GHz nos horários das 00Z e 12Z a maior ocorrência é em 0,92 e nos outros horários em 0,91. No canal 31,4 GHz há uma diferença entre os mesmos horários do canal 23,8 GHz, isto é, às 00Z e 12Z o máximo ocorre em 0,93 e às 06Z e 18Z em 0,92. No canal 50,3 GHz o valor de maior frequência de ocorrência é em 0,92 para todos os horários.

Figura 4.2 - Histogramas de frequência da emissividade simulada e da estimada por satélite para o mês de agosto de 2014 referente à savana, campos, semi-deserto e solo nu para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z.



Os histogramas nas figuras de a à d representam o horário das 00Z, de e à h o horários das 06Z, as figuras de i a l o das 12Z e as figuras de m a p o horários das 18Z. A primeira coluna de figuras representa a savana, a segunda o campos, a terceira o semi-deserto e a coluna mais a direita o solo nu. Os histogramas foram elaborados com classes de 0,01 e foram selecionados entre 0,7 e 1,0, contudo nas Figuras só são apresentados os valores de 0,85-1,0 pois abaixo desses valores não há ocorrência de pontos. Linha contínua (tracejada) preta representa o canal 23,8 GHz do EXP01 (MSPPS), vermelha canal 31,4 GHz do EXP01 (MSPPS) e linha azul canal 50,3 GHz do experimento controle (MSPPS).

Fonte: Produção do próprio autor.

A Tabela 4.1 sumariza o comportamento da média (desvio padrão) das diferenças entre o produto de emissividade do MSPPS e o experimento controle (EXP01) para todos os horários, isto é, um reflexo dos histogramas descrito nas Figuras 4.1 e 4.2. A ordem de grandeza das diferenças é pequena. Contudo, como apresentado anteriormente e discutido em Yan e Weng (2011) erros na ordem de 0,04 na emissividade

de canais com transmitância alta, canais analisados, sobre regiões de solo nu não podem ser negligenciados. Isto porque ocasionam grandes erros na simulação da T_B , que é o uso final da emissividade simulada. Na Tabela 4.1 estão destacados os valores que excedem o 0,04. Os valores de desvio padrão são altos, porém, Prigent et al. (2015) também mostram valores de desvio padrão nessa mesma ordem de grandeza, em alguns casos até superiores.

Tabela 4.1 - Média mensal (Agosto/2014) da diferença entre a emissividade estimada por satélite e a simulada no EXP01 para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz. Os valores entre parenteses se refere ao desvio padrão. Os valores em negrito se referem a diferenças absolutas maiores ou iguais a 0.04.

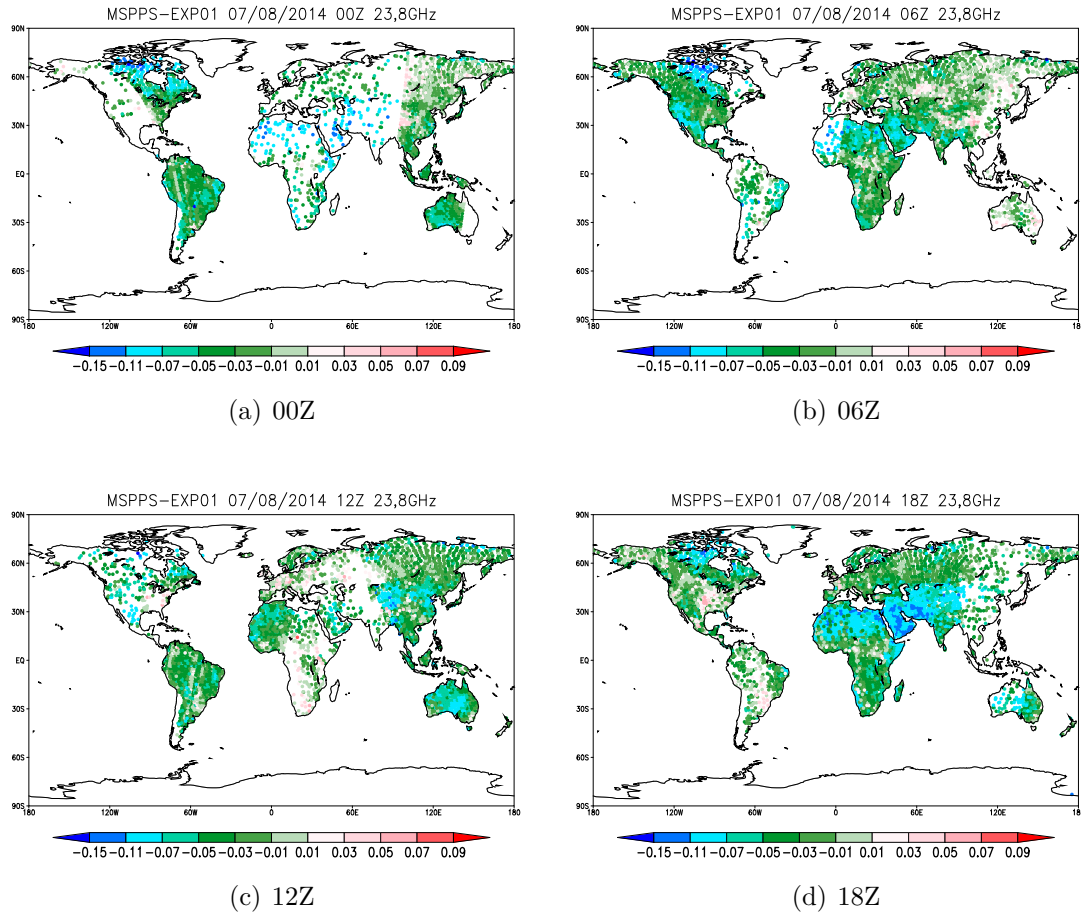
Tipos de Cobertura	EXP01		
	23,8 GHz	31,4 GHz	50,3 GHz
1 - Floresta Tropical	-0.031 (0.020)	-0.026 (0.021)	-0.018 (0.017)
2 - Floresta Temperada	-0.029 (0.022)	-0.024 (0.023)	-0.020 (0.021)
3 - Floresta Mista	-0.026 (0.020)	-0.019 (0.020)	-0.014 (0.017)
4 - Floresta Boreal	-0.033 (0.026)	-0.025 (0.027)	-0.019 (0.022)
5 - Floresta de Conífera	-0.017 (0.021)	-0.010 (0.022)	-0.010 (0.019)
6 - Savanas	-0.023 (0.027)	-0.024 (0.026)	-0.035 (0.023)
7 - Campos	-0.038 (0.031)	-0.035 (0.031)	-0.039 (0.028)
8 - Caatinga	-0.045 (0.031)	-0.041 (0.031)	-0.046 (0.029)
9 - Semi-Deserto	-0.063 (0.030)	-0.058 (0.031)	-0.058 (0.031)
10 - Tundra	-0.042 (0.039)	-0.039 (0.038)	-0.044 (0.032)
11 - solo nu	-0.049 (0.040)	-0.047 (0.040)	-0.051 (0.038)
12 - Cultivos	-0.017 (0.030)	-0.017 (0.031)	-0.024 (0.029)

Prigent et al. (2015) realizaram uma avaliação entre a emissividade simulada pelo CRTM e a do TELSEM para floresta tropical, pastagem, deserto, neve e gelo, e avaliaram os canais do sensor *Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS* (AMSR-E). Os autores notaram que existe uma diferença maior na polarização horizontal do que na vertical para o canal 23,8 GHz. Eles encontraram que a diferença na horizontal (vertical) é de 0,102 (0) para regiões de deserto, de 0,019 (0,007) para floresta tropical e de 0,014 (-0,007) para campos. Os autores também encontraram valores de desvio padrão de 0,033 para o canal 23,8 GHz para a floresta, e 0,026 para o deserto, para polarização vertical. Como o mapa de cobertura da superfície utilizado pelos autores foi diferente do presente estudo, algumas regiões podem ser classificadas de forma diferente. Nesta pesquisa os valores de desvio padrão para a floresta foi de 0,02, contudo para regiões de solo nu foi de 0,04. Essas diferenças mai-

ores em regiões de deserto também foram descritas em Prigent et al. (2008), Ferraro et al. (2013), Tian et al. (2014) e Ringerud et al. (2014). Segundo Ferraro et al. (2013) esse tipo de superfície não corresponde apenas grandes diferença entre emissividade modelada e derivadas de satélites, mas também a variabilidade significativa entre os modelos e as diferentes fontes de emissividades derivadas de satélite.

As Figuras 4.3a-4.3d apresentam a distribuição espacial das diferenças entre o MSPPS e o experimento controle para o dia 07/08/2014. Nessas figuras estão presentes todos os sensores/satélites utilizados na elaboração dos histogramas de frequência. Pelos histogramas (Figuras 4.1 e 4.2), pela Tabela 4.1, assim como, pelas Figuras 4.3a-4.3d pode-se observar que a emissividade simulada pelo experimento controle é superestimada quando comparada com uma referência. Na Figura 4.3a, para as 00Z do dia 07/08/2014, por exemplo, sobre todo o mapa ocorre predominância negativa, com maiores diferenças negativas sobre o Norte da África e Península Ibérica.

Figura 4.3 - Diferença entre o produto de emissividade da superfície terrestre em microondas e a emissividade simulada no EXP01 para o canal 23,8 GHz referente ao dia 07/08/2014.



a) diferença da emissividade do MSPPS e a do experimento às 00Z, Figura b) às 06Z, a c) 12Z e a Figura d) 18Z. As figuras foram criadas utilizando as mesmas informações dos histogramas.

Fonte: Produção do próprio autor.

Na avaliação da emissividade do EXP01 contra os dados do MSPPS foram avaliadas todas as observações, independente do uso dessas dentro do sistema de assimilação.

Sobre os diferentes tipos de cobertura nota-se que a emissividade simulada pelo experimento EXP01 superestima a emissividade em relação aos dados estimados por satélite em todos horários e canais. Sobre a caatinga, semi-deserto e solo nu nota-se que há uma porcentagem alta de frequência de valores de emissividade de 1,0. Isso pode estar ocorrendo devido ao modelo de emissividade utilizado ter um limitador

que quando o valor de emissividade for maior que um (1,0) o modelo atribui que a emissividade é 1,0. Valores de emissividade maiores que 1,0 podem estar associados a uma representação errônea das variáveis de superfície utilizadas para simular essa propriedade, isto é, uma representação errada da temperatura da superfície, umidade do solo, temperatura do solo, entre outras. Sobre esta perspectiva, posteriormente, são avaliadas as características da temperatura da superfície e da umidade do solo utilizadas no EXP01, isto é, simuladas pelo modelo BAM em conjunto com o modelo de superfície SSiB.

Deste modo, nota-se que o EXP01 tem a tendência a superestimar a emissividade simulada no micro-ondas para os canais do sensor AMSU-A sobre os diferentes tipos de superfície quando comparadas com dados do produto de emissividade. Porém, nota-se que estas são maiores a medida que a vegetação fica mais escassa. Percebe-se ainda que em regiões caracterizadas como caatinga, semi-deserto, tundra e solo nu a diferença, na média, entre os dados do MSPPS e da emissividade simulada são maiores que 0,04. Alguns autores mostraram que esse erro na emissividade em regiões de deserto podem ocasionar erros acima de 3K na simulação da T_B . Os dados simulados no EXP01 não apresentam característica de emissividade maior nas regiões de floresta quando comparada com regiões de deserto, como foi apresentado por Karbou (2005).

O comportamento da emissividade simulada pelo sistema GSI-BAM aponta algumas regiões que deve-se ter mais atenção, visto a superestimativa com relação a uma referência. Contudo, antes de avaliar como estão algumas características da superfície do EXP01 com relação a uma referência, foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar como a variância dos parâmetros/variáveis de entrada do modelo de emissividade contribuem para a variância total do resultado.

4.2 Análise de sensibilidade global

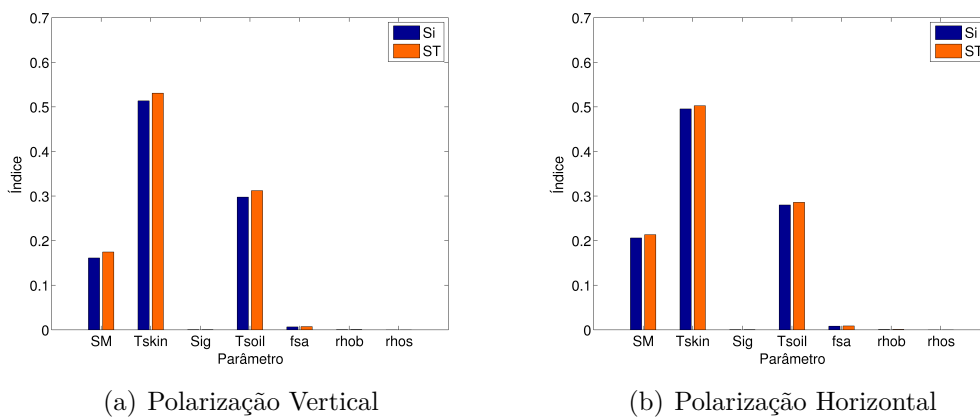
De acordo com os estudos de Weng et al. (2001), Ringerud et al. (2014), Xie et al. (2015), Xie et al. (2017) e Ma et al. (2017) a emissividade da superfície terrestre depende das características da superfície. A análise de sensibilidade foi realizada para identificar quais variáveis/parâmetros a emissividade simulada pelo modelo de emissividade terrestre em micro-ondas (utilizado no contexto da assimilação de dados) é mais sensível. Essa análise foi aplicada para dois tipos de cobertura de superfície, que representam dois extremos, isto é, regiões sem vegetação (solo nu) e regiões com vegetação densa (floresta tropical).

Primeiramente foi aplicado o método Sobol, esse foi utilizado por [Ma et al. \(2017\)](#) para avaliar a emissividade nas frequências de 1.4-10 GHz, e se mostrou efetivo na identificação dos parâmetros/variáveis. A análise será realizada separadamente para os dois tipos de superfície mencionados anteriormente.

4.2.1 Solo nu

Os parâmetros utilizados para o solo nu, como mencionado na metodologia, foram: umidade do solo (SM), temperatura da superfície terrestre (T_{skin}), desvio padrão da rugosidade da superfície (Sig), temperatura do solo (T_{soil}), fração de areia (f_{sa}), densidade total do solo (R_{hob}) e densidade dos sólidos (R_{hos}). O índice de primeira ordem (S_i) e o índice de sensibilidade total (S_T) para a polarização vertical (Figura 4.4a) e horizontal (Figura 4.4b) para a frequência de 23,8 GHz e ângulo zenital 45° mostram que os parâmetros que apresentam valores significativos de S_i e S_T são a T_{skin} , seguida da T_{soil} e da umidade do solo, esse fato é observado para todos os canais e ângulos para os quais a análise foi realizada (figuras não apresentadas). Mesmo que sutilmente, o S_T é maior que o S_i , como é esperado ([CANNAVÓ, 2012](#)), visto que S_T carrega a informação da contribuição individual do parâmetro assim como as interações desse com os outros. Com o índice S_i é possível classificar os parâmetros dos mais aos menos influentes na simulação da emissividade. Desse modo, o parâmetro mais influente é a temperatura da superfície terrestre, seguida da temperatura do solo e da umidade do solo, os outros parâmetros apresentaram S_i próximo de zero.

Figura 4.4 - Índice de Primeira ordem (S_i) e o índice de sensibilidade total (S_T) referente à frequência 23,8 GHz e ângulo zenital de 45° .



Fonte: Produção do próprio autor.

A Tabela 4.2 apresenta o S_i e o S_{Ti} , assim como a classificação dos parâmetros para a frequência 23,8 GHz e ângulo zenital 45°. Essa frequência e ângulo é representativa das outras frequências e ângulos, isto é, a ordem dos parâmetros mais influentes não modifica. Por essa tabela pode-se concluir que o parâmetro Rhos não apresenta influência, os Sig e Rhob apresentam os valores mais baixos, ficando em 6° e 7° na classificação, o fsa aparece em 4°. Em 3° na classificação está a umidade do solo, seguida da temperatura do solo (2°) e da Tskin (1°).

Tabela 4.2 - S_i e S_{Ti} de todos os parâmetros e suas posições na classificação para a frequência de 23,8 GHz e ângulo de 45°.

Parâmetro	Polarização Vertical		Polarização Horizontal		Classificação
	S_i	S_T	S_i	S_T	
Temperatura da superfície (Tskin)	0.5134	0.5307	0.4954	0.5025	1
Temperatura do Solo (Tsoil)	0.2975	0.3121	0.2799	0.2860	2
Umidade do Solo (SM)	0.1612	0.1745	0.2059	0.2134	3
Fração de Areia (fsa)	0.0065	0.0074	0.0082	0.0087	4
Densidade total do solo (Rhob)	0.0006	0.0008	0.0009	0.0011	5
Desvio Padrão da Altura da rugosidade (Sig)	0.0006	0.0007	0.0006	0.0007	6
Densidade dos sólidos (Rhos)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	7

A umidade do solo foi identificada por Ma et al. (2017) como o parâmetro que mais contribui para a variância da emissividade. Os autores também encontraram que a rugosidade da superfície e o comprimento de correlação (não é utilizada no modelo estudado no presente estudo) eram os outros parâmetros que mais contribuíram para a variância da emissividade, vale lembrar que a frequência analisada por esses foi 1,4GHz. No estudo de Ringerud et al. (2014) para a região das Grandes Planícies dos Estados Unidos, os autores realizaram uma análise de sensibilidade simples utilizando o mesmo modelo de emissividade, mantendo alguns parâmetros fixos e modificando somente um e encontraram que a SM contribui para a variação da emissividade. Encontraram também, quando realizada uma análise modificando a Tsoil e mantendo as outras variáveis fixas, uma pequena variação na emissividade (analisaram canais do AMSR-E).

Como mencionado anteriormente para todas as frequências e ângulos analisados a classificação dos parâmetros/variáveis não muda. Contudo, existe uma mudança, mesmo que sutil, no índice S_i dos parâmetros. As Figuras 4.5a-4.5f apresentam a variação do índice de primeira ordem com a frequência e com o ângulo zenital para a polarização vertical (Figuras 4.5a, 4.5c e 4.5e) e para o polarização horizontal (Figuras 4.5b, 4.5d e 4.5f). Nota-se que quando o ângulo zenital é zero as duas pola-

rizações, como esperado, tem o mesmo comportamento quando analisa-se a mesma frequência. Para a variável T_{skin} o comportamento é semelhante entre as duas polarizações quando analisa-se a variação entre as frequências e mantém-se o mesmo ângulo: a medida que a frequência aumenta o índice S_i também aumenta. Contudo, ao se analisar a variação do ângulo dentro da mesma frequência percebe-se que na polarização vertical existe uma variação no valor do índice S_i , Figura 4.5a, que não é notada na polarização vertical, Figura 4.5b.

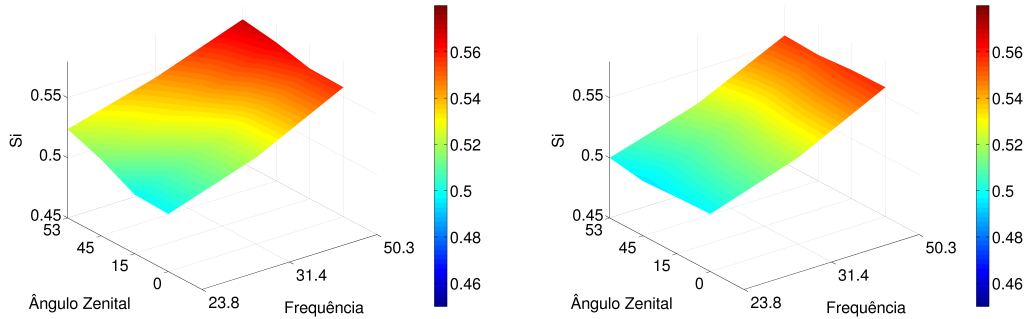
A temperatura do solo, T_{soil} , também apresenta diferenças entre as duas polarizações, como pode ser notado nas Figuras 4.5c e 4.5d. Nas duas polarizações quando analisa-se o mesmo ângulo e as diferentes frequências percebe-se que há uma diminuição entre a frequência de 23,8 GHz e a de 31,4 GHz e depois ocorre um aumento do índice na frequência de 50,3GHz. Contudo, quando se avalia a mesma frequência e o ângulo variando nota-se que na vertical existe uma diferença entre os maiores e menores ângulos, isto é, a medida que o ângulo aumenta ocorre um aumento do índice, fato observado em todas as frequências, Figura 4.5c. Já na horizontal, ocorre uma diminuição do índice S_i nos ângulos 15° e 45° e um aumento do índice no ângulo de 53°.

A variação do índice S_i também foi verificada para a umidade do solo, SM , considerando o mesmo ângulo e variando a frequência, o comportamento é semelhante nas duas polarizações, isto é, a medida que a frequência aumenta o índice diminui.

Quando analisa-se a mesma frequência e modifica-se o ângulo percebe-se que na polarização vertical em todas as frequências analisadas ocorre um aumento entre o ângulo de 0° e 15° e depois uma diminuição do índice para ângulo maior que 15°. Na polarização horizontal o índice aumenta nos ângulos 15° e 45° e diminui no ângulo de 53°, que ocorre o contrário da avaliação do T_{soil} para essa mesma polarização.

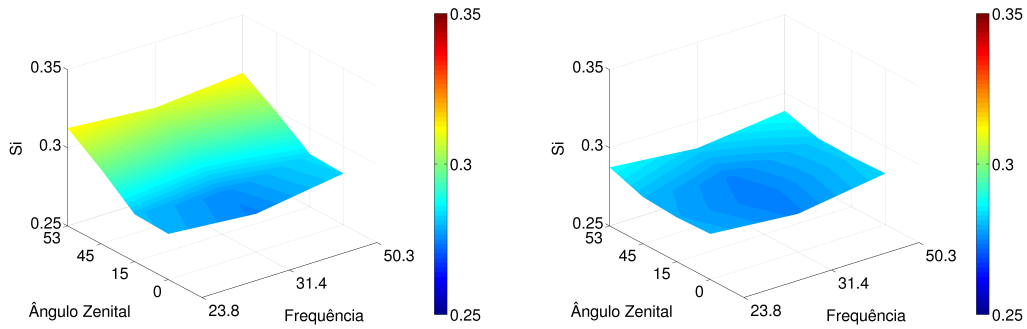
O índice S_T apresenta o mesmo comportamento do S_i para todos os parâmetros analisados, assim como para os dois tipos de polarização, por esse motivo não foram apresentadas as figuras referentes à variação do S_T .

Figura 4.5 - Índice de Primeira ordem (S_i) referente à polarização vertical e horizontal para os parâmetros/variáveis relacionados ao solo nu aos quais o modelo de emissividade é mais sensível.



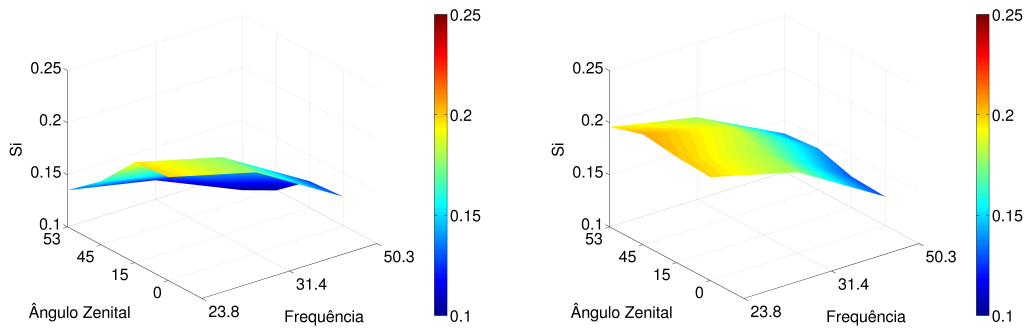
(a) S_i do Tskin PV.

(b) S_i do Tskin PH.



(c) S_i do Tsoil PV.

(d) S_i do Tsoil PH.



(e) S_i do SM PV.

(f) S_i do SM PH.

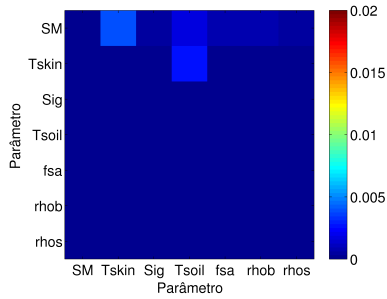
PV representa a polarização vertical e PH a horizontal

Fonte: Produção do próprio autor.

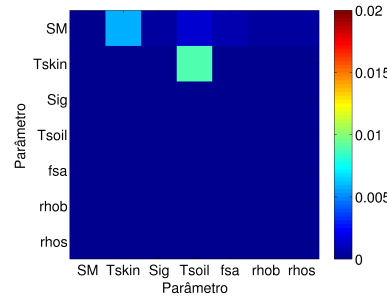
O índice de segunda ordem do Sobol (S_{ij}) representa o quanto da variância conjunta

entre dois parâmetros é responsável pela variância da saída do modelo (variância na simulação da emissividade). As Figuras de 4.6a a 4.6f apresentam a interação entre os parâmetros na polarização vertical. A interação na polarização horizontal foi inferior a vertical (figura não apresentada). Os maiores valores de índice de segunda ordem estão na frequência de 50.3 GHz e no ângulo 53° (Figura 4.6f) entre a T_{skin} e T_{soil} , para as outras frequências essa também é a maior interação contudo os valores são menores que na frequência de 50,3 GHz, como pode ser notado nas Figuras 4.6a, 4.6c e 4.6d. Nota-se ainda que a medida que o ângulo aumenta a interação entre os parâmetros também aumenta nas duas frequências analisadas, e mais evidente na 50,3GHz. O S_{ij} mostra também que ocorre interação entre a umidade do solo e a T_{skin} . A interação entre a SM e a temperatura do solo ocorre de forma mais fraca.

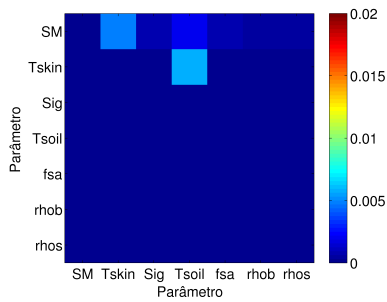
Figura 4.6 - Índice de Segunda Ordem para as frequências de 23,8 GHz e 50,3 GHz, nos ângulos de 0°, 45° e 53° para polarização vertical. Índice referente ao solo nu.



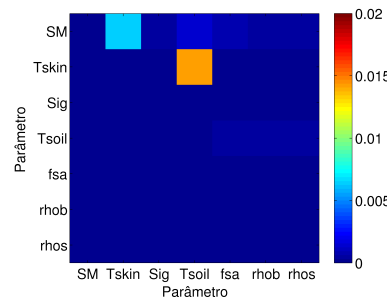
(a) 23,8 GHz Polarização V 0°



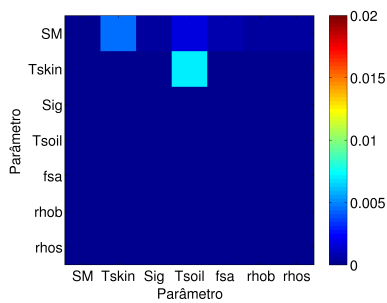
(b) 50,3 GHz Polarização V 0°



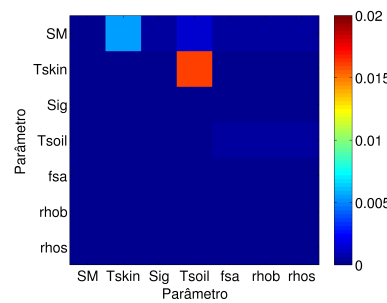
(c) 23,8 GHz Polarização V 45°



(d) 50,3 GHz Polarização V 45°



(e) 23,8 GHz Polarização V 53°



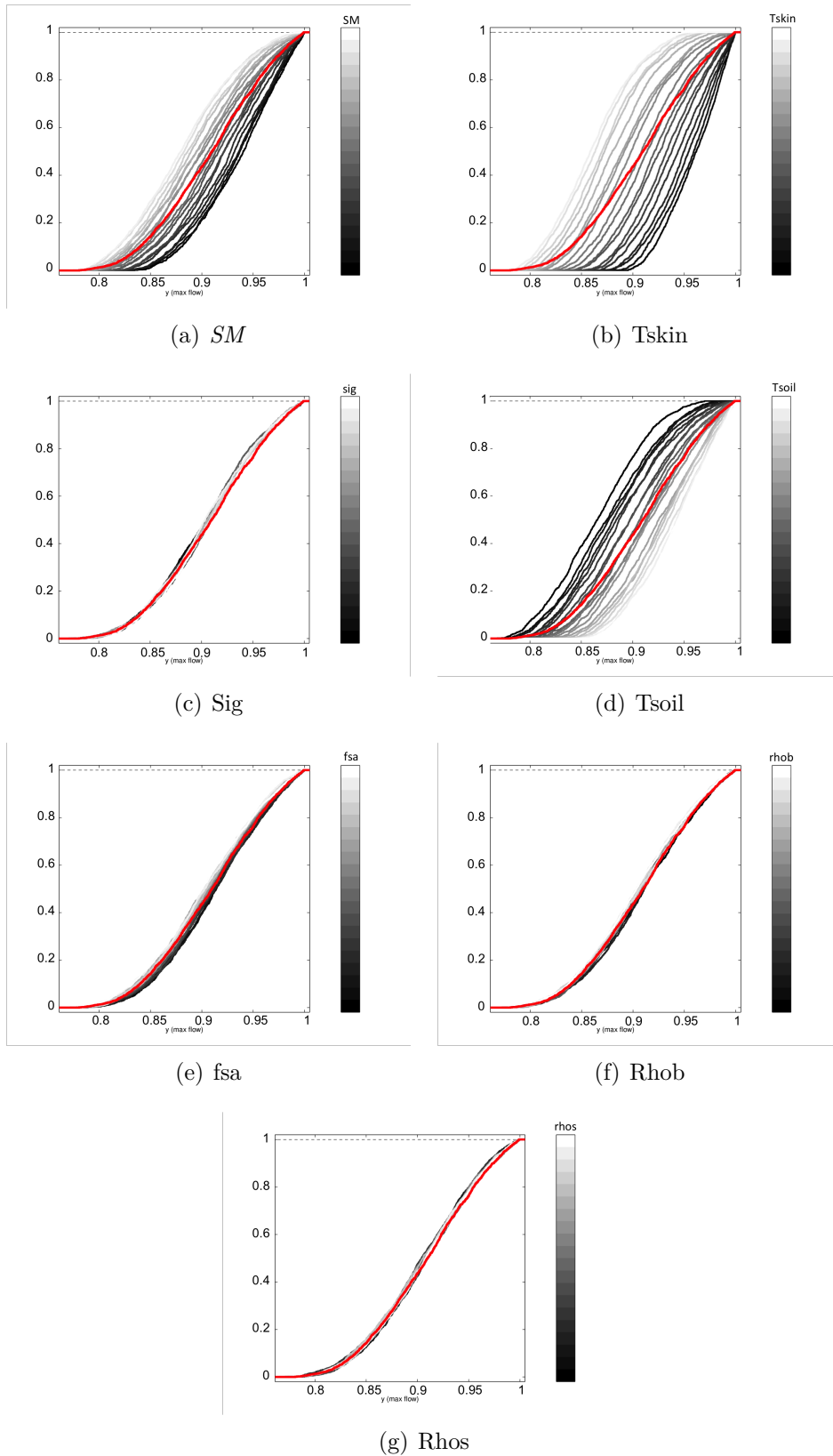
(f) 50,3 GHz Polarização V 53°

Fonte: Produção do próprio autor.

Por causa das características do modelo de emissividade em regiões de solo nu, isto é, uma frequência alta de valores em 1,0, a análise utilizando o índice PAWN foi em-

pregada para verificar se esse acúmulo de valores simulados em 1,0 não prejudicaria a classificação dos parâmetros/variáveis mais importantes para a condição de solo nu encontradas pelo método Sobol. As Figuras 4.7a-4.7g apresentam as CDFs para os mesmos sete parâmetros utilizados na análise baseada na variância. Através das CDFs pode-se notar que as maiores variações das CDFs empíricas condicionais (linhas cinzas) com relação a empírica incondicional, ocorre na umidade do solo (SM), na temperatura da superfície terrestre (T_{skin}) e na temperatura do solo (T_{soil}), enquanto as outras variáveis não apresentam mudanças representativas entre as CDFs. O comportamento da frequência 23,8 GHz, ângulo zenital 45° e polarização vertical é representativo dos outros ângulos e frequências, por esse motivo as outras figuras não foram apresentadas.

Figura 4.7 - Distribuição empírica incondicional (linhas vermelha) e condicional (linhas cinzas) da simulação do modelo. As figuras referem-se à frequência de 23,8 GHz, ângulo zenital de 45° e polarização vertical.



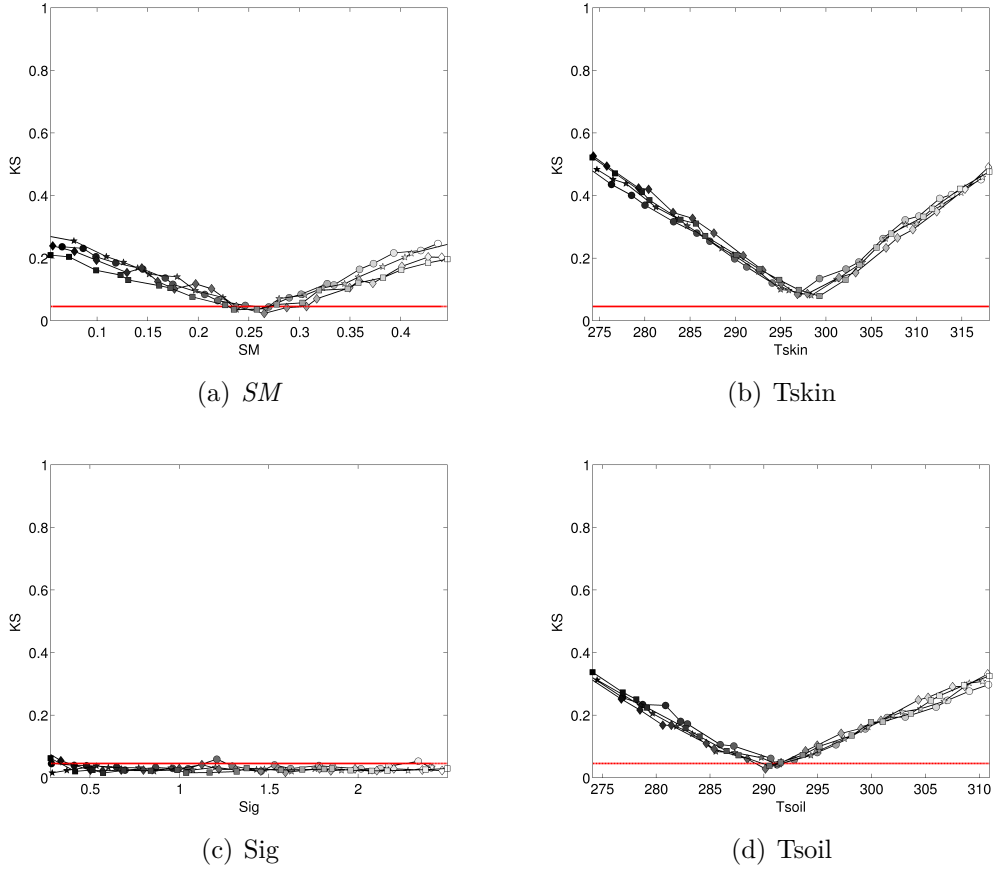
Fonte: Produção do próprio autor.

O comportamento das CDFs dos diferentes parâmetros/variáveis fornece uma análise qualitativa e não quantitativa dos parâmetros que influenciam a simulação da emissividade. Desse modo, foram avaliados os valores do KS (que representa o índice PAWN) para os 20 valores utilizados para construir a CDF empírica condicional. As Figuras 4.8a-4.8d representam a frequência de 23,8 GHz e mostram o KS calculado para 20 valores condicionais de cada parâmetro, a linha vermelha representa o KS crítico com nível de confiança de 0,05. O eixo x de cada figura representa os valores do parâmetro utilizado para o cálculo da CDF condicional, e o eixo y os valores de KS. As linhas com círculo referem-se o ângulo zenital de 0° , as com estrelas o de 15° , a com losango o de 45° e a linha com quadrados o ângulo zenital de 53° . Quando as linhas, que representa os n valores dos parâmetros, estão acima da linha que representa o KS-crítico indica que o parâmetro tem influência na simulação da emissividade em todos os casos analisados. Desse modo a hipótese de que a CDF condicional e incondicional são iguais é nula, caso representado pelo Tskin (4.8b).

A Figura 4.8a apresenta o comportamento do KS para os n valores da umidade do solo. Nessa figura nota-se que para todos os ângulos a hipótese de que as CDFs são diferentes não falha em 15%, CDF condicional e incondicional são iguais. Contudo, na maioria dos casos, o resultado mostra que o parâmetro influencia na simulação da emissividade. No caso da temperatura do solo (Figura 4.8d), nota-se que em pelo menos um valor dos n do parâmetro utilizado para construir a CDF, o Tsoil não é influente, observado para todos os ângulos. Porém, em 95% dos casos os valores de KS estão acima do valor crítico, representando assim que a Tsoil também apresenta influência na simulação da emissividade em MO.

As linhas que estão sobre ou abaixo do KS-crítico demonstram que esses parâmetros não influenciam a simulação da emissividade. Assim, os parâmetros Sig, fsa, Rhob e Rhos, não apresentam influência na simulação da emissividade, pois em mais de 90% dos casos estão abaixo do KS-crítico ou sobre essa linha. As Figuras 4.8d, 4.9a, 4.9b e 4.9c, representam o comportamento dos parâmetros citados.

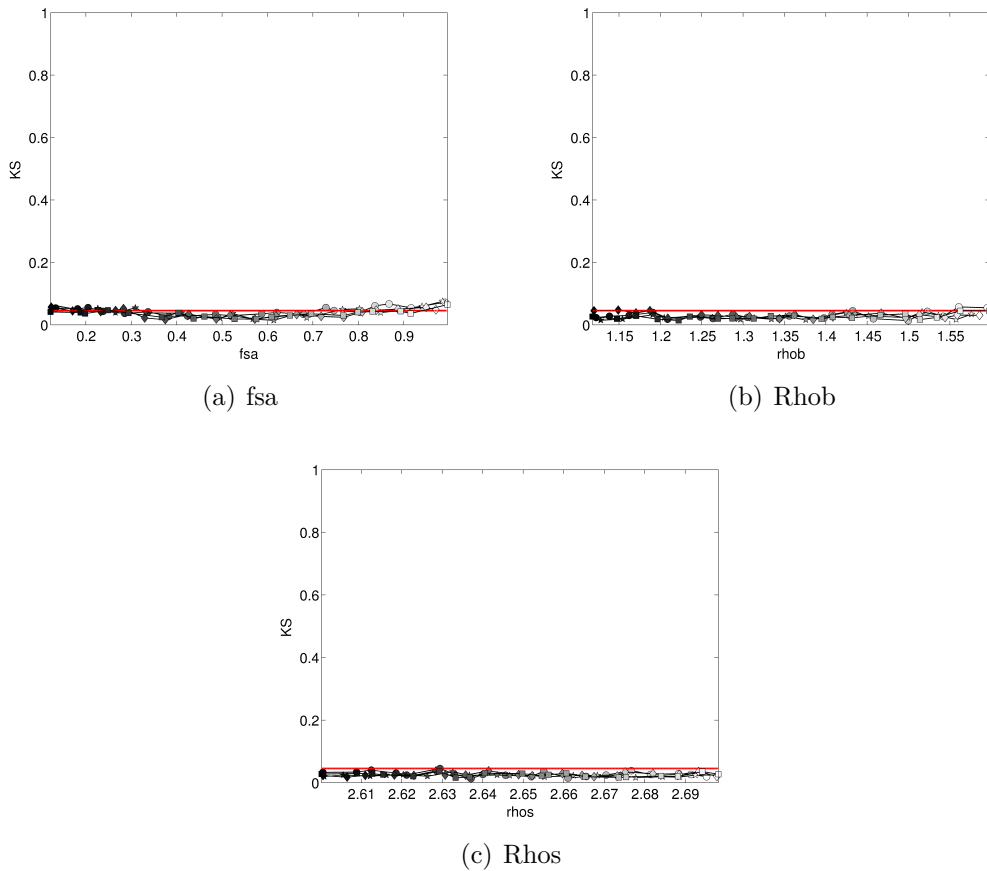
Figura 4.8 - Estatística do Kolmogorov-Smirnov (KS) para os valores condicionais x_i dos parâmetros SM , T_{skin} , Sig e T_{soil} . As figuras referem-se à frequência de 23,8GHz.



As linhas com círculo representam o ângulo zenital de 0° , com estrela o ângulo de 15° , losango o de 45° e com quadrados o ângulo zenital de 53° . A linha vermelha representa o KS crítico com nível de confiança de 0,05.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4.9 - Mesmo que a Figura 4.8 para os parâmetros fsa, Rhob e Rhos.



Mesma que da Figura 4.8.

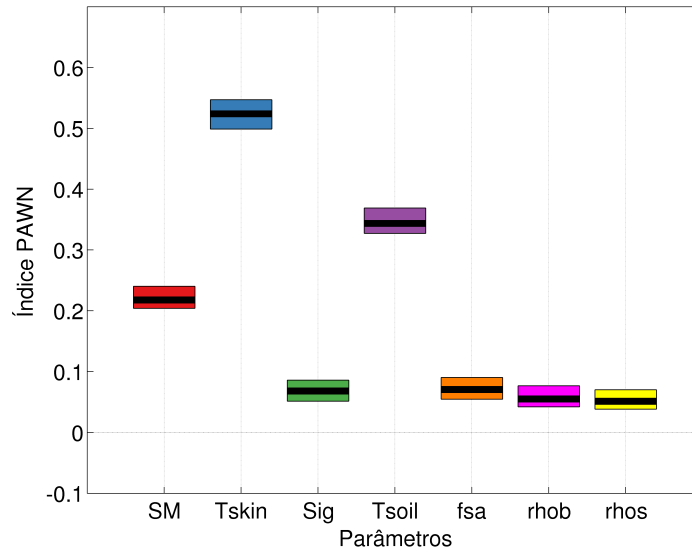
Fonte: Produção do próprio autor.

Do mesmo modo que para a análise de sensibilidade baseada na variância, pelo índice de sensibilidade PAWN os parâmetros que mais influenciam na simulação da emissividade em micro-ondas nas frequências e ângulos estudados podem ser classificados do mais ao menos influente, o mais é a T_{skin} , seguida da T_{soil} e da umidade do solo, os outros parâmetros como apresentado na análise anterior são não influentes para a simulação da emissividade nas condições estudadas.

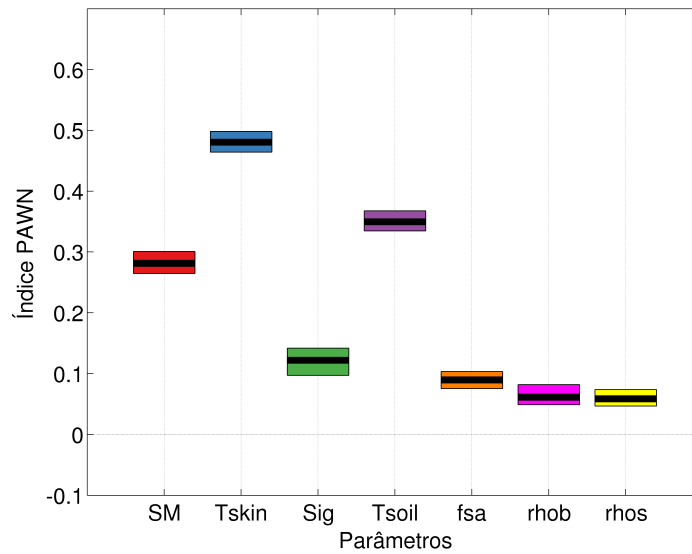
As Figuras 4.10 apresentam o índice a partir de uma reamostragem do conjunto dos parâmetros (100), com nível de confiança de 0,05. A Figura 4.10a apresenta o índice e seus limites superior e inferior para a frequência de 23,8 GHz ângulo 53° polarização vertical e Figura 4.10b horizontal. Por essas figuras percebe-se que não ocorrem grandes diferenças entre os valores do índice, isto é, não há diferenças entre o limite superior e inferior. Para todos os canais estudados o comportamento é semelhante

quando se trata da ordem dos parâmetros, isto é, para as três frequências e para as duas polarizações a ordem de classificação é a mesma. Contudo, a medida que se aumenta a frequência o índice do Tskin aumenta e da umidade do solo diminui (figuras não apresentadas), o mesmo comportamento foi observado para o índice de primeira ordem do Sobol.

Figura 4.10 - Índice de sensibilidade PAWN para a frequência de 23,8 GHz, polarização vertical e horizontal, e ângulo de 53°.



(a) 23,8 GHz PV



(b) 23,8 GHz PH

As linhas pretas nas caixas representam o valor médio do KS e as caixas representam o intervalo de confiança obtido com a reamostragem. PV representa a polarização vertical e PH a horizontal.

Fonte: Produção do próprio autor.

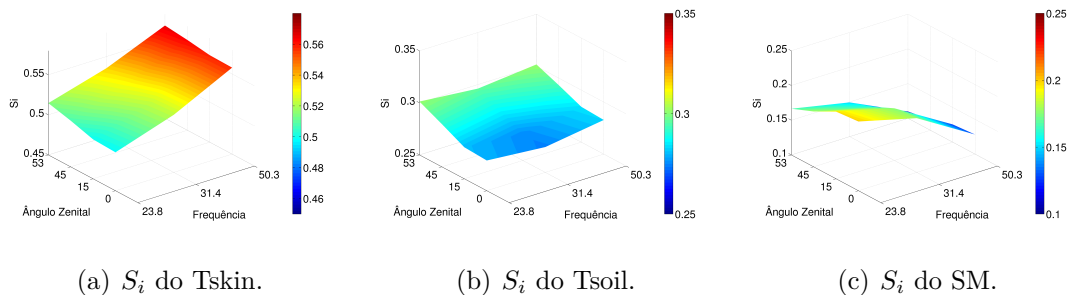
Para emissividade simulada com o modelo descrito em Weng et al. (2001) nas

frequências e ângulos zenitais estudados, os parâmetros/variáveis aos quais o modelo é mais sensível são: temperatura da superfície terrestre (Tskin), temperatura do solo (Tsoil) e umidade do solo (SM). Com a avaliação do índice PAWN pode-se também concluir que a alta frequência de ocorrência de valores com emissividade simuladas com valor 1,0 na análise de sensibilidade baseada na variância não prejudicou o cálculo do índice, pois esse apresentou concordância com a análise do índice PAWN.

Quando as frequências de 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz são associadas ao sensor AMSU-A a emissividade do canal é uma combinação das duas polarizações, exceto no nadir (ângulo zenital 0° e a polarização destes canais é vertical, em função do tipo de varredura do sensor). Como apresentado nas equações 2.7 e 2.8 a emissividade depende das duas polarizações, desse modo também foi realizada a análise de sensibilidade do Sobol utilizando a emissividade resultante da equação 2.7, onde as emissividades $\epsilon_{V,H}$ são as provenientes do modelo de emissividade.

A classificação dos parâmetros foi a mesma encontrada nas polarizações individuais (figura não apresentada). Enquanto a variação dos índices em relação aos canais e os ângulos zenitais apresenta o comportamento próximo ao encontrado para a polarização vertical para os três principais parâmetros, como pode ser observados nas Figuras 4.11a-c.

Figura 4.11 - Índice de Primeira ordem (S_i) para os parâmetros/variáveis aos quais o modelo de emissividade combinando as duas polarizações é mais sensível.



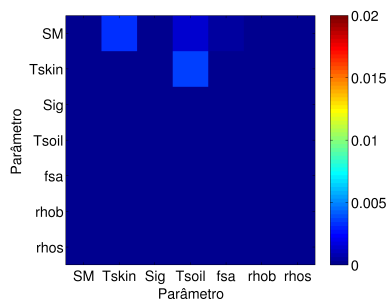
Fonte: Produção do próprio autor.

O índice de segunda ordem também foi avaliado com relação a combinação das duas polarizações. Na frequência de 23,8 GHz a interação entre os parâmetros é menor do que quando foram avaliadas as duas polarizações separadamente. Nas Figuras 4.12a,

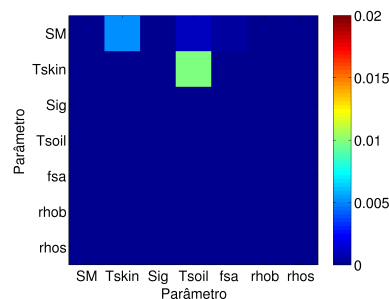
4.12c e 4.12d, frequência 23,8 GHz na polarização vertical, não se observava um aumento do índice a medida que o ângulo aumenta, característica que era observada anteriormente. Na frequência de 50,3 GHz os valores do índice para a combinação das duas polarizações são menores do que as polarizações separadas, para todos os ângulos avaliados. Para a frequência de 31,4 GHz, os valores dos índices encontrados foi intermediários das outras duas frequências.

Com isso, a combinação das duas polarizações não modifica a ordem de influência dos parâmetros na emissividade. Porém, a interação entre esses é alterada e os índices de segunda ordem são menores. O índice PAWN mostra o mesmo comportamento das polarizações separadas quando essas são combinadas, por esse motivo não foi apresentado.

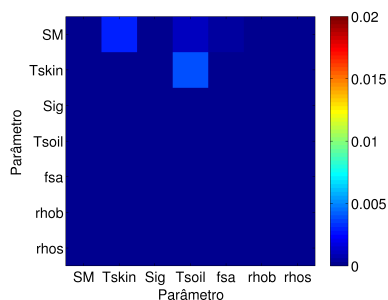
Figura 4.12 - Índice de Segunda Ordem para as frequências de 23,8 GHz e 50,3 GHz, nos ângulos de 0° , 45° e 53° para polarização vertical. Índice referente ao solo nu.



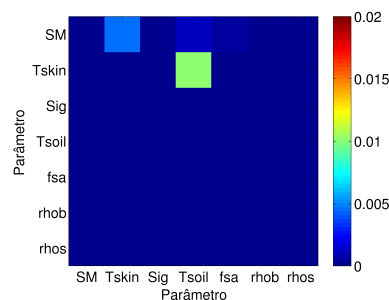
(a) 23,8 GHz 0°



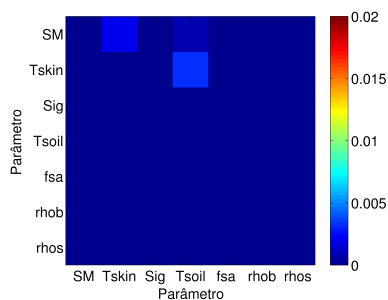
(b) 50,3 GHz 0°



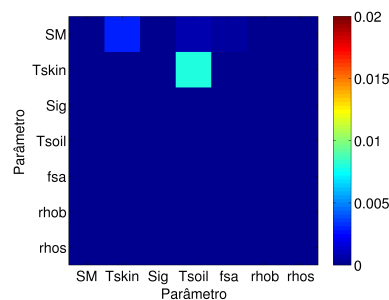
(c) 23,8 GHz 45°



(d) 50,3 GHz 45°



(e) 23,8 GHz 53°



(f) 50,3 GHz 53°

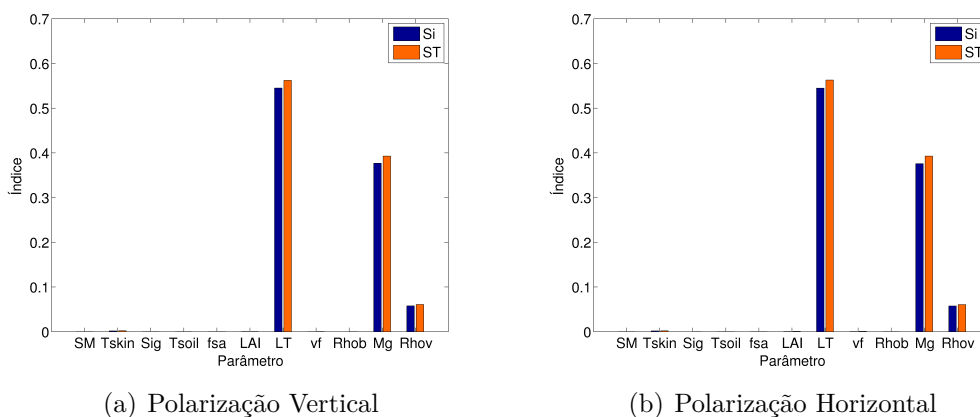
Fonte: Produção do próprio autor.

4.2.2 Floresta tropical

A mesma análise realizada para superfícies que podem ser caracterizadas como solo nu, também foi realizada para superfície com características de floresta tropical. As variáveis/parâmetros utilizadas na análise de sensibilidade foram: espessura da folha (LT), índice de área foliar (LAI), fração de vegetação (vf), conteúdo gravimétrico de água do dossel (Mg), densidade da vegetação (Rhov), além das utilizadas para o solo nu (exceto densidade dos sólidos). Esses parâmetros representam a ótica da vegetação dentro do modelo de emissividade.

As Figuras 4.13a e 4.13b apresentam o índice de primeira ordem (S_i), barra azul, e o índice de sensibilidade total (S_T), barra laranja, para a frequência de 23,8 GHz, ângulo de 45° para a polarização vertical (Figura 4.13a) e horizontal (Figura 4.13b). Essas figuras mostram que os parâmetros que mais explicam a variância da emissividade simulada são a espessura da folha, o conteúdo gravimétrico de água no dossel e a densidade da vegetação. Os dois índices analisados nessas figuras apresentam variação entre as frequências, ângulos e polarizações. Contudo, a classificação dos índices não modifica com essa variação. Desse modo, as Figuras 4.13a e 4.13b são representativas de todos os experimentos realizados para a floresta tropical.

Figura 4.13 - Índice de Primeira ordem (S_i) e índice de sensibilidade total (S_T) referente à frequência 23,8 GHz e ângulo zenital de 45°.



Fonte: Produção do próprio autor.

A Tabela 4.3 apresenta os índices S_i e S_{T_i} e a classificação dos parâmetros para a floresta tropical. Do mesmo modo que a Figura 4.13 a Tabela se refere à frequência

de 23,8 GHz, ângulo de 45° e polarização vertical. Nessa tabela a classificação (do mais para o menos influente) dos parâmetros é: *LT*, *Mg*, *Rhov*, *Tskin*, *LAI*, *vf*, *SM* e os parâmetros restantes apresentam índice igual a zero. Os índices referentes ao *Tskin*, *LAI* e *SM* apresentam valores baixos, quando comparado com os três mais influentes.

Tabela 4.3 - S_i e S_{Ti} de todos os parâmetros e suas posições na classificação para a frequência de 23,8 GHz e ângulo de 45°.

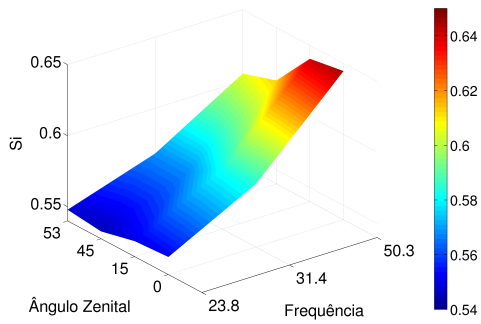
Parâmetro	Polarização Vertical		Polarização Horizontal		Classificação
	S_i	S_T	S_i	S_T	
Espessura da folha (<i>LT</i>)	0.5451	0.5622	0.5448	0.5630	1
Conteúdo Gravimétrico de água (<i>Mg</i>)	0.3769	0.3927	0.3759	0.3929	2
Densidade da Vegetação (<i>Rhov</i>)	0.0579	0.0609	0.0576	0.0608	3
Temperatura da superfície (<i>Tskin</i>)	0.0018	0.0022	0.0017	0.0021	4
Índice de Área foliar (<i>LAI</i>)	0.0003	0.0005	0.0005	0.0007	5
fração de vegetação (<i>vf</i>)	0.0001	0.0005	0.0003	0.0007	6
Umidade do solo (<i>SM</i>)	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	7
Fração de Areia (<i>fsa</i>)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	8
Temperatura do solo (<i>Tsoil</i>)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	9
Desvio Padrão da Altura da rugosidade (<i>Sig</i>)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10
Densidade total do solo (<i>Rhob</i>)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	11

Como mencionado, o índice S_i apresenta comportamento semelhante nas diferentes frequências e ângulos. Contudo, há uma variação, mesmo que pequena, dentro da mesma frequência ou ângulo. Assim, a avaliação da variação do S_i para os parâmetros *LT*, *Mg* e *Rhov* foi realizada. As Figuras 4.14a-4.14f mostram essa variação. Primeiramente, nas Figuras 4.14a e 4.14b percebe-se que para as duas polarizações o comportamento é semelhante. Deste modo, para o *LT* o índice de sensibilidade de primeira ordem, quando fixa-se um determinado ângulo, por exemplo o 0°, aumenta a medida que a frequência aumenta. Nas mesmas Figuras 4.14a-b nota-se ainda que para uma mesma frequência quando aumenta-se o ângulo o índice diminui, de forma mais acentuada na frequência de 50,3 GHz ângulo 53°.

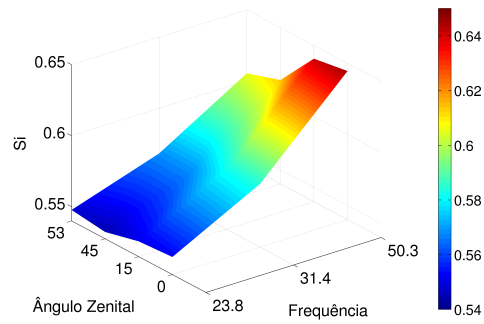
O comportamento do *Mg*, Figuras 4.14c e 4.14d, é invertido quando comparado ao *LT*, isto é, a medida que a frequência aumenta, para um mesmo ângulo, o índice diminui. Enquanto, ao manter a mesma frequência a medida que o ângulo aumenta o valor do índice de sensibilidade S_i também aumenta. O padrão é o mesmo na polarização vertical (Figura 4.14c) e horizontal (Figura 4.14d). A densidade da vegetação também apresenta uma variação nos valores do índice, Figuras 4.14e e 4.14f, e essa é semelhante a do parâmetro *Mg*, isto é, o índice diminui dentro de um mesmo ângulo e variando a frequência, e o índice aumenta dentro da mesma frequência e

aumentado o ângulo.

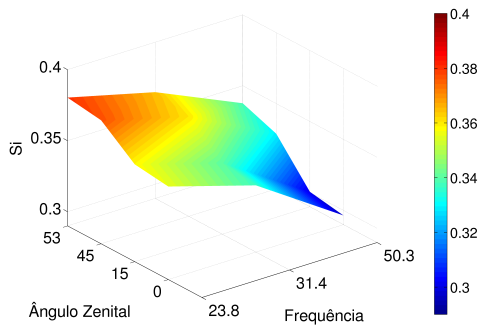
Figura 4.14 - Índice de Primeira ordem (S_i) referente à polarização vertical e horizontal para os parâmetros/variáveis aos quais o modelo de emissividade é mais sensível.



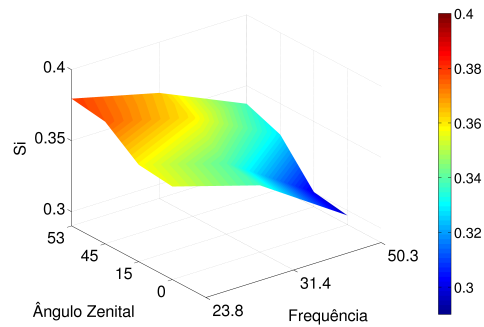
(a) S_i do LT PV.



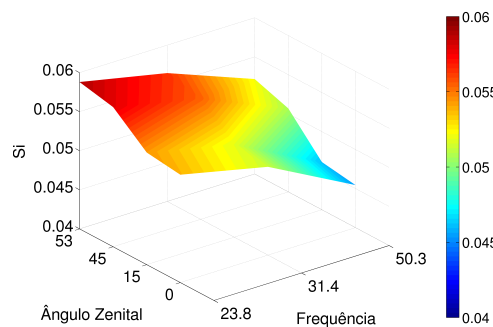
(b) S_i do LT PH.



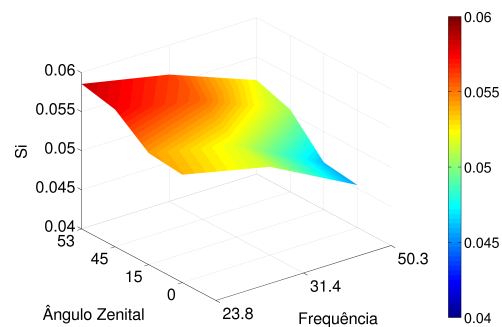
(c) S_i do Mg PV.



(d) S_i do Mg PH.



(e) S_i do Rhov PV.



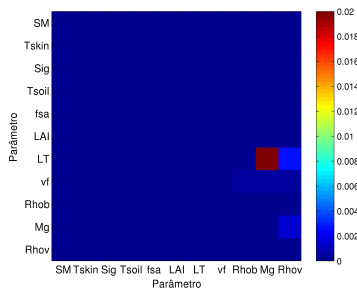
(f) S_i do Rhov PH.

PV representa a polarização vertical e PH a horizontal.

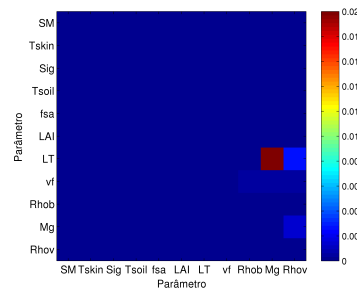
Fonte: Produção do próprio autor.

Uma informação importante é como a variância conjunta destes parâmetros contribui para a variância da emissividade simulada pelo modelo. Assim sendo, foram avaliados os índices de segunda ordem do Sobol, os quais expressam essa medida. As Figuras 4.15a-4.15d, que apresentam o índice S_{ij} para a frequência de 23,8 GHz (polarização vertical) para os quatro ângulos analisados, mostram que as maiores interações ocorrem entre o LT e o Mg, e com valores menores entre os parâmetros LT e Rhov e entre Mg e Rhov. Outra característica que se nota nessas figuras é que a medida que o ângulo zenital aumenta o índice de segunda ordem diminui. Para a polarização horizontal na frequência de 23,8 GHz o índice de segunda ordem apresenta as mesmas características. Ao passo que a frequência cresce o índice de segunda ordem decresce para as três interações analisadas (figuras não apresentadas).

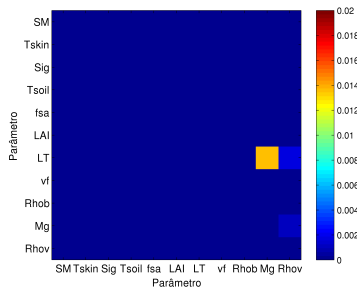
Figura 4.15 - Índice de Segunda Ordem para a frequência de 23,8 GHz, nos ângulos de 0°, 15°, 45° e 53° para polarização vertical. Índice referente à floresta tropical.



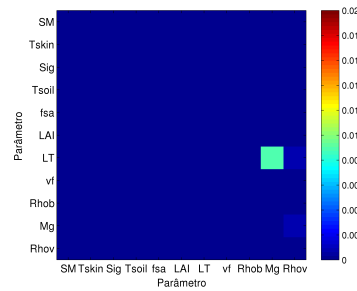
(a) 23,8 GHz 0°



(b) 23,8 GHz 15°



(c) 23,8 GHz 45°



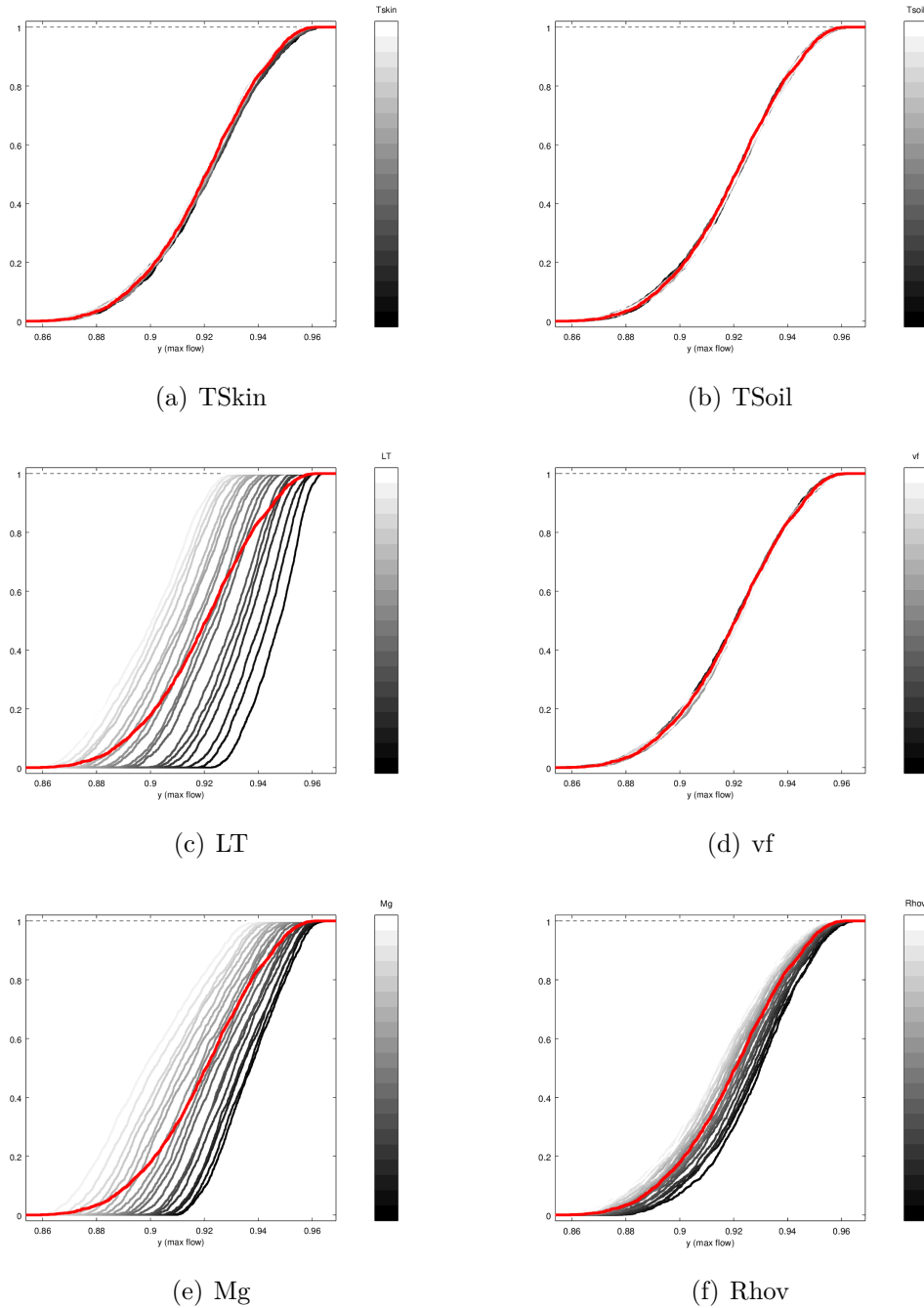
(d) 23,8 GHz 53°

Fonte: Produção do próprio autor.

A característica do histograma de frequência das simulações da emissividade para casos de regiões com características de floresta tropical é diferente do solo nu, isto é, para floresta não ocorre um grande número de simulações com valores de emissividade igual a 1,0. Contudo, a análise de sensibilidade utilizando o índice PAWN também foi realizada para o caso de floresta tropical.

As CDFs empírica condicional e a incondicional foram avaliadas para os mesmos parâmetros utilizados na análise do Sobol. Desse modo, a Figura 4.16 mostra as CDFs de três parâmetros que apresentaram pouca/nenhuma mudança das CDF condicional (linhas cinzas) com relação a CDF empírica incondicional (linhas vermelhas). Os parâmetros são: Tskin (Figura 4.16a), Tsoil (Figura 4.16b) e a fração de vegetação (Figura 4.16d). Os parâmetros que apresentaram o índice de primeira ordem do Sobol significativo indicam também dispersão das CDFs empíricas condicionais quando comparada com a CDF empírica incondicional, essa característica pode ser observada nas Figuras 4.16c referente ao LT, 4.16e que representa o Mg e 4.16f que se refere à densidade da vegetação (Rhov).

Figura 4.16 - Distribuição empírica incondicional (linhas vermelha) e condicional (linhas cinzas) da simulação do modelo. As figuras referem-se à frequência de 23,8 GHz e ângulo zenital de 53° .

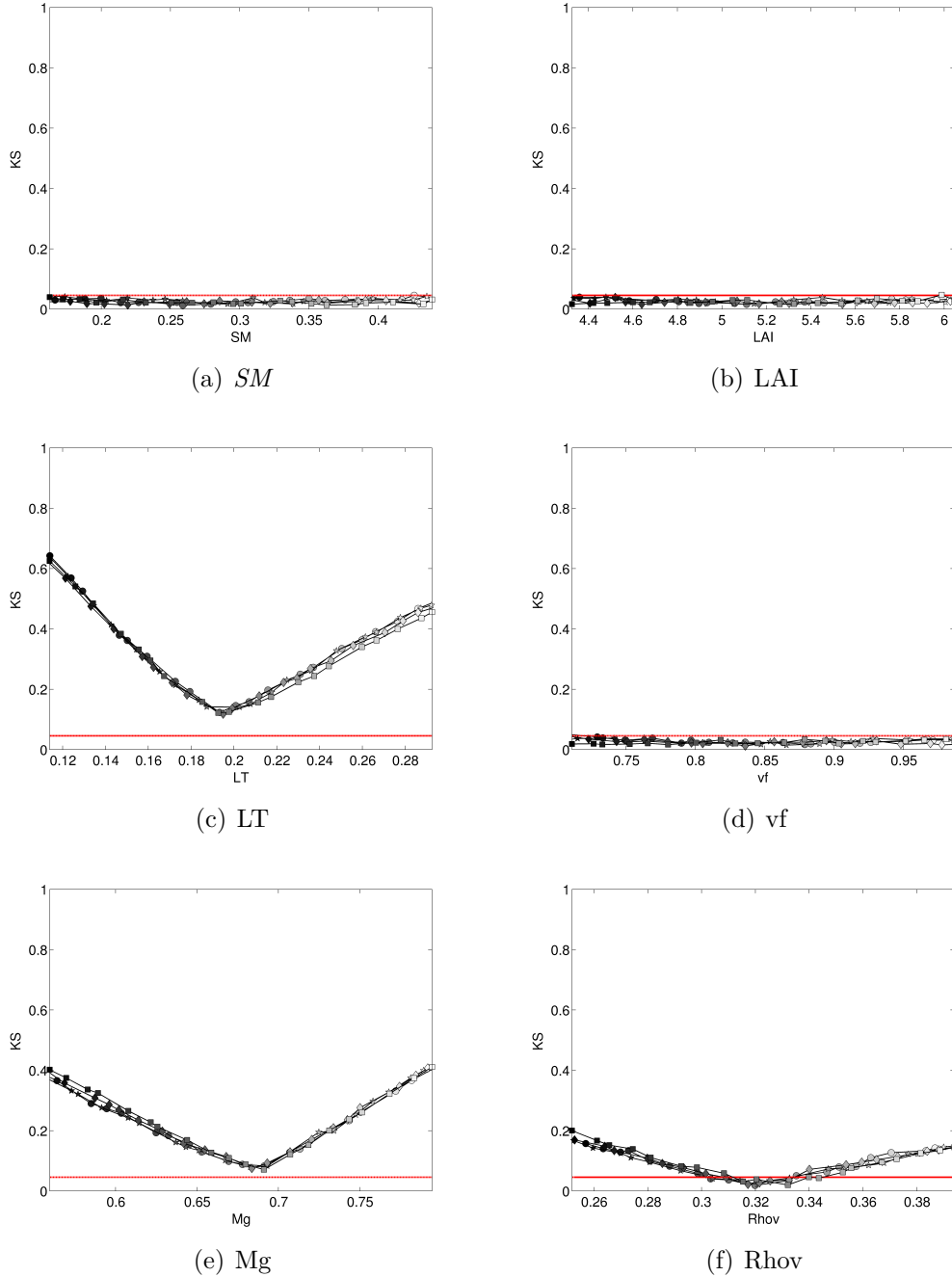


Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.17 apresenta o KS-estatístico para 6 parâmetros/variáveis entre os quais estão o que apresentam diferença entre a CDF condicional e a incondicional, os

outros parâmetros que não estão representados nessa figura tem o mesmo comportamento que o gráfico da umidade do solo (SM), índice de área foliar (LAI) e fração de vegetação (vf), Figuras 4.17a, 4.17ab e 4.17d, respectivamente. O KS dos parâmetros SM , LAI e vf estão, em todos os casos, abaixo ou sobre a linha vermelha que representa do KS-crítico, mostrando que esses parâmetros não influenciam a simulação da emissividade para as frequência de 23,8 GHz com polarização vertical em todos os ângulos avaliados. Enquanto no caso da espessura da folha (LT) e do conteúdo gravimétrico de água dossel (Mg), o KS está acima do valor crítico em todos os casos, representando que esses parâmetros apresentam influência na simulação da emissividade. A densidade da vegetação ($Rhov$), apresentada na Figura 4.17f tem o comportamento semelhante ao da umidade do solo no caso do solo nu, isto é, em 20% dos n casos a hipótese de que as CDFs são iguais não é nula, contudo, o parâmetro pode ser considerado que apresenta influência na simulação da emissividade. As características encontradas para a frequência de 23,8 GHz com polarização vertical são representativas da polarização horizontal dessa mesma frequência, assim como das duas polarizações das outras frequências.

Figura 4.17 - Estatística do Kolmogorov-Smirnov (KS) para os diferentes condicionais x_i dos parâmetros SM , LAI , LT , vf , Mg e $Rhov$. As figuras referem-se à frequência de 23,8GHz.



Mesmo que da Figura 4.8

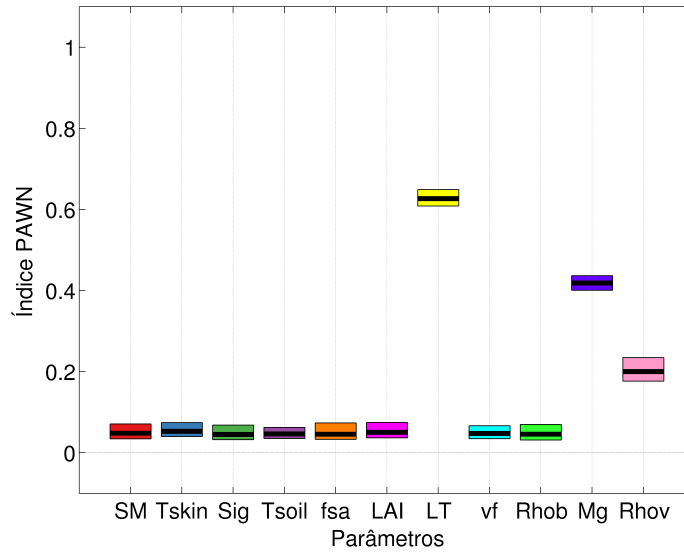
Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.18 apresenta o índice de sensibilidade PAWN para as análises realizadas

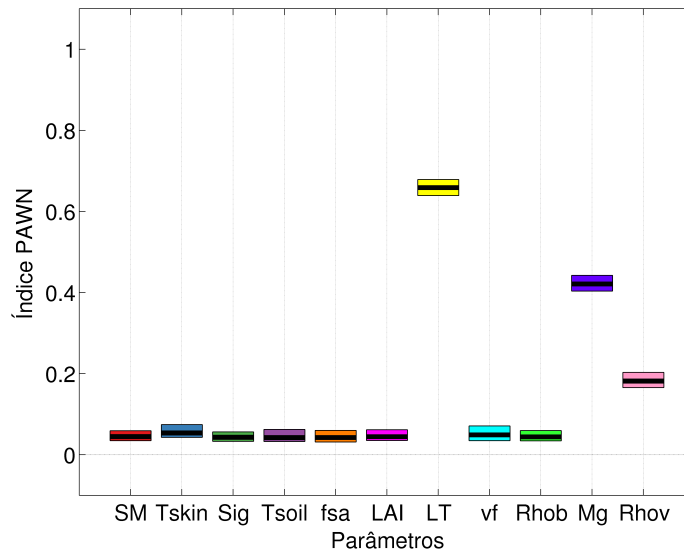
para o ângulo zenital de 53° para frequência de 23,8 GHz para a polarização horizontal e vertical. Nessa figura nota-se que não existe uma variação significativa entre a mesma frequência e polarização diferente, Figuras 4.18a e 4.18b, para a frequência de 23,8GHz. Percebe-se ainda, que não existe variação da ordem de influência dos parâmetros quando muda-se a frequência, a polarização e o ângulo (figuras não apresentadas). A diferença entre os limites superior e inferior é pequena, assim observa-se que há uma convergência dos valores do índice PAWN.

Os dois métodos de análise de sensibilidade global aplicados mostram que os parâmetros mais relevantes para a simulação da emissividade em áreas com floresta estão relacionados às características da vegetação, e esses parâmetros apresentam a mesma ordem de classificação para os dois métodos. Os parâmetros classificados do mais para o menos influentes são: a espessura da folha (LT), o conteúdo gravimétrico de água do dossel, e a densidade da vegetação.

Figura 4.18 - Índice de sensibilidade PAWN para a frequência de 23,8 GHz, polarização vertical e horizontal, e ângulo de 53°.



(a) 23,8 GHz PV



(b) 23,8 GHz PH

As linhas pretas representam o valor médio do KS e as caixas representam o intervalo de confiança obtido com a reamostragem. PV representa a polarização vertical e PH a horizontal.

Fonte: Produção do próprio autor.

A emissividade como combinação das duas polarizações, característica do sensor

AMSU-A, também foi testada para regiões caracterizadas como floresta. A classificação dos parâmetros aos quais o modelo é mais sensível é a mesma encontrada para as duas polarizações separadamente. A variação dos índices, S_i e S_T , com relação ao ângulo zenital e a frequência apresentam as mesmas características encontradas para as polarizações separadas. Os maiores valores do índice de segunda ordem são nas frequências menores e no ângulo de 0° . A medida que o ângulo aumenta o valor desse índice diminui, como foi encontrado para as duas polarizações. Com o aumento da frequência também diminui o valor do índice de segunda ordem, contudo os maiores valores são notados em ângulos menores. As figuras não foram apresentadas pois carregam as mesmas informações apresentadas anteriormente.

Com a análise de sensibilidade pode-se identificar que quando o interesse é simular a emissividade em micro-ondas utilizando o modelo descrito em [Weng et al. \(2001\)](#) para as frequências com as características dos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A sobre regiões de solo nu, deve-se ter atenção principalmente com a representação da temperatura da superfície terrestre, temperatura do solo e umidade do solo. A T_{skin} é bastante explorada com relação à sua importância na representação da emissividade ([ENGLISH, 2008](#); [KARBOU, 2005](#)) assim como a umidade do solo ([WENG, 2001](#); [RINGERUD et al., 2014](#); [MA et al., 2017](#)), enquanto a temperatura do solo é menos estudada ([RINGERUD et al., 2014](#); [MA et al., 2017](#)). Entretanto, se o objetivo é simular a emissividade em micro-ondas nas frequências e ângulos aqui estudados sobre regiões caracterizadas como floresta tropical necessita-se de atenção na representação da espessura da folha, no conteúdo de gravimétrico de água no dossel e na densidade da vegetação, que foram explorados na literatura no contexto da emissividade por [Weng \(2001\)](#), [Xie et al. \(2015\)](#).

4.3 Avaliação da umidade do solo e da temperatura da superfície terrestre do experimento controle (EXP01)

Para uma melhor interpretação dos resultados da avaliação da emissividade simulada pelo sistema GSI-BAM, primeiramente foi avaliada a temperatura da superfície e a umidade do solo simuladas pelo acoplamento entre o modelo atmosférico e a parametrização de superfície (SSiB). Essas variáveis foram avaliadas por outros autores no contexto da emissividade como [English \(2008\)](#), [Ringerud et al. \(2014\)](#), [Ma et al. \(2017\)](#), entre outros.

A avaliação da umidade do solo para o mês de agosto de 2014 mostra que no globo a SM simulada quando comparada com o produto de SM do SMOPS é mais baixa, e portanto subestimada. Esse comportamento pode ser notado nas Figuras 4.19a-b que

apresenta a média diária (para o dia 15/08/2014) da simulação de *SM*, Figura 4.19a, e do produto de *SM* do SMOPS, Figura 4.19b. Nota-se por essas figuras que em grande parte das regiões a umidade do solo simulada é subestimada pelo modelo de superfície. O comportamento da umidade do solo simulada segue as características do mapa de cobertura da superfície, Figura 3.1, característica evidente sobre a Austrália e norte da África, por exemplo.

Mattos (2016) em seu trabalho de assimilação de *SM* utilizando o modelo BAM-SSiB também encontrou que a *SM* integrada a partir da superfície até 1 metro de profundidade, é baixa quando comparada com os dados do GLDAS. O autor encontrou essa característica tanto para o trimestre de Junho/Julho/Agosto como para o de Dezembro/Janeiro/Fevereiro. Os trabalhos de Mattos (2016), Maske (2016) confirmam a subestimativa da *SM* nas regiões áridas.

Mesmo havendo uma subestimativa da *SM* em grande parte do globo, a simulação da *SM* apresenta uma variabilidade espacial que concorda com o produto de umidade do solo do SMPOS, por exemplo, valores mais baixos de *SM* nas regiões áridas.

As regiões com os valores mais baixos de *SM* também são coincidentes com áreas onde encontra-se os valores elevados de emissividade, como por exemplo, as regiões no norte da África, representadas na avaliação da emissividade continental pelas regiões de semi-deserto e solo nu. Isso mostra a relação inversa entre a *SM* e a emissividade da superfície em MO.

Figura 4.19 - Média diária da umidade do solo simulada no EXP01 e do produto de umidade do solo diária estimada por satélite do SMOPS para o dia 15/08/2014.

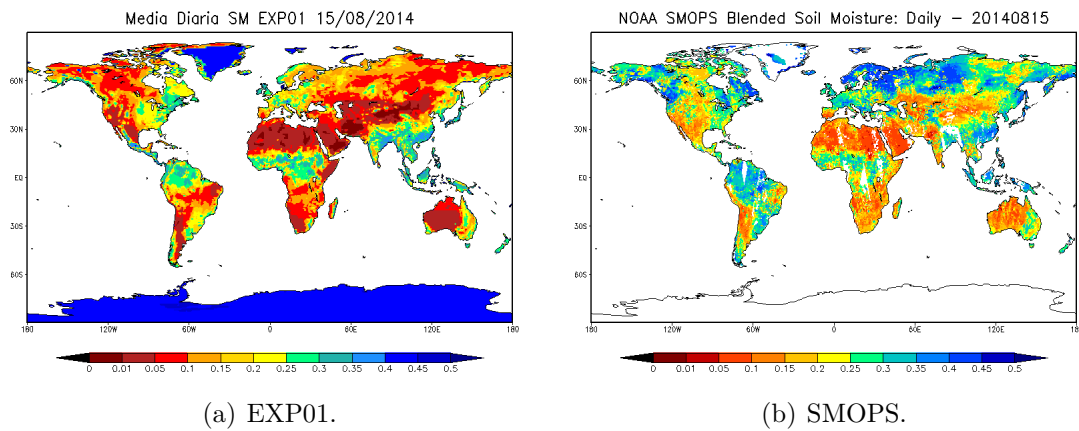


Figura a) é a média diária do dia 15/08/2014 da umidade do solo gerada no EXP01 e a b) é o produto de umidade do solo do SMOPS. A umidade do solo está expressa em vol/vol.

Fonte: Figura a) produção do próprio autor e b) extraído de Soil Moisture Operational Products System - SMOPS (2017).

A temperatura da superfície terrestre contribui também para modificações na simulação da emissividade da superfície terrestre em MO. Uma avaliação do comportamento dessa temperatura é necessária para compreender os valores de emissividade simulados pelo sistema GSI-BAM, e assim tentar compreender as possíveis causas da superestimativa da emissividade simulada.

A análise dos campos de temperatura da superfície, diferentemente da *SM*, foi realizada separadamente para os quatro horários sinóticos (00Z, 06Z, 12Z e 18Z). Devido a influência da incidência solar na variação do ciclo diurno da temperatura e consequente variação da emissividade, essa análise buscou caracterizar o comportamento diferenciado nos quatro horários.

A Figura 4.20 mostra a diferença entre o produto de temperatura da superfície terrestre do MIRS e a simulada no EXP01 para o agosto/2014. A Figura 4.20a representa os campos das diferenças entre o MIRS e as previsões para o horário das 00Z, a Figura 4.20b 06Z, a Figura 4.20c às 12Z e Figura 4.20d das 18Z.

No horário centrado às 00Z (Figura 4.20a) sobre o Sul e Norte da África, assim como no Sul da Ásia os valores de temperatura da superfície simulada pelo sistema

GSI-BAM são subestimadas com relação ao produto do MIRS. O mesmo comportamento pode ser observado sobre a região dos Andes, na América do Sul, sobre o nordeste Brasileiro (sinal mais fraco) e também no oeste da Austrália. No restante das regiões ocorre uma superestimativa da temperatura da superfície terrestre.

No horário das 06Z (Figura 4.20b) nota-se no continente africano, assim como na Ásia, uma diminuição na intensidade das diferenças positivas entre os dois dados. Sobre a região oeste da América do Norte o sinal começa a modificar de negativo para positivo, enquanto na Austrália nota-se uma predominância de superestimativa da T_s . Na América do Sul o sinal não se altera nesse horário.

Para o horário das 12Z, representado pela Figura 4.20c, na região da África central a predominância é de superestimativa da T_s . Ao passo que no sul da África está subestimando mas com intensidade menor que nos outros horários. No centro sul da Ásia nota-se a presença de subestimativa da T_s , na América do Norte o sinal positivo ao oeste intensifica-se com relação ao horário das 06Z. Na América do Sul observa-se predominância de subestimativa, exceto no centro norte, e na Austrália reaparece o sinal positivo a oeste. Nas demais regiões do globo o sinal de superestimativa da T_s com relação ao produto do MIRS é maior. No horário das 18Z (Figura 4.20d) na África muda novamente o padrão do campo de diferenças, se observa subestimativa ao norte e ao sul (mais evidente que no horário centrado às 12Z), e superestimativa na região central. No sul da Ásia volta a predominância de subestimativa da T_s . No oeste da América do Norte o sinal de subestimativa continua, na América do Sul o sinal se inverte e passa a apresentar predominância de superestimativa da T_s . Na Austrália o comportamento se mantém semelhante ao horário das 12Z.

Figura 4.20 - Diferença da média da Temperatura da superfície do MIIRS e do EXP01 para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z referente ao mês de agosto de 2014.

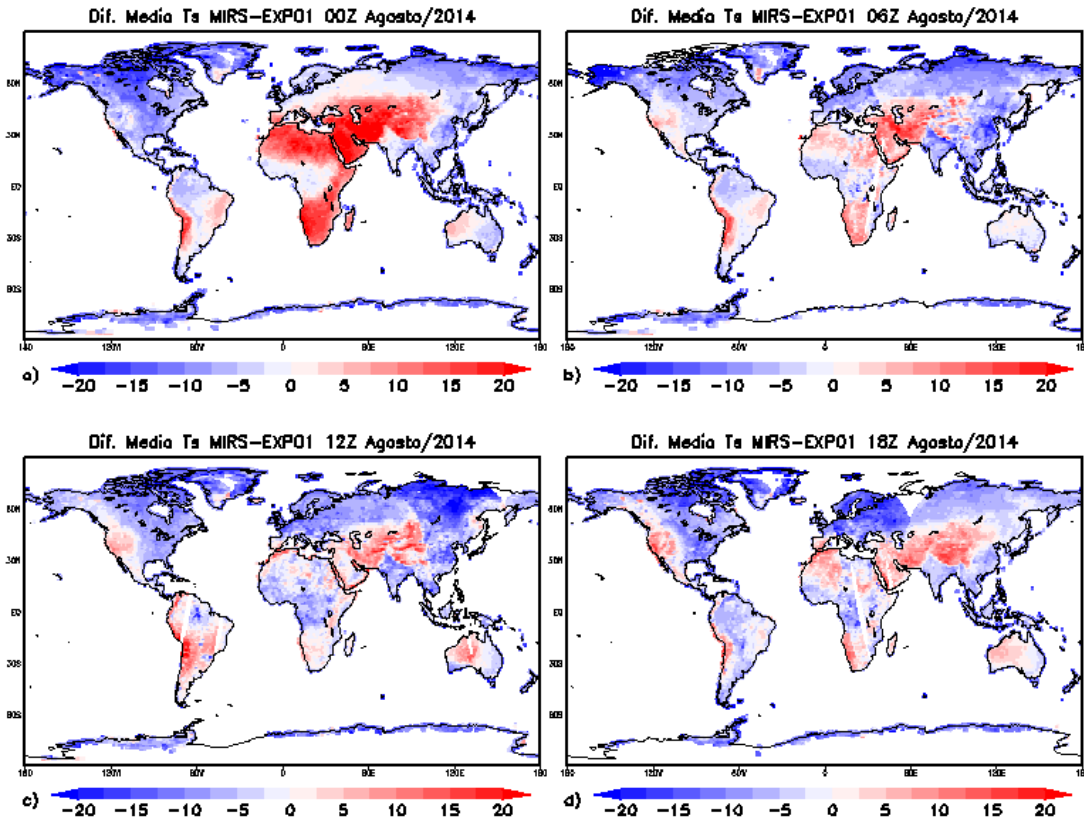


Figura a) é a diferença entre a média T_s recuperada por satélite centrada às 00Z e a T_s média das previsões de 3 horas e análise do EXP01 centrada às 00Z, b) mesmo que a a) para as 06Z, c) mesmo que a a) para as 12Z e d) mesmo que a a) para as 18Z. Valores negativos representam superestimativa do EXP01 com relação aos dados do MIIRS, e valores positivos representam subestimativa.

Fonte: Produção do próprio autor.

Visto que existem erros tanto na umidade do solo, como também na temperatura da superfície terrestre simulada pelo acoplamento BAM-SSiB, procurou-se utilizar fontes alternativas para essas duas variáveis serem utilizadas para simular a emissividade da superfície terrestre em MO na assimilação de dados no sistema GSI-BAM, isto é, substituir essas variáveis nos arquivos de estimativa inicial que eram provenientes do SSiB pelas do GLDAS.

4.4 Impacto das variáveis obtidas de um sistema de assimilação de dados de superfície na emissividade simulada

4.4.1 Avaliação da umidade do solo e da temperatura da superfície terrestre

Primeiramente, a avaliação dos dados do GLDAS foi realizada utilizando a mesma metodologia aplicada na avaliação do EXP01. A *SM* foi avaliada com relação aos dados SMOPS, e a temperatura da superfície terrestre como a diferença da média entre a temperatura do MIRS e a temperatura do GLDAS.

A Figura 4.21 representa a média diária da umidade do solo do dia 15/08/2014 dos dados do GLDAS (Figura 4.21a) e para os dados do SMOPS (Figura 4.21b). O campo de umidade do solo média do GLDAS também é subestimado, em relação aos SMOPS, em regiões como norte e sul do continente africano e nordeste da América do Sul. Contudo, os valores são superiores aos simulados no EXP01, discutidos anteriormente. Nota-se ainda que em regiões como noroeste da América do Sul e leste da Austrália, por exemplo, os dados do GLDAS apresentam regiões com superestimativa da umidade do solo.

Figura 4.21 - Média diária da umidade do solo simulada do GLDAS e do produto de umidade do solo diária estimada por satélite do SMOPS para o dia 15/08/2014.

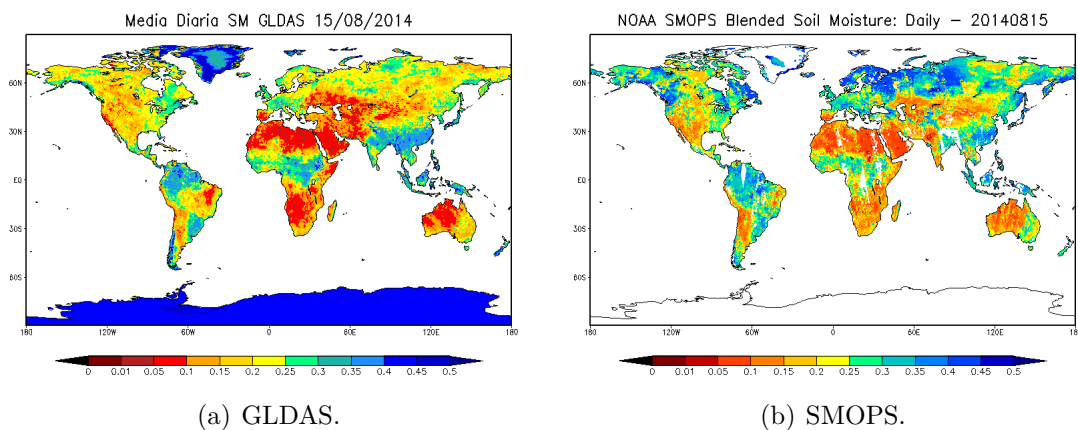


Figura a) é a média diária do dia 15/08/2014 da umidade do solo gerada no GLDAS e a b) é o produto de umidade do solo do SMOPS. A umidade do solo está expressa em vol/vol.

Fonte: Figura a) produção do próprio autor e b) extraído de Soil Moisture Operational Products System - SMOPS (2017).

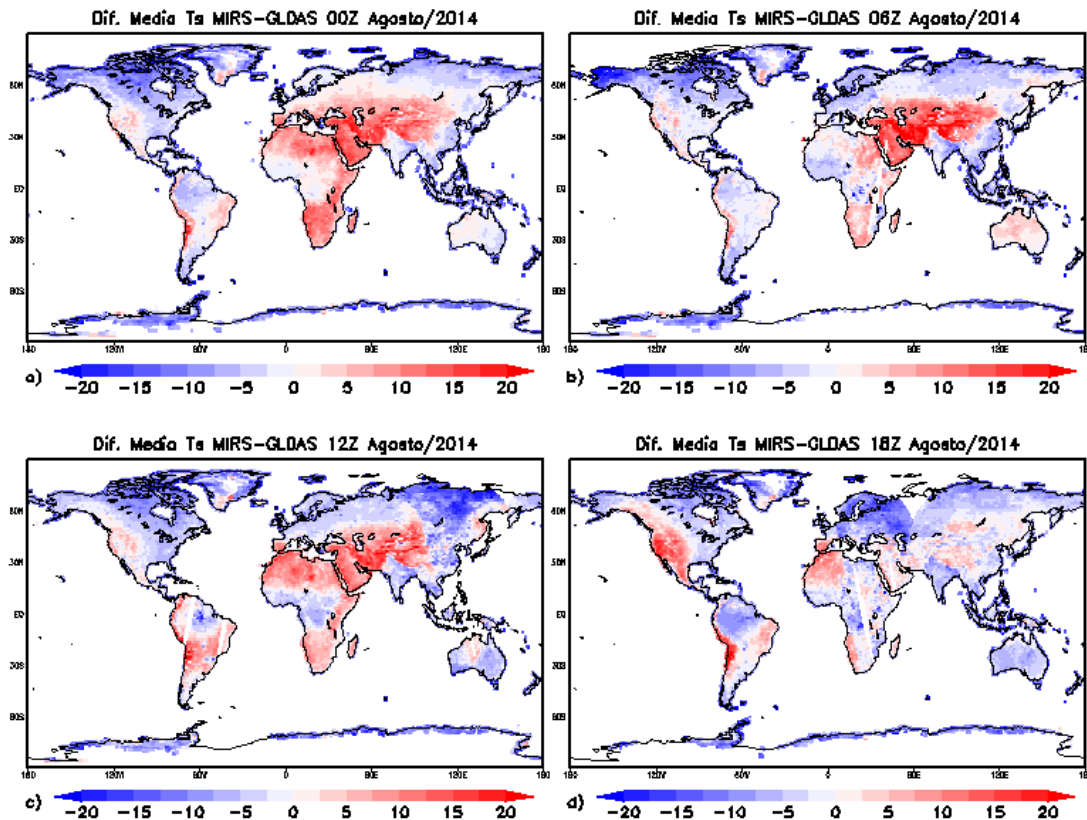
A temperatura da superfície terrestre dos dados do GLDAS foi avaliada contra os dados do MIRS. A Figura 4.22 mostra a diferença entre o produto de temperatura da superfície terrestre do MIRS e a simulada no GLDAS para o agosto/2014. A Figura 4.22a representa os campos das diferenças entre o MIRS e as previsões para o horário das 00Z, a Figura 4.22b às 06Z, a Figura 4.22c às 12Z e Figura 4.22d das 18Z.

No horário das 00Z o comportamento é semelhante ao apresentado para o EXPO1, exceto pela magnitude da diferença que é menor quando avalia-se os dados do GLDAS. Nota-se ainda neste horário que no norte e sul da África, sul da Ásia e sobre os Andes os valores do GLDAS são inferiores ao do MIRS. Na região do nordeste da América do Sul, oeste da América do Norte e oeste da Austrália observa-se valores positivos, contudo a temperatura do GLDAS tende a valores mais próximos do MIRS. Nas demais área o GLDAS superestima a temperatura da superfície terrestre.

No horário centrado às 06Z (Figura 4.22b) nota-se que as áreas com subestimativa sobre o Norte e Sul da África e sobre a Ásia diminuem, porém ainda apresentam valores menores que os dados utilizados como referência. Sobre os Andes essa característica também é observada. Às 12Z (Figura 4.22c) observa-se um aumento nas áreas de subestimativa da temperatura da superfície sobre o norte e sul da África, grande parte da América do Sul, assim como parte da Ásia, característica semelhante com a do horário das 00Z. Porém, no horário centrado às 12Z ocorre superestimativa no centro da África, assim como no norte da Ásia, parte da região Amazônica e grande parte da Austrália.

Na Figura 4.22d observa-se o comportamento no horário centrado às 18Z, nota-se que a subestimativa na Ásia diminui quando comparado com os outros horários, e também quando comparado com a avaliação do EXP01. No noroeste e sudoeste da África ainda há regiões com subestimativa, contudo inferior aos horários das 00Z e 12Z, em relação a valores e área. Sobre os Andes ocorre uma aumento da subestimativa, o mesmo ocorre no oeste da América do Norte. Essa subestimativa do GLDAS com relação a uma referência, sobre a América do Norte também foi observado no trabalho de [Zheng et al. \(2012\)](#), como mencionado anteriormente esses autores tinham como objetivo melhorar a simulação da temperatura da superfície terrestre no modelo GFS, e no trabalho realizaram uma análise da temperatura do GLDAS em parte dessa região da América do Norte. As outras regiões da Figura 4.22d apresentam superestimava da temperatura da superfície terrestre com relação ao MIRS, como pode ser notado na Europa, na Austrália, e na região Amazônica.

Figura 4.22 - Diferença da média da temperatura da superfície do MIRS e do GLDAS para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z. Os valores são a média do mês de agosto de 2014.



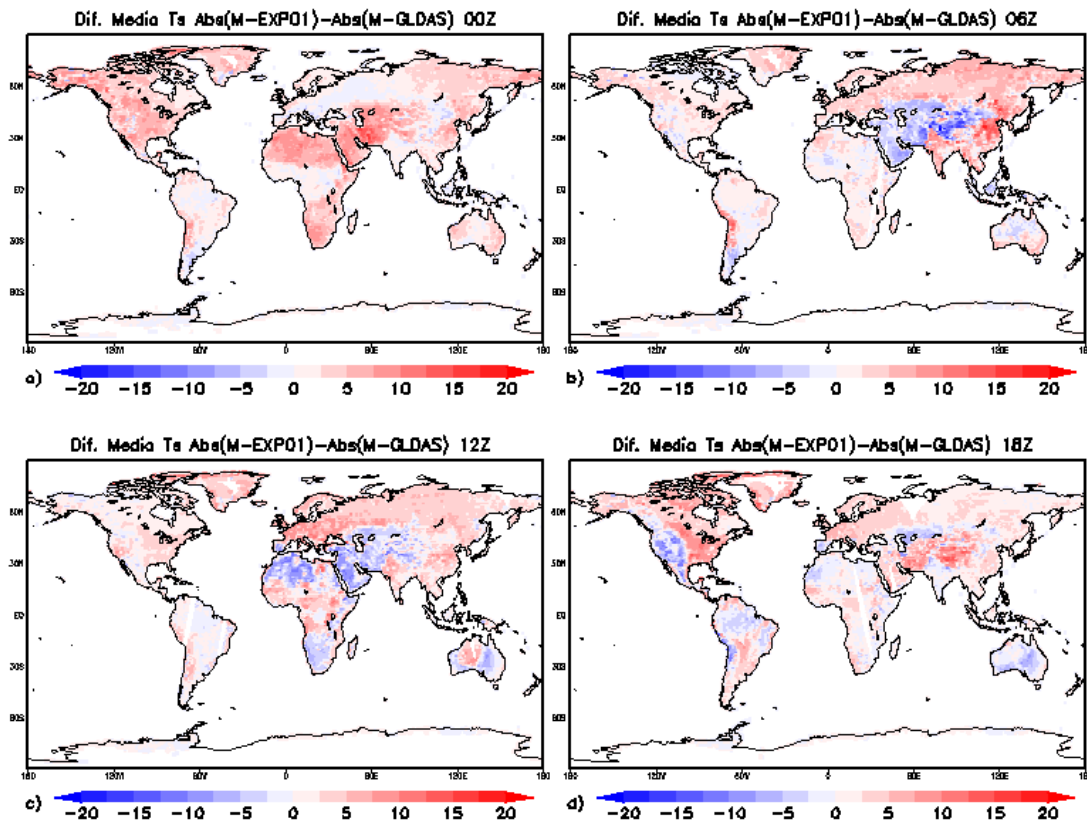
a) é a diferença entre a média T_s recuperada por satélite centrada às 00Z e a T_s média das previsões de 3 horas e análise do EXP03 centrada às 00Z, b) mesmo que a a) para as 06Z, c) mesmo que a a) para as 12Z e d) mesmo que a a) para as 18Z. Valores negativos representam superestimativa do EXP03 com relação aos dados do MIRS, e valores positivos representam subestimativa.

Fonte: Produção do próprio autor.

Após avaliação dos erros sistemáticos da temperatura da superfície contra os dados estimados por satélite (MIRS), verifica-se que globalmente o GLDAS possui menor viés. Porém, é necessário identificar se existem regiões onde os erros do BAM podem ser menores. A Figura 4.23 compara os erros absolutos entre o GLDAS e o BAM. As cores em azul representam as regiões onde os erros da temperatura da superfície do BAM são menores que os erros do GLDAS em comparação ao produto do MIRS. Verifica-se que essas áreas correspondem aos tipos de cobertura com pouca vegeta-

ção como solo nu, semi-deserto e caatinga seguindo o mapa representado pela Figura 3.1. Verifica-se que sobre a floresta tropical, mais especificamente sobre a Amazônia ocorrem erros menores no BAM com relação ao GLDAS para temperatura da superfície somente no horário das 18Z. Assim, espera-se que haja pouco impacto ou mesmo impacto negativo nestas regiões se utilizada a temperatura da superfície do GLDAS como referência para redução dos erros sistemáticos do BAM.

Figura 4.23 - Diferença absoluta $Absdif = [Abs(M - EXP01) - Abs(M - GLDAS)]$, onde EXP01 e GLDAS são a temperatura da superfície terrestre para o experimento EXP01 e o GLDAS, respectivamente. M é a temperatura da superfície terrestre do MIRS. As diferenças são para os horários das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z. Os mapas representam a média de agosto de 2014 para esses horários.



Fonte: Produção do próprio autor.

A Tabela 4.4 apresenta o comportamento médio, durante o mês de agosto de 2014, das diferenças do GLDAS com relação ao experimento controle para a *SM* e a tem-

peratura da superfície terrestre para os diferentes tipos de cobertura. Nota-se que em todos os tipos de cobertura da superfície a SM é maior no GLDAS quando comparada com o EXP01 (valores positivos). Ao passo que a temperatura da superfície só apresenta diferenças positivas na região caracterizada como floresta tropical e semi-deserto. Nas outras regiões, na média mensal nota-se valores negativos.

Tabela 4.4 - Média mensal (Agosto/2014) da diferença entre a umidade do solo (m^3/m^3) do GLDAS e do EXP01 ($SM_{GLDAS} - SM_{EXP01}$) e diferença da temperatura da superfície terrestre (K) do GLDAS e do EXP01 ($Ts_{GLDAS} - Ts_{EXP01}$). Os valores negativos representam que o EXP01 é maior.

Tipos de Cobertura	$SM_{GLDAS} - SM_{EXP01}$	$Ts_{GLDAS} - Ts_{EXP01}$
1-Floresta Tropical	0.0318	0.2307
2-Floresta Temperada	0.0253	-0.4155
3-Floresta Mista	0.0495	-1.9371
4-Floresta Boreal	0.0644	-1.9426
5-Floresta Conífera	0.0965	-3.3370
6-Savanas	0.0357	-0.8131
7-Campos	0.0282	-1.2656
8-Caatinga	0.0924	-0.1942
9-Semi-Deserto	0.0687	0.6559
10-Tundra	0.0822	-2.8502
11-solo nu	0.0855	-1.0348
12-Cultivos	0.0018	-3.3679

4.4.2 Avaliação da emissividade simulada

Como discutido na análise de sensibilidade a emissividade da superfície terrestre em micro-ondas para as três frequências analisadas possui sensibilidade às variáveis/parâmetros de superfície. Essas variáveis e parâmetros foram identificados e classificados. Nessa etapa do trabalho foram realizados testes no sistema GSI-BAM modificando duas variáveis avaliadas na etapa de análise de sensibilidade, isto é, a umidade do solo e temperatura da superfície terrestre. Como foi verificado na seção anterior, a SM e a T_s possuem erros quando são comparadas com uma referência, e esses erros contribuem para uma simulação errônea da emissividade.

Com objetivo de quantificar como modificações na SM e T_s alteram a simulação da emissividade no sistema GSI-BAM, foram realizados três experimentos. No primeiro experimento foi alterada a umidade do solo (identificado como EXP02), no segundo a T_s (EXP03) e no terceiro experimento as duas variáveis em conjunto, EXP04. Es-

ses experimentos foram comparados com a emissividade simulada pelo experimento controle (EXP01). A comparação foi realizada em forma de histograma de frequência da emissividade, como apresentado na metodologia. A porcentagem é referente aos dados disponíveis sobre o tipo de cobertura da superfície em questão.

As Figuras 4.24 representam os histogramas de frequência da emissividade simulada nos experimentos para o canal 23,8 GHz. A análise foi realizada para os diferentes tipos de cobertura e considerando todos os horários conjuntamente. As mesmas observações avaliadas no EXP01 com relação aos dados estimados por satélite do MSPPS foram avaliadas nessa etapa. Em todos os histogramas a linha vermelha representa o EXP01, a azul o EXP02, a preta o EXP03 e a verde o EXP04. Os outros canais apresentam as mesmas características, por esse motivo as figuras dos canais 31,4 GHz e 50,3 GHz não foram apresentadas.

Analisando de forma geral, em todos os experimentos nota-se que sobre alguns tipos de superfície as mudanças realizadas tem mais efeitos do que sobre outras, isto de certa forma, pode ser explicado pela análise de sensibilidade. Como, por exemplo, na Figura 4.24a não ocorrem diferenças representativas entre os experimentos sobre regiões de floresta tropical, e como encontrado na análise de sensibilidade, a variância da emissividade, nesse tipo de cobertura, está associada a variância das características da vegetação. Contudo, quando avalia-se regiões de solo nu, como a representada na Figura 4.24k, fica evidente a modificação no histograma de frequência dos diferentes experimentos com relação ao controle.

Primeiramente, avaliou-se o comportamento do canal 23,8 GHz sobre superfícies com características de floresta, representadas nas Figuras de 4.24a à 4.24e. A floresta Tropical, a floresta temperada, a mista e a boreal não apresentam diferenças no comportamento do histograma de frequência quando compara-se os diferentes experimentos. Ao passo que a floresta de conífera apresenta diferença nas características, onde o EXP02 tem a maior frequência de ocorrência de valores menores de emissividade que os outros experimentos, o EXP01 e o EXP04 apresentam o mesmo máximo, enquanto o EXP03 aumenta o valor de emissividade, isto é, tem efeito contrário ao do EXP02. Ao se avaliar o comportamento da emissividade para regiões caracterizadas como savana, Figura 4.24f, nota-se que os experimentos EXP02 e EXP04 (linha azul e verde, respectivamente) têm características semelhantes, esses experimentos diminuem a frequência de valores altos de emissividade, contudo, o comportamento da curva é próxima ao do EXP01. O EXP03 aumenta a frequência de valores maiores de emissividade, porém também apresenta o histograma semelhante ao EXP01.

Nas regiões caracterizadas como campos, o comportamento da emissividade simulada para o canal 23,8 GHz (Figura 4.24g) mostra que os experimentos EXP03 e o EXP04 apresentam a máxima frequência de ocorrência no mesmo valor. O EXP2 e o EXP01 tem o mesmo comportamento, isto é, as mudanças na SM não representam mudanças na emissividade. Nas áreas identificadas como caatinga, Figura 4.24h, a diferença no histograma entre os experimentos EXP02 (linha azul) e EXP04 (linha verde) é evidente quando comparada com o EXP01, esses dois experimentos diminuem a frequência de valores na classe com valor 1,0 do histograma. O EXP03 apresenta curva semelhante ao EXP04 contudo deslocada para a direita (Figura 4.24h), isto é, apresenta frequência maior de valores altos de emissividade, porém o EXP01 tem valores mais altos de emissividade quando comparado com os outros experimentos.

Nas áreas identificadas como semi-deserto (Figura 4.24i) nota-se que os três experimentos diminuem a frequência dos valores altos de emissividade quando comparados com o controle. O EXP03 tem alta frequência de ocorrência em valores maiores de emissividade. O EXP04 apresenta curva com as mesmas características do EXP03, porém deslocada para a esquerda, isto é, o EXP04 apresenta maior frequência de valores menores que os simulados no EXP01. Nas regiões de tundra, Figura 4.24j, verifica-se que o EXP02 aumenta a ocorrência de valores menores de emissividade, e o EXP03 aumenta a frequência de valores maiores de emissividade. O EXP04 sobre regiões de tundra tem comportamento semelhante ao EXP01, as modificações conjuntas realizadas neste experimento não provocam modificações expressivas como as alterações individuais realizadas nos experimentos EXP02 e EXP03 .

As características do histograma de frequência para regiões identificadas como solo nu mostram que o EXP04 diminui a frequência dos valores altos de emissividade quando comparado com o EXP01 (Figura 4.24k). O EXP02 aumenta a frequência de valores de emissividade mais baixos, tornando a frequência de valores muito parecida em várias classes do histograma de frequência. O EXP03 apresenta a máxima frequência em valores mais baixo de emissividade, quando comparando com o controle, contudo ainda existe uma frequência significativa de valores em 1. O EXP04 tem a curva do mesmo formato que o EXP03, contudo deslocada para a esquerda, apresentando assim frequência mais alta de valores mais baixos de emissividade.

A Figura 4.24l apresenta o histograma de frequência da emissividade para as áreas caracterizadas como cultivos, por essa figura nota-se que o EXP01 e o EXP02 apresentam a curva do histograma sobrepostas, o mesmo comportamento se observa

entre os outros dois experimentos. O EXP03 e EXP04 aumentam a frequência de emissividade para valores maiores de emissividade.

Figura 4.24 - Histogramas de frequência da emissividade simulada nos quatro experimentos para o mês de agosto de 2014. A emissividade é referente ao canal 23,8 GHz do AMSU-A.

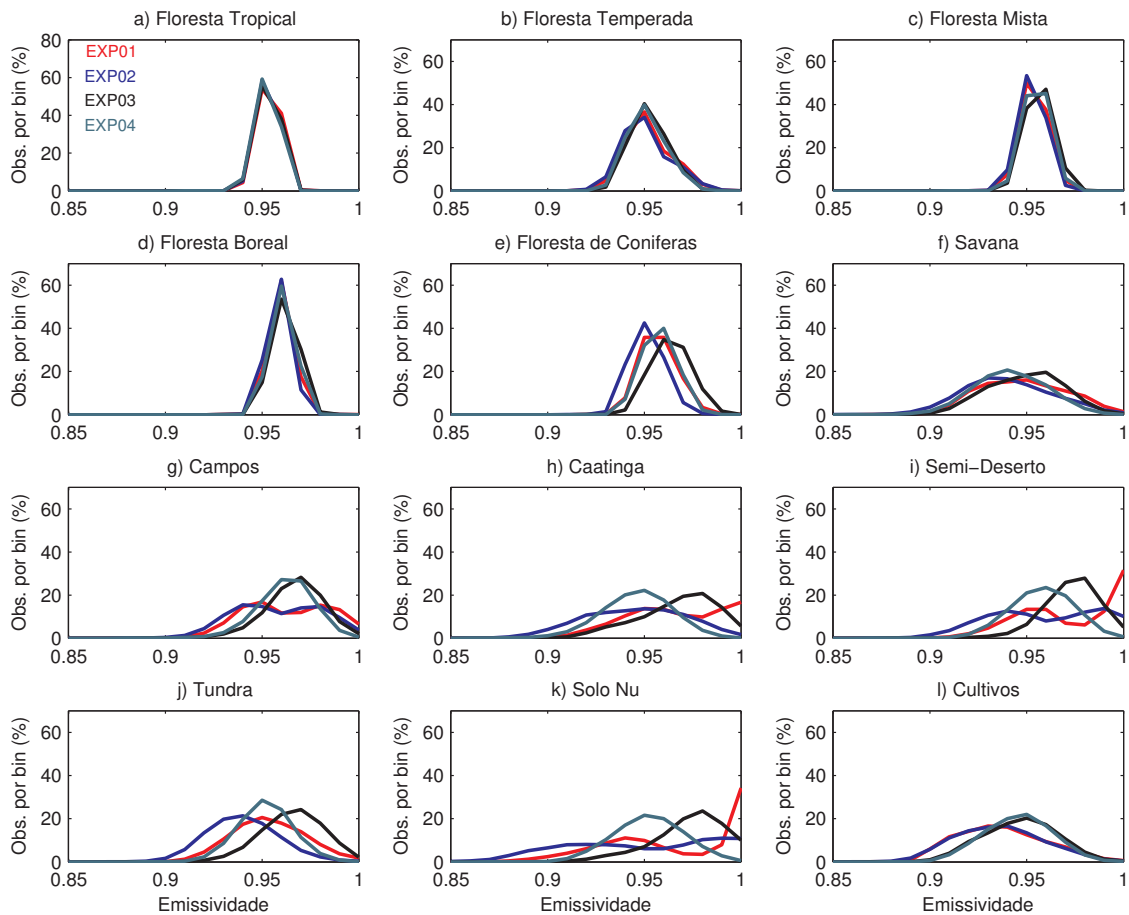


Figura a) representa a floresta tropical, a b) floresta temperada, c) floresta mista, d) floresta boreal, e) floresta de coníferas, f) savana, g) campos, h) caatinga, i) semi-deserto, j) tundra, k) solo nu e l) representa as regiões de cultivos. A linha vermelha representa a emissividade do experimento controle (EXP01), a azul do EXP02, preta do EXP03 e a verde do EXP04.

Fonte: Produção do próprio autor.

A emissividade simulada nos experimentos EXP02, EXP03 e EXP04 foi também avaliada contra o produto de emissividade estimada por satélite do MSPPS. A Tabela 4.5 sumariza as características das diferenças entre os dados do MSPPS e a

emissividade simulada para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3GHz. Nessa tabela estão descritas as médias (desvio padrão) das diferenças entre o produto de emissividade estimado por satélite e a emissividade simulada para os quatro experimentos. As maiores diferenças das médias são sobre as regiões sem vegetação (semi-deserto e solo nu). Como pode-se notar sobre as regiões de florestas o valor de diferença média é semelhante entre os quatro experimentos, o que corrobora o encontrado na análise dos histogramas, e a média diminui conforme aumenta a frequência do canal, isto é, o valor é menor no canal 50,3GHz. Para todos os canais as maiores diferenças são no EXP01 e EXP03 para a savana, caatinga, semi-deserto e solo nu, seguido dos experimentos EXP02 e EXP04 para a caatinga, savana e solo nu, já para o semi-deserto o EXP04 apresenta diferença menor que o EXP02.

Tabela 4.5 - Média mensal (Agosto/2014) da diferença entre a emissividade estimada por satélite e a simulada nos quatro experimentos para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz sobre 12 tipos de cobertura da superfície. Os valores entre parênteses se referem ao desvio padrão. Os valores em negrito representam onde a diferença absoluta entre o experimento e a referência foi menor que o controle e a referência.

Tipos de Cobertura	23,8 GHz			
	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
1 - Floresta Tropical	-0.031 (0.020)	-0.031 (0.020)	-0.031 (0.020)	-0.030 (0.020)
2 - Floresta Temperada	-0.029 (0.022)	-0.028 (0.021)	-0.029 (0.020)	-0.028 (0.020)
3 - Floresta Mista	-0.026 (0.020)	-0.025 (0.020)	-0.029 (0.020)	-0.028 (0.020)
4 - Floresta Boreal	-0.033 (0.026)	-0.032 (0.026)	-0.035 (0.027)	-0.034 (0.026)
5 - Floresta de Conífera	-0.017 (0.021)	-0.011 (0.020)	-0.023 (0.022)	-0.017 (0.020)
6 - Savanas	-0.023 (0.027)	-0.015 (0.027)	-0.024 (0.025)	-0.016 (0.024)
7 - Campos	-0.038 (0.031)	-0.034 (0.031)	-0.042 (0.025)	-0.038 (0.025)
8 - Caatinga	-0.045 (0.031)	-0.024 (0.031)	-0.046 (0.027)	-0.025 (0.025)
9 - Semi-Deserto	-0.063 (0.030)	-0.049 (0.033)	-0.064 (0.025)	-0.048 (0.026)
10 - Tundra	-0.042 (0.039)	-0.029 (0.040)	-0.054 (0.036)	-0.040 (0.037)
11 - solo nu	-0.049 (0.040)	-0.033 (0.044)	-0.058 (0.028)	-0.038 (0.029)
12 - Cultivos	-0.017 (0.030)	-0.016 (0.029)	-0.026 (0.026)	-0.026 (0.024)
	31,4 GHz			
1 - Floresta Tropical	-0.026 (0.021)	-0.026 (0.021)	-0.026 (0.021)	-0.025 (0.021)
2 - Floresta Temperada	-0.024 (0.023)	-0.023 (0.023)	-0.024 (0.022)	-0.023 (0.021)
3 - Floresta Mista	-0.019 (0.020)	-0.018 (0.020)	-0.022 (0.020)	-0.021 (0.020)
4 - Floresta Boreal	-0.025 (0.027)	-0.024 (0.027)	-0.026 (0.027)	-0.026 (0.027)
5 - Floresta de Conífera	-0.010 (0.022)	-0.005 (0.021)	-0.016 (0.022)	-0.011 (0.021)
6 - Savanas	-0.024 (0.026)	-0.017 (0.027)	-0.025 (0.024)	-0.018 (0.023)
7 - Campos	-0.035 (0.031)	-0.031 (0.031)	-0.039 (0.024)	-0.035 (0.024)
8 - Caatinga	-0.041 (0.031)	-0.023 (0.032)	-0.043 (0.026)	-0.024 (0.025)
9 - Semi-Deserto	-0.058 (0.031)	-0.047 (0.034)	-0.059 (0.025)	-0.046 (0.026)
10 - Tundra	-0.039 (0.038)	-0.027 (0.039)	-0.050 (0.035)	-0.038 (0.035)
11 - solo nu	-0.047 (0.040)	-0.032 (0.044)	-0.055 (0.027)	-0.037 (0.028)
12 - Cultivos	-0.017 (0.031)	-0.016 (0.030)	-0.027 (0.027)	-0.026 (0.026)
	50,3 GHz			
1 - Floresta Tropical	-0.018 (0.017)	-0.018 (0.017)	-0.018 (0.017)	-0.018 (0.017)
2 - Floresta Temperada	-0.020 (0.021)	-0.019 (0.020)	-0.020 (0.019)	-0.020 (0.019)
3 - Floresta Mista	-0.014 (0.017)	-0.013 (0.017)	-0.016 (0.017)	-0.015 (0.017)
4 - Floresta Boreal	-0.019 (0.022)	-0.018 (0.022)	-0.020 (0.022)	-0.020 (0.022)
5 - Floresta de Conífera	-0.010 (0.019)	-0.007 (0.018)	-0.016 (0.019)	-0.012 (0.018)
6 - Savanas	-0.035 (0.023)	-0.029 (0.024)	-0.036 (0.021)	-0.031 (0.020)
7 - Campos	-0.039 (0.028)	-0.036 (0.028)	-0.042 (0.020)	-0.040 (0.020)
8 - Caatinga	-0.046 (0.029)	-0.032 (0.030)	-0.048 (0.022)	-0.033 (0.021)
9 - Semi-Deserto	-0.058 (0.031)	-0.049 (0.032)	-0.059 (0.022)	-0.049 (0.022)
10 - Tundra	-0.044 (0.032)	-0.036 (0.032)	-0.056 (0.029)	-0.047 (0.029)
11 - solo nu	-0.051 (0.038)	-0.041 (0.042)	-0.060 (0.023)	-0.047 (0.022)
12 - Cultivos	-0.024 (0.029)	-0.024 (0.029)	-0.034 (0.025)	-0.033 (0.024)

Com essa avaliação percebe-se que as mudanças nas características da superfície

através da inclusão da umidade do solo no campo de estimativa inicial, EXP02, da temperatura da superfície terrestre, EXP03, ou na inclusão dos dois, EXP04, ocasionaram variações na simulação da emissividade da superfície continental em micro-ondas nos canais de 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz do sensor AMSU-A dos diferentes satélites.

A Tabela 4.6 apresenta a correlação entre a diferença das variáveis modificadas em cada experimento e a diferença da emissividade entre os experimentos para o canal 23,8 GHz. Os valores de correlação são negativos tanto para SM como a T_s , o que demonstra uma relação inversa entre essas duas variáveis e a emissividade em MO. As correlações são acima de 60% entre o EXP02 e o EXP01 e entre o EXP03 e o EXP01, essa alta correlação pode ser explicada por somente ocorrer mudança nessas variáveis, sendo essas responsáveis por qualquer mudança na emissividade. Ao passo que no EXP04 os valores de correlação são um indicio de qual variável a variação da emissividade está mais relacionada. Por exemplo, nas regiões caracterizadas como savana nota-se que a correlação com as variações na SM são maiores que a relacionada com a T_s , o que concorda com o comportamento do histograma de frequência para essa superfície e canal (Figura 4.24f). Nas regiões definidas com cobertura caracterizada como campos a correlação com relação a SM é menor (-0,29) que a relacionada com a T_s (-0,88) e pelo histograma de frequência (Figura 4.24g) pode-se notar que o EXP04 para essa superfície concorda com o do EXP03.

Tabela 4.6 - Correlação entre a diferença das variáveis modificadas no experimento com relação ao controle e a diferença entre a emissividade do experimento e a do controle para o canal 23,8 GHz.

Experimentos	EXP02-EXP01	EXP03-EXP01	EXP04-EXP01	
Tipos de cobertura	$\delta SM \times \delta \epsilon$	$\delta T_s \times \delta \epsilon$	$\delta SM \times \delta \epsilon$	$\delta T_s \times \delta \epsilon$
1-Floresta Tropical	-0.67	-0.88	-0.29	-0.71
2-Floresta Temperada	-0.91	-0.97	-0.30	-0.78
3-Floresta Mista	-0.78	-0.93	-0.30	-0.83
4-Floresta Boreal	-0.73	-0.91	-0.17	-0.83
5-Floresta Conífera	-0.78	-0.94	-0.38	-0.73
6-Savanas	-0.96	-0.86	-0.71	-0.49
7-Campos	-0.96	-0.99	-0.29	-0.88
8-Caatinga	-0.94	-0.95	-0.51	-0.78
9-Semi-Deserto	-0.87	-0.97	-0.41	-0.89
10-Tundra	-0.96	-0.99	-0.53	-0.72
11-solo nu	-0.85	-0.97	-0.28	-0.90
12-Cultivos	-0.96	-0.97	-0.54	-0.70

$$*\delta SM \times \delta \epsilon = \text{correlação}(SM_{GLDAS} - SM_{EXP01, \epsilon_{EXP}} - \epsilon_{EXP01})$$

$$*\delta T_s \times \delta \epsilon = \text{correlação}(T_{sGLDAS} - T_{sEXP01, \epsilon_{EXP}} - \epsilon_{EXP01})$$

Com o conhecimento de que as modificações realizadas na estimativa inicial trazem modificações na emissividade simulada, a próxima etapa dos resultados identifica como os experimentos EXP02, EXP03 e EXP04 alteram o uso dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz do sensor AMSU-A dentro do sistema de assimilação de dados.

4.5 Impacto do uso de condições de superfície do GLDAS na assimilação do AMSU-A

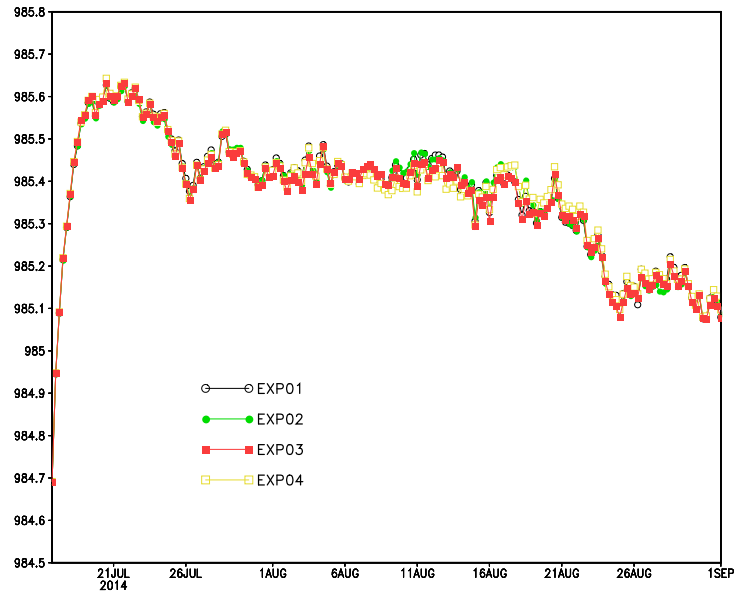
Nesta seção é apresentada as avaliações realizadas durante a geração das análises para verificar se o sistema se comportava de forma estável. Também é avaliado como os dados assimilados se comportam de forma global, quando compara-se os 3 experimentos em relação ao controle. Separadamente é realizada a análise do impacto que os dados do GLDAS causa no uso dos dados dos canais 1 a 3 do sensor AMSU-A no processo de assimilação. E, por fim, é apresentada a verificação das previsões de 120 horas inicializadas com as análises geradas nos quatro experimentos.

4.5.1 Desempenho dos experimentos

Durante a geração dos resultados foram avaliadas algumas variáveis para identificar se o ciclo de assimilação estava evoluindo de forma adequada. São tratados dois aspectos, um com relação a conservação de massa da análise, o qual foi verificado que durante a execução dos experimentos se o sistema estava mantendo a massa, isto foi realizado através da variação temporal da média global da pressão à superfície. Outro aspecto avaliado foi a variação temporal do número de observações assimiladas, do viés e do erro quadrático médio (RMS) da estimativa inicial e da análise com relação a observação da pressão à superfície, temperatura, umidade e vento em todos os níveis. Essas variáveis foram escolhidas pois estão diretamente relacionadas com as variáveis do vetor da estimativa inicial/análise.

A Figura 4.25 apresenta a variação temporal da média da pressão entre os dias 17 de julho de 2014 às 00Z, que foi a primeira análise gerada pelo sistema GSI-BAM, até o dia 1 de setembro de 2014 às 00Z, que foi o último dia avaliado. Vale ressaltar que o sistema continuou evoluindo no tempo, mas como explicado na metodologia, a avaliação é somente do mês de agosto de 2014. Pode-se notar através dessa figura que os quatro experimentos apresentam um comportamento semelhante pois a massa se mantém durante todo o experimento, as variações de pressão (eixo y da Figura 4.25) em todo período foram menores que 1 hPa.

Figura 4.25 - Variação temporal (17/07/2014 às 00Z à 01/09/2014 00Z) da média global da pressão à superfície nas análises geradas nos diferentes experimentos no sistema GSI-BAM.

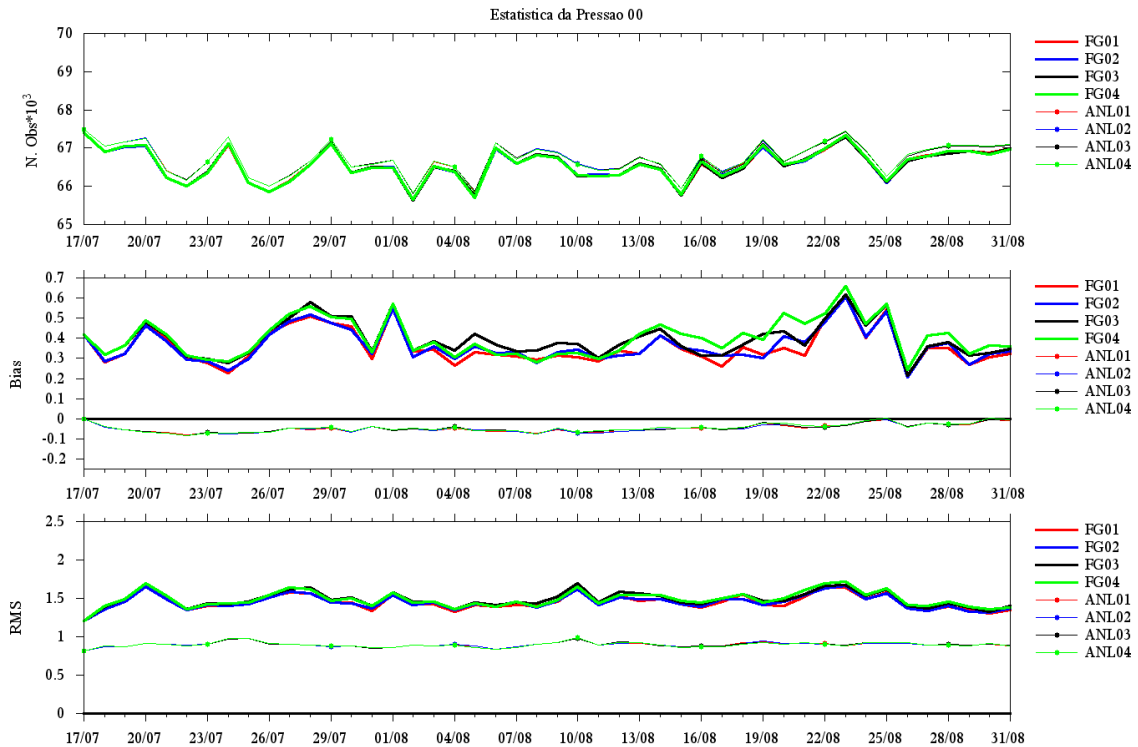


A linha preta representa o experimento controle (EXP01), a linha verde o EXP02, a linha amarela o EXP03 e a linha vermelha o EXP04.

Fonte: Produção do próprio autor.

A avaliação com relação as observações é apresentada na Figura 4.26, na qual está a variação temporal das observações de pressão à superfície às 00Z. O gráfico superior dessa figura refere-se às observações utilizadas, onde pode-se notar que com relação a estimativa inicial e com relação a análise (linhas com círculo) os quatro experimentos apresentam comportamento semelhante. O painel do meio apresenta a variação temporal do viés e, como é de se esperar, a linha referente à análise está mais próxima de zero do que a linha com relação a estimativa inicial. Isso ocorre pois o processo de assimilação conseguiu corrigir a estimativa inicial, diminuindo assim a diferença com relação as observações. O painel inferior da Figura 4.26 mostra a variação temporal do RMS, nessa nota-se que como no caso do viés a análise apresenta valores menores, conforme esperado. As outras variáveis e horários não são apresentados pois têm o comportamento semelhante ao da Figura 4.26.

Figura 4.26 - Variação temporal (17/07/2014 à 31/08/2014) das estatísticas das observações de pressão à superfície para o horário das 00Z.



A linha vermelha representa o experimento controle (EXP01), a linha azul o EXP02, a linha preta o EXP03 e a linha verde o EXP04. As linhas espessas representam a estimativa inicial e as linhas com círculo as análises.

Fonte: Produção do próprio autor.

4.5.2 Estatística da assimilação dos dados de pressão à superfície, temperatura, vento, umidade e refratividade do GPS

Primeiramente foram analisadas, de forma global, as observações assimiladas de temperatura, vento, umidade, pressão e refratividade do GPS. As análises são geradas de modo cíclico, por isso podem ocorrer mudança no uso de observações que não estão relacionadas com as radiancias. A Tabela 4.7 apresenta uma síntese do número médio de observações assimilados para cada horário de análise. Nessa tabela não consta o número médio das observações de temperatura e umidade pois essas, na média, não variaram de um experimento para o outro. O número médio de observações de temperatura para todos os experimentos às 00Z é de 37335, às 06Z o valor é 10891, às 12Z é de 38171 e às 18Z a média é de 8942. Para os dados de umidade o número médio de observações assimiladas é de 15806 às 00Z, de 2434

às 06Z, às 12Z é de 15754 e às 18Z é de 2294. Na Tabela 4.7 nota-se que os valores do número médio das observações não varia "expressivamente" entre os experimentos para as observações de pressão, vento e refratividade do GPS. O teste de significância estatística de t-student foi aplicado para avaliar se essas diferenças apresentam significância estatística, o resultado mostra que a diferença não é estatisticamente significativa (resultado não apresentado).

Tabela 4.7 - Número médio de dados assimilados no mês de agosto de 2014 referente aos quatro horários sinóticos para as observações de pressão à superfície, vento e GPS. Os valores em destaque são do experimento que mais assimila esse tipo de dado.

Pressão	Experimentos			
	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
00Z	66721	66723	66723	66715
06Z	68387	68374	68385	68383
12Z	70814	70811	70813	70811
18Z	67926	67926	67926	67923
Vento	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
00Z	258601	258630	258586	258595
06Z	236969	236946	236930	236954
12Z	280533	280519	280519	280509
18Z	200031	200005	200085	200037
GPS	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
00Z	73496	73491	73497	73500
06Z	79298	79304	79310	79304
12Z	74452	74459	74466	74446
18Z	72563	72552	72582	72553

Além da avaliação da média do número de observações no período, também foi avaliada a variação temporal do número de observações de todos os experimentos com relação ao experimento controle (EXP01). Nessa avaliação o comportamento da temperatura e da umidade foi praticamente o mesmo para todos os experimentos quando comparados com o EXP01 (a figura foi omitida). A variação temporal da diferença no número de observações assimiladas de pressão, vento e dados de GPS não apresenta uma predominância de um experimento assimilar mais/menos que o outro experimento de forma predominante no tempo, isto é, os valores de diferença com relação ao EXP01 oscilam de valores positivos para valores negativos (figura não apresentada).

4.5.3 Estatística da assimilação dos dados de radiância dos sensores MHS, HIRS-4, IASI e AIRS

A avaliação da estatística dos dados assimilados das observações de radiância foi realizada em duas etapas. Primeiramente foram analisados os sensores que não possuem os canais nas frequências em que a emissividade da superfície foi avaliada, isto é, sensores MHS, HIRS-4, IASI e AIRS. Posteriormente foi apresentada as características dos dados assimilados dos sensores AMSU-A e o ATMS. A avaliação foi ainda mais detalhada para os canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A, pois o objetivo é avaliar as mudanças na condição de superfície, e seus efeitos no uso desses dados na assimilação.

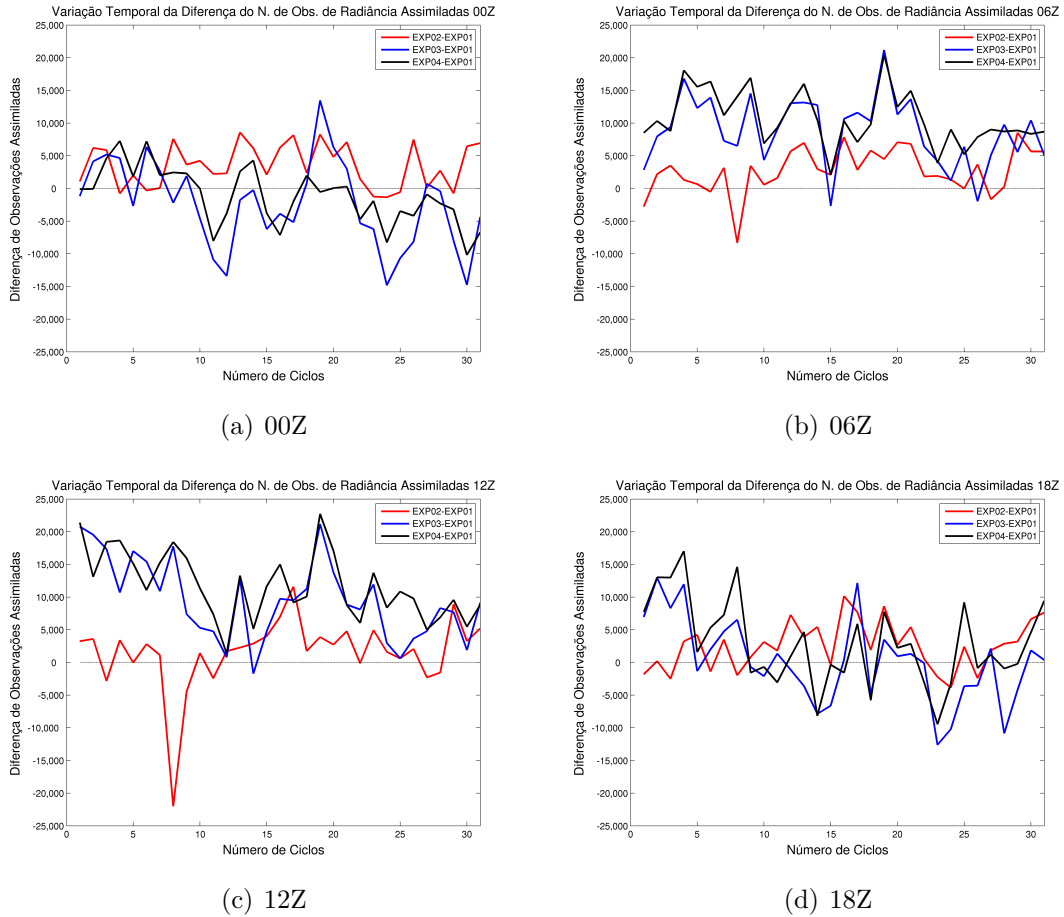
A análise do número médio de observações assimiladas para os sensores MHS, HIRS-4, IASI e AIRS é apresentada na Tabela 4.8. O número médio de observações assimiladas é diferente entre os experimentos, porém essas diferenças não são estatisticamente significativas. Contudo, vale observar que o EXP01, na média, só assimila mais que os outros experimentos no horário das 06Z para HIRS-4. O MHS tem mais dados na média assimilados no EXP02 às 00Z e 18Z, e no EXP03 nos outros dois horários. O experimento que mais assimila, na média, os dados do AIRS é o EXP02 para às 00Z e o EXP04 para os outros horários de análise. O EXP04, na média, assimila mais dados que os outros experimentos quando se trata dos dados do sensor IASI. O HIRS-4 apresenta mais dados assimilados no EXP02 para o horário das 00Z e 18Z, o EXP01 para o horário das 06Z e o EXP04 no das 12Z.

Tabela 4.8 - Número médio de dados assimilados no mês de agosto de 2014 para os quatro horários de análise dos sensores MHS, AIRS, IASI e HIRS-4, para os quatro experimentos. Os valores em destaque são do experimento que mais assimila esse tipo de dado.

MHS	EXPERIMENTOS			
	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
00Z	80176	80423	80064	79771
06Z	78590	78685	79094	78895
12Z	79487	79608	79640	79405
18Z	78877	78957	78478	78356
AIRS	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
00Z	480300	480825	476527	476913
06Z	456052	456709	458036	458832
12Z	471056	471178	472256	473117
18Z	435545	435767	436515	437087
IASI	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
00Z	1564710	1566048	1567805	1568013
06Z	1486503	1487406	1494207	1494995
12Z	1532346	1532666	1541661	1542754
18Z	1557593	1558835	1557539	1558847
HIRS-4	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
00Z	44840	44938	44716	44759
06Z	43472	43464	43307	43292
12Z	43971	44011	43936	44030
18Z	43818	43888	43375	43490

A variação temporal das observações de radiância (exceto AMSU-A e ATMS) foi avaliada em termos da diferença entre os experimentos e o experimento controle para os quatro horários de análise (Figuras de 4.27a a 4.27d). Por essas figuras pode-se notar que a diferença entre o experimento EXP02 e o EXP01 (linha vermelha) é a que apresenta um comportamento regular em todos os horários, Figuras 4.27a-4.27d, isto é, assimila, na maioria das situações, mais observações que o experimento controle (diferença positiva). As diferenças entre o EXP03 e o EXP01 (linha azul) e o EXP04 e o EXP01 (linha preta) apresentam comportamento similar, tendo uma contribuição positiva evidente (aumento no número de observações com relação ao controle) nos horários das 06Z e 12Z, Figuras 4.27b e 4.27c. No horário das 00Z e 18Z, o comportamento desses experimentos apresenta no começo do período analisado um maior número de observações assimiladas com relação ao controle, e no decorrer do tempo a tendência é assimilar menos observações que o controle.

Figura 4.27 - Variação temporal das diferenças entre os dados assimilados de radiância (exceto AMSU-A e ATMS) nos diferentes experimentos com relação ao EXP01 para o mês de agosto/2014.



a) representa o horário das 00Z, o b) das 06Z, o c) das 12Z e d) o horários das 18Z. A linha vermelha se refere à diferença entre o EXP02 e o EXP01, a linha azul entre o EXP03 e o EXP01 e a linha preta entre o EXP04 e o EXP01.

Fonte: Produção do próprio autor.

4.5.4 Estatística da assimilação dos dados de radiância dos sensores AMSU-A e ATMS

4.5.4.1 Número de observações assimiladas

Com as mudanças realizadas nos experimentos EXP02, EXP03 e EXP04 com relação ao experimento controle espera-se que as principais diferenças no número de dados assimilados sejam encontradas nos canais sensíveis à superfície. A Tabela 4.9 apresenta o número médio de observações assimiladas provenientes dos diversos sa-

télices que possuem a bordo sensor AMSU-A, isto é, é a média da soma de cada canal do sensor a bordo dos satélites NOAA-15, 18 e 19 e METOP-A e B.

Na Tabela 4.9 nota-se que as principais diferenças entre os 3 experimentos e o controle (EXP01) estão nos canais 1, 2 e 3 sobre o continente (valores fora do parênteses). Na média o experimento que tem mais observações assimiladas nos 5 primeiros canais do AMSU-A é o EXP02, seguido do EXP04 nos canais 1 e 2. Nos outros canais, de 3 a 5, o EXP04 diminui, na média, o uso desses dados. O EXP03, na média, não trouxe uma contribuição positiva para o uso dos canais do sensor AMSU-A presentes na Tabela 4.9. Para os dados do ATMS, verifica-se que o experimento onde mais dados são assimilados, na média, é o EXP02, seguido do EXP04 para os canais de 1 a 3, nos outros canais o experimento EXP04 não apresenta contribuição positiva. O EXP03, assim como ocorre para os dados do AMSU-A, na média assimila menos dados quando comparado ao experimento controle e também aos demais experimentos. O número médio de observações assimiladas é consistente com os valores do sistema de assimilação operacional do NCEP (<http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/gdas/radiance/esafford/opr/index.html>), por exemplo.

Os outros canais (6-14) que não estão presentes na Tabela 4.9, não apresentam diferenças maiores que 30 observações, tanto na superfície continental quanto sobre os outros tipos de superfície, evidenciando que não existe contribuição da superfície na simulação da temperatura de brilho nesses canais (Tabela B.1). O canal 15 tem sensibilidade a variações na superfície, porém dentro do sistema GSI a emissividade é fixa (independente das características da superfície) e no presente estudo esse valor fixo não foi modificado. Os canais de 7-22 do sensor ATMS não apresentam diferenças consideráveis entre os experimentos (Tabela B.1).

Tabela 4.9 - Número médio de observações assimiladas em um ciclo de análise de agosto/2014 para os canais de 1 a 5 do sensor AMSU-A (a bordo de todos os satélites) e para os canais 1 a 6 do ATMS. Os números fora do parênteses são referentes às observações que estão sobre 100% continente (exceto gelo e neve), e os dentro dos parênteses são os outros tipos de superfície (água, neve e gelo). Os valores em negrito destacam o experimento que na média assimila mais dados.

AMSU-A		EXPERIMENTOS			
Canais	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04	
1	1886 (21090)	2232 (21134)	1846 (21118)	2160 (21126)	
2	2005 (21919)	2247 (21954)	1891 (21931)	2132 (21944)	
3	3467 (22785)	3597 (22810)	3333 (22798)	3449 (22801)	
4	4127 (23019)	4148 (23030)	3905 (23038)	3916 (23027)	
5	4127 (23019)	4148 (23030)	3905 (23038)	3917 (23028)	
ATMS		EXPERIMENTOS			
Canais	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04	
1	355 (3956)	414 (3959)	348 (3962)	399 (3954)	
2	367 (4117)	404 (4117)	356 (4119)	395 (4115)	
3	532 (4142)	571 (4142)	518 (4144)	544 (4140)	
4	794 (4196)	818 (4196)	731 (4198)	748 (4194)	
5	839 (4185)	860 (4184)	754 (4186)	768 (4182)	
6	836 (4197)	857 (4197)	754 (4199)	767 (4195)	

Para a análise mais detalhada foram selecionadas somente as observações sobre o continente dos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A, isto é, os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3GHz.

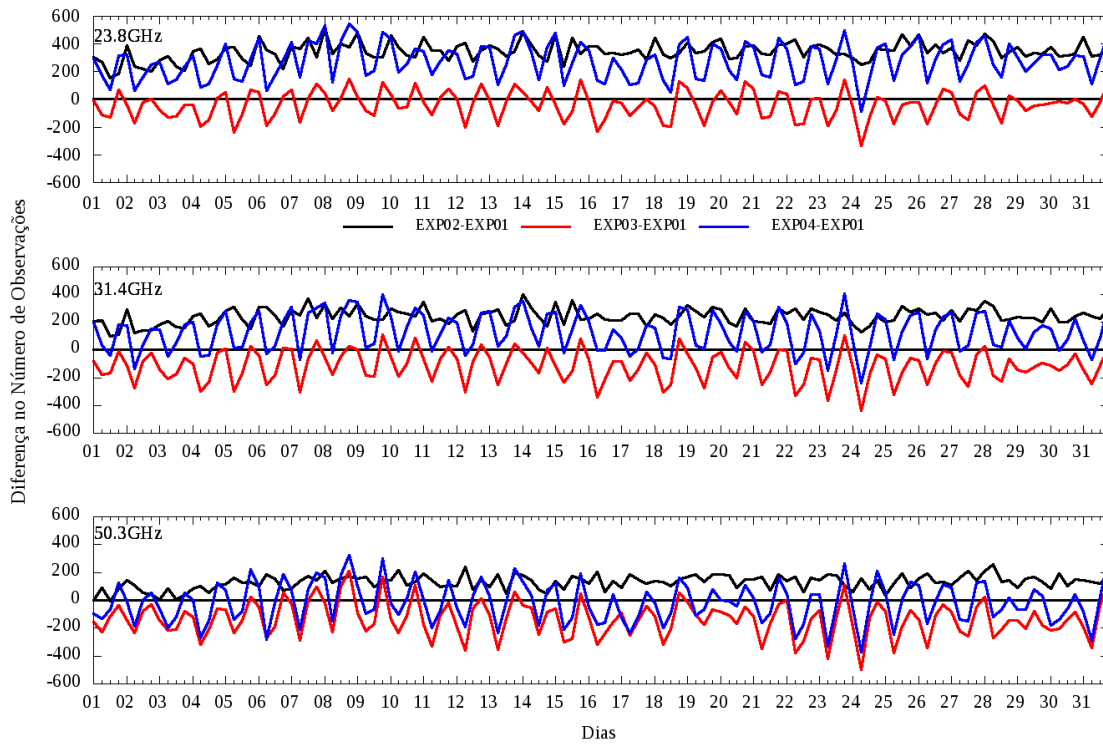
Além da média das observações assimiladas no período de interesse (Tabela 4.9), é importante avaliar a variação temporal do número médio de observações assimiladas. As avaliações foram realizadas comparando os experimentos com o controle, onde foram calculadas as diferenças no número de observações assimiladas em cada ciclo. Desse modo, os valores negativos indicam que o experimento assimila menos observações enquanto os valores positivos que o experimento avaliado assimila mais dados relativo ao EXP01. A Figura 4.28 apresenta a variação temporal dessas diferenças, onde o painel superior se refere ao canal 23,8 GHz, o do meio ao 31,4 GHz e o inferior ao 50,3GHz.

Na Figura 4.28 nota-se que o EXP02 (linhas pretas) assimila mais dados em todos os canais, contudo a medida que a frequência do canal aumenta a diferença entre o experimento EXP02 e o controle diminui, concordando com o número médio das

observações no período (Tabela 4.9). O EXP3 (linha vermelha) é o que assimila menos dados relativo ao experimento controle em todos os canais, com maiores diferenças no canal 50,3GHz. O EXP04 (linha azul) apresenta uma contribuição positiva no número de observações no canal 23,8 GHz, contudo o padrão de variação é semelhante ao EXP03, o mesmo é observado nos outros canais, e a medida que a frequência aumenta o EXP04 se aproxima da linha do EXP03. Nota-se ainda que no EXP04 a diminuição do uso dos dados nos canais 31,4 GHz e 50,3 GHz ocorre, preferencialmente, às 06Z e 12Z (figura não apresentada).

A variação dos experimentos com relação aos canais pode estar associada a influência que as variáveis T_{skin} e SM tem na simulação da emissividade. Como visto na análise de sensibilidade, a variação do índice de primeira ordem do Sobol para o T_{skin} aumenta a medida que frequência aumenta, e com relação a SM tem efeito contrário. Essa característica pode justificar a diminuição das diferenças no EXP02 com o aumento da frequência, assim como a aproximação das curvas do EXP04 e EXP03.

Figura 4.28 - Variação temporal (agosto/2014) da diferença do número de observações assimiladas entre os experimentos e o experimento controle para as observações dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do sensor AMSU-A.



Painel superior são as observações do canal 23,8 GHz, painel do meio do canal 31,4 GHz e painel inferior do canal 50,3GHz. As linhas pretas representam a diferença entre o experimento EXP02 e o controle (EXP01), as linhas vermelhas entre o EXP03 e o EXP01 e as linhas azuis entre o EXP04 e o EXP01. Valores negativos significam que o experimento assimila menos dados que o controle, e positivos assimila mais.

Fonte: Produção do próprio autor.

O número médio de observações assimiladas (Tabela 4.9) assim como a variação temporal da diferença das observações entre os experimentos e controle, mostra que ocorrem diferenças entre os experimentos. Contudo, uma avaliação detalhada em cada tipo de cobertura de superfície considerada foi realizada para analisar onde estão estas diferenças, isto é, existe um comportamento diferente do encontrado para o globo quando analisa-se os diferentes tipos de cobertura.

As avaliações a seguir foram realizadas considerando a disponibilidade dos dados de temperatura da superfície terrestre proveniente do produto do MIRS. Desse modo, as análises consideram somente os dados do sensor AMSU-A a bordo dos satélites

NOAA-18, NOAA-19, METOP-A e METOP-B. Na média, por sensor, os resultados analisados são representativos também para os dados do NOAA-15.

A Figura 4.29 apresenta a porcentagem dos dados assimilados no mês de agosto de 2014 sobre os diferentes tipos de cobertura (Tabela 3.2) e nos diferentes experimentos para o canal 23,8 GHz (Figura 4.29a), 31,8 GHz (Figura 4.29b) e 50,3 GHz (Figura 4.29c). A porcentagem é o total de dados assimilados referente ao total de dados disponível para assimilar sobre o tipo de cobertura analisado, isto é, o valor total de observações disponível é diferente para cada tipo de superfície. Contudo, número total de observações disponível é o mesmo para todos experimentos. Primeiramente, foi realizada a avaliação do EXP02 com relação ao EXP01, Figura 4.29, sobre todos os tipos de cobertura o experimento EXP02 assimila mais dados que o EXP01 nos canais 23,8 GHz (Figura 4.29a) e 31,4 GHz (Figura 4.29b), esse comportamento é mais evidente nos tipos de cobertura 5 e de 7 a 11. No canal 50,3 GHz (Figura 4.29c) o EXP02 tem diminuição no uso com relação ao controle sobre as áreas caracterizadas como floresta tropical (1), floresta temperada (2), mista (3), floresta boreal (4) e caatinga (8).

O EXP03 está representado pelas barras amarelas na Figura 4.29. Esse experimento assimila mais dados que o EXP01 no canal 23,8 GHz (Figura 4.29a) e no canal 31,4 GHz (Figura 4.29b) sobre áreas caracterizadas como floresta tropical (1), floresta temperada (2), savana (6) e cultivos (12). No canal 50,3 GHz (Figura 4.29c), apresenta o mesmo comportamento que nos outros canais, porém a porcentagem de dados assimilados sobre regiões de tundra é maior que o do EXP01. Sobre os tipos de cobertura caracterizados como campos (7), caatinga (8), semi-deserto (9) e solo nu (11), onde observa-se que a taxa de uso dos dados diminui, isto é, quando utiliza-se a temperatura de superfície proveniente do GLDAS a taxa de uso desses dados é menor quando compara-se com o experimento controle, essa característica é observada em todos os canais. O fato de ocorrer a diminuição do uso dos dados sobre essas regiões pode estar relacionada a subestimativa da temperatura da superfície terrestre do GLDAS com relação aos dados observados (SURFRAD) ou aos estimados por satélite GOES apresentada em [Zheng et al. \(2012\)](#).

A porcentagem do uso dos dados no EXP04 está representado na Figura 4.29 pelas barras vermelhas onde nota-se que para os tipos de superfície relacionados com vegetação mais densa (presença de floresta, 1 a 5 e o 12) o comportamento desse experimento é semelhante ao EXP03 (barras amarelas) para os canais 23,8 GHz (Figura 4.29a) e 31,4 GHz (Figura 4.29b). Nos outros tipos de cobertura se assemelha

ao EXP02 (barras ciano). No canal 50,3 GHz o EXP04 apresenta características semelhantes ao EXP03, nos tipos de cobertura de 1 a 6 e sobre regiões de cultivos.

Figura 4.29 - Taxa de uso dos dados do canal 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz para gerar as análises para o mês de agosto/2014 sobre os 12 tipos de cobertura da superfície.

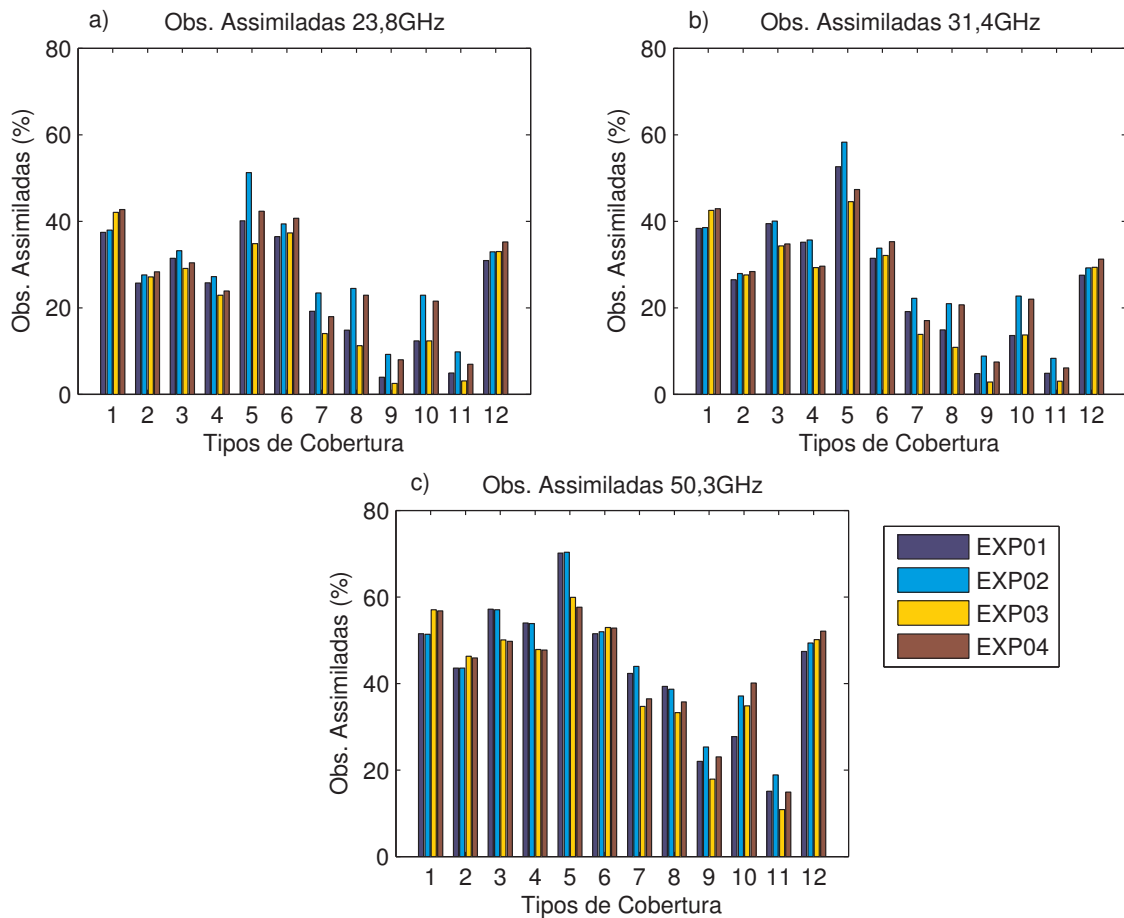


Figura a) representa o canal 23,8 GHz, a b) o canal 31,4 GHz e a c) o canal 50,3GHz. As barras azuis representam o experimento controle (EXP01), barras cianos o EXP02, as barras amarelas o EXP03 e as vermelhas o EXP04. O índice 1 representa a floresta tropical, o 2 a floresta temperada, o 3 a floresta mista, 4 a floresta boreal, o 5 a floresta de conífera, o 6 a savana, o 7 regiões de campos, o 8 a caatinga, o 9 o semi-deserto, o índice 10 a tundra, o 11 o solo nu e o 12 áreas de cultivos.

Fonte: Produção do próprio autor.

4.5.4.2 Análise das marcas de controle de qualidade

Na análise do número de observações assimiladas (Figuras 4.28 e 4.29) nota-se que ocorrem mudanças no uso dessas devido as condições de superfície que foram modificadas, isto é, existe uma mudança na marca de controle de qualidade entre os experimentos. O controle de qualidade define se a observação é utilizada ou não no processo de assimilação. Os dados do AMSU-A apresentam cinco marcas de controle de qualidade interna, como definidas na Tabela 3.3, descrita na seção 3.1.2.1. As observações que mantiveram a mesma marca de controle de qualidade foram contabilizadas, por exemplo, a observação foi aceita para assimilar no experimento controle e no EXP02 (representada como Aceito = Aceito) e as observações que foram rejeitadas nos dois experimentos (Rejeitado = Rejeitado). As observações que eram assimiladas no experimento EXP01 e passaram a não ser no experimento avaliado (Aceito->Rejeitado) também foram contabilizadas, assim como as observações que não eram assimiladas no experimento controle e passaram a ser (Rejeitado->Aceito).

O interesse principal é avaliar a diferença entre as categorias Rejeitado->Aceito e Aceito->Rejeitado. Desse modo, as outras categorias citadas anteriormente estão avaliadas no Apêndice D. A Figura 4.30a mostra a diferença entre essas duas categorias do uso dos dados com relação ao EXP01 para o canal 23,8 GHz, onde as barras representam os diferentes tipos de cobertura, e os valores positivos mostram quando a quantidade de observações na categoria Rejeitado->Aceito é maior que na categoria Aceito->Rejeitado, e os valores negativos representa quando ocorre o contrário, isso é, há uma diminuição no uso dos dados.

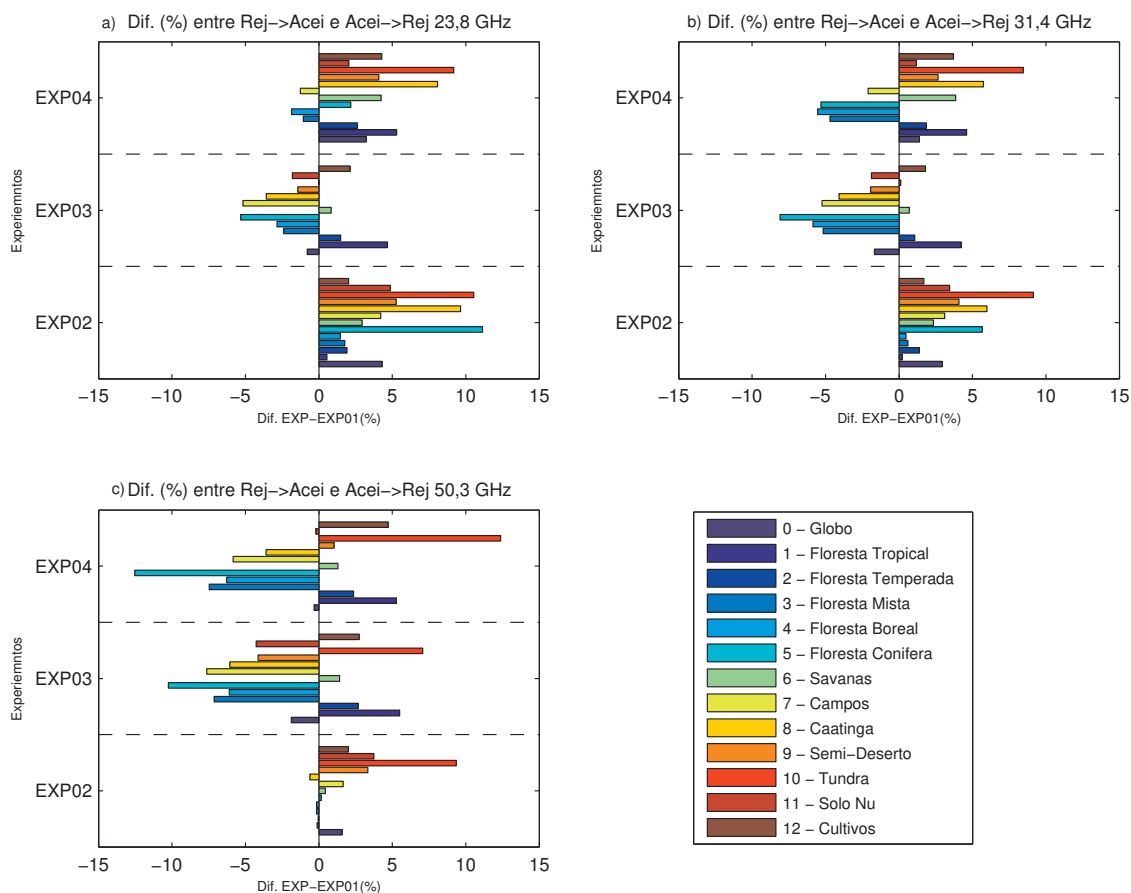
O tipo de cobertura floresta de conífera (5) apresenta o maior uso dos dados, seguido da Tundra e da Caatinga para o EXP02. No EXP03 o maior uso dos dados com relação ao experimento controle é nas regiões caracterizadas pela cobertura do tipo floresta tropical, seguida do cultivos. Na Figura 4.30a ainda pode-se observar que no EXP04 nas regiões de tundra, caatinga e floresta temperada o número de dados que mudam o QC para serem utilizados foi maior para esse experimento quando relacionado com o controle.

Na Figura 4.30b, canal 31,4 GHz, nota-se que nos tipos de cobertura onde ocorrerem as maiores diferenças na relação (Rejeitado->Aceito - Aceito->Rejeitado) no EXP02 são a tundra, seguida da caatinga e da floresta de conífera. No EXP03 é sobre regiões de floresta tropical e cultivos, enquanto o EXP04 segue a mesma ordem de comportamento que esse experimento teve no canal 23,8GHz.

Para o canal 50,3 GHz somente o experimento EXP02 ainda mantém um ganho quando comparado com o EXP01, para o globo. Porém, o experimento EXP02 apresenta diminuição no uso das observações sobre as coberturas de 1 a 4 e sobre a caatinga (8), representado pelos valores negativo na diferença (Rejeitado->Aceito - Aceito->Rejeitado) na Figura 4.30c. Para esse mesmo experimento nota-se que somente sobre regiões de tundra, solo nu, semi-deserto e cultivos que o comportamento se mantém semelhante aos outros canais.

O EXP03, no canal 50,3 GHz, apresenta contribuição negativa sobre as mesmas áreas observadas para os outros canais, contudo esses valores são maiores dos que os observados para os canais 23,8 GHz e 31,4 GHz. O EXP03 em regiões de Tundra passa a ter contribuição positiva, não apresentava para os outros canais, como pode ser observado na Figura 4.30c. O EXP04, no canal 50,3 GHz, passa a ter um maior número de observações que eram da categoria aceito no EXP01 e passaram para a categoria rejeitado. Essa característica pode ser notada pelas barras negativas na Figura 4.30c. Essas observações estão em áreas caracterizadas como floresta mista, boreal, de conífera, assim como em regiões identificadas como campos, caatinga, semi-deserto e solo nu.

Figura 4.30 - Diferença entre a porcentagem das observações que são rejeitadas no experimento controle e passam a ser aceitas nos experimentos avaliados (Rej->Acei) e a porcentagem das observações que são aceitas no EXP01 e passam a ser rejeitadas nos experimentos avaliados (Acei->Rej).



As barras representam os diferentes tipos de cobertura da superfície que estão descritos na Tabela 3.2. Valores negativos (positivos) representam que o experimento assimila menos (mais) observações que o controle.

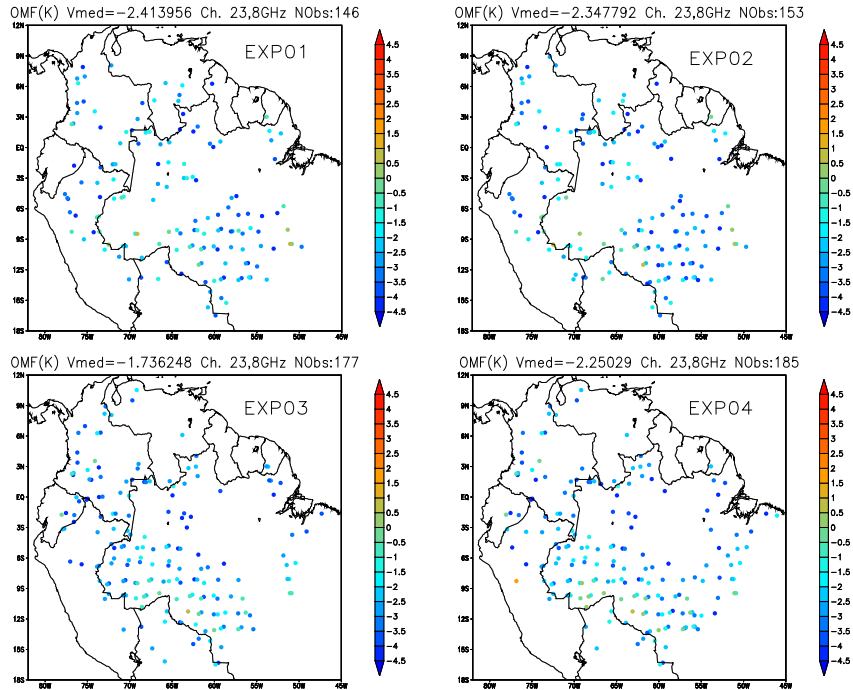
Fonte: Produção do próprio autor.

As diferenças na taxa do uso das observações sobre cada tipo de cobertura podem ser visualizadas através de campos espaciais. As Figuras 4.31a e 4.31b mostram um exemplo de quatro campos espaciais do OMF/OMA do canal 23,8 GHz do AMSU-A a bordo dos 5 satélites. Nessas figuras os pontos são de dados assimilados e situados somente sobre floresta tropical. Os quatro mapas são referente ao dia 18 de agosto de 2014 às 18Z. A Figura 4.31a representa pontos de OMF, onde o painel superior esquerdo apresenta o experimento controle (EXP01), o superior direito o EXP02, o

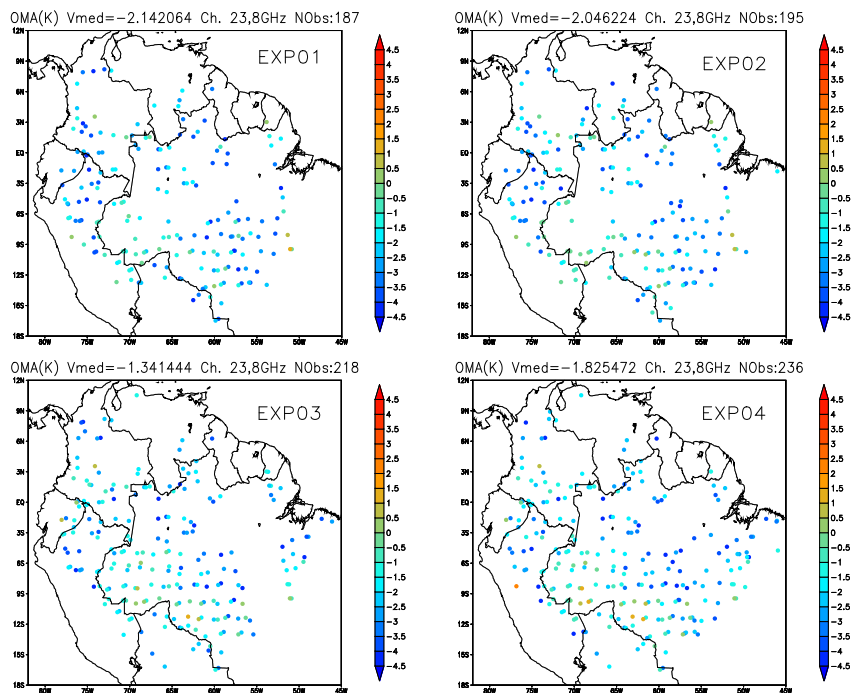
inferior esquerdo o EXP03 e o inferior direito o EXP04. A Figura 4.31b representa os mesmos experimentos que a Figura 4.31a, porém as informações presentes nessa estão relacionadas com os dados que foram assimilados. O comportamento das duas figuras é semelhante, isto é, o experimento onde se tem o número maior de dados é o mesmo, contudo será avaliada somente a Figura 4.31b. Nota-se que pelo número de observações (NObs na Figura 4.31b) o experimento onde são assimiladas mais observações sobre essa região é o EXP04, seguido do EXP03, EXP02 e do EXP01. Sobre o estado do Acre e o oeste do Amazonas, por exemplo, o número de pontos de observação assimilados é maior nos experimentos EXP04 e EXP03 do que no EXP01.

Para representar regiões com cobertura vegetal menos densa foram selecionadas regiões com tipo de cobertura 8, que é identificado como caatinga. Na Figura 4.32b observa-se que existe um aumento no número de observações assimiladas no experimento EXP02 com relação ao controle, o mesmo ocorre no EXP04. Ao passo que no EXP03 ocorre uma diminuição no número de observações assimiladas, os comportamentos descritos concordam com o desses experimentos sobre essas regiões apresentadas nas Figuras 4.29a e 4.30. As figuras espaciais apresentadas não são a representação de todas as regiões com os tipos de cobertura selecionadas, contudo representam o comportamento dessas em termos de número de observações assimiladas .

Figura 4.31 - Distribuição espacial da T_B observada menos a simulada no ponto da observação utilizando a estimativa inicial (OMF) e OMA (observação menos a análise) do canal 23,8 GHz do sensor AMSU-A para o dia 18/08/2014 às 18Z, sobre a região de floresta tropical.



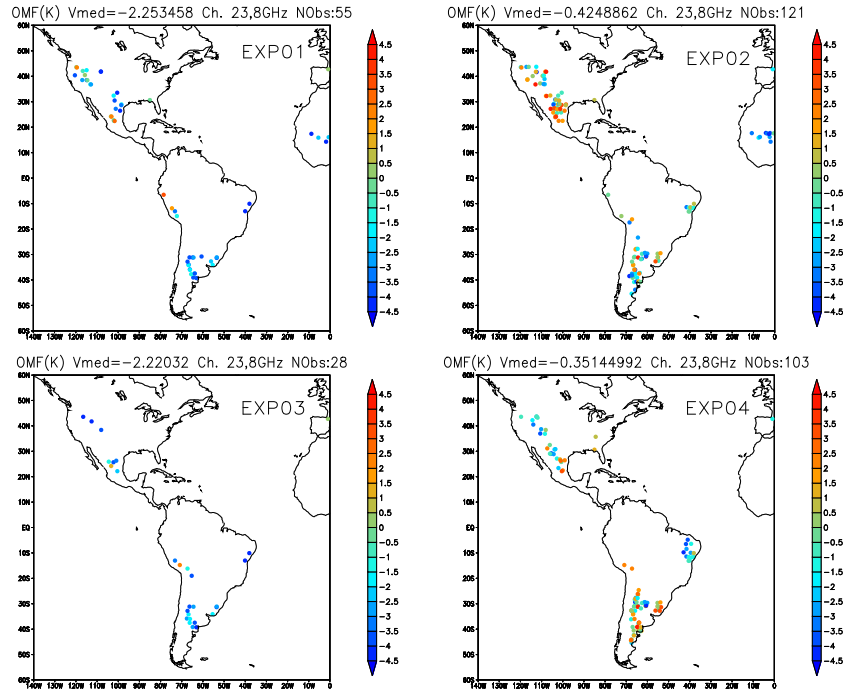
(a) OMF (K)



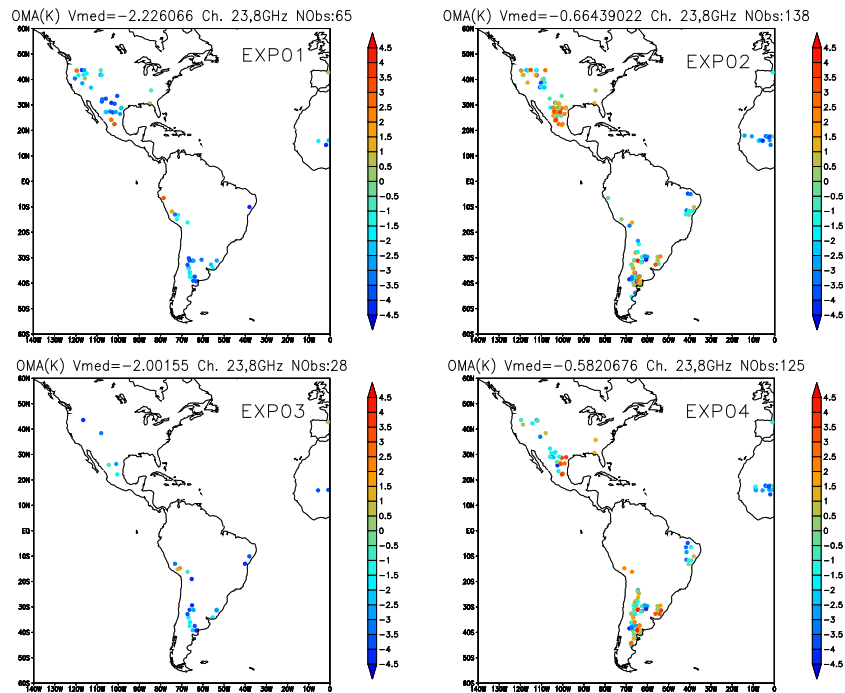
(b) OMA (K)

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4.32 - Distribuição espacial da T_B observada menos a simulada no ponto da observação utilizando a estimativa inicial (OMF) e OMA (observação menos a análise) do canal 23,8 GHz do sensor AMSU-A para o dia 15/08/2014 às 00Z, sobre a região de caatinga.



(a) OMF (K)



(b) OMA (K)

Fonte: Produção do próprio autor.

A modificação no uso das observações nos diferentes experimentos com relação ao experimento controle mostra que no experimento EXP02 essa mudança é positiva (aumenta o número de observações assimiladas) em todos os canais, exceto no canal 50,3 GHz sobre as coberturas da superfície caracterizadas como floresta tropical, temperada, mista, boreal e caatinga. Ao passo que o EXP03 apresenta contribuição negativa (diminui o número de observações assimiladas) em todos os canais para os tipos de superfície caracterizados como floresta mista, floresta boreal, floresta de conífera, campos, caatinga, semi-deserto e solo nu. E o EXP04 apresenta diminuição no uso de dados com relação ao EXP01 somente sobre regiões de floresta mista, boreal e de conífera e sobre áreas de campos para todos os canais, e ainda em regiões de caatinga para o canal 50,3GHz.

A próxima etapa da avaliação visa identificar o comportamento das características da superfície que foram modificadas em cada experimento quando os dados são aceitos nos dois experimentos e quando esses passam de Rejeitado-Aceito, caso que traz uma contribuição positiva para o uso dos dados.

Primeiramente o EXP02 foi comparado com o EXP01, essa avaliação relaciona os dois experimentos nas categorias Aceito=Aceito (utilizado nos dois experimentos) e Rejeitado->Aceito (rejeitado no EXP01 e aceito no EXP02). Na Tabela 4.10, para o canal 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz, nota-se que sobre globo e sobre todos os tipos de cobertura, exceto cultivos, as observações aceitas nos dois experimentos tiveram, em sua maioria, o valor de umidade do solo maior no EXP02. No globo, por exemplo, representa mais de 3 vezes o número de observações. O tipo de cobertura da superfície que apresenta mais observações assimiladas em pontos onde ocorre um aumento da umidade do solo é a região caracterizada como savana para o canal 23,8 GHz e para os outros canais é sobre as áreas caracterizadas como floresta boreal. Na Tabela 4.10 observa-se que quando o dado passa de um controle de qualidade que o rejeita no EXP01 para aceito no EXP02, isso ocorre mais quando há um aumento na umidade do solo no EXP02, fato observado para todos os tipos de cobertura e para os três canais.

Tabela 4.10 - Análise do comportamento da *SM* no experimento EXP02 relacionada a *SM* no experimento controle. A avaliação se refere aos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz.

Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 23,8 GHz				Uso das Observações Canal 31,4 GHz				Uso das Observações Canal 50,3 GHz				Total de Dados Disponível
	Aceito = Aceito		Rejeitado -> Aceito		Aceito = Aceito		Rejeitado -> Aceito		Aceito = Aceito		Rejeitado -> Aceito		
	u1<u2	u1>u2	u1<u2	u1>u2	u1<u2	u1>u2	u1<u2	u1>u2	u1<u2	u1>u2	u1<u2	u1>u2	
Global	114395	33928	53529	5404	125836	31954	45405	5579	230590	54972	38278	5783	737912
1-Floresta Tropical	17864	4668	2415	862	18435	4780	2165	838	25171	6864	1922	984	68006
2-Floresta Temperada	3960	2619	954	257	4069	2813	748	248	7375	4216	379	319	28229
3-Floresta Mista	7368	1363	913	58	9403	1621	619	62	13931	2229	422	74	29215
4-Floresta Boreal	21614	1419	2203	68	29605	1990	1464	85	44715	4126	1088	117	92999
5-Floresta Conífera	18801	475	6633	25	24809	560	4090	34	33535	659	1342	33	50598
6-Savanas	17852	6534	9054	1296	14378	5352	8765	1255	29728	9296	5357	1430	88153
7-Campos	4505	1372	2441	240	4382	1366	2116	255	11167	3121	1424	355	36552
8-Caatinga	3774	559	8580	176	3224	463	7344	155	14114	817	5580	188	53490
9-Semi-Deserto	1668	306	5028	74	1901	282	4551	71	12155	531	6688	118	76965
10-Tundra	4045	392	5268	30	4261	401	4942	44	10238	758	4729	34	42483
11-solo nu	1454	378	5166	128	1414	336	4182	135	7292	565	5713	142	72817
12-Cultivos	11490	13843	4874	2190	9955	11990	4419	2397	21169	21790	3634	1989	98405

u1=umidade do solo EXP01, u2=umidade do solo EXP02

O EXP02 apresenta uma taxa maior do uso dos dados quando compara-se com o controle. Contudo, além de utilizar mais dados, o desejável é que diminua o OMF/OMA, isto é, que no experimento EXP02 a temperatura de brilho simulada seja mais perto da observação que a simulada no EXP01 para os canais em questão. O OMF/OMA é um dos critérios do controle de qualidade, se esse estiver elevado, maior que o erro máximo aceito (4,5 K para os canais que estão sendo avaliados), a observação é rejeitada. Porém, a eliminação da observação também pode ser por falha em outras etapas do processo de controle de qualidade, conforme Tabela 3.3. Desse modo, foram avaliados somente o OMA relacionados com as observações aceitas nos dois experimentos, rejeitada no EXP01 e aceita no EXP02 e as observações aceitas no EXP01 e rejeitadas no EXP02.

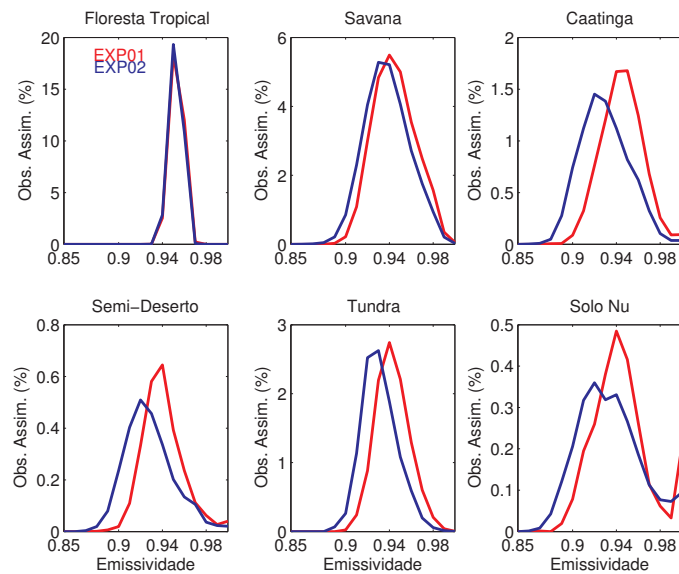
As Figuras 4.33a e 4.33b apresentam os histogramas de frequência da emissividade da superfície continental e do OMA (K), respectivamente, do canal 23,8 GHz para 6 tipos de cobertura. As observações contidas nessas figuras são aceitas no EXP01 (linha vermelha) e no EXP02 (linha azul). A região de floresta tropical representa o comportamento de todas as áreas referentes à floresta (2-4), exceto a de conífera, e as regiões caracterizadas como cultivo. Nota-se que sobre regiões de floresta não há diferenças entre os dois experimentos tanto no histograma de emissividade quanto no de OMA. A característica do histograma de frequência da savana representa também as regiões de floresta de conífera e campos, através da Figura 4.33a nota-se que ocorreu uma pequena diminuição na classe de máxima frequência. Enquanto para as áreas caracterizadas como caatinga, semi-deserto, tundra e solo nu ocorre uma diminuição no valor de emissividade de máxima ocorrência.

O comportamento dos histogramas de emissividade se refletem no OMA, isto é, se a emissividade diminui espera-se que a T_B diminua. Na Figura 4.33b as mesmas superfícies são apresentadas para representar o comportamento das demais, assim como na Figura 4.33a. Para as regiões de floresta não se nota mudança entre os dois experimentos. Ao passo que na figura que representa a savana há um pequeno deslocamento em direção ao zero no histograma do EXP02 (linha azul) quando comparada com o EXP01. As áreas caracterizadas como caatinga, semi-deserto, tundra e solo nu mostram comportamento semelhante, com a diminuição da frequência de valores no extremo inferior de aceitação do dado (-4,5 k), contudo aumenta a frequência de OMA positivo (linha azul), pode-se avaliar ainda que no EXP02 ocorre um aumento de frequência de valores de OMA sobre a classe de valor zero. A porcentagem apresentada nessas figuras é referente ao total de observações disponíveis para esses tipos de cobertura da superfície.

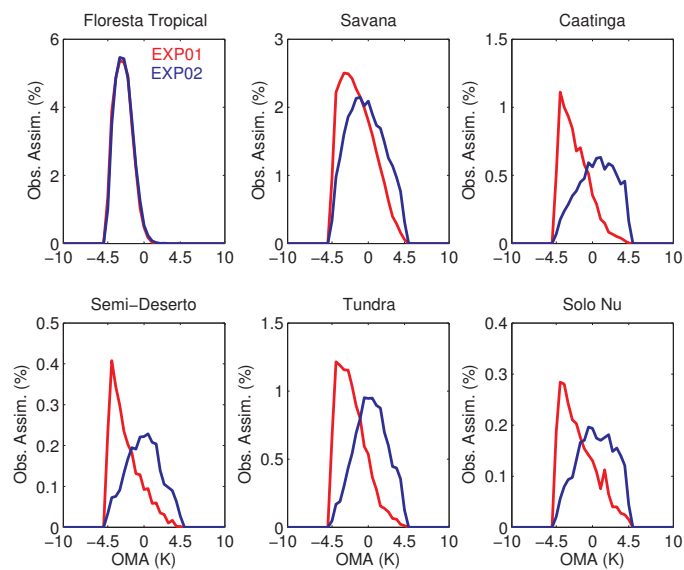
O canal 31,4 GHz apresenta as mesmas características nos histogramas de emissividade e de OMA que o canal 23,8 GHz (figuras não apresentadas). As observações assimiladas do canal 50,3 GHz nos dois experimentos apresentam características semelhantes do canal 23,8 GHz, com o EXP01 apresentando maiores valores de emissividade que o EXP02, contudo no canal 50,3 GHz o EXP01 apresenta uma frequência maior de valores de emissividade em 1,0. Os histogramas de OMA do canal 3 têm o mesmo comportamento do canal 1, contudo o aumento da frequência de valores em zero do EXP02 é menor no canal 50,3 GHz quando comparado ao 23,8 GHz (figuras omitidas).

Essa avaliação mostra que mesmo o dado sendo aceito nos dois experimentos, no EXP02 ocorre uma diminuição do OMA (mais próximo de zero). Contudo, ainda apresenta frequência alta de valores elevados de OMA. Desse modo, pode-se concluir que o EXP02 contribui de forma positiva para a redução do OMA quando comparase com o controle, o OMF apresenta o mesmo comportamento do OMA (figuras não apresentadas).

Figura 4.33 - Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 23,8 GHz para as observações aceitas no EXP01 e no EXP02.



(a) Emissividade do canal 23,8 GHz



(b) OMA (K) do canal 23,8 GHz

Os tipos de cobertura da superfície representados nas figuras são: floresta tropical, savana, caatinga, semi-deserto, tundra e solo nu. Linha vermelha representa o EXP01 e a linha azul o EXP02.

Fonte: Produção do próprio autor.

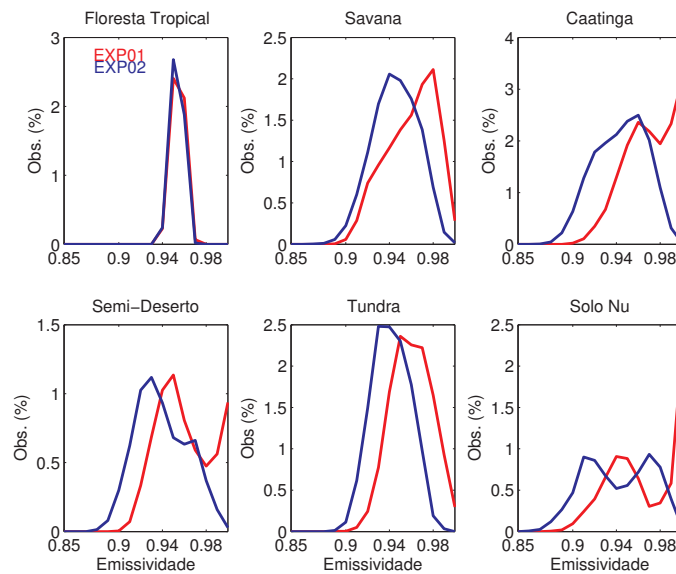
A análise das observações do canal 23,8 GHz que eram rejeitadas no experimento controle e passam a ser aceitas no EXP02, Figura 4.34a e 4.34b, mostra que sobre as

regiões de cultivos e de florestas, exceto a de conífera o comportamento é o mesmo da floresta tropical. A Figura 4.34a representa os histogramas da emissividade, onde nota-se para a floresta tropical o comportamento desse histograma não altera de forma significativa no EXP02. Ao passo que para os outros tipos de cobertura fica evidente pelos histogramas a diminuição da emissividade simulada no EXP02 com relação ao EXP01. O comportamento do canal 31,4 GHz é semelhante ao do 23,8 GHz, enquanto o canal 50,3 GHz apresenta ainda uma alta frequência de valores em 1,0, principalmente nas regiões de semi-deserto e solo nu (figuras não apresentadas).

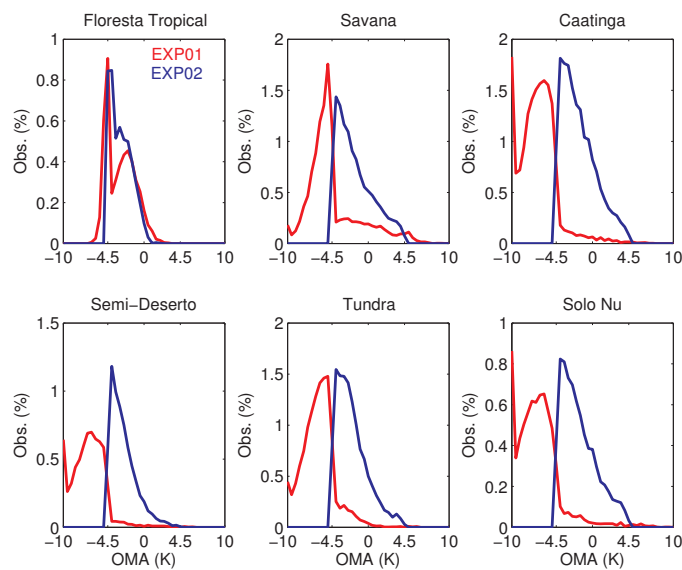
Nos histogramas de OMA das observações que eram rejeitadas no EXP01 e passaram a serem aceitas no EXP02 nota-se que a o histograma do OMA do EXP02 passa para regiões onde os valores de OMA estão dentro do limite aceito pelo sistema isto é, valores entre -4,5 e 4,5K (Figura 4.34b). Contudo, sobre grande parte dos tipos de cobertura da superfície observa-se que a linha azul, EXP02, tem uma frequência maior no limite inferior dos dados que são aceitos pelo sistema, isto é, ainda há uma superestimativa da T_B pelo experimento EXP02, que é também observado no EXP01. Nota-se, para a floresta tropical, que mesmo o dado não sendo aceito no EXP01, linha vermelha, o histograma de frequência do OMA apresenta observações nas classes dentro da faixa aceitável para assimilação desses dados (-4,5K a 4,5K), o não uso desses dados pode estar associado em não cumprir outros critérios do controle de qualidade.

Os canais 31,4 GHz e 50,3 GHz apresentam o mesmo comportamento do canal 23,8 GHz com relação a diminuição da frequência em classes no histograma que representam valores de OMA que tornam a observação não aceita no EXP02. O canal 50,3 GHz não apresenta ocorrência alta em valores de OMA na classe de -10K para o EXP01, como ocorre no semi-deserto para o canal 23,8 GHz, por exemplo. Para o caso das regiões caracterizadas como floresta, canal 50,3 GHz, o OMA dos dois experimentos tem as mesmas características, com as altas frequências de ocorrência nas classes entre -1 e 1. Contudo, no EXP01 essas observações não são aceitas, como mencionado anteriormente, a observação não está falhando no erro grosseiro com relação ao OMA, mas sim em outra etapa do processo de controle de qualidade.

Figura 4.34 - Mesmo que a Figura 4.33 para o caso das observações do canal 23,8 GHz rejeitadas no EXP01 e aceitas no EXP02.



(a) Emissividade do canal 23,8 GHz



(b) OMA (K) do canal 23,8 GHz

Mesma que da Figura 4.33.

Fonte: Produção do próprio autor.

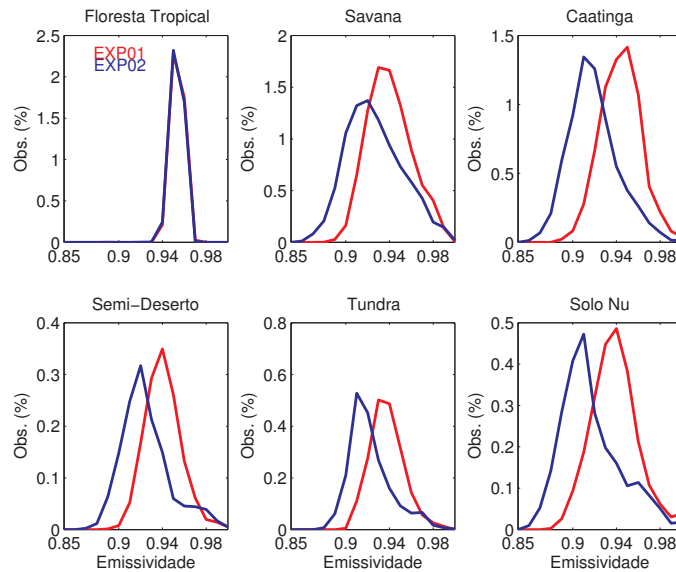
Os histogramas de frequência da emissividade do canal 23,8 GHz para as observações que eram aceitas no EXP01 e passaram a serem rejeitadas no EXP02 mostram que há redução em todas as superfícies apresentadas na Figura 4.35a, exceto para as regiões

com as mesmas características da floresta tropical onde não ocorrem mudanças nas características do histograma.

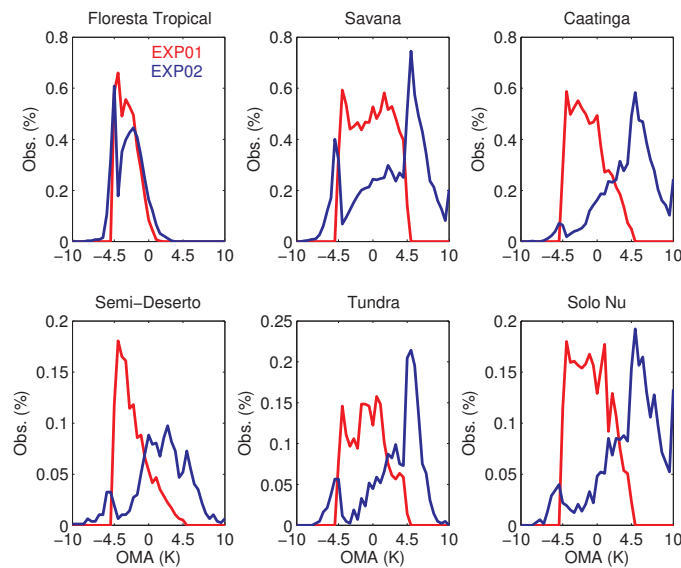
No histograma de OMA do EXP02 (Figura 4.35) do canal o 23,8 GHz, para todos os tipos de cobertura (exceto floresta tropical), ocorre um aumento da frequência de ocorrência de valores positivos de OMA, valores não aceitos na assimilação. Assim, como nos outros casos de uso dos dados entre os experimentos EXP01 e EXP02, o canal 31,4 GHz apresenta as mesmas características que o canal 23,8GHz.

A emissividade no canal 50,3 GHz, para as observações que foram aceitas no EXP01 e passaram a serem rejeitas no EXP02, apresenta os histogramas de frequência com características semelhantes as observações desse canal que são aceitas nos dois experimentos. Esse canal ainda apresenta alta frequência de valores em 1,0 no EXP02 quando comparado com o EXP01, com exceção da floresta que o comportamento não muda entre os dois experimentos (figura não apresentada). Os histogramas de frequência do OMA do canal 50,3 GHz são diferentes dos outros dois canais, principalmente sobre as regiões que não estão associadas com floresta (figura não apresentada). Assim, nesse canal nota-se uma alta frequência de observações do EXP02 com OMA dentro dos limites que tornam a observação aceita para a assimilação, contudo esses dados são rejeitados (figuras omitidas).

Figura 4.35 - Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 23,8 GHz para as observações aceitas no EXP01 e rejeitadas no EXP02.



(a) Emissividade do canal 23,8 GHz



(b) OMA (K) do canal 23,8 GHz

Mesma que da Figura 4.33.

Fonte: Produção do próprio autor.

Para todos os canais, e tipos de superfície, com exceção das florestas e o tipo cultivo, o padrão do OMA do EXP02 com relação ao OMA do EXP01 é de se tornar mais positivo, como pode ser notado pelos histogramas de frequência apresentados. Como

analisado na Tabela 4.10 a umidade do solo aumenta na maioria dos pontos analisados, exceto no cultivos quando as observações são aceitas nos dois experimentos. Na análise da emissividade do EXP02 nota-se também que ocorre uma diminuição da emissividade quando comparada ao experimento controle nos tipos de cobertura de floresta de conífera a solo nu. E essa diminuição da emissividade contribui na diminuição da T_B simulada, diminuindo, desse modo, a alta frequência de valores negativos de OMA, como pode ser notado principalmente no caso das observações que são aceitas nos dois experimentos (Figura 4.33).

O EXP03 apresenta característica do uso dos dados diferente das apresentadas para o EXP02, o EXP03 também foi avaliado contra os dados do experimento controle. A Tabela 4.11 mostra o comportamento da temperatura da superfície terrestre dos experimentos EXP01 e EXP03 com relação aos dados do MIRS, isto é, $Absdif = (Abs(TM - T1) - Abs(TM - T3))$, onde T1 e T3 são a temperatura da superfície terrestre para os experimentos EXP01 e EXP03, respectivamente, e TM é a temperatura da superfície terrestre do MIRS. O objetivo é avaliar o número de observações nas categorias de uso, como as da Tabela 4.10, em regiões onde $Absdif$ é maior ou menor que zero, isto é, regiões onde T1 se distancia mais da referência ($Absdif > 0$) e regiões onde T3 tem valores mais distantes da referência ($Absdif < 0$).

Na Tabela 4.11 nota-se que para os canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz, no globo, existem mais observações onde a diferença entre a temperatura do MIRS e a do EXP01 é maior que a diferença relacionada ao EXP03 para as duas categorias de uso dos dados. Ao se analisar os tipos de cobertura individualmente, percebe-se que para os três canais sobre a floresta tropical o maior número de dados é quando a diferença (TM-T3) é maior que a diferença (TM-T1), isto é, $Absdif < 0$.

Com as informações contidas na Tabela 4.11 percebe-se que o uso dos dados ocorre preferencialmente em regiões onde a diferença entre a temperatura da referência (TM) e a temperatura da superfície do experimento EXP01 (T1) é maior que a diferença entre a referência e a temperatura do EXP03, isto é, $Absdif > 0$.

Tabela 4.11 - Análise do uso dos dados dos três canais para o experimento EXP01 e EXP03, para o mês de agosto/2014 e sobre os 12 tipos de cobertura e sobre o globo. TM é a temperatura da superfície terrestre do MIRS, T1 do EXP01 e T3 do EXP03. Desse modo Abdif representa a diferença do valor absoluto da diferença entre TM e T1 [$abs(TM - T1)$] menos o valor absoluto da diferença entre TM e T3, isto é, para identifica qual dos experimentos está mais afastado da referência (TM).

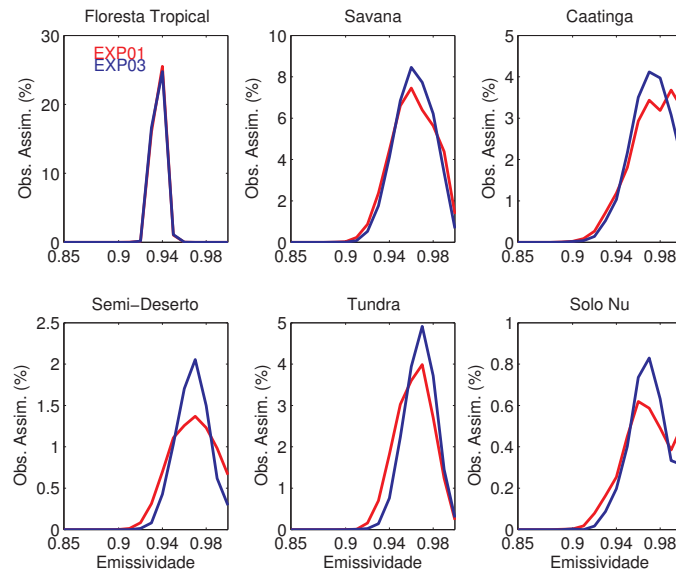
Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 23,8 GHz				Uso das Observações Canal 31,4 GHz				Uso das Observações Canal 50,3 GHz				Total de Dados Disponível
	Aceito = Aceito		Rejeitado -> Aceito		Aceito = Aceito		Rejeitado -> Aceito		Aceito = Aceito		Rejeitado -> Aceito		
	Absdif>0	Absdif<0	Absdif>0	Absdif<0	Absdif>0	Absdif<0	Absdif>0	Absdif<0	Absdif>0	Absdif<0	Absdif>0	Absdif<0	
Global	67863	41679	44726	15333	47469	23494	43650	14942	133131	77687	68963	24317	737912
1-Floresta Tropical	8458	11298	3208	5641	2302	3506	3038	5647	12800	16219	3060	6687	68006
2-Floresta Temperada	2881	1630	2646	508	1594	1259	2735	422	5577	3350	3643	489	28229
3-Floresta Mista	3582	1865	2434	608	3213	1320	2403	622	7695	3571	2756	597	29215
4-Floresta Boreal	9845	4624	5447	1375	9268	3406	5760	1469	24216	10437	8007	1858	92999
5-Floresta Conifera	8492	3261	5156	699	8344	1950	5499	702	17701	6377	5646	580	50598
6-Savanas	14828	8898	6613	2532	4862	2756	5936	2292	22164	12911	8503	3083	88153
7-Campos	1673	1062	1766	631	2451	1832	1746	621	5009	3131	3108	1423	36552
8-Caatinga	2061	1062	2229	670	2885	2011	2015	697	6924	4071	4957	1822	53490
9-Semi-Deserto	574	341	712	294	1090	1541	743	401	2974	2964	4684	3126	76965
10-Tundra	1870	485	2733	165	2767	321	3001	142	5706	1718	7057	308	42483
11-solo nu	561	326	1013	362	1533	1179	980	371	1459	1126	3308	1983	72817
12-Cultivos	13038	6827	10769	1848	7160	2413	9794	1556	20906	11812	14234	2361	98405

T1=temperatura da superfície do EXP01, T3=temperatura da superfície do EXP03 e TM= temperatura da superfície do MIRS.

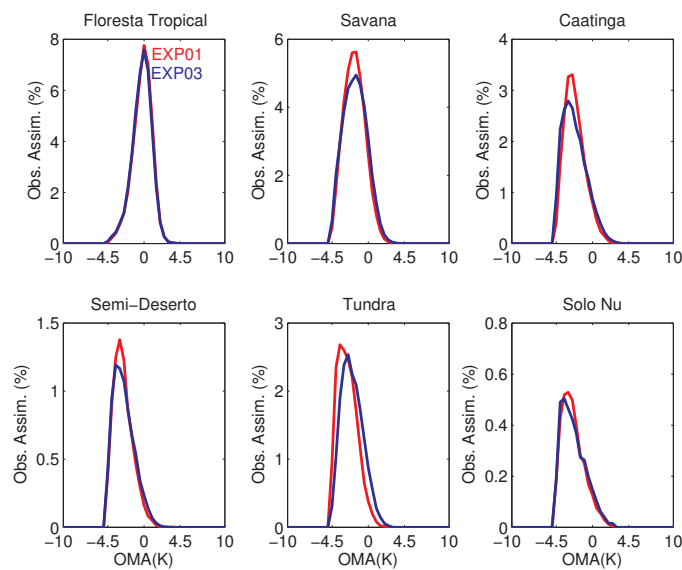
Porém, pela Tabela 4.11 não tem como calcular a diferença entre a temperatura da superfície terrestre dos dois experimentos. Desse modo foi avaliado o histograma de frequência da diferença (TM-T1) e da diferença (TM-T3) (figuras não apresentadas). Para as observações que são assimilados nos dois experimentos o comportamento dessas duas diferenças é semelhante, a temperatura da superfície terrestre tanto do T1 quanto do T3 tendem a superestimar os dados do MIRS.

A emissividade dos dados aceitos nos dois experimentos do canal 50,3GHz mostra que o histograma de frequência da emissividade não muda de forma significativa entre os experimentos (Figura 4.36a). Contudo, a emissividade apresenta um pequeno deslocamento do histograma para valores maiores de emissividade no EXP03 (linha azul) sobre regiões de semi-deserto e tundra. Esse comportamento também é observado nos outros canais. A Figura 4.36b apresenta o histograma de frequência do OMA do EXP01 (linha vermelha) e do EXP03 (linha azul) para o canal 50,3 GHz, onde nota-se que o comportamento dos histogramas do OMA dos dois experimentos é semelhante para todos tipos de cobertura da superfície presentes na Figura 4.36b. O mesmo ocorre nos canais 31,4 GHz e 23,8 GHz (não apresentados). Esse comportamento condiz com o da temperatura da superfície para essas observações.

Figura 4.36 - Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 50,3 GHz para as observações aceitas no EXP01 e no EXP03.



(a) Emissividade do canal 50,3 GHz



(b) OMA (K) do canal 50,3 GHz

Os tipos de cobertura da superfície representados nas figuras são: floresta tropical, savana, caatinga, semi-deserto, tundra e solo nu. A linha vermelha representa o EXP01 e a linha azul é o EXP03.

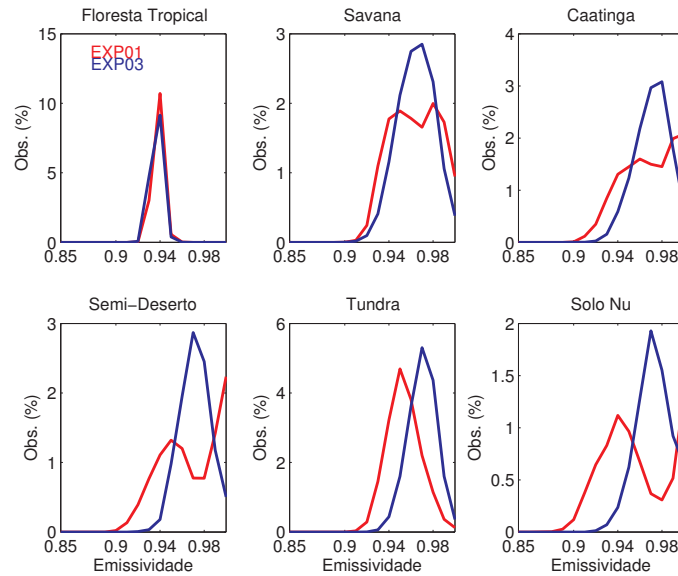
Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.37a mostra que para floresta não ocorre variação no comportamento da emissividade entre os dois experimentos quando a observação é rejeitada no EXP01

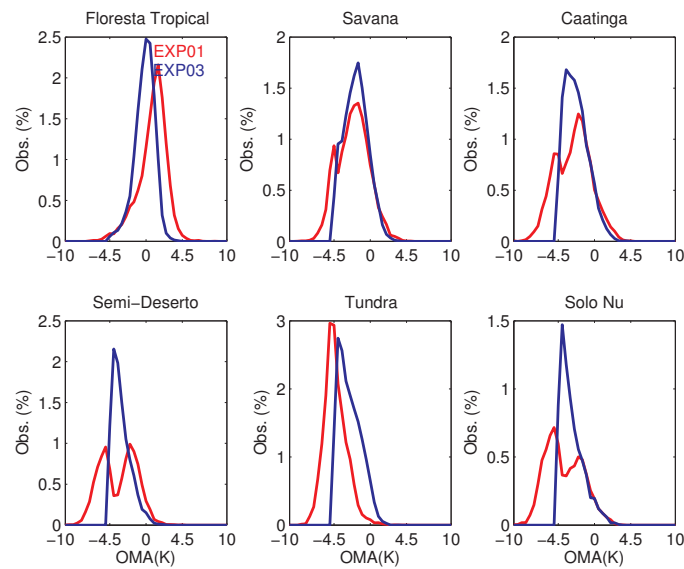
e aceita no EXP03. Contudo, quando a análise é realizada sobre os outros tipos de cobertura nota-se que a emissividade tem uma máxima frequência de ocorrência em valores maiores de emissividade no EXP03 quando comparado com o EXP01, mais evidente sobre as áreas de tundra.

Os valores de OMA das observações, do canal 50,3 GHz, que não eram assimiladas no EXP01 e passaram a ser no EXP03 estão representadas na Figura 4.37b. Nessa figura nota-se que, exceto na floresta tropical, o OMA do EXP03 aumenta a frequência de ocorrência em valores dentro do limite aceito pelo sistema, contudo ainda existem observações do EXP01 dentro desse limite que são rejeitadas. O mesmo comportamento é identificado nos outros canais (figuras não apresentadas). Contudo, como ocorre no experimento EXP02, nota-se que a frequência de observações com OMA negativo é maior, o que representa que a T_B simulada utilizando os perfis atmosféricos da análise é maior que a observada. O comportamento diferente das regiões caracterizadas como floresta tropical também é notado na Tabela 4.11, onde se observa mais observações em regiões que a diferença entre o temperatura da superfície terrestre do EXP03 é maior que a do EXP01.

Figura 4.37 - Mesmo que a Figura 4.36 para os dados rejeitados no EXP01 e aceitos no EXP03 para o canal 50,3 GHz.



(a) Emissividade do canal 50,3 GHz



(b) OMA (K) do canal 50,3 GHz

Mesma que da Figura 4.36.

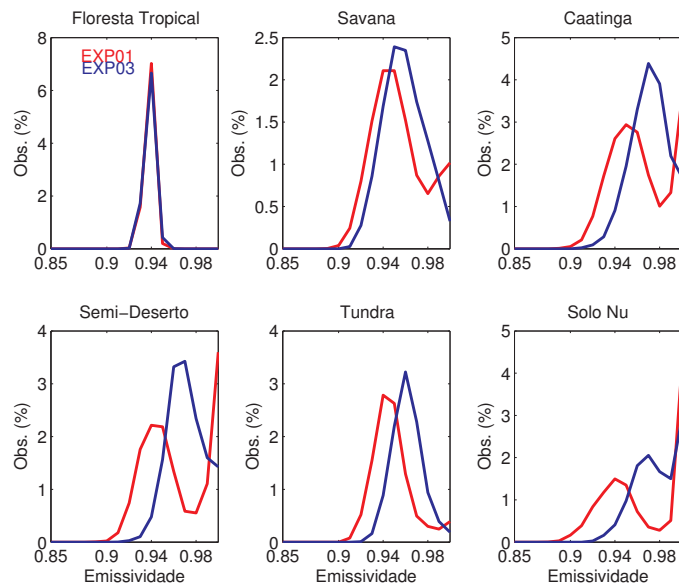
Fonte: Produção do próprio autor.

A emissividade das observações do canal 50,3 GHz que eram aceitas no EXP01 e passaram a ser rejeitadas no EXP03 (Figura 4.38a) apresentam uma diminuição na frequência de ocorrência de observações com valor de emissividade 1,0. Contudo, por

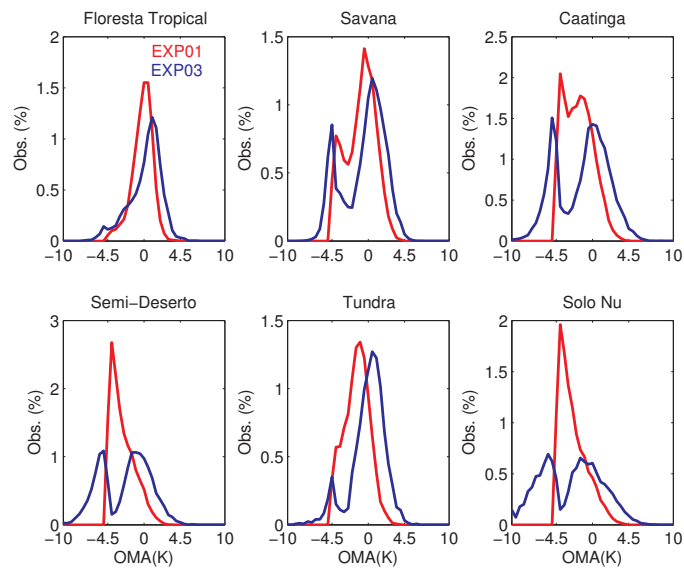
essa figura ainda percebe-se que a emissividade aumenta no EXP03 com relação ao EXP01. Os outros canais também aumentam a emissividade no EXP03 com relação ao EXP01 (figuras não apresentadas).

No canal 50,3 GHz observa-se que o OMA em todas regiões presentes na Figura 4.38b, exceto floresta tropical, apresenta dois picos de frequência no OMA: um em regiões mais negativas e outro dentro dos valores que tornariam esse dado assimilado, levando em conta somente o aspecto do OMA. A Figura 4.38b, referente aos histogramas de frequência do OMA dos dados que são assimilados no EXP01 e passam a ser rejeitados no EXP03, mostram que aumenta o número observações em classes com valores menores que -4,5K, contudo existem regiões, como a tundra que o OMA diminui (mais observações em zero) no EXP03, porém o dado passa a ser rejeitado. O mesmo comportamento é notado nos outros canais (figuras omitidas) .

Figura 4.38 - Mesmo que a Figura 4.36 para os dados aceitos no EXP01 e rejeitados no EXP03.



(a) Emissividade do canal 50,3GHz



(b) OMA (K) do canal 50,3GHz

Mesma que da Figura 4.36.

Fonte: Produção do próprio autor.

O experimento EXP04 tem as características combinadas dos outros experimentos, isto é, as observações aceitas nos dois experimentos estão situadas em regiões onde a umidade do solo aumentou e a diferença entre a temperatura da superfície terrestre

com relação a uma referência diminui do EXP01 para o EXP04, com exceção da floresta tropical. Estas características podem ser observadas na Tabela 4.12. Essa tabela combina as informações com relação ao SM e a temperatura da superfície.

Tabela 4.12 - Análise do uso dos dados dos três canais para os experimentos EXP01 e EXP04, para o mês de agosto/2014 e sobre os 12 tipos de cobertura. Onde TM é a temperatura da superfície terrestre do MIRS e T1 do EXP01, e T4 do EXP04. Desse modo Absdif representa a diferença do valor absoluto da diferença entre TM e T1 [$abs(TM - T1)$] menos o valor absoluto da diferença entre TM e T4. u1 é a SM do experimento controle e u4 do experimento EXP04.

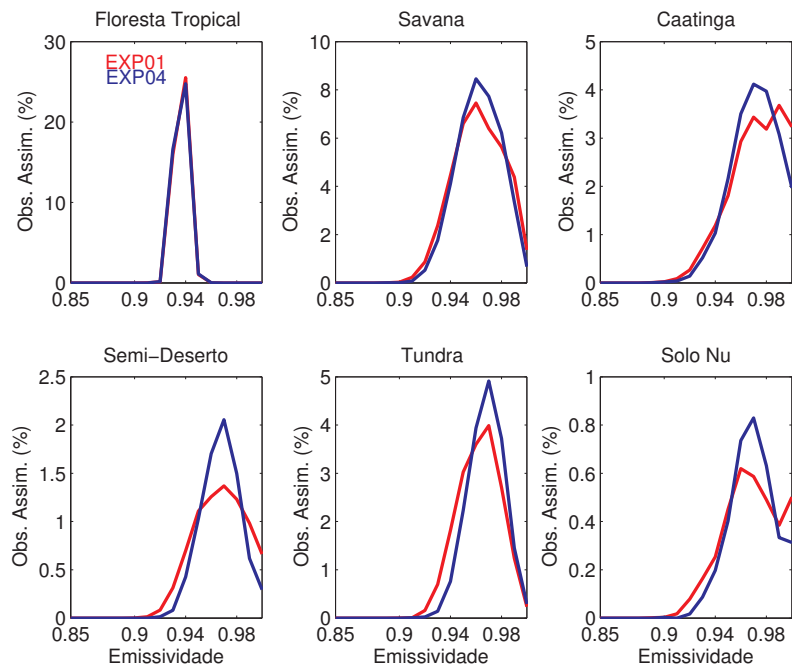
Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 23,8 GHz								Total de Dados Disponível
	Aceito = Aceito				Rejeitado -> Aceito				
	Absdif>0	Absdif<0	u1<u4	u1>u4	Absdif>0	Absdif<0	u1<u4	u1>u4	
Global	63108	40116	76479	26745	69398	26586	82446	13538	737912
1-Flor. Tropical	8266	11554	15748	4072	3402	5813	6649	2566	68006
2-Flor. Temperada	2831	1554	2867	1518	2948	654	2112	1490	28229
3-Flor. Mista	3538	1904	4518	924	2766	668	3143	291	29215
4-Flor. Boreal	9880	4654	13579	955	6116	1557	7204	469	92999
5-Flor. Conífera	7853	3418	10986	285	8367	1765	10032	100	50598
6-Savanas	12707	8113	14886	5934	10457	4585	12967	2075	88153
7-Campos	1734	995	1953	776	2670	1161	3210	621	36552
8-Caatinga	1382	801	1796	387	6775	3299	9760	314	53490
9-Semi-Deserto	491	283	550	224	3453	1940	5248	145	76965
10-Tundra	1423	507	1628	302	6241	985	7067	159	42483
11-solo nu	511	245	500	256	3110	1206	4110	206	72817
12-Cultivos	12492	6088	7468	11112	13093	2953	10944	5102	98405
Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 31,4 GHz								Total de Dados Disponível
	Aceito = Aceito				Rejeitado -> Aceito				
	Absdif>0	Absdif<0	u1<u4	u1>u4	Absdif>0	Absdif<0	u1<u4	u1>u4	
Global	67148	40797	83150	24795	64580	24893	75981	13492	737912
1-Flor. Tropical	8578	11729	16172	4135	3143	5733	6287	2589	68006
2-Flor. Temperada	2962	1536	2851	1647	2967	542	1866	1643	28229
3-Flor. Mista	4708	2247	5858	1097	2553	643	2893	303	29215
4-Flor. Boreal	13816	6124	18634	1306	6066	1529	7001	594	92999
5-Flor. Conífera	10881	4555	15094	342	7236	1265	8402	99	50598
6-Savanas	10079	6625	11901	4803	9842	4543	12442	1943	88153
7-Campos	1656	991	1886	761	2499	1071	2948	622	36552
8-Caatinga	1170	765	1605	330	6074	3043	8817	300	53490
9-Semi-Deserto	462	326	569	219	3072	1859	4792	139	76965
10-Tundra	1565	540	1796	309	6312	931	7085	158	42483
11-solo nu	433	232	429	236	2693	1066	3569	190	72817
12-Cultivos	10838	5127	6355	9610	12123	2668	9879	4912	98405
Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 50,3 GHz								Total de Dados Disponível
	Aceito = Aceito				Rejeitado -> Aceito				
	Absdif>0	Absdif<0	u1<u4	u1>u4	Absdif>0	Absdif<0	u1<u4	u1>u4	
Global	130326	77516	163518	44324	79637	27998	88964	18671	737912
1-Flor. Tropical	12537	16450	22785	6202	3044	6572	6428	3188	68006
2-Flor. Temperada	5511	3253	5819	2945	3713	488	1989	2212	28229
3-Flor. Mista	7596	3584	9576	1604	2752	592	3038	306	29215
4-Flor. Boreal	24043	10416	31246	3213	8060	1848	8937	971	92999
5-Flor. Conífera	16339	6446	22369	416	5753	609	6227	135	50598
6-Savanas	21026	12503	25242	8287	9505	3524	10361	2668	88153
7-Campos	5230	3178	6330	2078	3317	1602	3569	1350	36552
8-Caatinga	6622	4121	10157	586	6023	2331	7953	401	53490
9-Semi-Deserto	3508	2928	6044	392	7190	4106	11056	240	76965
10-Tundra	4828	1889	6106	611	9545	781	10004	322	42483
11-solo nu	1911	1072	2608	375	5212	2656	7620	248	72817
12-Cultivos	21175	11676	15236	17615	15523	2889	11782	6630	98405

u1=umidade do solo experimento EXP01, u2= umidade do solo experimento EXP02, T1=temperatura da superfície do EXP01, T4=temperatura da superfície do EXP04 e TM= temperatura da superfície do MIRS.

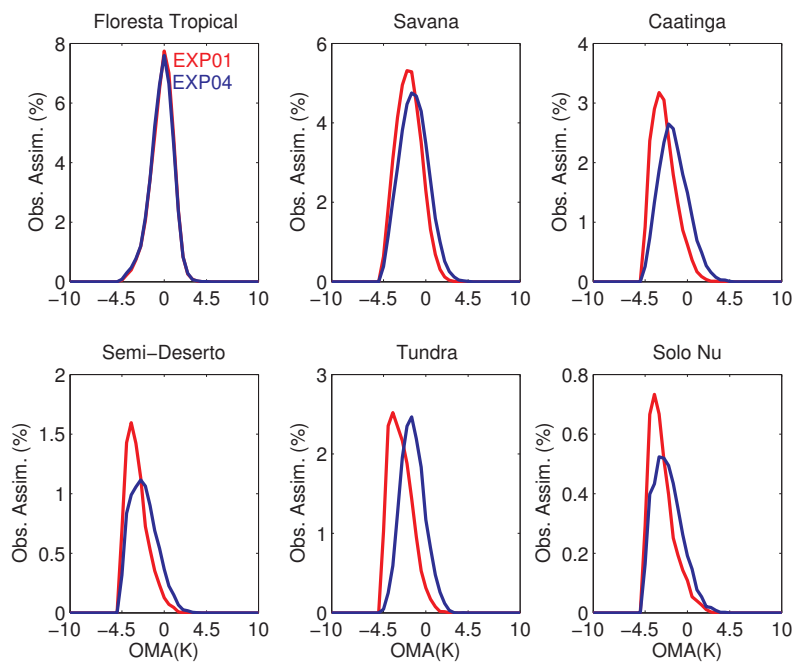
O comportamento dos histogramas de frequência do OMA do EXP04 segue as características dos outros dois experimentos. Os dados aceitos no EXP01 e no EXP04

apresentam as mesmas características dos canais 23,8 GHz e do 31,4 GHz no EXP02, isto é, ocorre uma clara redução do OMA nos tipos de cobertura da superfície que não estão associados a floresta e cultivos, (figura não apresentada). Contudo, o histograma de frequência da emissividade nesses canais não apresenta diferença representativa entre o EXP01 e o EXP04, característica observada no EXP02 (figura não apresentada). Porém, o canal 50,3 GHz apresenta uma redução da emissividade (Figuras 4.39a) principalmente na região de caatinga, semi-deserto e solo nu, contribuindo assim para uma pequena diminuição do OMA, mais próximo do zero, nesse canal (Figura 4.39b).

Figura 4.39 - Histogramas de frequência da emissividade e do OMA (K) do canal 50,3 GHz para as observações aceitas no EXP01 e no EXP04.



(a) Emissividade do canal 50,3 GHz



(b) OMA (K) do canal 50,3GHz

Os tipos de cobertura da superfície representados nas figuras são: floresta tropical, savana, caatinga, semi-deserto, tundra e solo nu. A linhas vermelha representa o EXP01, a linha azul é o EXP04.

Fonte: Produção do próprio autor.

No EXP04 a emissividade das observações que são rejeitadas no experimento controle e passam a ser aceitas no EXP04, do canal 23,8 GHz, apresentam uma pequena redução do número de observações com emissividade mais alta, na Figura 4.40a. Porém quando essa é comparada com o controle em todas as superfícies, exceto floresta, ocorre um aumento da emissividade, como também é observado no EXP03. Entretanto, o comportamento do OMA é diferente do EXP03, porque no experimento EXP03 existem mais valores de OMA do EXP01 que apresentam características que não falhariam por esse motivo no CQ.

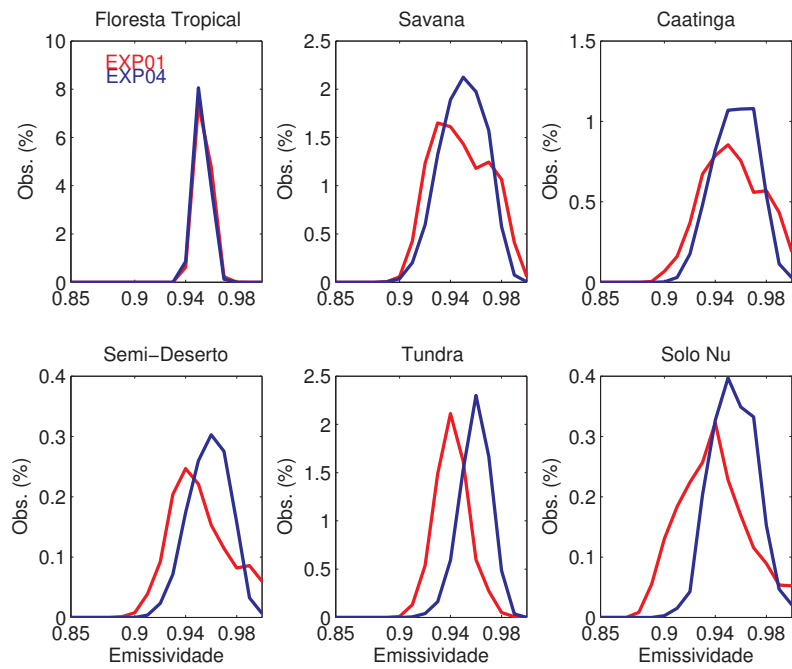
Com relação a emissividade o comportamento do canal 50,3 GHz é semelhante aos outros dois experimentos, apresentando uma diminuição no número de observações com valores altos de emissividade. Contudo, a emissividade aumenta com relação ao EXP01 (figuras não apresentadas). O OMA do canal 50,3 GHz apresenta valores de OMA dentro do limite aceito para assimilar contudo o EXP01 ainda tem observações com valores de OMA (K) que tornariam o dado aceito porém a observação é rejeitada no CQ.

Os dados que foram aceitos no EXP01 e rejeitados no EXP04 (Figura 4.41), assim como nos outros casos de uso dos dados, a característica dos histogramas de frequência são semelhantes aos outros experimentos. Nos canais 23,8 GHz e 31,4 GHz as características são similares ao EXP02, exceto sobre a floresta que segue o comportamento do EXP03. Para esses canais o dado que foi rejeitado no EXP04 apresenta uma frequência maior de valores positivos de OMA e superiores a 4,5K.

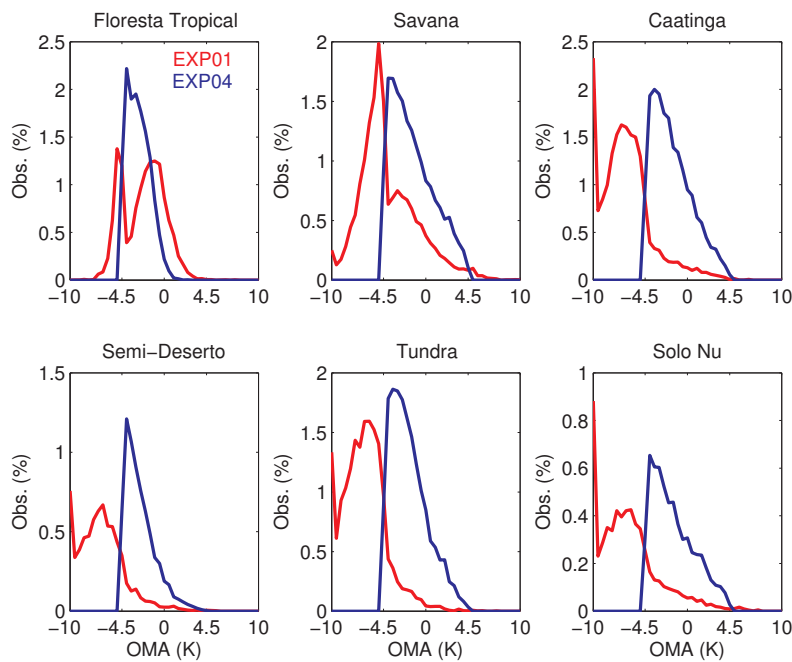
Para o canal 50,3 GHz no EXP04 ocorre, assim como no EXP03 para esse canal, um aumento dos valores de OMA. Contudo, existem observações que se encontram dentro dos limites que seriam aceitos dentro do sistema, por não falharem na etapa que testa o OMA, mas falham em outras etapas (figuras não apresentadas).

Os canais 23,8 GHz e 31,4 GHz no EXP04 têm as características da simulação da T_B influenciadas pelas características do solo (SM), principalmente em regiões onde não tem vegetação densa. Enquanto o canal 50,3 GHz mostra que as características da simulação da T_B no EXP04 é mais influenciada pela temperatura da superfície terrestre do que pela umidade do solo.

Figura 4.40 - Mesmo que a Figura 4.39 para os dados do canal 23,8 GHz rejeitados no EXP01 e aceitos no EXP04.



(a) Emissividade 23,8GHz

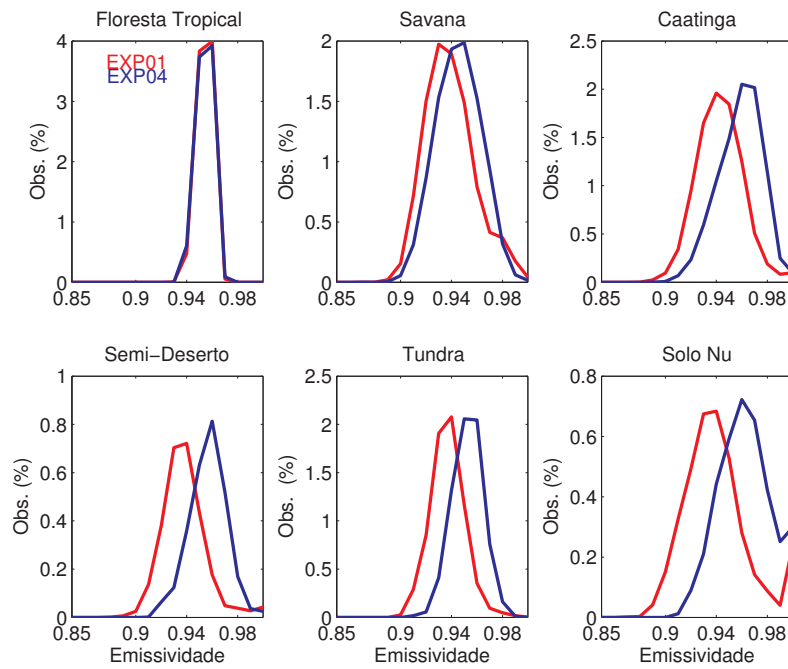


(b) OMA (K) 23,8 GHz

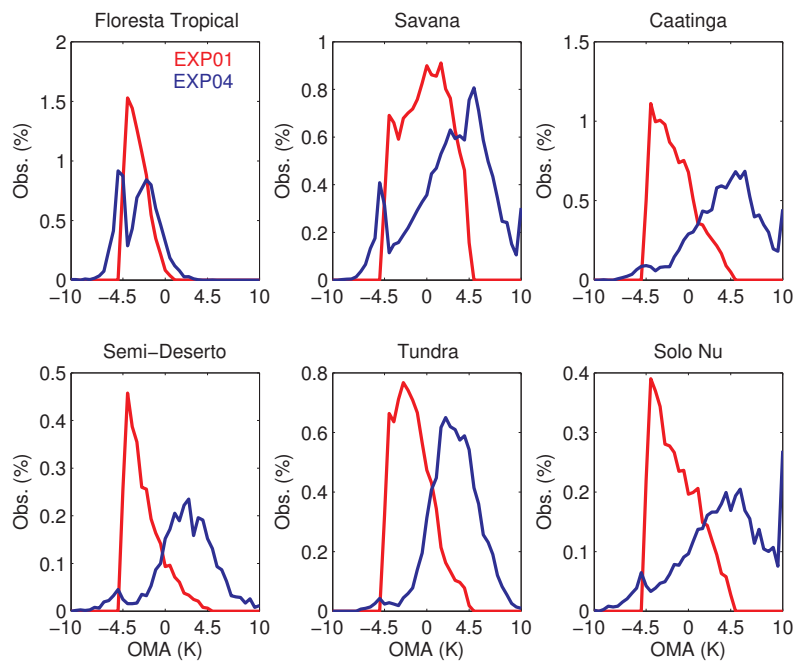
Mesma que da Figura 4.39.

Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 4.41 - Mesmo que a Figura 4.39 para os dados aceitos no EXP01 e rejeitados no EXP04.



(a) Emissividade 23,8GHz



(b) OMA (K) 23,8 GHz

Mesma que da Figura 4.39.

Fonte: Produção do próprio autor.

O OMA foi avaliado de forma separada conforme o uso dos dados nos diferentes experimentos. A avaliação do número de dados assimilados mostra que dependendo do experimento pode ocorrer uma contribuição positiva ou negativa para o número de observações assimiladas. O aumento do uso dos dados nos experimentos não é o único objetivo ao se realizar os diferentes experimentos, uma outra característica que se deseja alcançar é a redução do OMF/OMA das observações assimiladas.

4.5.4.3 Avaliação do OMF/OMA médio das observações assimiladas

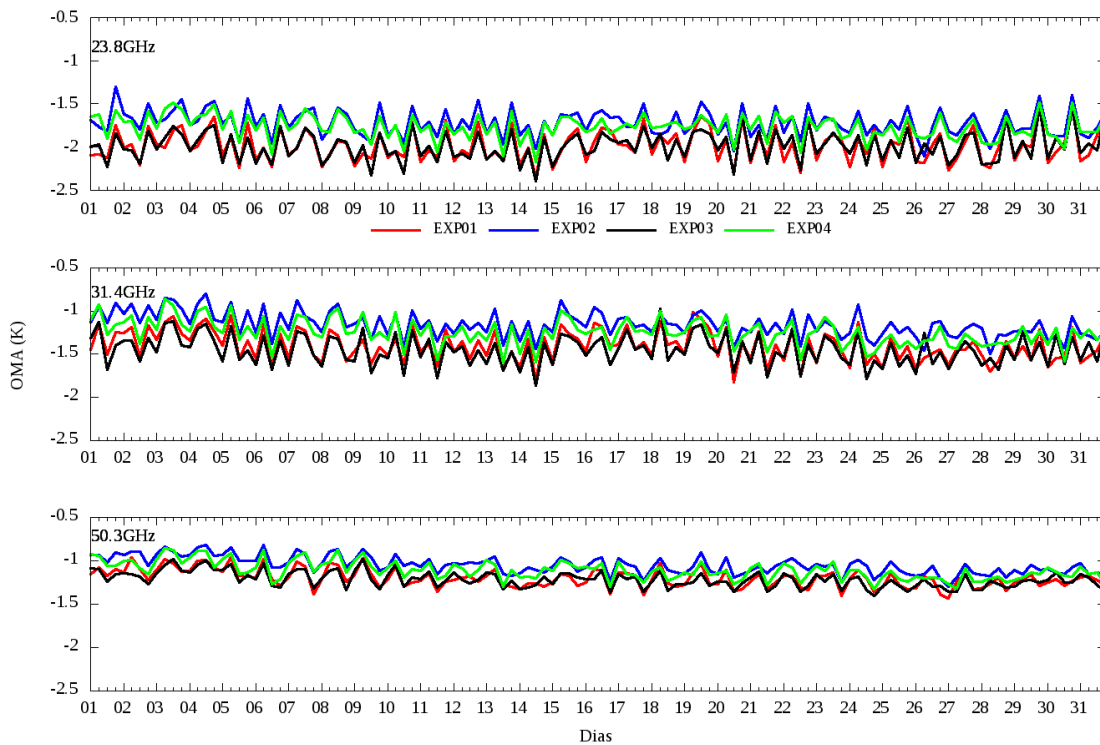
O comportamento do OMA apresentado até o momento é o específico das três situações de uso do dado entre o experimento controle e os outros experimentos. O comportamento médio do OMF e do OMA das observações que são assimiladas em cada experimento está sumarizado na Tabela 4.13. Essa tabela mostra a média mensal dos valores de OMF (OMA) em cada experimento para os diferentes tipos de cobertura da superfície, assim como para o globo. Na tabela nota-se que em todos os tipos de cobertura e em todos os canais os valores de OMF (OMA) médio são negativo. Esses valores representam que a estimativa inicial (análise), na média, está superestimando o valor da observação. Nota-se ainda, que para as coberturas 3, 4 e 5, nos três canais, o experimento que reduz o OMF é o EXP04, enquanto nos outros tipos de cobertura da superfície, exceto a 12, a diminuição do OMF ocorre no EXP02. No tipo de cobertura 12 (cultivos) ocorre um acréscimo do valor médio do OMF, o mesmo comportamento é observado para o OMA. Nota-se ainda pela Tabela 4.13 que em alguns canais o OMA é maior, na média, que o OMF.

Tabela 4.13 - Média mensal (Agosto/2014) do OMF (OMA) dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3 GHz sobre os 12 tipos de cobertura da superfície. Os valores em negrito indicam o experimento onde o OMF/OMA é menor.

Tipos de cobertura	Canal 23,8 GHz			
	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04
Global	-1,98 (-1,92)	-1,73 (-1,66)	-2,02 (-1,94)	-1,8 (-1,73)
1-Floresta Tropical	-2,92 (-2,61)	-2,88 (-2,56)	-3,00 (-2,60)	-2,93 (-2,55)
2-Floresta Temperada	-2,33 (-2,36)	-2,27 (-2,28)	-2,57 (-2,49)	-2,48 (-2,38)
3-Floresta Mista	-2,94 (-2,69)	-2,86 (-2,60)	-2,59 (-2,43)	-2,48 (-2,33)
4-Floresta Boreal	-2,82 (-2,62)	-2,71 (-2,49)	-2,46 (-2,31)	-2,34 (-2,20)
5-Floresta Conífera	-2,53 (-2,47)	-2,06 (-1,96)	-2,44 (-2,38)	-1,98 (-1,89)
6-Savanas	-1,01 (-1,03)	-0,66 (-0,66)	-1,16 (-1,19)	-0,75 (-0,79)
7-Campos	-1,64 (-1,76)	-1,48 (-1,51)	-2,11 (-2,24)	-1,86 (-2,00)
8-Caatinga	-1,61 (-1,65)	-0,87 (-0,95)	-1,69 (-1,74)	-1,19 (-1,31)
9-Semi-Deserto	-2,15 (-2,16)	-1,84 (-1,86)	-2,14 (-2,21)	-2,24 (-2,28)
10-Tundra	-1,63 (-1,79)	-0,81 (-0,94)	-2,13 (-2,16)	-1,42 (-1,46)
11-Solo nu	-1,14 (-1,22)	-1,11 (-1,12)	-1,17 (-1,03)	-1,24 (-1,26)
12-Cultivos	-1,18 (-1,21)	-1,31 (-1,31)	-1,29 (-1,38)	-1,37 (-1,45)
	Canal 31,4 GHz			
Global	-1,47 (-1,35)	-1,25 (-1,11)	-1,52 (-1,42)	-1,29 (-1,22)
1-Floresta Tropical	-2,35 (-1,95)	-2,3 (-1,90)	-2,44 (-1,97)	-2,37 (-1,92)
2-Floresta Temperada	-1,45 (-1,46)	-1,39 (-1,39)	-1,82 (-1,74)	-1,77 (-1,65)
3-Floresta Mista	-1,99 (-1,65)	-1,90 (-1,53)	-1,54 (-1,40)	-1,44 (-1,29)
4-Floresta Boreal	-1,74 (-1,44)	-1,62 (-1,31)	-1,31 (-1,11)	-1,19 (-1,00)
5-Floresta Conífera	-1,60 (-1,49)	-1,08(-0,90)	-1,52 (-1,42)	-0,95 (-0,82)
6-Savanas	-0,82 (-0,85)	-0,54 (-0,55)	-1,08 (-1,09)	-0,67 (-0,72)
7-Campos	-1,16 (-1,30)	-1,12 (-1,16)	-1,84 (-2,00)	-1,63 (-1,79)
8-Caatinga	-1,18 (-1,22)	-0,53 (-0,60)	-1,47 (-1,50)	-0,95 (-1,06)
9-Semi-Deserto	-1,80 (-1,83)	-1,45 (-1,47)	-2,10 (-2,14)	-1,99 (-2,05)
10-Tundra	-1,20 (-1,37)	-0,57 (-0,68)	-1,83 (-1,87)	-1,17 (-1,23)
11-Solo nu	-0,88 (-0,98)	-0,94 (-0,97)	-1,29 (-1,15)	-1,16 (-1,18)
12-Cultivos	-0,86 (-0,89)	-0,96 (-0,98)	-1,04 (-1,15)	-1,08 (-1,19)
	Canal 50,3 GHz			
Global	-1,27 (-1,14)	-1,13 (-0,99)	-1,23 (-1,17)	-1,13 (-1,07)
1-Floresta Tropical	-0,67 (-0,24)	-0,66 (-0,24)	-0,69 (-0,27)	-0,67 (-0,25)
2-Floresta Temperada	-0,79 (-0,57)	-0,72 (-0,49)	-0,84 (-0,62)	-0,79 (-0,56)
3-Floresta Mista	-0,71 (-0,32)	-0,68 (-0,29)	-0,32 (-0,14)	-0,28 (-0,10)
4-Floresta Boreal	-0,65 (-0,40)	-0,62 (-0,38)	-0,45 (-0,32)	-0,43 (-0,30)
5-Floresta Conífera	-0,81 (-0,51)	-0,58 (-0,28)	-0,52 (-0,33)	-0,27 (-0,09)
6-Savanas	-1,58 (-1,54)	-1,23 (-1,20)	-1,70 (-1,66)	-1,39 (-1,34)
7-Campos	-1,88 (-1,87)	-1,74 (-1,71)	-2,22 (-2,22)	-2,12 (-2,09)
8-Caatinga	-1,97 (-1,99)	-1,2 (-1,25)	-2,22 (-2,23)	-1,58 (-1,60)
9-Semi-Deserto	-2,59 (-2,64)	-2,33 (-2,35)	-2,79 (-2,81)	-2,58 (-2,61)
10-Tundra	-2,11 (-2,16)	-1,71 (-1,73)	-2,26 (-2,26)	-1,95 (-1,92)
11-Solo nu	-2,33 (-2,42)	-2,00 (-2,03)	-2,62 (-2,65)	-2,42 (-2,48)
12-Cultivos	-1,50 (-1,43)	-1,54 (-1,45)	-1,53 (-1,49)	-1,54 (-1,50)

A Figura 4.42 apresenta a variação temporal no período de agosto de 2014 do OMA das observações assimiladas sobre superfície terrestre dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3GHz. Nessa figura percebe-se que a magnitude absoluta do OMA é menor, na maioria dos horários, nos experimentos EXP02 e EXPO4 para os três canais apresentados. Essa diferença é mais evidente nos canais 23,8 GHz e 31,4GHz.

Figura 4.42 - Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas sobre o continente do quatro experimentos. As observações são referentes aos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e 50,3GHz.



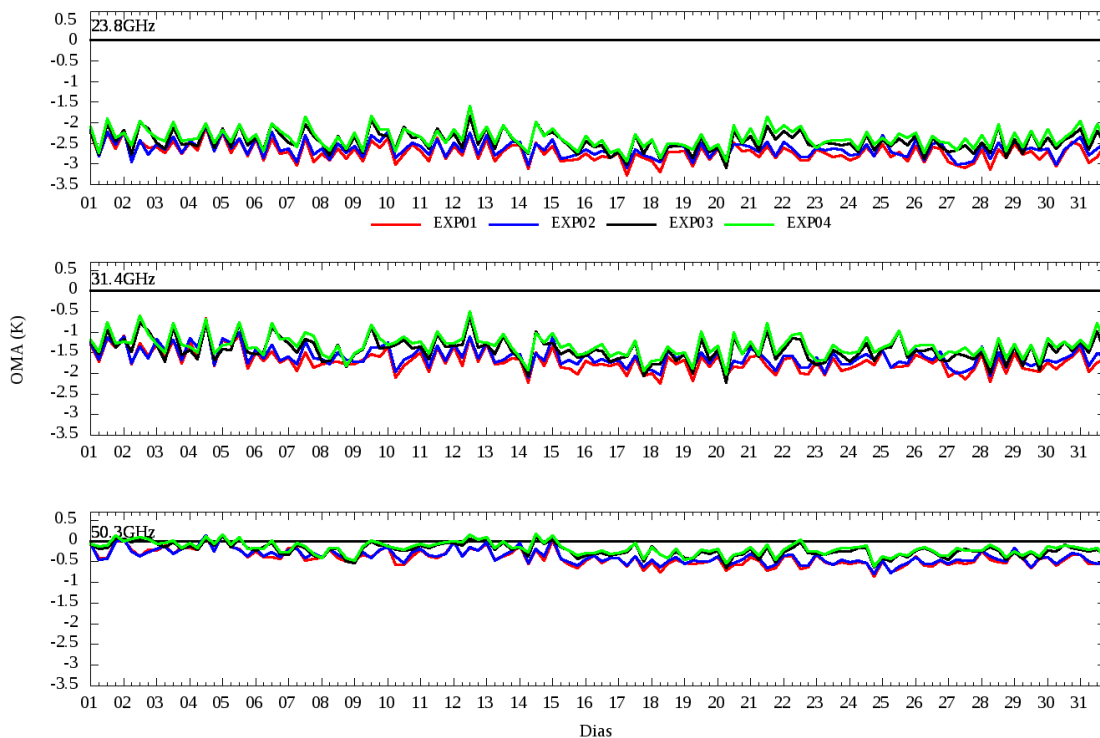
Painel superior são as observações do canal 23,8 GHz, painel do meio do canal 31,4 GHz e painel inferior do canal 50,3GHz. As linhas vermelhas representam o experimento EXP01 (controle), as azuis o EXP02, as linhas pretas o EXP03 e as verdes o EXP04.

Fonte: Produção do próprio autor.

Quatro tipos de cobertura de superfície foram selecionados para apresentação do comportamento da variação temporal do OMA, são: floresta mista (3), o caatinga (tipo 8), semi-deserto (9) e o campos (7). Na floresta mista (Figura 4.43) nota-se que quando a temperatura da superfície é alterada (EXP03, linha preta) e quando essa alteração ocorre em conjunto com a umidade do solo (EXP04, linha verde) os

valores de OMA diminuem com relação ao experimento controle. Contudo, por essa figura a maior contribuição vem do EXP03, visto que quando a unidade é alterada, a curva azul praticamente não se distancia da curva vermelha. Essa característica é observada nos três canais analisados, e está de acordo com o valor médio mensal do OMA. Percebe-se ainda que os valores do OMA para o canal 50,3 GHz apresentam média inferior a média do globo apresentada na Figura 4.42, mostrando que esses valores na média global são mascarados. As características da variação temporal da floresta mista exemplifica também a das florestas tropical, boreal e temperada.

Figura 4.43 - Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões com floresta mista (Tipo 3).



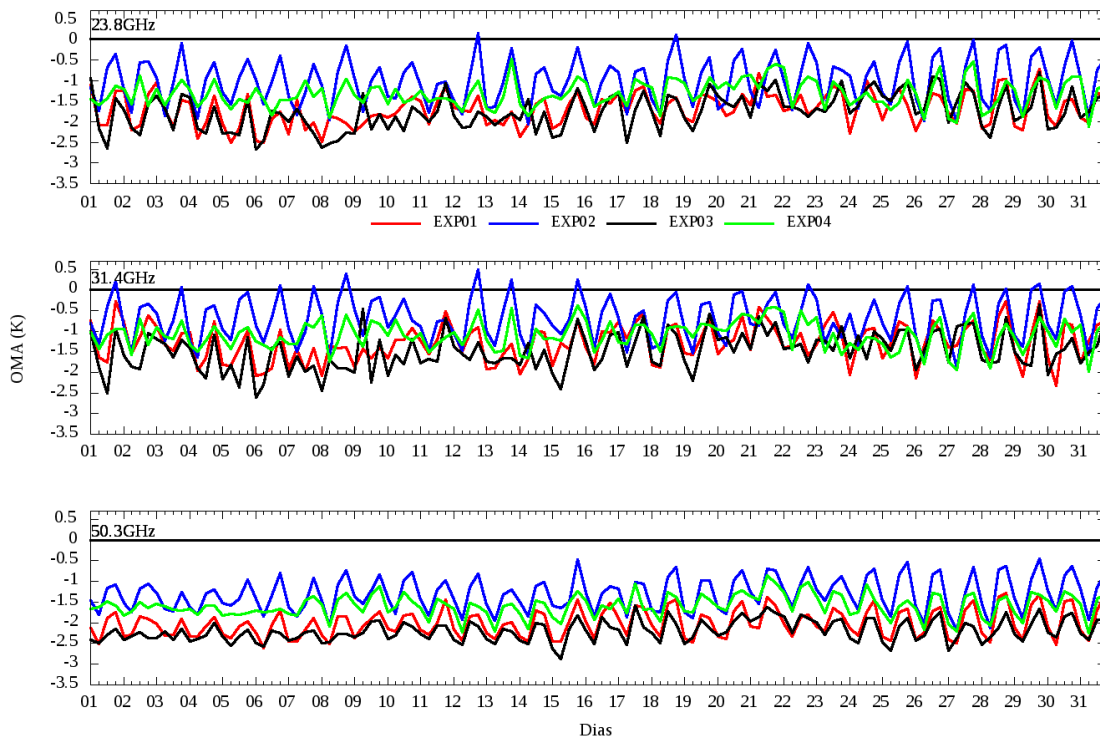
Painel superior são as observações do canal 23,8 GHz, painel do meio do canal 31,4 GHz e painel inferior do canal 50,3GHz. As linhas vermelhas representam o experimento EXP01 (controle), as azuis linhas vermelhas EXP02, as linhas pretas o EXP03 e as verdes o EXP04. A linha preta contínua em zero demarca o valor ótimo de OMA.

Fonte: Produção do próprio autor.

A variação temporal do OMA para a Caatinga (tipo 8), representada na Figura 4.44, apresenta comportamento diferente da floresta mista, os menores valores de

OMA estão relacionados aos experimentos onde ocorreu modificação na umidade do solo (EXP02) e o EXP04, porém o experimento EXP02 é o que apresenta valores de OMA médio mais próximo de zero. Esse comportamento é observado nos três canais analisados, e é mais evidente no canal 50,3GHz. Os experimentos EXP01 e EXP03 mostram a mesma variação temporal do OMA para os três canais. Os tipos de cobertura de floresta de conífera, savana e tundra apresentam as mesmas características descritas para a caatinga.

Figura 4.44 - Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões com Caatinga (Tipo 8).



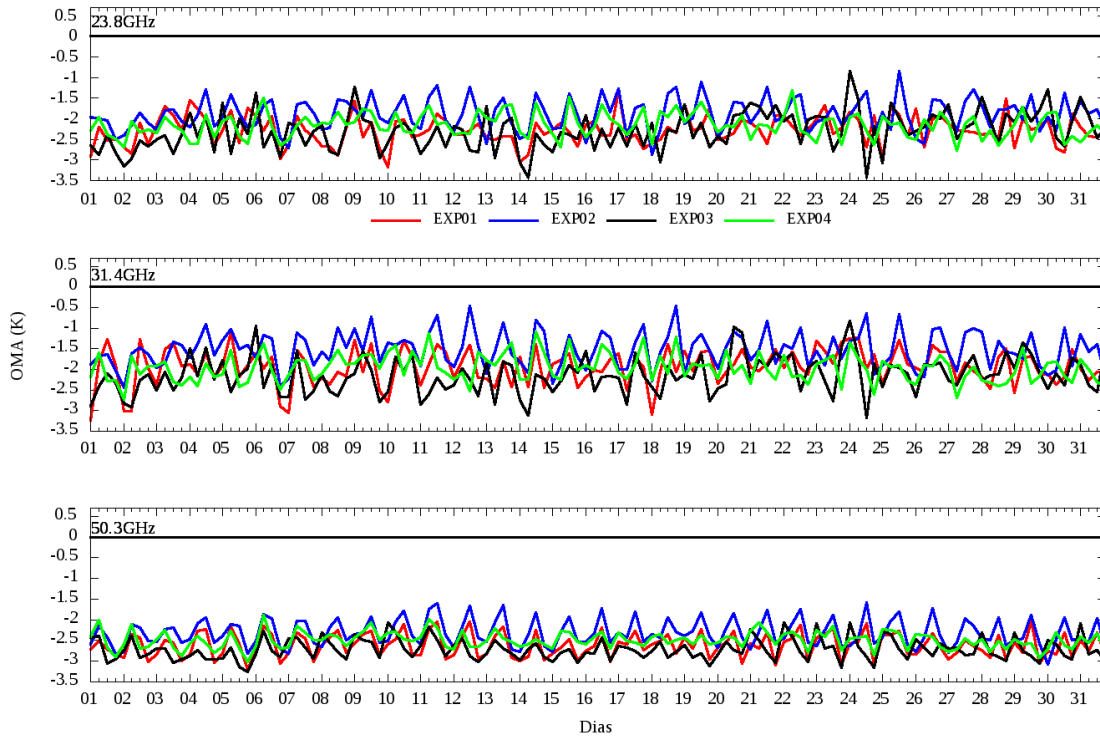
Mesma que da Figura 4.43.

Fonte: Produção do próprio autor.

A Figura 4.45 apresenta o comportamento do OMA sobre o semi-deserto (tipo 9), nota-se que as curvas não são distantes, porém, assim como no valor médio mensal, o experimento que diminuiu o OMA, na média, foi o EXP02, e isso pode ser notado nos três canais analisados, com maior evidência no canal 50,3GHz. Os maiores valores de OMA são do EXP01 seguidos do EXP03. Sobre o tipo de superfície caracterizado

como solo nu, o comportamento da variação temporal é semelhante ao encontrado para o semi-deserto.

Figura 4.45 - Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões de Semi-Deserto (Tipo 9).

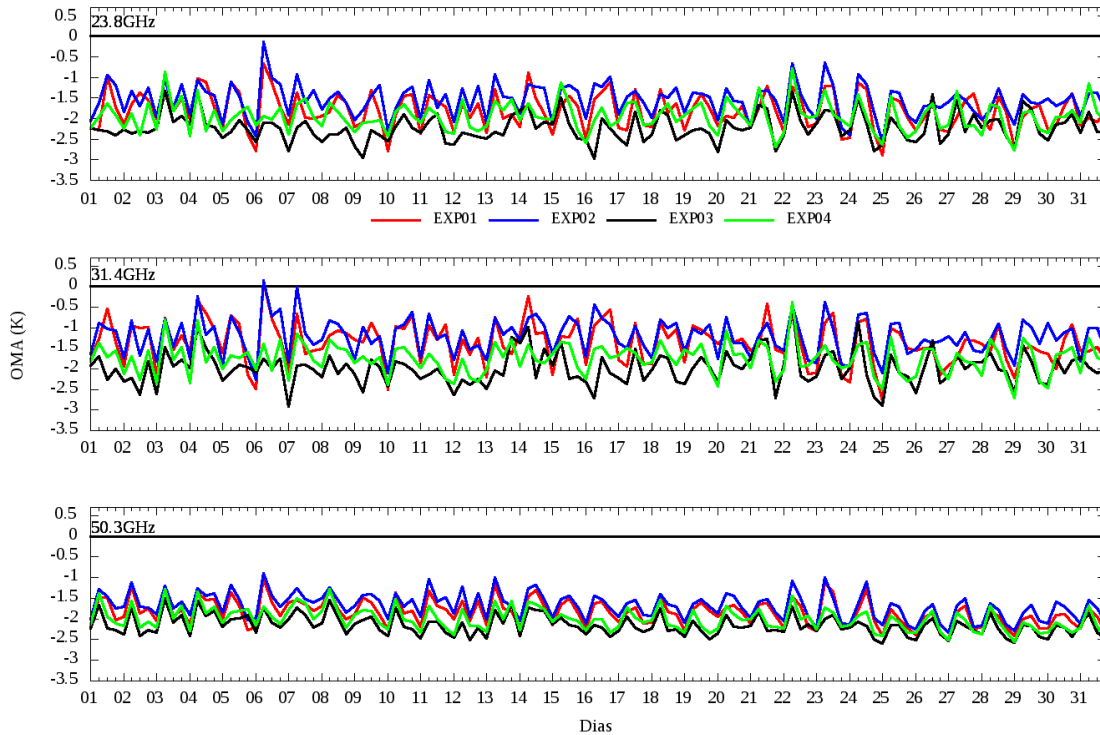


Mesma que da Figura 4.43.

Fonte: Produção do próprio autor.

As regiões caracterizadas com o tipo de cobertura de superfície de campos têm comportamento diferente das regiões descritas anteriormente, pois sobre essas áreas o EXP01 e o EXP02 que apresentam os menores valores de OMA, os outros experimentos aumentam o OMA médio quando comparado com o EXP01 (Figura 4.46). Essa característica fica também evidente na Tabela 4.13. As observações sobre áreas caracterizadas como áreas de cultivos apresentam características semelhantes ao do tipo campos.

Figura 4.46 - Variação temporal (agosto/2014) do OMA das observações assimiladas dos canais 23,8 GHz, 31,4 GHz e o 50,3 GHz do AMSU-A para os 4 experimentos em regiões de Campos (Tipo 7).



Mesma que da Figura 4.43.

Fonte: Produção do próprio autor.

Com o exposto anteriormente pode-se concluir que o experimento EXP02, no qual foi modificada a umidade do solo na estimativa inicial, é o que apresenta melhor comportamento quando refere-se ao uso dos dados dos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A sobre o continente. Esse experimento além de aumentar o número de dados assimilados no globo, contribuiu para uma redução no OMA e no OMF de forma global e na maioria dos tipos de cobertura da superfície.

O EXP03 não apresenta uma contribuição positiva no número de dados assimilados de forma global, em alguns tipos de superfície até contribui positivamente, contudo no globo diminuiu o uso dos dados dos canais de interesse. O EXP03 mostra uma redução do OMF (OMA) com relação ao controle somente na floresta mista, boreal e de conífera, nas outras superfícies apresenta OMF (OMA) superior ao experimento controle nos três canais.

Conforme indicado na seção 4.4.1, onde se avaliou as diferenças entre a temperaturas do EXP01 e do GLDAS (Figura 4.23), pode-se atribuir o aumento do valor absoluto do OMF (OMA) com relação ao controle ao fato de que em algumas regiões os erros sistemáticos do GLDAS são mais pronunciados que os do BAM. Na análise de sensibilidade foi identificado que a T_{skin} tem um papel crítico na simulação da emissividade nas regiões com pouca vegetação onde, verifica-se uma maior degradação, tanto do OMF (OMA) quanto no número de observações assimilados como mostrado nas Tabelas C.1, C.2 e C.3.

O experimento EXP04 apresenta, de forma global, um aumento no uso dos dados nos canais 23,8 GHz e 31,4 GHz, e no canal 50,3 GHz apresenta uma redução no uso dos dados. No globo o OMF foi reduzido nos três canais quando comparado com o experimento controle.

4.5.5 Verificação das Previsões

Para avaliar o impacto dos diferentes experimentos na previsão de 120 horas o coeficiente de correlação de anomalia (CCA) foi calculado, pois esse é utilizado como um indicador do impacto do uso dos dados na destreza da previsão de um modelo de PNT. Assim sendo, foi avaliado o CCA da altura geopotencial (ZGEO) em 500 hPa, do mesmo modo que foi utilizado no trabalho de Yan e Weng (2011) para analisar o impacto do uso de diferentes fontes de emissividade sobre o deserto, e no trabalho de Azevedo et al. (2017) que avaliaram as previsões do sistema G3DVar com diferentes conjuntos de dados. O período utilizado para avaliar as previsões de 120 horas foi de 11/08/2014 à 19/08/2014.

A Figura 4.47a, o gráfico superior, apresenta o CCA da ZGEO em 500 hPa para o globo e o inferior, da mesma figura, apresenta o resultado da aplicação do teste t-student para verificar se as diferenças entre as curvas de CCA entre os experimentos e o controle é significativa, se as curvas estiverem fora da caixa correspondente a cor da curva do experimento, pode-se dizer que as curvas são diferentes com nível de confiança de 95%. Para o globo nota-se que o experimento EXP03 é o que apresenta as maiores diferenças, degradando a previsão em quase 6 horas. Os experimentos EXP02 e EXP04 apresentam alguma diferença com relação ao EXP01 com 96 horas de previsão, curvas fora da caixa correspondente, existe um impacto positivo pequeno. A mesma característica é observada para a região identificada como Hemisfério Sul (Figura 4.47c).

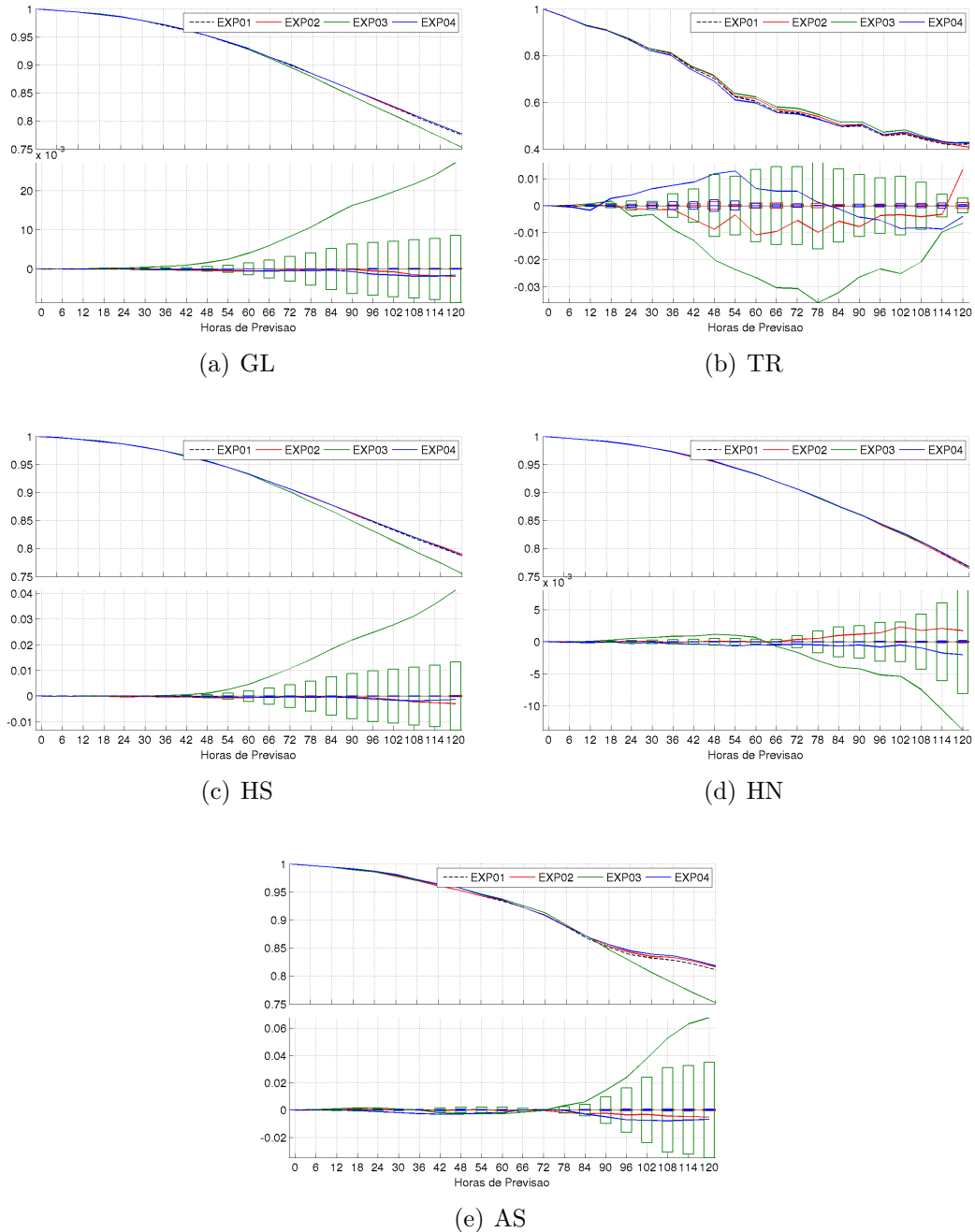
Na região tropical o experimento controle apresenta valores baixos de CCA, Figura

4.47b, assim como os outros experimentos, demonstrando que o modelo tem uma destreza baixa nesta região, o mesmo foi encontrado por Baños (2017). Comparando os experimentos, pode-se notar que o EXP02 degrada a previsão nesta região, e os outros dois experimentos tem um impacto positivo, pequeno. Os experimentos podem ser considerados diferentes com 18 horas de previsão.

O CCA para a região do Hemisfério Norte (Figura 4.47d) mostra que o EXP02 tem valor menor de CCA, pequena diferença, a partir de 72 horas de previsão. Os outros experimentos apresentam diferença significativa com 72 horas de previsão (EXP03) e 48 horas (EXP04), como para o globo e hemisfério sul, existem pequenas diferenças.

Para a região caracterizada na metodologia como América do Sul, Figura 4.47e a CCA para a ZGEO em 500 hPa apresenta os maiores valores de CCA em 120 horas de previsão. O EXP03 é o que diminui a destreza do modelo nessa região a partir de 90 horas, já os EXP02 e EXP04 apresentam diferenças do EXP01 durante o período de integração, contudo estas ficam mais evidentes com 84 horas de previsão. Assim, como ocorre no globo e sobre o Hemisfério Sul, as diferenças são pequenas.

Figura 4.47 - Média do Coeficiente de Correlação de Anomalia da altura geopotencial (ZGEO) em 500hPa sobre o globo (GL), região tropical (TR), Hemisfério Sul (HS), Hemisfério Norte (HN) e América do Sul (AS) durante o período de 11/08/2014 à 19/08/2014.



O experimento controle (EXP01) é representado pela linha preta pontilhada, o EXP02 pela linha vermelha, o EXP03 pela linha verde e a linha azul representa o EXP04. O gráfico superior das figuras representa a correlação de anomalia no eixo das ordenadas e no eixo das abcissas as horas de previsão. No gráfico inferior apresenta o teste de significância estatística da diferença da correlação de anomalia entre os experimentos e o controle. A significância de 95% ocorre quando as curvas estão fora das suas respectivas caixas, identificadas pela cor das curvas.

Fonte: Produção do próprio autor.

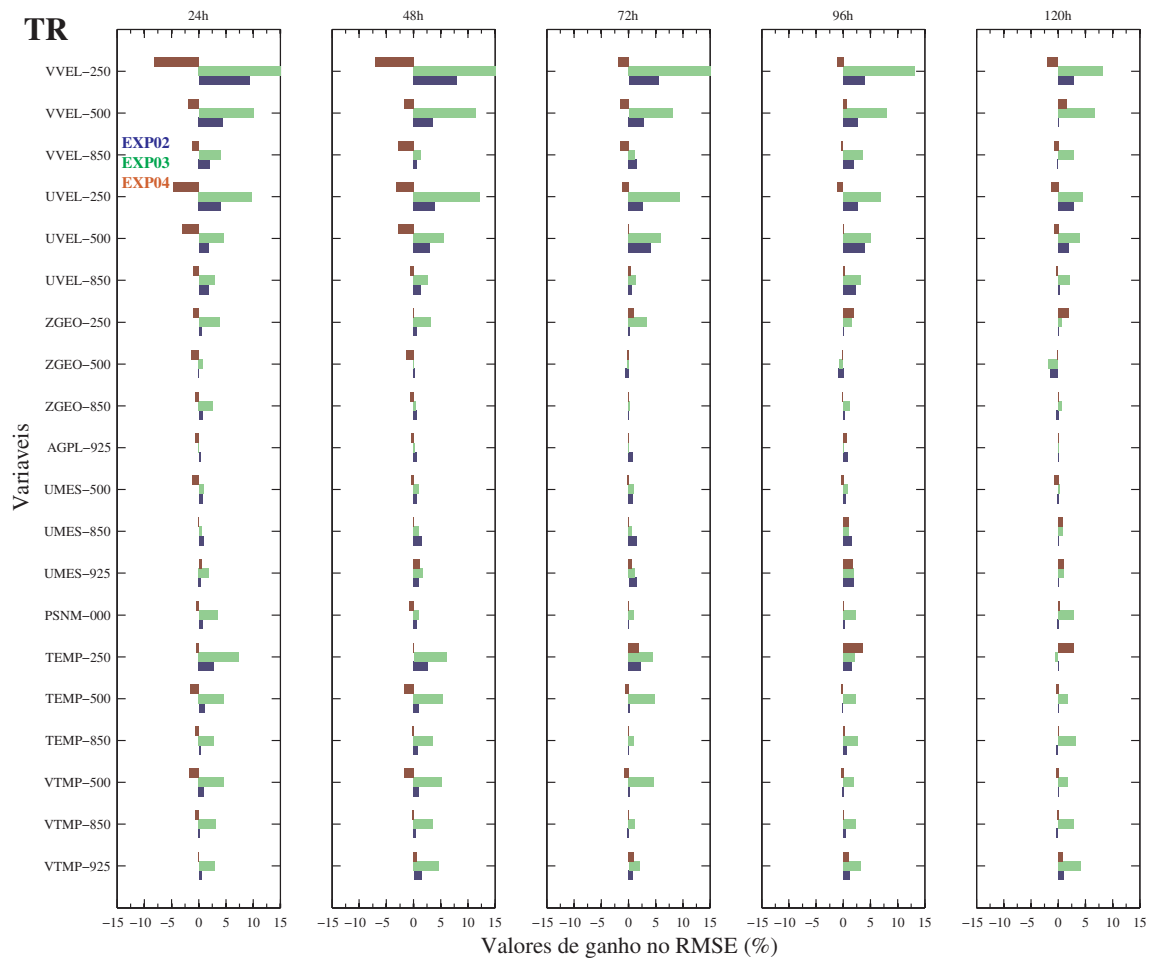
Yan e Weng (2011) encontraram que as diferenças na verificação das previsões entre os experimentos com diferentes aproximações para a emissividade da superfície no deserto foram positivas mas pequenas, característica similar a encontrada no globo, no Hemisfério Sul e na América do Sul no presente estudo. Isto mostra que não se esperam mudanças grandes na previsão quando se mudam as características relacionadas a emissividade da superfície.

A análise da anomalia de geopotencial em 500hPa, que é um indicador da destreza do modelo, identifica que o EXP03 não contribui positivamente na maioria dos casos, exceto no hemisfério norte. Os outros experimentos apresentam um pequeno impacto nas previsões acima de 90 horas no globo, hemisfério sul e América do sul. Dessa forma, o experimento que apresenta o maior uso dos dados dos canais de 1 a 3 do sensor AMSU-A, EXP02, não trouxe uma degradação na previsão, sendo isso um aspecto positivo.

O RMSE foi avaliado em cada experimento em termos de ganho percentual do RMSE ($GANHO^{RMSE}$) com relação ao experimento controle. O ganho foi gerado para todas variáveis descritas na seção 3.2.6.4, assim como para as cinco regiões que o CCA foi avaliado.

Os maiores ganhos percentuais encontrados são na região tropical e na América do Sul, contudo os valores não são maiores que 15%. A Figura 4.48 apresenta os ganhos percentuais para a região tropical para as previsões das 24 h, 48 h, 72 h, 96 h e 120 h, no eixo das ordenas estão as diferentes variáveis avaliadas. Os maiores ganhos são nas variáveis de vento nos experimentos EXP03 (barras verde) e EXP02 (barras azul), topo dos gráficos. Ao passo que o EXP04 (barras marrom) aumenta o RMSE com relação ao experimento controle (valores negativos). O EXP03 também apresenta ganho na temperatura sensível (TEMP) nos níveis de 250, 500, 850 hPa, e na temperatura virtual (VTEMP) nos níveis de 500, 850 e 925 hPa, em todos os horários de previsão, mas mais evidente nas primeiras 72 horas.

Figura 4.48 - Ganho Percentual nos valores de RMSE nas variáveis analisadas para 24 h, 48 h, 72 h, 96 h e 120 h de previsão para região Tropical.



As barras azuis representam o ganho do RMS para o EXP02 com relação ao EXP01, as verdes do EXP03 com relação ao EXP01, e as marrom do EXP04 comparado com o controle (EXP01). Valores negativos significam que o RMSE no controle é menor que no experimento e valores positivos representam redução no RMSE com relação ao controle.

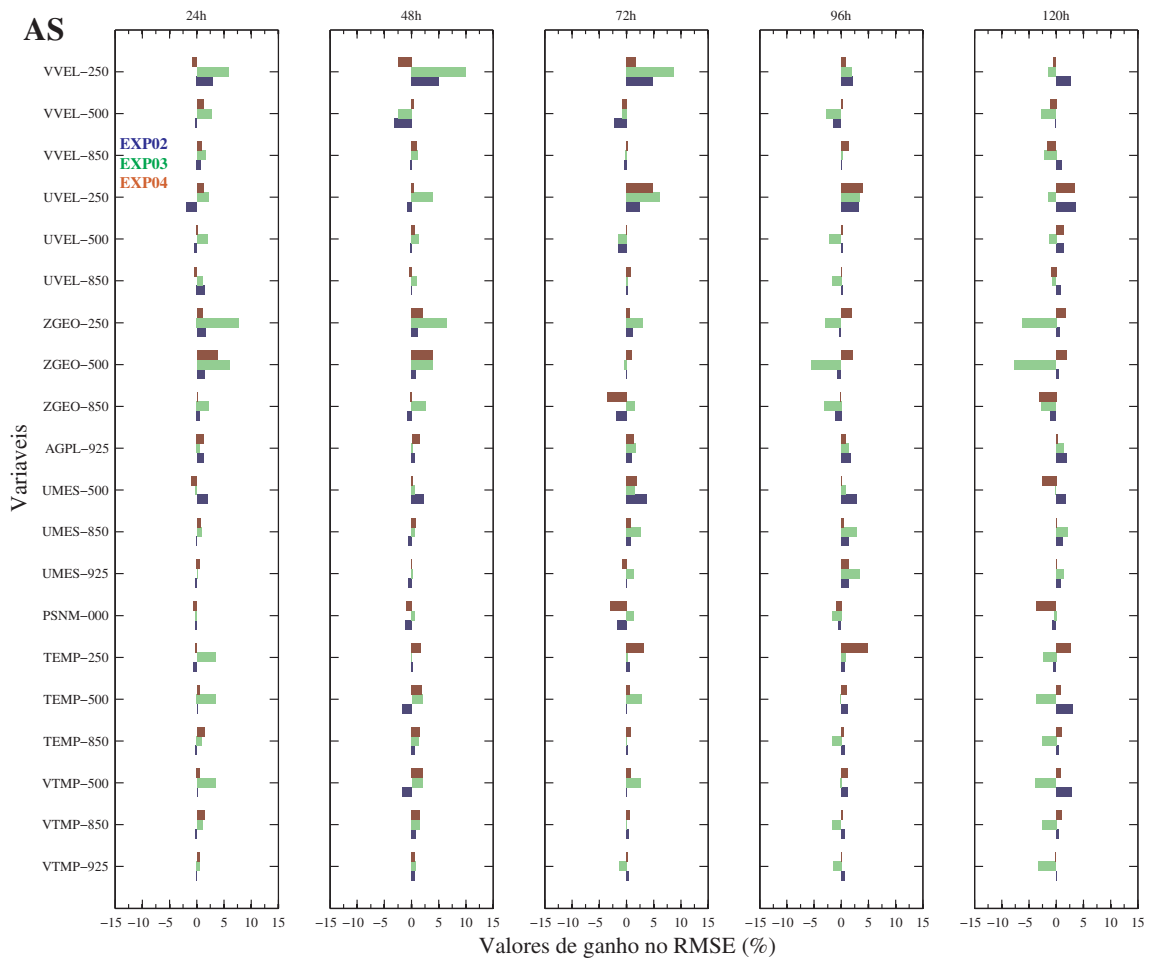
Fonte: Produção do próprio autor.

Na região da América do Sul os valores do ganho percentual no RMSE são inferiores aos apresentados para a região tropical. O ganho percentual é maior no vento meridional (VVEL) em 250 hPa até 96 horas de previsão para os experimentos EXP02 e EXP03. Na ZGEO em 250 hPa e 500 hPa o EXP03 apresenta um ganho nas primeiras 72 horas de previsão e depois apresenta um aumento do RMSE. A América do Sul, diferente da região tropical, não apresenta um padrão definido de ganho e perda do RMSE, ocorrendo as duas coisas nos diferentes experimentos com relação

ao controle.

Pelos gráficos de linha do RMSE (figuras não apresentadas) percebe-se que não há diferença considerável entre os experimentos e o controle, em algumas variáveis/regiões os experimentos se mostram melhor que o controle, e em outras pior. Com isso, não é possível afirmar que ocorre uma redução/aumento do RMSE entre os experimentos e o controle.

Figura 4.49 - Ganho Percentual nos valores de RMSE nas variáveis analisadas para 24 h, 48 h, 72 h, 96 h e 120 h de previsão para região da América do Sul.



Mesma que da Figura 4.48.

Fonte: Produção do próprio autor.

5 CONCLUSÕES

Para que medidas de radiâncias por satélite no espectro do micro-ondas possam ser assimiladas em modelos de previsão numérica do tempo, em particular nos canais sensíveis à superfície, é necessário um entendimento da emissividade da superfície e os erros estatísticos associados. Enquanto o papel da emissividade sobre a superfície oceânica foi extensamente estudado, ainda existem limitações no entendimento do seu papel sobre a superfície terrestre devido a sua complexidade. Na busca pela mitigação dos erros decorrentes das limitações citadas acima na previsão numérica de tempo (PNT), algumas questões científicas foram elaboradas como segue.

- a. É possível quantificar a contribuição das características do solo e da vegetação na estimativa da emissividade?
- b. Quais são os parâmetros mais relevantes para um modelo de emissividade de superfície terrestre em micro-ondas?
- c. Visto que é inviável na atualidade determinar de forma precisa as características do solo e da superfície globalmente, quais são as contribuições das incertezas destes parâmetros para as incertezas nas estimativas de emissividade?
- d. É possível determinar se as interações entre os parâmetros em um modelo físico de emissividade terrestre em MO também contribuem para as incertezas das simulações?
- e. Estudos anteriores mostram que uma melhora na qualidade da emissividade da superfície em MO representa um aumento do número de observações nos canais sensíveis à superfície assimilados: um aumento no número de observações de radiâncias necessariamente representa um aumento na qualidade das análises?
- f. Na hipótese de um aumento, tanto do número de observações assimiladas quanto da qualidade das análises, é possível também quantificar o consequente impacto nas previsões de tempo?

O presente trabalho tem como principal objetivo quantificar a contribuição das características do solo e da vegetação na estimativa da emissividade em micro-ondas e estimar o seu impacto na assimilação de radiâncias para os canais sensíveis à superfície terrestre.

A partir do desenvolvimento e execução das etapas descritas na Seção 1.2, foi possível

quantificar a contribuição das características do solo e da vegetação na estimativa da emissividade em micro-ondas e estimar o seu impacto na assimilação de radianças para os canais sensíveis à superfície terrestre. As seguintes conclusões são apresentadas.

O sistema GSI-BAM apresenta erros sistemáticos na emissividade simulada em micro-ondas, em particular sobre as regiões semi-áridas e áridas, resultando em erros de mais de 4,5 K na temperatura de brilho estimada.

A partir da avaliação das características da emissividade simulada pelo sistema GSI-BAM, representada pelo EXP01, contra os dados do MSPPS verifica-se uma superestimativa da emissividade para os canais de 1 à 3 do sensor AMSU-A sobre os diferentes tipos de cobertura analisados. Porém, nota-se um aumento nos valores superestimados a medida que a vegetação fica mais escassa. Percebe-se ainda que em regiões caracterizadas como caatinga, semi-deserto, tundra e solo nu, a diferença, na média, entre os dados do MSPPS e da emissividade simulada, são maiores, em módulo, que 0,04. Alguns autores mostraram que erros dessa magnitude na emissividade em regiões de deserto podem ocasionar erros acima de 3 K na simulação da temperatura de brilho. Deste modo, o uso da emissividade simulada pelo BAM (EXP01) no processo de assimilação dos dados destes canais ocasionaria uma superestimativa da temperatura de brilho simulada, podendo este dado ser descartado pelo controle de qualidade do sistema.

A temperatura da superfície, temperatura e umidade do solo são os fatores mais importantes na estimativa da emissividade da superfície terrestre em micro-ondas sobre regiões de solo nu, utilizando o modelo físico de Weng et al. (2001). O efeito da interação entre estes parâmetros também deve ser considerado.

Com a análise de sensibilidade pode-se concluir que quando o interesse é simular a emissividade em micro-ondas pelo modelo descrito em Weng et al. (2001) nas frequências dos canais de 1 à 3 do sensor AMSU-A sobre regiões com características de solo nu, deve-se ter atenção principalmente com a representação da temperatura da superfície terrestre, temperatura do solo e umidade do solo. A Tskin é bastante explorada com relação à sua importância na representação da emissividade (ENGLISH, 2008; KARBOU, 2005) assim como a umidade do solo (WENG et al., 2001; RINGERUD et al., 2014; MA et al., 2017), enquanto a temperatura do solo é menos estudada (RINGERUD et al., 2014; MA et al., 2017). Ainda através da análise do índice

sobol de segunda ordem nota-se que as principais interação identificadas são entre a Tskin e Tsoil, seguidas da Tskin e SM.

Sobre regiões de floresta tropical, os parâmetros mais importantes para estimativa da emissividade em micro-ondas são a espessura da folha, conteúdo gravimétrico de água no dossel e a densidade da vegetação. Tais parâmetros são difíceis de ser obtidos com precisão para uso em aplicações como modelagem global, o que contribui para um aumento dos erros no sistema de assimilação.

Entretanto, se o objetivo é simular a emissividade em micro-ondas nas frequências e ângulos aqui estudados sobre regiões caracterizadas como floresta tropical, necessita-se de atenção principalmente na representação da espessura da folha, no conteúdo gravimétrico de água no dossel e na densidade da vegetação, que foram explorados na literatura no contexto da emissividade por (WENG et al., 2001; XIE et al., 2015). Como esperado, tais parâmetros representam a geometria e densidade do dossel, controlando os múltiplos processos de espalhamento e reflexão que contribuem para emissividade integrada da vegetação. A interação entre os parâmetros também é analisada e nota-se que ocorre interação entre os parâmetros que apresentaram mais contribuição na simulação da emissividade, isto é, entre o LT e o Mg.

A Temperatura da superfície e umidade do solo são identificados pela análise de sensibilidade como um dos estados de superfície mais relevante para a estimativa de emissividade. A avaliação da umidade do solo diária do BAM contra os dados observados por satélite verifica uma subestimativa dessa variável sobre as regiões áridas.

Com o conhecimento de que a temperatura da superfície terrestre e a umidade do solo são variáveis que contribuem de forma efetiva para a simulação da emissividade, foi realizada a avaliação dos campos dessas variáveis simuladas pelo experimento controle (GSI-BAM) contra uma referência. Deste modo, pode-se concluir que apesar do padrão espacial da SM estar de acordo com os dados do SMOPS, a umidade simulada é subestimada, principalmente nas regiões áridas. Essas características corroboram o resultado encontrado por Mattos (2016) e Maske (2016).

Temperatura da superfície simulada pelo BAM apresenta viés positivo quando comparada com o produto de satélite MIRS, porém os erros variam de acordo com o ciclo diurno.

As simulações de temperatura da superfície também apresentam viés médio quando comparadas com o produto de temperatura da superfície terrestre do MIRS. Nota-se que existem diferenças que podem estar associadas com a incidência solar, isto é, existem variações relacionadas com os diferentes horários analisados. As maiores diferenças positivas, isto é, subestimativa da temperatura da superfície continental do experimento controle ocorrem no horário das 00Z sobre o norte da África e sul da Ásia.

Uma base de dados de referência (GLDAS) foi selecionada, para ser utilizada na redução de viés dos campos de superfície do BAM. Com o propósito de realizar simulações da emissividade de forma mais correta propôs-se a utilização da umidade do solo e da temperatura da superfície fornecidas por um sistema de assimilação de superfície, o GLDAS. Deste modo, fez-se necessária a avaliação destas da mesma forma que foi realizada para o experimento controle. A umidade do solo do GLDAS quando comparada com os dados do SMOPS, também é subestimada. Contudo, apresenta valores maiores quando se compara com os campos do experimento controle.

Foram verificados impactos nos dados simulados quando as variáveis de temperatura e umidade do solo provenientes do GLDAS foram utilizadas para estimativa da emissividade.

Deste modo, três experimentos foram realizados: (1) o experimento onde foi substituída a umidade do solo da estimativa inicial pela do GLDAS, identificado como EXP02; (2) o experimento onde foi substituída a temperatura da superfície pelo campo do GLDAS, EXP03, e o (3) onde foram substituídas as duas variáveis, identificado como EXP04.

Os maiores impactos da redução do viés da temperatura e umidade do solo, na simulação da emissividade nos canais sensíveis à superfície, ocorrem em regiões áridas e de pouca vegetação.

Os experimentos apresentam maior contribuição em alguns tipos de superfície do que em outros, o que de certo modo é explicado pela análise de sensibilidade. Como as variáveis substituídas são a temperatura da superfície terrestre e a umidade do solo, as maiores diferenças entre os experimentos e o controle são em áreas sem vegetação densa. As diferenças são em regiões como caatinga, semi-deserto e solo nu. Os três canais apresentaram as mesmas características.

A utilização de uma fonte alternativa para a umidade do solo e temperatura da superfície também contribuiu para a diminuição da diferença entre a emissividade simulada nos diferentes experimentos e o produto de emissividade do MSPPS. Essa diminuição ocorre principalmente no experimento onde foi substituída a umidade do solo (EXP02), seguido do experimento onde ocorreu a mudança conjunta da temperatura e da umidade do solo (EXP04).

Apesar de apresentar menor viés global para as variáveis de umidade e temperatura da superfície, o produto de assimilação de dados de superfície GLDAS deve ser utilizado com cautela para redução dos erros sistemáticos no modelo de emissividade do sistema GSI-BAM, em particular para temperatura da superfície terrestre.

O GLDAS é produto de um sistema de assimilação de superfície desacoplado (off-line) com base em dados observados (isto é, precipitação e radiação incidente observadas), o que permite a obtenção de estados da superfície terrestre como temperatura da superfície e umidade do solo balanceados. Dessa forma as variáveis de superfície refletem de forma mais acurada a variabilidade espacial e temporal das forçantes atmosféricas observadas, agindo como uma “reanálise terrestre”. Porém, devido às limitações dos modelos de superfície empregados além de erros provenientes das forçantes atmosféricas, esses produtos podem ainda apresentar erros significativos em algumas regiões com poucas informações ou parametrizações inadequadas. Neste trabalho, verificou-se que em algumas regiões de pouca vegetação, os erros sistemáticos do GLDAS de temperatura da superfície eram maiores, quando comparados com o modelo BAM (acoplado ao modelo de superfície SSiB). Como a temperatura da superfície tem um papel dominante para o controle da emissividade em regiões de pouca vegetação, os erros oriundos do GLDAS, como demonstrado no terceiro experimento (EXP3), acabaram dominando os erros oriundos do BAM.

As alterações no número de radiancias assimiladas devido ao uso dos estados da superfície provenientes do GLDAS no modelo de transferência radiativa não causou instabilidade nas análises e previsões geradas pelo sistema GSI-BAM.

Como foi apresentando existe uma contribuição na variação das diferenças entre a emissividade simulada nos diferentes experimentos e uma referência. Deste modo foram avaliadas as contribuições desses experimentos na assimilação de dados. Os quatro experimentos apresentam um bom desempenho em termos de estabilidade do sistema mantendo uma pequena variação da pressão média. O mesmo é observado

com relação ao número de dados assimilados, viés e RMS das variáveis de estado (pressão, umidade, temperatura e vento). Os experimentos também foram avaliados com relação as estatísticas da assimilação das observações de radiância. E no caso dos canais de MO do sensor AMSU-A foram avaliadas as diferenças entre o uso dos dados nos diferentes experimentos, assim como o OMF/OMA.

As alterações no número de radiâncias nos canais sensíveis à superfície, assimiladas no GSI-BAM não apresentaram impacto significativo sobre o número de observações assimiladas por outros sistemas de observação (isto é, dados convencionais de superfície ou ar superior). Diferentemente de outros estudos onde tais efeitos ocorrem, como na aplicação de técnicas de OSE onde os impactos são percebidos pois são retirados ou incluídos por completo os sistemas de observação, e não somente alteração de pequena porcentagem do número de observações.

O número médio de observações assimiladas de umidade e temperatura não variou entre os quatro experimentos. Os dados de pressão, vento e refratividade de GPS apresentam diferenças, contudo não são diferenças significativas. De forma que a variação temporal da diferença entre o número de observações dessas variáveis dos experimentos com relação ao controle não tem um padrão definido. Variação entre aumento e diminuição do uso dos dados é observada.

O número médio de dados de radiância assimiladas, exceto AMSU-A e ATMS, apresenta um aumento com relação ao experimento controle, principalmente no experimento relacionado à umidade do solo (EXP02) e no experimento que utilizou as duas variáveis provenientes do GLDAS (EXP04).

Nos canais sensíveis à superfície do AMSU-A e ATMS, as alterações na umidade do solo sozinha, ou em conjunto com a temperatura da superfície resultam em um aumento do número de observações seguida de uma melhoria dos campos de análise e estimativa inicial. Por outro lado, quando alterada somente a temperatura da superfície, houve, na média, uma diminuição no número de dados assimilados e pequena degradação da análise e estimativa inicial.

Espera-se encontrar as maiores diferenças entre os experimentos principalmente na avaliação dos canais do micro-ondas sensíveis à superfície, isto é, canais de 1 à 5 do sensor AMSU-A e de 1 à 6 do ATMS. O EXP02 apresenta, na média, mais dados assimilados sobre o continente que o experimento controle. O EXP03 não assimila

mais observações que o experimento controle em nenhum dos canais analisados. Ao passo que o EXP04 apresenta mais dados assimilados nos canais 1 e 2 do AMSU-A e de 1 à 3 do ATMS.

O EXP02 apresenta mais observações assimiladas em todos os tipos de cobertura nos canais 23,8 GHz e 31,4 GHz. Para o canal 50,3 GHz há diminuição do uso dos dados com relação ao controle sobre regiões caracterizadas como floresta, exceto em coníferas e regiões de caatinga. O EXP03 foi o que mais diminui o número de dados assimilados com relação ao controle, isto é, só apresenta contribuições positivas sobre a floresta tropical e temperada, na savana e no cultivo no canal 1, nos canais 2 e 3 aparece um ganho nas regiões de tundra.

O EXP04 não apresenta ganho no canal 23,8 GHz com relação ao experimento controle nas regiões de floresta mista e boreal e áreas caracterizadas como campos. No canal 31,4GHz ocorre uma redução do número de dados assimilados nas vegetações descritas anteriormente e nas regiões de floresta conífera. O canal 50,3 GHz apresenta diminuição no uso dos dados nas vegetações citadas anteriormente e nas áreas identificadas como campos.

Houve uma redução dos valores OMA e OMF na média global para as alterações de umidade do solo ou da combinação de umidade do solo e temperatura da superfície. Para o caso de alterações somente na temperatura da superfície houveram reduções dessas métricas somente sobre florestas boreal, conífera e mista.

O aumento do número de dados não é a única medida que se deseja modificar, espera-se que esse aumento venha acompanhado da diminuição do OMF/OMA médio. De forma global os experimentos identificados como EXP02 e EXP04 reduzem o OMF/OMA médio em relação ao experimento controle. O EXP03 só reduz o OMF/OMA sobre regiões caracterizadas como floresta boreal e conífera nos canais 1 e 2 e ainda na floresta mista no canal 3. O EXP02 só não reduz o OMF/OMA sobre as regiões de cultivos nos três canais. Enquanto no EXP04 o OMF/OMA não é reduzido em relação ao experimento controle em regiões de floresta tropical e temperada, semi-deserto, solo nu e cultivos nos canais 1 e 2 do AMSU-A. O canal 3 apresenta aumento do OMF/OMA nas mesmas regiões e sobre áreas de campos.

Dessa forma a inclusão da umidade do solo nos campos de estimativa inicial fornecidos para o sistema GSI é o que mais contribui para uma maior utilização dos dados, assim como uma redução do OMF/OMA na maioria das coberturas analisadas.

A métrica padrão recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) é o coeficiente de correlação de anomalia da altura geopotencial em 500 hPa, o qual mostra que os ganhos mais significativos dos experimentos ocorrem a partir de 90 horas de previsão com exceção do experimento relacionado à temperatura da superfície sozinha onde houve degradação das previsões a partir de 42 horas.

O comportamento da previsão de 120 horas dos quatro experimentos foi também avaliado, verifica-se que o coeficiente de correlação de anomalia da altura geopotencial em 500 hPa mostra que globalmente o experimento EXP03 apresenta uma redução na qualidade das previsões a partir de 42 horas de previsão enquanto os outros experimentos apresentam um ganho a partir de 90 horas de previsão. Comportamento semelhante é observado no Hemisfério Sul e na América do Sul. Nos trópicos o coeficiente de correlação de anomalia é menor que 0,6 a partir de 48 horas de previsão para todos os experimentos.

5.1 Trabalhos Futuros

Recomenda-se que seja testada a geração de um sistema de assimilação de superfície (GLDAS) utilizando o mesmo modelo de superfície utilizado pelo modelo BAM, além de forçantes atmosféricas provenientes do sistema de modelagem GSI-BAM. Dessa forma pode-se testar a hipótese de que os erros sistemáticos serão reduzidos de forma mais eficiente, em especial nas regiões de pouca vegetação, onde uma correta simulação da temperatura da superfície é crítica para a assimilação de radiâncias em canais sensíveis à superfície.

Recomenda-se utilizar técnicas de calibração de parâmetros de superfície para buscar possíveis valores ótimos de espessura da folha, conteúdo gravimétrico de água no dossel e densidade de vegetação para quantificar possíveis melhorias na emissividade simulada sobre vegetação densa. Também é importante confrontar tais parâmetros otimizados com dados observados a partir de experimentos de campo, quando houver, para um melhor entendimento dos mecanismos ligados aos mesmos.

Recomenda-se realizar as mesmas avaliações, da emissividade e da temperatura de brilho dentro do sistema de assimilação para o sensor ATMS. Além de conter os canais avaliados neste trabalho, o ATMS é considerado a nova geração dos sensores de micro-ondas.

Recomenda-se realizar análise de sensibilidade utilizando metodologias que permi-

tam contabilizar a interação não-linear entre os parâmetros utilizados para realizar a simulação da emissividade continental em micro-ondas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRES, F.; PRIGENT, C.; BERNARDO, F.; JIMÉNEZ, C.; SAUNDERS, R.; BRUNEL, P. A tool to estimate land-surface emissivities at microwave frequencies (TELSEM) for use in numerical weather prediction. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 137, n. 656, p. 690–699, 2011. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.803>>. 3

ALPERT, J. C.; KANAMITSU, M.; CAPLAN, P.; SELA, J.; WHITE, G. H.; KALNAY, E. Mountain induced gravity wave drag parameterization in the NMC-MRF model. In: CONF. ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 8., 1988, Baltimore, MD. **Proceedings...** [S.l.]: Amer. Meteor. Soc., 1988. p. 726–736. 26

ANDREOLI, R. V.; FERREIRA, S. H. S.; SAPUCCI, L. F.; SOUZA, R. A. F. d.; MENDONÇA, R. W. B.; HERDIES, D. L.; ARAVÉQUIA, J. A. Contribuição de diversos sistemas de observação na previsão de tempo no CPTEC/INPE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 218–237, Jun. 2008. 1

ARAUJO, L. R. P. **Os efeitos das parametrizações do comprimento de rugosidade térmica na simulação da temperatura de superfície terrestre no modelo SSiB do G3DVar**. 2015. 136 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/09.04.15.21>>. Acesso em: 13 mar. 2017. 2, 18, 28, 59

ARAVEQUIA, J. A. A assimilação de radiâncias no filtro de kalman local por conjunto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 24-29 ago, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008. Acesso em: 30 out. 2016. 18

AZEVEDO, H. B. d.; GONÇALVES, L. G. G. d.; BASTARZ, C. F.; SILVEIRA, B. B. Observing system experiments in a 3DVARr data assimilation system at CPTEC/INPE. **Weather and Forecasting**, v. 32, p. 873, 2017. ISSN 0882-8156. 1, 26, 47, 48, 165

BAÑOS, I. H. **Assimilação de perfis de rádio ocultação GPS no modelo global de PNT do CPTEC**. 2017. 145 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos

Campos, 2017. Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/02.03.10.32>>. Acesso em: 10 ago. 2017. 47, 49, 166

BASTOS, E. J. B.; SOUZA, R. A. F.; ALVALA, R. C. d. S. Emissividade da superfície sobre Brasil a partir de observações do SSM/I em 19 GHz e 85 GHz. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 2, p. 147–159, 2002. ISSN 0102-261X. 20

BOUKABARA, S. A.; GARRETT, K.; CHEN, W.; ITURBIDE-SANCHEZ, F.; GRASSOTTI, C.; KONGOLI, C.; CHEN, R.; LIU, Q.; YAN, B.; WENG, F.; FERRARO, R.; KLEESPIES, T. J.; MENG, H. MIRS: An all-weather 1dvar satellite data assimilation and retrieval system. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 49, n. 9, p. 3249–3272, Sept 2011. ISSN 0196-2892. 58

BOUTTIER, F.; KELLY, G. **Observing systems experiments in the ECMWF 4D-Var data assimilation system**. Shinfield Park, Reading, February 2001. 1

CALHEIROS, A. J. P. **Propriedade radiativas e microfísicas das nuvens continentais: uma contribuição para a estimativa da precipitação de nuvens quentes por satélite**. 2013. 202 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/10.07.19.43>>. Acesso em: 25 nov. 2015. 10, 20

CAMARGO, M. A. B.; MARENCO, R. A. Density, size and distribution of stomata in 35 rainforest tree species in Central Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 41, p. 205 – 212, 00 2011. ISSN 0044-5967. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672011000200004&nrm=iso>. 54

CAMPOS, T. L. d. O. B.; SAPUCCI, L.; AMARANTE, L. Sensibilidade da previsão numérica de tempo à escolha da variável controle de umidade atmosférica. In: ENCONTRO DOS ALUNOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO CPTEC/INPE, 14., 2015, Campos do Jordão, SP. **Anais...** [S.l.]: EPGMET, 2015. p. 22. 48

CANNAVÓ, F. Sensitivity analysis for volcanic source modeling quality assessment and model selection. **Comput. Geosci.**, Pergamon Press, Inc., Tarrytown, NY, USA, v. 44, p. 52–59, jul. 2012. ISSN 0098-3004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2012.03.008>>. 73

CARDINALI, C. Monitoring the observation impact on the short-range forecast. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 135, n. 638, p. 239–250, 2009. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.366>>. 1, 10

CHEN, M.; WENG, F. Modeling land surface roughness effect on soil microwave emission in community surface emissivity model. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 54, n. 3, p. 1716–1726, March 2016. ISSN 0196-2892. 2

CHOU, M.; SUAREZ, M. J. **A Solar Radiation Parameterization for Atmospheric Studies**. [s.n.], 1999. 51 p. (NASA technical memorandum). Disponível em: <<https://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/docs/Chou136.pdf>>. 26

CHOUDHURY, B. J.; SCHMUGGE, T. J.; CHANG, A.; NEWTON, R. W. Effect of surface roughness on the microwave emission from soils. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 84, n. C9, p. 5699–5706, 1979. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/JC084iC09p05699>>. 2

COMET-METEDU. **Microwave remote sensing: land and ocean surface applications, 2nd Ed.** 2015. Disponível em: <https://www.meted.ucar.edu/satmet/microwave_topics/land_ocean_v2/print.php>. 15

DANDO, M. L.; THORPE, A. J.; EYRE, J. R. The optimal density of atmospheric sounder observations in the met office nwp system. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 133, n. 629, p. 1933–1943, 2007. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.175>>. 32

DOBSON, M.; ULABY, F.; HALLIKAINEN, M.; EL-RAYES, M. Microwave dielectric behavior of wet soil-Part II: Dielectric mixing models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-23, n. 1, p. 35–46, 1985. ISSN 0196-2892. 38

DUMELOW, R. Overview of observing system experiments. In: **ECMWF Seminar on Recent developments in data assimilation for atmosphere**

and ocean, 8-12 September 2003. Shinfield Park, Reading: ECMWF, 2003. p. 97–124. 61

ENGLISH, S. J. The importance of accurate skin temperature in assimilating radiances from satellite sounding instruments. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, p. 403–408, 2008. 2, 18, 19, 99, 172

ESCORIHUELA, M. J.; KERR, Y. H.; ROSNAY, P. de; WIGNERON, J. P.; CALVET, J. C.; LEMAITRE, F. A simple model of the bare soil microwave emission at L-band. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 45, n. 7, p. 1978–1987, July 2007. ISSN 0196-2892. 2

FERRARO, R. R.; PETERS-LIDARD, C. D.; HERNANDEZ, C.; TURK, F. J.; AIRES, F.; PRIGENT, C.; LIN, X.; BOUKABARA, S. A.; FURUZAWA, F. A.; GOPALAN, K.; HARRISON, K. W.; KARBOU, F.; LI, L.; LIU, C.; MASUNAGA, H.; MOY, L.; RINGERUD, S.; SKOFRONICK-JACKSON, G. M.; TIAN, Y.; WANG, N. Y. An evaluation of microwave land surface emissivities over the continental united states to benefit GPM-era precipitation algorithms. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 378–398, Jan 2013. ISSN 0196-2892. 3, 70

FERRARO, R. R.; WENG, F.; GRODY, N.; ZHAO, L.; MENG, H.; KANGOLI, C.; PELLEGRINO, P.; QIU, S.; DEAN, C. NOAA operational hydrological products derived from the advanced microwave sounding unit. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, p. 1036–1049, 2005. 51, 52

FIGUEROA, S. N.; BONATTI, J. P.; KUBOTA, P. Y.; GRELL, G. A.; MORRISON, H.; BARROS, S. R. M.; FERNANDEZ, J. P. R.; RAMIREZ, E.; SIQUEIRA, L.; LUZIA, G.; SILVA, J.; SILVA, J. R.; PENDHARKAR, J.; CAPISTRANO, V. B.; ALVIM, D. S.; ENORÉ, D. P.; DINIZ, F. L. R.; SATYAMURTI, P.; CAVALCANTE, I. F. A.; NOBRE, P.; BARBOSA, H. M. J.; MENDES, C. L.; PANETTA, J. The Brazilian Global Atmospheric Model (BAM): Performance for tropical rainfall forecasting and sensitivity to convective scheme and horizontal resolution. **Wea. Forecasting**, v. 31, p. 1547–1572, 2016. 26

FOLEY, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; LEVIS, S.; POLLARD, D.; SITCH, S.; HAXELTINE, A. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 10, n. 4, p. 603–628, 1996. ISSN 1944-9224. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/96GB02692>>. 28

FUCHS, M.; TANNER, C. B. Surface temperature measurements of bare soils. **Journal of Applied Meteorology**, v. 7, n. 2, p. 303–305, 1968. 53

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. E. **Amazonian deforestation and climate**. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1996. 611 p. 54

GELARO, R.; LANGLAND, R. H.; PELLERIN, S.; TODLING, R. The thorpex observation impact intercomparison experiment. **Monthly Weather Review**, v. 138, n. 11, p. 4009–4025, 2010. 1, 10

GLEN, G.; ISAACS, K. Estimating sobol sensitivity indices using correlations. **Environmental Modelling Software**, v. 37, n. Supplement C, p. 157 – 166, 2012. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815212001065>>. 3

GONCALVES, L. G. G. D.; BURKE, E. J.; SHUTTLEWORTH, W. J.; CHAN C. S. AND MARENGO, J. A. Application of improved ecosystem aerodynamics in regional weather forecasts. **Ecological Applications**, Ecological Society of America, v. 14, n. sp4, p. 17–21, 2004. ISSN 1939-5582. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1890/01-6020>>. 27

GRELL, G. A.; DÉVÉNYI, D. A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 14, p. 38–1–38–4, 2002. ISSN 1944-8007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2002GL015311>>. 26

GRODY, N.; WENG, F.; FERRARO, R. Application of AMSU for obtaining water vapor, cloud liquid water, precipitation, snow cover, and sea ice concentration. In: INTERNATIONAL TOVS STUDY CONFERENCE, 10., 1999, Boulder, CO. **Proceedings...** ITSC, 1999. p. 230–240. Disponível em: <library.ssec.wisc.edu/research_Resources/publications/.../grody01_ITSC10_1999.pdf>. 32

GROUP, I. Q. **Microwave Surface and Precipitation Products System (MSPPS) - Users' Manual (UM)**. 500 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, Maryland 20706, may 2005. 53 p. 3, 51, 52

HAN, Y.; van Delst, P.; LIU, Q.; WENG, F.; YAN, B.; TREADON, R.; DERBER, J. **NOAA technical report NESDIS 122 - JCSDA Community Radiative Transfer Model (CRTM) - Version 1**. [s.n.], 2006. 40 p. Disponível em: <<https://www.nesdis.noaa.gov/content/technical-reports>>. 33, 34, 35, 54

HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; SOHLBERG, R. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 6-7, p. 1331–1364, 2000. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1080/014311600210209>>. 28, 29

HARRIS, B. A.; KELLY, G. A satellite radiance-bias correction scheme for data assimilation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd, v. 127, n. 574, p. 1453–1468, 2001. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/qj.49712757418>>. 32

HARSHVARDHAN; DAVIES, R.; RANDALL, D. A.; CORSETTI, T. G. A fast radiation parameterization for atmospheric circulation models. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 92, n. D1, p. 1009–1016, 1987. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/JD092iD01p01009>>. 26

HE, W.; LIU, Z.; H., C. Influence of surface temperature and emissivity on AMSU-A assimilation over land. **Acta Meteor. Sinica**, v. 25, p. 545–557, 2011. 3, 18, 22, 50

HERMAN, J.; USHER, W. SALib: An open-source python library for sensitivity analysis. **The Journal of Open Source Software**, The Open Journal, v. 2, n. 9, jan 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.21105/joss.00097>>. 43

HU, M.; SHAO, H.; STARK, D.; NEWMAN, K.; ZHOU, C. **Gridpoint Statistical Interpolation Advanced User's Guide Version 3.3.0.2**. [s.n.], 2014. 128 p. Disponível em: <<http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/docs/index.php>>. 29, 30, 31, 33, 39

_____. **Gridpoint Statistical Interpolation (GSI) User's Guide Version 3.3. Developmental Testbed Center**. [s.n.], 2014. 113 p. Disponível em: <<http://www.dtcenter.org/com-GSI/users/docs/index.php>>. 39

ITSC WORKING GROUP ON DATA ASSIMILATION AND NUMERICAL WEATHER PREDICTION. **NWP Systems and their use of satellite sounders**. 2015. Disponível em: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gc_wmb/acollard/NWP_Survey.html>. Acesso em: 05 maio 2017. 2, 18

- KALNAY, E. **Atmospheric modeling, data assimilation, and predictability**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2003. ISBN 9780521796293. 7, 8, 9
- KARBOU, F. Two microwave land emissivity parameterizations suitable for AMSU observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 8, p. 1788–1795, Aug 2005. ISSN 0196-2892. 13, 14, 65, 72, 99, 172
- KARBOU, F.; GÉRARD, E.; RABIER, F. Global 4DVAR assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part I: Impacts of various land surface emissivity parameterizations. **Weather and Forecasting**, v. 25, n. 1, p. 5–19, 2010a. 3, 18, 22
- KARBOU, F.; GÉRARD, ; RABIER, F. Microwave land emissivity and skin temperature for AMSU-A and -B assimilation over land. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd., v. 132, n. 620, p. 2333–2355, 2006. ISSN 1477-870X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1256/qj.05.216>>. 1, 3, 13, 18, 19
- KARBOU, F.; RABIER, F.; LAFORE, J.-P.; REDELSPERGER, J.-L.; BOCK, O. Global 4DVAR assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part II: Impacts of assimilating surface-sensitive channels on the african monsoon during AMMA. **Weather and Forecasting**, v. 25, n. 1, p. 20–36, 2010b. 3, 22
- KIM, J.-H.; KANG, J.-H.; LEE, S. A comparison of observed and simulated brightness temperatures from two radiative transfer models of rrtov and crtm. **Journal of the Korean earth science society**, v. 35, p. 19–28, 2014. 17
- KLEIST, D. T.; PARRISH, D. F.; DERBER, J. C.; TREADON, R.; WU, W.-S.; LORD, S. Introduction of the GSI into the NCEP global data assimilation system. **Weather and Forecasting**, v. 24, n. 6, p. 1691–1705, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/2009WAF2222201.1>>. 29
- KUBOTA, P. Y. **Variabilidade da energia armazenada na superfície e o seu impacto na definição do padrão de precipitação na América do Sul**. 2012. 309 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.02.02.42>>. Acesso em: 16 jun. 2017. 26
- LIOU, K. **An Introduction to Atmospheric Radiation**. [S.l.]: Academic Press, 2002. (International geophysics series). ISBN 9780124514515. 10, 11, 12, 13

LIU, D.; MISHRA, A. K. Performance of AMSR-E soil moisture data assimilation in CLM4.5 model for monitoring hydrologic fluxes at global scale. **Journal of Hydrology**, v. 547, p. 67 – 79, 2017. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169417300483>>. 59

LIU, J.; ZHAN, X.; HAIN, C.; YIN, J.; FANG, L.; LI, Z.; ZHAO, L. NOAA Soil Moisture Operational Product System (SMOPS) and its validations. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS), 2016, Beijing-China. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2016. p. 3477–3480. 56

LIU, Q.; DELST, P. van; CHEN, Y.; GROFF, D.; HAN, Y.; COLLARD, A.; WENG, F.; BOUKABARA, S. A.; DERBER, J. Community radiative transfer model for radiance assimilation and applications. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS), 2012, Munich, Germany. **Proceedings...** [S.l.]: IEEE, 2012. p. 3700–3703. ISSN 2153-6996. 10

MA, C.; LI, X.; WANG, J.; WANG, C.; DUAN, Q.; WANG, W. A comprehensive evaluation of microwave emissivity and brightness temperature sensitivities to soil parameters using qualitative and quantitative sensitivity analyses. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 55, n. 2, p. 1025–1038, Feb 2017. ISSN 0196-2892. 3, 10, 21, 22, 42, 53, 54, 72, 73, 74, 99, 172

MASKE, B. B. **Assimilação de dados de umidade do solo derivada de satélite no modelo SSiB acoplado ao MCGA/CPTEC**. 2016. 109 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/05.03.20.12>>. 28, 100, 173

MATTOS, J. G. Z. d. **A análise do acoplamento de processos de superfície continental e atmosfera e o impacto da assimilação de dados no modelo global do CPTEC-INPE**. 2016. 226 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2016. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/03.03.12.33>>. Acesso em: 08 jun. 2016. 27, 28, 58, 100, 173

MEDEIROS, M. d. D. d. S. **Impacto do uso de radiância na assimilação de dados usando 4D-LETKF na região da América do Sul**. 2010. 137 p.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19/2010/11.24.18.42>>. Acesso em: 09 jan. 2017. 17

MIGLIORINI, S. On the equivalence between radiance and retrieval assimilation. **Monthly Weather Review**, v. 140, n. 1, p. 258–265, 2012. 9

NASA EARTH OBSERVATION -NEO. **Snow cover**. 2017. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/view.php?d1=MOD10C1_M_SNOW>. Acesso em: 28 julho 2017. 48

NEELAM, M.; MOHANTY, B. P. Global sensitivity analysis of the radiative transfer model. **Water Resources Research**, v. 51, n. 4, p. 2428–2443, 2015. ISSN 1944-7973. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/2014WR016534>>. 10, 21

NEGRI, R. G. **Estimativa da estrutura dinâmica do topo dos sistemas convectivos usando multicanais e avaliação de modelos em escala de nuvens**. 2012. 154 p. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.04.17.16>>. Acesso em: 30 out. 2015. 10

NOSENT, J.; ELSEN, P.; BAUWENS, W. Sobol' sensitivity analysis of a complex environmental model. **Environ. Model. Softw.**, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 26, n. 12, p. 1515–1525, dez. 2011. ISSN 1364-8152. 20

PENNA, B. R. **O papel da temperatura de superfície terrestre no sistema global de assimilação variacional tridimensional do CPTEC/INPE**. 2014. 121 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/06.02.22.56>>. Acesso em: 16 set. 2016. 2, 18, 28, 59

PENNA, B. R.; SILVEIRA, B. B.; GONÇALVES, L. G. G. d.; SOUZA, S. S. d. Avaliação da temperatura de brilho nos canais sensíveis à superfície terrestre no sistema G3DVAR do CPTEC/INPE: Série NOAA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 340–350, Sept. 2015. Acesso em: 10 mar. 2015. 2, 26

PIANOSI, F.; BEVEN, K.; FREER, J.; HALL, J. W.; ROUGIER, J.; STEPHENSON, D. B.; WAGENER, T. Sensitivity analysis of environmental models: A systematic review with practical workflow. **Environmental Modelling & Software**, v. 79, p. 214 – 232, 2016. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815216300287>>. 42, 46, 54

PIANOSI, F.; SARRAZIN, F.; WAGENER, T. A Matlab toolbox for Global Sensitivity Analysis. **Environmental Modelling & Software**, v. 70, p. 80–85, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815215001188>>. 46

PIANOSI, F.; WAGENER, T. A simple and efficient method for global sensitivity analysis based on cumulative distribution functions. **Environmental Modelling & Software**, v. 67, p. 1 – 11, 2015. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815215000237>>. 41, 42, 44, 45, 46, 55

_____. Understanding the time-varying importance of different uncertainty sources in hydrological modelling using global sensitivity analysis. **Hydrological Processes**, v. 30, n. 22, p. 3991–4003, 2016. ISSN 1099-1085. HYP-15-0877.R1. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10968>>. 46

PRIGENT, C.; AIRES, F.; ROSSOW, W. B. Land surface microwave emissivities over the globe for a decade. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 87, n. 11, p. 1573–1584, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-87-11-1573>>. 59

PRIGENT, C.; CHEVALLIER, F.; KARBOU, F.; BAUER, P.; KELLY, G. AMSU-A land surface emissivity estimation for numerical weather prediction assimilation schemes. **Journal of Applied Meteorology**, v. 44, p. 415–426, 2005. 54

PRIGENT, C.; JAUMOUILLE, E.; CHEVALLIER, F.; AIRES, F. A parameterization of the microwave land surface emissivity between 19 and 100 GHz, anchored to satellite-derived estimates. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, n. 2, p. 344–352, Feb 2008. ISSN 0196-2892. 70

PRIGENT, C.; LIANG, P.; TIAN, Y.; AIRES, F.; MONCET, J.-L.; BOUKABARA, S. Evaluation of modeled microwave land surface emissivities with

satellite-based estimates. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 120, p. 2706–2718, 2015. 3, 19, 69

PRIGENT, C.; ROSSOW, W. B.; MATTHEWS, E. Microwave land surface emissivities estimated from SSM/I observations. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 102, n. D18, p. 21867–21890, 1997. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/97JD01360>>. 3, 13, 43

RINGERUD, S.; KUMMEROW, C.; PETERS-LIDARD, C.; TIAN, Y.; HARRISON, K. A comparison of microwave window channel retrieved and forward-modeled emissivities over the U.S. Southern Great Plains. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 52, n. 5, p. 2395–2412, May 2014. ISSN 0196-2892. 3, 21, 22, 70, 72, 74, 99, 172

ROBEL, J.; GRAUMANN, A. **NOAA KLM User's guide**. Asheville, NC, 2014. 2530 p. 14, 16

RODELL, M.; HOUSER, P.; JAMBOR, U.; GOTTSCHALCK, J.; MITCHELL, K.; MENG, K. A. C.; COSGROVE, B.; RADA KOVICH, J.; BOSILOVICH, M.; ENTIN, J.; WALKER, J.; LOHMANN, D.; TOLL, D. The global land data assimilation system. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 85, n. 3, p. 381–394, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-85-3-381>>. 60

RODGERS, C. D. **Inverse methods for atmospheric sounding: theory and practice**. [S.l.]: World Scientific Publishing, 2000. 9

ROSOLEM, R.; GUPTA, H. V.; SHUTTLEWORTH, W. J.; ZENG, X.; GONÇALVES, L. G. G. de. A fully multiple-criteria implementation of the sobol method for parameter sensitivity analysis. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D7, 2012. ISSN 2156-2202. D07103. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2011JD016355>>. 43

RUI, H. **README Document for Global Land Data Assimilation System Version 1 (GLDAS-1) Products**. [s.n.], 2017. 34 p. Disponível em: <hydro1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GLDAS_V1/README.GLDAS.pdf>. 60

SALTELLI, A.; RATTO, M.; ANDRES, T.; CAMPOLONGO, F.; CARIBONI, J.; GATELLI, D.; SAISANA, M.; TARANTOLA, S. **Global Sensitivity Analysis. The Primer**. John Wiley & Sons, Ltd, 2008. i–xi p. ISBN 9780470725184. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/9780470725184.fmatter>>. 3, 41

SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; CAMPOLONGO, F.; RATTO, M. **Sensitivity Analysis in practice**. John Wiley & Sons, Ltd, 2004. 31–61 p. ISBN

9780470870952. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1002/0470870958.ch2>>. 3

SAPUCCI, L. F.; AVANÇO, L. A.; DINIZ, F. L. R.; PAVANI, C. A. B.; SALVADOR, N. M. C.; NEGRI, R. G.; MATTOS, J. G. Z. d. **Sistema de Gestão e Controle de Qualidade de Dados (GCQD) para assimilação nos modelos do CPTEC (Versão 1.3.3)**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016. 153 p. Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2016/08.16.18.59>>. Acesso em: 17 jun. 2017. 31

SAPUCCI, L. F.; BASTARZ, C. F.; CERQUEIRA, F. S.; AVANÇO, L. A.; HERDIES, D. L. Impacto de perfis de rádio ocultação GNSS na qualidade das previsões de tempo do CPTEC/INPE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 551–567, 2014. ISSN 0102-7786. 47

SAPUCCI, L. F.; MATTOS, J. G. F. d.; SANTOS, A. F. d.; GONÇALVES, L. G. G. d.; BASTARZ, C. F.; SCHUBERT, D. V. Potencialidades do SCAMTEC (Sistema de Avaliação de Modelos Numérico de Previsão de Tempo e Clima) na avaliação de previsões de precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2011, Guarapará, ES. **Anais...** Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2011. Acesso em: 05 mai. 2015. 47

SARRAZIN, F.; PIANOSI, F.; WAGENER, T. Global sensitivity analysis of environmental models: Convergence and validation. **Environmental Modelling & Software**, v. 79, p. 135 – 152, 2016. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815216300251>>. 46

SAUNDERS, R.; MATRICARDI, M.; BRUNEL, P. An improved fast radiative transfer model for assimilation of satellite radiance observations. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, John Wiley & Sons, Ltd, v. 125, n. 556, p. 1407–1425, 1999. ISSN 1477-870X. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1002/qj.1999.49712555615>>. 10

SELLERS, P.; MEESON, B.; HALL, F.; ASRAR, G.; MURPHY, R.; SCHIFFER, R.; BRETHERTON, F.; DICKINSON, R.; ELLINGSON, R.; FIELD, C.; HUENNRICH, K.; JUSTICE, C.; MELACK, J.; ROULET, N.; SCHIMEL, D.; TRY, P. Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models —

algorithms — experiments. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 1, p. 3 – 26, 1995. ISSN 0034-4257. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442579400061Q>>.

2

SELLERS, P. J.; MINTZ, Y.; SUD, Y. C.; DALCHER, A. A Simple Biosphere model (SIB) for use within general circulation models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 6, p. 505–531, 1986. Disponível em:

<[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1986\)043<0505:ASBMFU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1986)043<0505:ASBMFU>2.0.CO;2)>.

27

SILVEIRA, B. B. **Análise comparativa de complexos convectivos de mesoescala através de simulações de modelo e observações de satélite.**

2011. 182 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18/2011/09.08.13.53>>. Acesso em: 10

mar. 2015. 34

SOBOL', I. On sensitivity estimation for nonlinear mathematical models. **Matem. Mod.**, v. 2, p. 112–118, 1990. 41

Soil Moisture Operational Products System - SMOPS. 2017. Disponível em:

<[http:](http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/smops/smops_loops.html?Imap=DA)

[//www.ospo.noaa.gov/Products/land/smops/smops_loops.html?Imap=DA](http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/smops/smops_loops.html?Imap=DA)>.

Acesso em: 05 maio 2017. 57, 101, 104

TIAN, Y.; PETERS-LIDARD, C. D.; HARRISON, K. W.; PRIGENT, C.; NOROUZI, H.; AIRES, F.; BOUKABARA, S. A.; FURUZAWA, F. A.; MASUNAGA, H. Quantifying uncertainties in land-surface microwave emissivity retrievals. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 829–840, Feb 2014. ISSN 0196-2892. 3, 20, 70

TIEDTKE, M. The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. In: WORKSHOP ON CONVECTION IN LARGE-SCALE NUMERICAL MODELS, 1983, Shinfield Park, Reading.

Proceedings... Shinfield Park, Reading: ECMWF, 1983. p. 297–316. 26

ULABY, F.; MOORE, R.; FUNG, A. Microwave remote sensing: active and passive. volume i: microwave remote sensing fundamentals and radiometry. In:

_____. **Microwave remote sensing: active and passive. Volume I:**

microwave remote sensing fundamentals and radiometry. [S.l.]: Addison-Wesley; Remote Sensing Series 2, 1981. ISBN 0201107597. 13

ULABY, F. T.; EL-RAYES, M. A. Microwave dielectric spectrum of vegetation - part II: Dual-dispersion model. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, GE-25, n. 5, p. 550–557, Sept 1987. ISSN 0196-2892. 38

van Delst, P. **CRTM: v2.1.3 user guide.** [s.n.], 2013. 232 p. Disponível em: <<ftp://ftp.emc.ncep.noaa.gov/jcsda/CRTM/REL-2.1.3/>>. 10, 14, 15, 38

WALL, J. V. Practical statistics for astronomers - ii. correlation, data-modelling and sample comparison. **Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society**, v. 37, p. 519–613, 1996. 46

WANG, J.; LI, X.; LU, L.; FANG, F. Parameter sensitivity analysis of crop growth models based on the extended fourier amplitude sensitivity test method. **Environmental Modelling & Software**, v. 48, p. 171 – 182, 2013. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213001436>>. 3

WENG, F. Microwave land emissivity modelo developed for satellite data assimilation and remote sensing applications. In: INTERNATIONAL TOVS STUDY CONFERENCE, 11., 2001, Budapest, Hungary. **Proceedings...** [S.l.]: ITSC, 2001. p. 423–435. 36, 37, 99

_____. **Assessments of ATMS and SSMIS Data for NWP Applications.** 2012. Disponível em: <<https://www.star.nesdis.noaa.gov/jcsda/documents/seminardocs/.../Weng20120620.pdf>>. 16

WENG, F.; GRODY, N. C. Physical retrieval of land surface temperature using the special sensor microwave imager. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 103, n. D8, p. 8839–8848, 1998. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/98JD00275>>. 3

WENG, F.; YAN, B.; N.C., G. A microwave land emissivity model. **J. Geophys. Res.**, v. 106, p. 20115–20123, 2001. xix, 2, 3, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 51, 54, 63, 72, 85, 99, 172, 173

XIE, Y.; SHI, J.; JI, D.; ZHONG, J.; FAN, S. A parameterized microwave emissivity model for bare soil surfaces. **Remote Sensing**, v. 9, n. 2, 2017. ISSN 2072-4292. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/9/2/155>>. 53, 72

XIE, Y.; SHI, J.; LEI, Y.; LI, Y. Modeling microwave emission from short vegetation-covered surfaces. **Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 14099–14118, 2015. ISSN 2072-4292. Disponível em:

<<http://www.mdpi.com/2072-4292/7/10/14099>>. 2, 3, 36, 72, 99, 173

XUE, Y.; SELLERS, P. J.; KINTER, J. L.; SHUKLA, J. A simplified biosphere model for global climate studies. **J. Climate**, v. 4, p. 345–364, 1991. 26, 27

YAN, B.; WENG, F. Effects of microwave desert surface emissivity on AMSU-A data assimilation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 49, p. 1263–1276, 2011. 2, 16, 18, 23, 68, 165, 168

YANG, H.; WENG, F. Error sources in remote sensing of microwave land surface emissivity. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 49, n. 9, p. 3437–3442, Sept 2011. ISSN 0196-2892. 19

YU, C.; LOUREIRO, C.; CHENG, J.-J.; JONES, Y. Y.; CHIA, Y. P.; FAILACE, E. **Data collection handbook to support modeling the impacts of radioactive material in soil**. 1993. Environmental Assessment and Information Sciences Division, Argonne National Laboratory, Argonne, IL. Disponível em: <https://web.evs.anl.gov/resrad/documents/data_collection_1993.pdf>. 53, 54

ZADEH, F. K.; NOSSENT, J.; SARRAZIN, F.; PIANOSI, F.; GRIENSVEN, A. van; WAGENER, T.; BAUWENS, W. Comparison of variance-based and moment-independent global sensitivity analysis approaches by application to the SWAT model. **Environmental Modelling & Software**, v. 91, p. 210 – 222, 2017. ISSN 1364-8152. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815217301159>>. 43, 44, 46

ZHAN, X.; LIU, J.; ZHAO, L. **Soil Moisture Operational Product System (SMOPS) algorithm theoretical basis document Version 4.0**. [s.n.], 2016. 51 p. Disponível em: <<http://www.ospo.noaa.gov/Products/land/smops/algo.html>>. 56

ZHANG, X.; GRASSOTTI, C.; GARRETT, K.; ISLAM, T. **Microwave Integrated Retrieval System (MIRS):System description document version 1.11**. [s.n.], 2014. 83 p. Disponível em: <<https://www.star.nesdis.noaa.gov/mirs/documentation.php>>. 57

ZHENG, W.; WEI, H.; WANG, Z.; ZENG, X.; MENG, J.; EK, M.; MITCHELL, K.; DERBER, J. Improvement of daytime land surface skin temperature over arid regions in the NCEP GFS model and its impact on satellite data assimilation.

Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 117, n. D6, p. n/a–n/a, 2012. ISSN 2156-2202. D06117. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1029/2011JD015901>>. 18, 105, 126

APÊNDICE A - Canais utilizados na assimilação.

A Tabela A.1 apresenta o conjunto de canais que foram assimilados dos sensores no espectro do infravermelho (HIRS-4, AIRS e IASI) e no micro-ondas (MHS, ATMS e AMSU-A).

Tabela A.1 - Conjunto de canais, dos sensores na frequência do infravermelho (sensor HIRS-4, AIRS e o IASI) e micro-ondas (MHS, AMSU-A e ATMS), que foram utilizados no processo de assimilação no sistema GSI-BAM. Os canais apresentados na tabela foram utilizados nos quatro experimentos realizados.

Sensor	Canais
HIRS-4	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 e 15
AIRS	7, 15, 20, 21, 22, 27, 28, 40, 52, 69, 72, 92, 93, 98, 99, 104, 105, 110, 111, 116, 117, 123, 128, 129, 138, 139, 144, 145, 150, 151, 156, 157, 162, 168, 169, 172, 173, 174, 175, 179, 180, 185, 186, 190, 192, 198, 201, 204, 207, 210, 215, 216, 221, 226, 227, 232, 252, 253, 256, 257, 261, 262, 267, 272, 295, 299, 305, 310, 325, 333, 338, 355, 362, 375, 475, 484, 497, 528, 587, 672, 787, 791, 870, 914, 950, 1301, 1304, 1329, 1371, 1382, 1415, 1424, 1449, 1455, 1477, 1500, 1519, 1565, 1574, 1627, 1669, 1694, 1766, 1800, 1826, 1865, 1866, 1868, 1869, 1872, 1873, 1876, 1881, 1882, 1911, 1917, 1918, 1924, 1928
IASI	16, 38, 49, 51, 55, 57, 59, 61, 63, 66, 70, 72, 74, 79, 81, 83, 85, 87, 104, 106, 109, 111, 113, 116, 119, 122, 125, 128, 131, 133, 135, 138, 141, 144, 146, 148, 151, 154, 157, 159, 161, 163, 167, 170, 173, 176, 180, 185, 187, 193, 199, 205, 207, 210, 212, 214, 217, 219, 222, 224, 226, 230, 232, 236, 239, 243, 246, 249, 252, 254, 260, 262, 265, 267, 269, 275, 282, 294, 296, 299, 303, 306, 323, 327, 329, 335, 345, 347, 350, 354, 356, 360, 366, 371, 373, 375, 377, 379, 381, 383, 386, 389, 398, 401, 404, 407, 410, 414, 416, 426, 428, 432, 434, 439, 445, 457, 515, 546, 552, 559, 566, 571, 573, 646, 662, 668, 756, 867, 906, 921, 1027, 1046, 1121, 1133, 1191, 1194, 1271, 1479, 1509, 1513, 1521, 1536, 1574, 1579, 1585, 1587, 1626, 1639, 1643, 1652, 1658, 1671, 1786, 1805, 1884, 1991, 2019, 2094, 2119, 2213, 2239, 2271, 2321, 2398, 2701
MHS	1, 2, 3, 4, 5
ATMS	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21 e 22
AMSU-A	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 15

APÊNDICE B - Número de observações assimiladas dos canais sem sensibilidade à superfície.

A Tabela B.1 apresenta o número médio de observações assimiladas dos canais de 6 a 15 do sensor AMSU-A e de 7 a 22 do sensor ATMS. Esses canais não possuem o pico da função peso na superfície ou próximo, exceto o canal 15 do sensor AMSU-A e 16 do ATMS. Na tabela nota-se que na média não há diferença representativa entre os experimentos para os diferentes canais. Essa característica é notada em regiões de superfície continental, assim como em áreas com oceano/gelo/neve (valores entre parênteses).

Tabela B.1 - Número médio de observações assimiladas em um ciclo de análise de agosto/2014 para os canais de 6-15 do sensor AMSU-A (à bordo de todos os satélites) e para os canais 7-22 do ATMS. Os números fora do parênteses são referentes as observações que estão sobre 100% continente (exceto gelo e neve), e os dentro dos parênteses são os outros tipos de superfície (água, neve e gelo). O canal 14 dos sensor AMSU-A e o 15 do ATMS não são utilizados na assimilação.

AMSU-A		EXPERIMENTOS			
Canais	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04	
6	7715 (27596)	7724 (27598)	7727 (27604)	7724 (27592)	
7	4743 (16687)	4743 (16688)	4744 (16686)	4743 (16686)	
8	6259 (22047)	6260 (22050)	6261 (22048)	6260 (22045)	
9	6367 (22360)	6368 (22363)	6369 (22366)	6367 (22359)	
10	7954 (28266)	7954 (28266)	7954 (28267)	7954 (28268)	
11	6652 (23261)	6652 (23259)	6653 (23262)	6652 (23263)	
12	7955 (28201)	7955 (28199)	7957 (28203)	7955 (28206)	
13	7948 (28142)	7947 (28134)	7948 (28149)	7948 (28151)	
15	3274 (19844)	3238 (19843)	3241 (19869)	3208 (19853)	
ATMS		EXPERIMENTOS			
Canais	EXP01	EXP02	EXP03	EXP04	
7	1683 (4369)	1685 (4368)	1682 (4372)	1680 (4369)	
8	1723 (5573)	1723 (5573)	1723 (5572)	1723 (5573)	
9	1724 (5546)	1723 (5546)	1724 (5546)	1724 (5546)	
10	1723 (5571)	1722 (5571)	1723 (5572)	1723 (5572)	
11	1723 (5569)	1723 (5569)	1723 (5570)	1723 (5570)	
12	1721 (5556)	1722 (5556)	1722 (5557)	1722 (5559)	
13	1709 (5476)	1709 (5473)	1710 (5482)	1710 (5483)	
14	1721 (5545)	1722 (5544)	1722 (5546)	1722 (5545)	
16	617 (3528)	624 (3529)	612 (3529)	616 (3527)	
17	567 (3138)	574 (3140)	514 (3145)	518 (3136)	
18	627 (3578)	638 (3583)	559 (3588)	565 (3577)	
19	635 (3561)	647 (3566)	566 (3571)	572 (3559)	
20	633 (3496)	647 (3502)	565 (3510)	572 (3493)	
21	627 (3399)	642 (3405)	560 (3413)	565 (3394)	
22	604 (3250)	619 (3259)	540 (3270)	546 (3246)	

APÊNDICE C - Avaliação das marcas de controle de qualidade.

Esse apêndice contém a descrição das marcas de controle de qualidade dos diferentes experimentos em relação ao experimento controle nas categorias em que a observação foi aceita para assimilar no experimento controle e no experimento avaliado (representada como Aceito = Aceito) e as observações que foram rejeitadas nos dois experimentos (Rejeitado = Rejeitado). As observações que eram assimiladas no experimento EXP01 e passaram a não ser no experimento avaliado (Aceito->Rejeitado) também foram contabilizadas, assim como as observações que não eram assimiladas no experimento controle e passaram a ser (Rejeitado->Aceito). O comportamento dos três canais estudados é avaliado.

A Tabela C.1 não contém as informações da porcentagem de observações que mudam de marca de controle de qualidade dentro de categorias que rejeitam a observação, contudo pode ser representada por 100% menos a soma de todas as colunas dessa tabela, em um mesmo tipo de cobertura e mesmo experimento (mesma linha da Tabela). Nessa tabela os valores em azul nas colunas referentes a Rejeitado->Aceito mostram quando ocorre uma mudança positiva, isto é, o experimento passa a aceitar mais dados do que o experimento controle, e os valores em vermelho nas colunas referentes a Aceito->Rejeitado o experimento troca mais a marca de QC de aceito para alguma marca que rejeita do que o contrário, isso implica em um menor número de dados assimilados.

A Tabela C.1 apresenta o total de observações no mês de agosto/2014 nas 4 diferentes categorias descritas anteriormente para o canal 23,8GHz. Essa Tabela representa de forma expandida o que ocorre na Figura 4.29a. As colunas identificadas na tabela como Aceito=Aceito e as identificadas como Rejeitado=Rejeitado mostram a quantidade de observações (em porcentagem) que mantiveram a mesmo QC com relação ao experimento controle. Percebe-se que o experimento que menos modificou essa marca tanto no caso de utilizar o dado como rejeitar, foi o EXP02. O EXP02 sobre a cobertura da superfície identificada como globo manteve 82,86% das marcas de controle, seguida do EXP03 (62,11%) e do EXP04 (58,04%) para o canal 1. No EXP02 a cobertura sobre a qual as marcas de QC modificaram menos foi a floresta boreal (94,98%), no EXP03 foi sobre regiões com cobertura do tipo floresta tropical (70,85%) e sobre savana (70,66%), e o EXP04 sobre regiões caracterizadas como floresta tropical representando 70,69% das observações disponíveis.

No EXP02 a porcentagem de observações que modificaram a marca de QC de rejeitado para aceito, na Tabela C.1, foi maior que a de aceito para rejeitado em todos os

tipos de cobertura (valores em azul na Tabela), o EXP04 no canal 23,8GHz apresenta um maior número de dados aceitos, quando comparado com o EXP01, na maioria dos tipos de cobertura, exceto sobre as regiões caracterizadas como floresta boreal e mista, e sobre regiões de campos, valor vermelho na coluna Aceito->Rejeitado. Ao passo que o EXP03 está relacionado a um aumento no uso dos dados somente sobre os tipos de cobertura de floresta tropical, floresta temperada, savana e sobre cultivos.

Tabela C.1 - Porcentagem (%) do total de observações sobre cada tipo de cobertura do canal 23,8 GHz no mês de agosto/2014 relacionado com a marca do controle de qualidade do experimento controle. As colunas identificadas como Manteve é a porcentagem do total que manteve o mesma marca de controle entre o experimento e o controle. A coluna identificada como Rejeitado-Aceito é a porcentagem das observações que tiveram a marca de controle modificada para serem aceitas. Já a coluna definida Aceito-Rejeitado representa a porcentagem das observações que modificaram a marca de uso para não uso dessa observação no sistema de assimilação.

Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 23,8 GHz											
	Manteve a marca de controle de qualidade						Modificou a marca de controle de qualidade					
	Aceito = Aceito			Rejeitado = Rejeitado			Aceito -> Rejeitado			Rejeitado -> Aceito		
	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04
Global	20.10	14.84	13.99	62.76	47.26	44.05	3.68	8.93	9.79	7.99	8.14	13.01
1-Floresta Tropical	33.13	29.05	29.14	54.84	41.80	41.55	4.27	8.35	8.26	4.82	13.01	13.55
2-Floresta Temperada	23.31	15.98	15.53	67.85	53.16	51.26	2.37	9.69	10.14	4.29	11.17	12.76
3-Floresta Mista	29.89	18.64	18.63	63.39	44.30	43.26	1.55	12.79	12.81	3.32	10.41	11.75
4-Floresta Boreal	24.77	15.56	15.63	70.21	52.09	51.29	0.97	10.18	10.11	2.44	7.34	8.25
5-Floresta Conífera	38.10	23.23	22.28	44.78	35.68	28.16	2.02	16.89	17.84	13.16	11.57	20.02
6-Savanas	27.66	26.91	23.62	47.02	43.75	38.14	8.79	9.54	12.84	11.74	10.37	17.06
7-Campos	16.08	7.48	7.47	69.89	51.21	48.82	3.12	11.72	11.73	7.33	6.56	10.48
8-Caatinga	8.10	5.84	4.08	56.56	53.34	45.54	6.73	8.99	10.75	16.37	5.42	18.83
9-Semi-Deserto	2.56	1.19	1.01	78.03	49.87	48.94	1.36	2.74	2.92	6.63	1.31	7.01
10-Tundra	10.44	5.54	4.54	69.58	57.82	48.35	1.93	6.83	7.83	12.47	6.82	17.01
11-solo nu	2.52	1.22	1.04	76.52	47.82	47.10	2.40	3.69	3.87	7.27	1.89	5.93
12-Cultivos	25.74	20.19	18.88	58.55	43.01	40.05	5.15	10.71	12.01	7.18	12.82	16.31

*Número total de dados disponível para serem assimilados em agosto/2014 foi de 737912.

No canal 31,4 GHz, assim como no canal 23,8 GHz, o experimento que menos modificou as marcas de controle de qualidade, de forma global, foi o EXP02, que manteve o QC no globo em 83,38% das observações, seguido do EXP03 (62,56%) e do EXP04 (58,71%). As coberturas da superfície sobre as quais se mantiveram o QC das observações são as mesmas do canal 23,8 GHz para os três experimentos, como apresentado na Tabela C.2. O comportamento do canal 31,4 GHz é semelhante ao canal 23,8 GHz quando analisa-se em quais coberturas as mudanças nas características da superfície trouxeram influência positiva e negativa nos diferentes experimentos, exceto para o EXP04 que passa a rejeitar mais dados sobre floresta conífera. Isto fica evidente analisando os valores em azul nas colunas Rejeito->Aceito e os valores em vermelho nas colunas Aceito->Rejeito.

Tabela C.2 - Mesmo que a Tabela C.1 para o canal 31,4 GHz.

Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 31,4 GHz											
	Manteve a marca de controle de qualidade						Modificou a marca de controle de qualidade					
	Aceito = Aceito			Rejeitado = Rejeitado			Aceito -> Rejeitado			Rejeitado -> Aceito		
	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04
Global	21.38	15.74	14.63	62.10	46.82	44.08	3.97	9.62	10.73	6.91	7.94	12.13
1-Floresta Tropical	34.14	29.77	29.86	54.52	41.76	41.72	4.17	8.54	8.45	4.42	12.77	13.05
2-Floresta Temperada	24.38	16.41	15.93	67.75	53.64	52.19	2.13	10.11	10.58	3.53	11.18	12.43
3-Floresta Mista	37.73	23.94	23.81	56.74	40.22	39.83	1.72	15.52	15.65	2.33	10.35	10.94
4-Floresta Boreal	33.97	21.53	21.44	62.00	47.12	46.78	1.18	13.63	13.71	1.67	7.77	8.17
5-Floresta Conífera	50.14	32.28	30.51	38.14	28.26	24.34	2.48	20.34	22.12	8.15	12.26	16.80
6-Savanas	22.38	22.76	18.95	51.17	47.88	41.74	9.02	8.64	12.45	11.37	9.33	16.32
7-Campos	15.73	7.39	7.24	70.69	51.50	49.49	3.38	11.72	11.86	6.49	6.48	9.77
8-Caatinga	6.89	5.76	3.62	58.31	53.53	46.90	8.02	9.15	11.30	14.02	5.07	17.04
9-Semi-Deserto	2.84	1.35	1.02	78.03	49.76	49.25	1.93	3.42	3.74	6.01	1.49	6.41
10-Tundra	10.97	6.29	4.95	69.25	57.24	48.16	2.59	7.27	8.61	11.74	7.40	17.05
11-solo nu	2.40	1.16	0.91	77.46	47.92	47.52	2.48	3.72	3.97	5.93	1.86	5.16
12-Cultivos	22.30	17.82	16.22	61.47	45.62	42.46	5.24	9.73	11.32	6.93	11.53	15.03

*Número total de dados disponível para serem assimilados em agosto/2014 foi de 737912.

O canal 50,3 GHz tem o comportamento diferente dos outros dois canais com relação ao número de observações assimiladas. Essa característica fica evidente quando avalia-se a quantidade de dados marcados como Aceito para o EXP02, que é quase o dobro no globo para o canal 50,3 GHz quando compara-se com os outros dois canais, o mesmo se observa para os outros dois experimentos (Tabela C.3). Para o canal 3, no globo, 87,13% das observações disponíveis para a assimilação mantiveram a mesma marca de controle de qualidade entre o EXP01 e o EXP02. De forma global, no EXP03 a porcentagem de observações que mantiveram a mesma marca de controle foi de 63,08% e no EXP04 de 61,95%. A cobertura da superfície onde mais observações mantiveram a marca no EXP02 foi na floresta boreal (96,86%), no EXP03 e EXP04 foi sobre a floresta tropical, representando 74,82% e 74,93% das observações disponíveis sobre essa região, respectivamente.

A troca da marca de QC do canal 50,3 GHz mostra que no globo somente o experimento EXP02 ainda mantém um ganho quando comparado com o EXP01, valor azul na coluna Rejeitado->Aceito na Tabela C.3. Contudo, o experimento EXP02 apresenta diminuição no uso das observações sobre as coberturas de 1 a 4 e sobre a caatinga (8), isto é, tem valor vermelho na coluna dos dados Aceito->Rejeitado (Tabela C.3).

Tabela C.3 - Mesmo que a Tabela C.1 para o canal 50,3 GHz.

Tipos de cobertura	Uso das Observações Canal 50,3 GHz											
	Manteve a marca de controle de qualidade						Modificou a marca de controle de qualidade					
	Aceito = Aceito			Rejeitado = Rejeitado			Aceito -> Rejeitado			Rejeitado -> Aceito		
	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04	EXP02	EXP03	EXP04
Global	38.70	28.57	28.17	48.43	34.51	33.79	4.38	14.51	14.92	5.97	12.64	14.59
1-Floresta Tropical	47.11	42.67	42.62	43.00	32.15	32.31	4.39	8.82	8.87	4.27	14.33	14.14
2-Floresta Temperada	41.06	31.62	31.05	53.27	40.31	40.05	2.51	11.95	12.53	2.47	14.64	14.88
3-Floresta Mista	55.31	38.56	38.27	40.63	29.19	29.28	1.86	18.61	18.90	1.70	11.48	11.45
4-Floresta Boreal	52.52	37.26	37.05	44.34	33.22	33.22	1.45	16.71	16.92	1.30	10.61	10.65
5-Floresta conífera	67.58	47.59	45.03	26.96	17.05	16.78	2.55	22.54	25.10	2.72	12.30	12.57
6-Savanas	44.27	39.79	38.04	38.63	31.66	30.58	7.25	11.73	13.48	7.70	13.14	14.78
7-Campos	39.09	22.27	23.00	51.34	35.58	35.01	3.21	20.03	19.30	4.87	12.40	13.46
8-Caatinga	27.91	20.56	20.08	45.76	37.21	36.84	11.38	18.74	19.21	10.78	12.67	15.62
9-Semi-Deserto	16.48	7.72	8.36	63.44	40.07	40.44	5.51	14.28	13.63	8.84	10.15	14.68
10-Tundra	25.88	17.48	15.81	58.83	44.79	39.00	1.86	10.27	11.93	11.21	17.34	24.31
11-solo nu	10.79	3.55	4.10	69.35	44.02	43.79	4.30	11.54	10.99	8.04	7.27	10.81
12-Cultivos	43.66	33.25	33.38	45.43	31.09	29.55	3.72	14.12	13.99	5.71	16.86	18.71

*Número total de dados disponível para serem assimilados em agosto/2014 foi de 737912.

ANEXO A

Comprovante de submissão do artigo.

[Home](#)[Author](#)[Review](#)

Submission Confirmation

[Print](#)

Thank you for your submission

Submitted to

Transactions on Geoscience and Remote Sensing

Manuscript ID

TGRS-2017-00993

Title

Evaluation of a microwave land emissivity model sensitivity to soil and vegetation parameters

Authors

SILVEIRA, BRUNA

De Goncalves, Luis Gustavo

Rosolem, Rafael

Date Submitted

18-Aug-2017

[Author Dashboard](#)

© Thomson Reuters | © ScholarOne, Inc., 2017. All Rights Reserved.

ScholarOne Manuscripts and ScholarOne are registered trademarks of ScholarOne, Inc.

ScholarOne Manuscripts Patents #7,257,767 and #7,263,655.

[@ScholarOneNews](#) | [System Requirements](#) | [Privacy Statement](#) | [Terms of Use](#)

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programas de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Contam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.