



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

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.10.17.01-TDI

**USO DE DADOS DOS SATÉLITES ALOS/PALSAR-2 E
SENTINEL-1A PARA DETECÇÃO DE PERDAS DE
VOLUME FLORESTAL POR PROCESSO DE CORTE
SELETIVO EM UMA PORÇÃO DA FLORESTA
NACIONAL DO TAPAJÓS**

Natalia Cristina Wiederkehr

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Fábio Furlan Gama, e Polyanna da Conceição Bispo, aprovada em 19 de agosto de 2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47PQBTS>>

INPE
São José dos Campos
2022

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Coordenação de Ensino, Pesquisa e Extensão (COEPE)
Divisão de Biblioteca (DIBIB)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Coordenação-Geral de Ciências da Terra (CGCT)

Membros:

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação (CPG)
Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia, Tecnologia e Ciência Espaciais (CGCE)
Dr. Rafael Duarte Coelho dos Santos - Coordenação-Geral de Infraestrutura e Pesquisas Aplicadas (CGIP)
Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon
Clayton Martins Pereira - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Divisão de Biblioteca (DIBIB)
André Luis Dias Fernandes - Divisão de Biblioteca (DIBIB)



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

sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.10.17.01-TDI

**USO DE DADOS DOS SATÉLITES ALOS/PALSAR-2 E
SENTINEL-1A PARA DETECÇÃO DE PERDAS DE
VOLUME FLORESTAL POR PROCESSO DE CORTE
SELETIVO EM UMA PORÇÃO DA FLORESTA
NACIONAL DO TAPAJÓS**

Natalia Cristina Wiederkehr

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Fábio Furlan Gama, e Polyanna da Conceição Bispo, aprovada em 19 de agosto de 2022.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34T/47PQBTS>>

INPE
São José dos Campos
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Wiederkehr, Natalia Cristina.

W635u Uso de dados dos satélites ALOS/PALSAR-2 e SENTINEL-1A para detecção de perdas de volume florestal por processo de corte seletivo em uma porção da floresta nacional do Tapajós / Natalia Cristina Wiederkehr. – São José dos Campos : INPE, 2022.
xli + 355 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21d/2022/10.10.17.01-TDI)

Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2022.

Orientadores : Drs. Fábio Furlan Gama, e Polyanna da Conceição Bispo.

1. Degradação florestal. 2. Amazônia. 3. Dados SAR.
4. ALOS/PALSAR-2. 5. Sentinel-1A. I.Título.

CDU 504.122:528.8(811)



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/).



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
Secretaria de Pós-Graduação - SEPGR

DEFESA FINAL DE TESE DE NATALIA CRISTINA WIEDERKEHR
REG 136670/2018, BANCA Nº 217/2022

No dia 19 de agosto de 2022, às 08:30h, por teleconferência, o(a) aluno(a) mencionado(a) acima defendeu seu trabalho final (apresentação oral seguida de arguição) perante uma Banca Examinadora, cujos membros estão listados abaixo. O(A) aluno(a) foi APROVADO(A) pela Banca Examinadora, por unanimidade, em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Doutora em Sensoriamento Remoto. O trabalho precisa da incorporação das correções sugeridas pela Banca Examinadora e revisão final pelo(s) orientador(es).

Novo Título: "Uso de dados dos satélites ALOS/PALSAR-2 e SENTINEL-1A para detecção de perdas de volume florestal por processo de corte seletivo em uma porção da Floresta Nacional do Tapajós"

Membros da banca:

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro – Presidente e Membro – INPE

Dr. Fábio Furlan Gama – Orientador – INPE

Dra. Polyanna da Conceição Bispo – Orientadora – Universidade de Manchester

Dr. José Cláudio Mura – Membro Interno – INPE

Dr. Edson Eyji Sano – Membro Externo – EMBRAPA

Dra. Luciana Spinelli Araujo – Membro Externo – EMBRAPA



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Furlan Gama, Tecnologista**, em 25/08/2022, às 16:47 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Yosio Edemir Shimabukuro, Pesquisador**, em 25/08/2022, às 16:49 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Cláudio Mura, Tecnologista**, em 25/08/2022, às 18:07 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Polyanna da Conceição Bispo (E), Usuário Externo**, em 26/08/2022, às 06:28 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **EDSON EYJI SANO (E), Usuário Externo**, em 26/08/2022, às 15:22 (horário oficial de Brasília), com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Oração da árvore

“Tu que passas e ergues para mim o teu braço,

Antes que me faças mal, olha-me bem.

Eu sou o calor do teu lar nas noites frias de inverno;

Eu sou a sombra amiga que tu encontras

Quando caminhas sob o sol de agosto;

E os meus frutos são a frescura apetitosa

Que te sacia a sede nos caminhos.

Eu sou a trave amiga da tua casa,

A tábua da tua mesa, a cama em que tu descansas

E o lenho do teu barco.

Eu sou o cabo da tua enxada, a porta da tua morada,

A madeira o teu berço e o aconchego do teu caixão.

Eu sou o pão da bondade e a flor da beleza.

Tu que passas, olha-me e não me faças mal”.

Alberto Veiga Simões, Albano Mira Saraiva

*Aos meus pais, Ana Bernadete e Valdemar
Às minhas tias, Maria e Sofia (in memoriam)
Ao meu companheiro, Paulo Bernardo*

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Dr. Fabio Furlan Gama e Dra. Polyanna da Conceição Bispo, por toda dedicação, compreensão e paciência. Agradeço imensamente por todos os conhecimentos compartilhados, pela confiança e incentivo. A minha caminhada ao longo desses seis anos no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na presença de vocês, com certeza foi muito mais enriquecedora, profissionalmente e pessoalmente.

Aos Drs. Yosio Shimabukuro, José Cláudio Mura, João Roberto dos Santos e Camilo Rennó, por todos os conhecimentos compartilhados, pelos esclarecimentos de minhas dúvidas, pela paciência e por terem me ajudado no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao INPE, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, pela oportunidade de estudo e de infraestrutura. Ao coordenador do curso, Dr. Thales Körting, e aos pesquisadores e servidores, por todo auxílio durante a realização do curso. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de pesquisa de pós-graduação.

Aos Drs. Edson Sano e Veraldo Lieseberg, pela concessão das imagens SAR, possibilitando a realização desta pesquisa. À Dra. Luciana Spinelli, por ter aceitado o convite para compor a banca examinadora.

À equipe técnica da Cooperativa Mista da Flona do Tapajós, em especial à Marcelene Farias, ao Aluísio de Sousa e ao Carlos Ferreira. Estendo também meu agradecimento ao Lucian Gomes, pelo compartilhamento dos dados de campo, pela paciência, pela disposição em me ajudar e pelos esclarecimentos de minhas dúvidas.

Agradeço à minha querida família, especialmente aos meus pais Ana Bernadete e Valdemar, minha tia Maria, minhas irmãs Larissa, Ana Paula e Aline, e aos meus sogros Karla e Luiz. O apoio de vocês, a amorosidade principalmente nos momentos de muita ansiedade e aflição e todo o carinho foram muito importantes

durante essa caminhada. Ao meu querido companheiro Bernardo, por toda compreensão, paciência, ajuda, incentivo e amor para comigo nessa etapa tão importante de minha vida. Nessa caminhada, os dias se tornaram mais leves e mais felizes com você ao meu lado.

Ao meu orientador no projeto de pesquisa da Censipam/Embrapa, Paulo Martinho, pelo apoio, compreensão, confiança e amizade. Aos meus colegas de projeto, pelo incentivo e apoio.

Agradeço também aos meus amigos e colegas pelas inúmeras contribuições, sugestões e apoio, em especial, ao Marcos Virtuoso, Priscila Negrão, Paula dos Santos, Lucas Oldoni, Juan Doblaz, Victor Prudente, Eveline Piazza, Juliana Diniz, Andeise Dutra, Marceli Terra, Ercília Colombo, Sandra e demais colegas de curso.

RESUMO

O desmatamento e a degradação florestal induzida pelas ações antrópicas, sobretudo pela extração seletiva de madeira em regime não sustentável, pelos incêndios florestais e pelo efeito de bordas, contribuem significativamente para as emissões de dióxido de carbono (CO₂), degradações e perdas de florestas na Amazônia Brasileira. Identificar os impactos causados ao ambiente florestal torna-se extremamente importante, pois possibilita compreender as relações de causa e efeito da perda de florestas, sobretudo, os ocasionados pela degradação florestal, uma vez que ainda não existe um consenso sobre qual o limiar de perda da biomassa e a persistência nessa perda que constitui a degradação. Neste sentido, o sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta muito importante, pois é uma maneira eficaz e economicamente viável de monitorar as mudanças na cobertura florestal, principalmente de grandes regiões florestais como a Amazônia. O presente estudo teve como objetivo avaliar individualmente a capacidade das imagens polarimétricas dos satélites ALOS/PALSAR-2 (ALOS2) e Sentinel-1A (S1A) para detectar perdas de volume florestal por processo de extração seletiva de madeira em regime sustentável. Quatro áreas com alta intensidade de exploração madeireira, entre 27 m³ ha⁻¹ e 29 m³ ha⁻¹, denominadas de Unidades de Produção Anual (UPA), inseridas na Floresta Nacional do Tapajós, foram selecionadas. Para cada UPA, a exploração ocorreu em um ano específico: UPA 2015, UPA 2016, UPA 2017 e UPA 2018. Os atributos extraídos a partir dos coeficientes de retroespalhamento (álgebras, razões de bandas, índices SAR de vegetação, medidas de texturas) e de informação de fase (decomposição polarimétrica entropia-ângulo alfa) das imagens ALOS2 e S1A, foram utilizados para detectar as perdas de volume florestal. A detecção foi realizada a partir das diferenças entre os valores dos pixels das áreas exploradas e não exploradas. O teste não-paramétrico de Wilcoxon, com um grau de confiança de 95%, foi empregado para avaliar se as diferenças encontradas eram significativas ou não. Os resultados obtidos pelos dados ALOS2 demonstraram um desempenho superior aos do S1A. Dentre os atributos associados ao ALOS2, destaca-se o *Radar Normalized Difference Vegetation Index* (RNDVI) que exibiu sensibilidade em detectar perdas de volume florestal devido à degradação por processo de corte seletivo em todas as áreas investigadas. A polarização HV, a razão de polarização cruzada, a medida de textura denominada Contraste na polarização HV e os atributos polarimétricos entropia e ângulo alfa também apresentaram potencial quando associados às UPAs de 2015 e 2016. Os atributos associados ao S1A apresentaram uma discreta diferença entre os valores de retroespalhamento, mesmo considerando a alta intensidade de corte seletivo nas UPAs. Os melhores resultados foram obtidos pelos atributos σ° VH associado à UPA 2015, *Radar Ratio Vegetation Index* (RRVI) na UPA 2016, medidas de texturas denominadas de Energia e Máxima Probabilidade na polarização VH associados à UPA 2017, ângulo alfa, Contraste na polarização VH, além do RRVI para a UPA 2018.

Palavras-chave: Degradação Florestal. Amazônia. Dados SAR. ALOS/PALSAR-2. Sentinel-1A.

USE OF ALOS/PALSAR-2 AND SENTINEL-1A SATELLITE DATA FOR THE DETECTION OF FOREST VOLUME LOSSES BY SELECTIVE LOGGING PROCESS IN A PORTION OF THE TAPAJÓS NATIONAL FOREST

ABSTRACT

Human-induced deforestation and forest degradation, especially by illegal logging, fires, and edge effects contribute significantly to carbon dioxide (CO₂) emissions, degradation, and loss of forests in the Brazilian Amazon. Identifying the impacts caused to the forest environment becomes extremely important, as it makes possible to understand the cause and effect relationships of forest loss especially those caused by forest degradation, since there is still no consensus on the threshold of biomass loss and the persistence of this loss that constitutes degradation. In this sense, remote sensing becomes a very important tool, as it is an effective and economically viable way to monitor changes in forest cover, especially in large forest regions, such as the Amazon. In this context, this work aimed to evaluate the ALOS/PALSAR-2 (ALOS2) and Sentinel-1A (S1A) polarimetric images to detect losses in forest volume through the process of selective logging in a sustainable regime. Four areas with high timber exploration (between 27 m³ ha⁻¹ and 29 m³ ha⁻¹), called Annual Production Units (APU), inserted in the Tapajós National Forest, were selected. For each APU, the exploration took place in a specific year: APU 2015, APU 2016, APU 2017, and APU 2018. The attributes derived from radar backscatter (algebras, band ratios, SAR vegetation indexes, texture measures) and phase information (entropy-alpha angle) from ALOS2 and S1A images were used to detect forest volume losses. The detection was performed from the differences between the pixel values of the explored and unexplored areas. Wilcoxon's nonparametric test, with a confidence level of 95%, was used to assess whether the differences found were statistically significant or not. The results obtained by the ALOS2 data showed a superior performance in relation to the S1A datasets. Among the ALOS2 attributes, Radar Normalized Difference Vegetation Index (RNDVI) showed best potential to detect forest volume losses due to degradation by the selective logging process in all investigated areas. The HV polarization, the cross polarization ratio, the Contrast texture measure, and the entropy and alpha angle attributes also showed potential when associated with the 2015 and 2016 APUs. The S1A attributes showed a slight difference between the backscatter values, even considering the high intensity of selective logging in the APUs. The best results were obtained by the σ° VH associated with the 2015 APU, Radar Ratio Vegetation Index (RRVI) in the APU 2016, Energy and Maximum Probability textural measures in the VH polarization associated with the 2017 APU, alpha angle, Contrast in the VH polarization, as well as by RRVI attribute for the APU 2018.

Keywords: Forest Degradation. Amazon. SAR data. ALOS/PALSAR-2. Sentinel-1A.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1: Processos e interações da degradação florestal comumente observados na Floresta Amazônica.....	7
Figura 2.2: Taxas anuais de degradação florestal e de desmatamento registradas pelos sistemas de monitoramento DEGRAD e PRODES.....	8
Figura 2.3: Representação do campo elétrico e de uma onda eletromagnética.	10
Figura 2.4: Integração entre as bandas L e C e a estrutura do dossel florestal.....	12
Figura 2.5: Mecanismos e componentes do retroespalhamento proveniente da interação com o dossel florestal.....	13
Figura 3.1: Mapa de localização das áreas de estudo.	24
Figura 3.2: Localização das Unidades de Produção Anual (UPAs) e suas respectivas amostras de corte seletivo inseridas na área da Floresta Nacional do Tapajós (FNT)..	29
Figura 3.3: Distribuição espacial das Unidades de Trabalho (UT) que compõem a área total da UPA 2015.	31
Figura 3.4: Localização dos pontos amostrais de floresta não perturbada e não degradada inseridos na FNT e selecionados para o grupo de controle.	36
Figura 3.5: Fluxograma geral das etapas metodológicas adotadas.	38
Figura 3.6: Procedimentos metodológicos adotados no pré-processamento das imagens ALOS/PALSAR-2.	39
Figura 3.7: Listras (strips) ao longo das imagens do satélite ALOS/PALSAR-2.	42
Figura 3.8: Listras removidas das imagens do satélite ALOS/PALSAR-2, através da transformada de Fourier.....	44
Figura 3.9: Procedimentos metodológicos adotados no pré-processamento das imagens do Sentinel-1A.	45
Figura 3.10: Áreas-testes utilizadas nas avaliações dos desempenhos dos filtros	49
Figura 3.11: Abordagens metodológicas testadas para detectar perdas de volume florestal por processo de corte seletivo.....	53
Figura 4.1: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 05/10/2014 nas polarizações HH e HV.....	71
Figura 4.2: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 18/10/2015 nas polarizações HH e HV.....	72

Figura 4.3: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 27/12/2015 nas polarizações HH e HV.....	72
Figura 4.4: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 07/02/2016 nas polarizações HH e HV.....	73
Figura 4.5: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 19/01/2016 nas polarizações VV e VH.	86
Figura 4.6: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 24/01/2017 nas polarizações VV e VH.	87
Figura 4.7: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 17/09/2018 nas polarizações VV e VH.	87
Figura 4.8: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 24/09/2019 nas polarizações VV e VH.	88
Figura 4.9: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.	118
Figura 4.10: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.	120
Figura 4.11: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.	122
Figura 4.12: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 16,48 m.....	125
Figura 4.13: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 16,48 m.....	127
Figura 4.14: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 16,48 m.....	129
Figura 4.15: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 24,72 m.....	131

Figura 4.16: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 24,72 m.....	134
Figura 4.17: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 24,72 m.....	135
Figura 4.18: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	138
Figura 4.19: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	140
Figura 4.20: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	142
Figura 4.21: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por grid de 3x3 pixels.	144
Figura 4.22: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por grid de 3x3 pixels.	146
Figura 4.23: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por grid de 3x3 pixels.	148
Figura 4.24: Boxplot representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.	150
Figura 4.25: Boxplot representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.	151
Figura 4.26: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.	152

Figura 4.27: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem pixel a pixel.	153
Figura 4.28: Boxplot representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por polígono de 31,76 m.....	155
Figura 4.29: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por polígono de 31,76 m.....	156
Figura 4.30: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por polígono de 31,76 m.....	157
Figura 4.31: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por polígono de 31,76 m.....	159
Figura 4.32: Boxplot representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	161
Figura 4.33: Boxplot representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	162
Figura 4.34: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	163
Figura 4.35: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	164
Figura 4.36: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem pixel a pixel.	166
Figura 4.37: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem pixel a pixel.	168
Figura 4.38: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem pixel a pixel.	169

Figura 4.39: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por polígono de 16,48 m.....	170
Figura 4.40: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por polígono de 16,48 m.....	171
Figura 4.41: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por polígono de 24,72 m.....	172
Figura 4.42: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por polígono de 24,72 m.....	173
Figura 4.43: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem por polígono de 24,72 m.....	174
Figura 4.44: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por grid de 2x2 pixels.	175
Figura 4.45: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por grid de 2x2 pixels.	175
Figura 4.46: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem por grid de 2x2 pixels.	176
Figura 4.47: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por grid de 3x3 pixels.	177
Figura 4.48: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por grid de 3x3 pixels.	178
Figura 4.49: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem por grid de 3x3 pixels.	178
Figura 4.50: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2017 pela abordagem pixel a pixel.	181
Figura 4.51: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2018 pela abordagem pixel a pixel.	182
Figura 4.52: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2017 pela abordagem por polígono de 31,76 m.	183
Figura 4.53: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2018 pela abordagem por polígono de 31,76 m.	184
Figura 4.54: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2017 pela abordagem por grid de 2x2 pixels.	185
Figura 4.55: Correlação entre os atributos S1A e UPA 208 pela abordagem por grid de 2x2 pixels.	186

Figura 5.1: Variação do atributo σ° HH nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.	189
Figura 5.2: Variação do atributo RC-AL2 nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.	191
Figura 5.3: Variação do atributo Con-HV nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.	194
Figura 5.4: Variação do atributo α -AL2 nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.	196
Figura 5.5: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2015, considerando o atributo RNDVI derivado dos dados do ALOS2.	200
Figura 5.6: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2016, considerando o atributo RNDVI derivado dos dados do ALOS2.	200
Figura 5.7: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2017, considerando o atributo RNDVI derivado dos dados do ALOS2.	201
Figura 5.8: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2015, considerando o atributo σ° VH derivado dos dados do S1A.	202
Figura 5.9: Variação do atributo RRVI nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem por buffer.	203
Figura 5.10: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2016, considerando o atributo RRVI derivado dos dados do S1A.	203
Figura 5.11: Variação do atributo Con-VH nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2018, considerando a abordagem por buffer.	204
Figura 5.12: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2017, considerando o atributo Ener-VH derivado dos dados do S1A.	205
Figura 5.13: Variação do atributo α -S1 antes e depois da extração localizadas na UPA 2018, considerando a abordagem por grid.	206
Figura 5.14: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2018, considerando o atributo α -S1 derivado dos dados do S1A.	206
Figura E.1: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 05/10/2014 na polarização HH.	256
Figura E.2: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 05/10/2014 na polarização HV.	258
Figura E.3: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 18/10/2015 na polarização HH.	260

Figura E.4: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 18/10/2015 na polarização HV.	262
Figura E.5: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 27/12/2015 na polarização HH.	264
Figura E.6: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 27/12/2015 na polarização HV.	266
Figura E.7: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 07/02/2016 na polarização HH.	268
Figura E.8: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 07/02/2016 na polarização HV.	270
Figura E.9: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 19/01/2016 na polarização VV.	272
Figura E.10: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 19/01/2016 na polarização VH.	274
Figura E.11: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/04/2017 na polarização VV.	276
Figura E.12: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/04/2017 na polarização VH.	278
Figura E.13: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 17/09/2018 na polarização VV.	280
Figura E.14: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 17/09/2018 na polarização VH.	282
Figura E.15: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/09/2019 na polarização VV.	284
Figura E.16: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/09/2019 na polarização VH.	286
Figura H.1: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.	302
Figura H.2: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.	304

Figura H.3: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.	306
Figura H.4: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 16,48 m.	308
Figura H.5: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 16,48 m.	310
Figura H.6: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 16,48 m.	312
Figura H.7: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 24,72 m.	314
Figura H.8: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 24,72 m.	316
Figura H.9: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 24,72 m.	318
Figura H.10: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	320
Figura H.11: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	322
Figura H.12: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	324
Figura H.13: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por grid de 3x3 pixels.	326

Figura H.14: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por grid de 3x3 pixels.	328
Figura H.15: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por grid de 3x3 pixels.	330
Figura I.1: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.	332
Figura I.2: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.	334
Figura I.3: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.	336
Figura I.4: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem pixel a pixel.	338
Figura I.5: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por polígono de 31,76 m.	340
Figura I.6: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por polígono de 31,76 m.	342
Figura I.7: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por polígono de 31,76 m.	344
Figura I.8: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por polígono de 31,76 m.	346
Figura I.9: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por grid de 2x2 pixels.	348

Figura I.10: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por grid de 2x2 pixels.....	350
Figura I.11: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por grid de 2x2 pixels.....	352
Figura I.12: Boxplots representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por grid de 2x2 pixels.....	354

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1: Atributos extraídos das imagens ALOS/PALSAR-2.....	16
Tabela 2.2: Atributos extraídos das imagens Sentinel-1A.....	17
Tabela 3.1: Principais características dos modos de imageamento ALOS/PALSAR-2.	26
Tabela 3.2: Principais características das imagens ALOS/PALSAR-2.	27
Tabela 3.3: Principais características dos modos de imageamento do Sentinel-1.....	28
Tabela 3.4: Principais características das imagens do Sentinel-1A, subfaixa IW1.....	28
Tabela 3.5: Amostras de corte seletivo para cada Unidade de Produção Anual (UPA). 48	
Tabela 4.1: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HH.	60
Tabela 4.2: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HV.	61
Tabela 4.3: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HH.	62
Tabela 4.4: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HV.	63
Tabela 4.5: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 7x7 pixels aplicados, nas imagens ALOS2 na polarização HH.	64
Tabela 4.6: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 7x7 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HV.	65
Tabela 4.7: Desempenho do filtro Boxcar com janelas de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens ALOS2 na polarização HH.	68
Tabela 4.8: Desempenho do filtro Boxcar com janelas 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens ALOS2 na polarização HV.....	69
Tabela 4.9: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VV.....	75
Tabela 4.10: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VH.	76
Tabela 4.11: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros com janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VV.....	77
Tabela 4.12: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VH.	78

Tabela 4.13: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 7x7 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VV.....	79
Tabela 4.14: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros com janela 7x7 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VH.	80
Tabela 4.15: Desempenho do filtro Boxcar com janelas de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens S1A na polarização VV.....	83
Tabela 4.16: Desempenho do filtro Boxcar com janelas de filtragem de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens S1A na polarização VH.....	84
Tabela 4.17: Pares de imagens ALOS2 correspondentes ao período anterior e posterior a extração seletiva em cada Unidade de Produção Anual (UPA).	95
Tabela 4.18: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.	96
Tabela 4.19 - Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 16,48 m, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.....	98
Tabela 4.20: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 24,72 m, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.....	100
Tabela 4.21: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por grid de 2x2 pixels, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.....	102
Tabela 4.22: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por grid de 3x3 pixels, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.....	104
Tabela 4.23: Pares de imagens S1A correspondentes ao período anterior e posterior a extração seletiva em cada Unidade de Produção Anual (UPA).	105
Tabela 4.24: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel, aplicado ao grupo de controle – S1A.	106
Tabela 4.25: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 31,76 m, aplicado ao grupo de controle - S1A.....	109
Tabela 4.26: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por grid de 2x2 pixels, aplicado ao grupo de controle - S1A.....	113
Tabela 4.27: Conjunto de dados ALOS2 utilizados na detecção, a partir das amostras de campo.....	116
Tabela 4.28: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel aplicado aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.	117

Tabela 4.29: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 16,48 m, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2. .	124
Tabela 4.30: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 24,72 m, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2. .	130
Tabela 4.31: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem grid de 2x2 pixels, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.	137
Tabela 4.32: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem grid de 3x3 pixels, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.	143
Tabela 4.33: Conjunto de dados S1A utilizados na detecção, a partir das amostras de campo.....	149
Tabela 4.34: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, nos atributos S1A.....	150
Tabela 4.35: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 31,76 m, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, nos atributos S1A.....	155
Tabela 4.36: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por grid de 2x2 pixels, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, nos atributos S1A.....	161
Tabela 4.37: Potenciais atributos ALOS2 sensíveis as perdas de volume em cada UPA, nas três abordagens testadas.	180
Tabela 4.38: Potenciais atributos S1A sensíveis as perdas de volume em cada UPA, nas três abordagens testadas.	187
Tabela 5.1: Potencialidade dos atributos ALOS2 em detectar perdas de volume florestal considerando diferentes intervalos de tempo.	199
Tabela A.1: Georreferenciamento da UT01 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	224
Tabela A.2: Georreferenciamento da UT02 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	225
Tabela A.3: Georreferenciamento da UT03 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	226
Tabela A.4: Georreferenciamento da UT04 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	227

Tabela A.5: Georreferenciamento da UT05 da UPA 2015 e os correspondente pontos de controle.....	228
Tabela A.6: Georreferenciamento da UT06 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	229
Tabela A.7: Georreferenciamento UT07 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.....	230
Tabela A.8: Georreferenciamento da UT08 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	231
Tabela A.9: Georreferenciamento da UT09 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	233
Tabela A.10: Georreferenciamento da UT10 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	234
Tabela A.11: Georreferenciamento da UT11 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	235
Tabela A.12: Georreferenciamento da UT12 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	236
Tabela A.13: Georreferenciamento da UT13 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	237
Tabela A.14: Georreferenciamento da UT14 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	238
Tabela A.15: Georreferenciamento da UT15 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	240
Tabela A.16: Georreferenciamento da UT16 I da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	242
Tabela A.17: Georreferenciamento da UT16 II da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	244
Tabela B.1: Etapas de conversão entre os sistemas de coordenadas para o deslocamento das UTs e amostras da UPA 2016.....	245
Tabela C.1: Georreferenciamento da UT01 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	246
Tabela C.2: Georreferenciamento da UT02 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.	248
Tabela C.3: Georreferenciamento da UT03 da UPA 2018 e os correspondentes pontos de controle.	250

Tabela C.4: Georreferenciamento da UT04 da UPA 2018 e os correspondentes pontos de controle.	252
Tabela C.5: Georreferenciamento da UT05 da UPA 2018 e os correspondentes pontos de controle.	253
Tabela D.1: Precipitação média acumulada nos três dias anteriores e no dia da aquisição das imagens ALOS/PALSAR-2.....	254
Tabela D.2: Precipitação média acumulada nos três dias anteriores e no dia da aquisição das imagens Sentinel-1A.....	255
Tabela F.1: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 05/10/2014 e 18/10/2015.....	288
Tabela F.2: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 18/09/2016 e 05/02/2017.....	289
Tabela F.3: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 12/11/2017 e 13/05/2018.....	290
Tabela F.4: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/09/2015 e 19/01/2016.....	291
Tabela F.5: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 08/12/2016 e 02/03/2017.....	292
Tabela F.6: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/11/2017 e 15/12/2017.....	293
Tabela F.7: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 25/06/2018 e 12/08/2018.....	294
Tabela G.1: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 05/10/2014 e 18/10/2015.....	295

Tabela G.2: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 18/09/2016 e 05/02/2017.....	296
Tabela G.3: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 12/11/2017 e 13/05/2018.....	297
Tabela G.4: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/09/2015 e 19/01/2016.....	298
Tabela G.5: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 08/12/2016 e 02/03/2017.....	299
Tabela G.6: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/11/2017 e 15/12/2017.....	300
Tabela G.7: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 25/06/2018 e 12/08/2018.....	301

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGB	<i>Aboveground Biomass</i>
ALOS	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
ALOS2	Imagens/dados ALOS/PALSAR-2
CCP	Coeficiente de Correlação de Pearson
Con-HH	Contraste no canal de polarização HH
Con-HV	Contraste no canal de polarização HV
Con-VH	Contraste no canal de polarização VH
Coomflona	Cooperativa Mista da Flona Tapajós
COP	<i>Conference of the Parties</i>
CV	Coeficiente de Variação
dB	Escala logarítmica em decibel
DF	<i>Damping Factor</i>
DIF-S1	Diferença de polarização
EM	Eletromagnética
Ener-HH	Energia no canal de polarização HH
Ener-HV	Energia no canal de polarização HV
Ener-VH	Energia no canal de polarização VH
ENVI	<i>Environment for Visualizing Images</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FNT	Floresta Nacional do Tapajós
GLCM	<i>Grey Level Co-occurrence Matrix</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H-AL2	Entropia extraído das imagens ALOS/PALSAR-2
H-S1A	Entropia extraído das imagens Sentinel-1A
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Intervalo de Confiança
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IDL	<i>Interactive Data Language</i>
IMSE	Índice de Medida de Similaridade Estrutural
IN	Instrução Normativa
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISS	Índice de Supressão do <i>Speckle</i>
IW	<i>Interferometric Wide swath</i>
JAXA	<i>Japan Aerospace Exploration Agency</i>
MATLAB	<i>MATrix LABoratory</i>
Max-HH	Máxima probabilidade no canal de polarização HH
Max-HV	Máxima probabilidade no canal de polarização HV
Max-VH	Máxima probabilidade no canal de polarização VH
MDE	Modelo Digital de Elevação
MEAN-S1	Média de polarização
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
PALSAR	<i>Phase Array L-band Aperture Radar</i>
PLANEVEG	Plano de Recuperação da Vegetação
POA	Plano Operacional Anual
PRODES	Programa de Monitoramento de Desmatamento na Amazônia Legal Brasileira
RC-AL2	Razão de polarização cruzada
REDD+	<i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
RNDVI	<i>Radar Normalized Difference Vegetation Index</i>
RRVI-mod	<i>Radar Ratio Vegetation Index-mod</i>
RVI	<i>Radar Ratio Vegetation Index</i>
S1A	Imagens/dados Sentinel-1A
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SLC	<i>Single Look Complex</i>
SM3	<i>StripMap 3</i>
SNAP	<i>Sentinel Application Platform</i>
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUM-S1	Adição de polarização
TMF	<i>Tropical Moist Forests</i>

TRMM	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission</i>
UC	Unidade de Conservação
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UPA	Unidade de Produção Anual
UT	Unidade de Trabalho
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS	<i>World Geodetic System</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de carbono
λ	Comprimento de onda
Φ	Fase
E _h	Campo elétrico horizontal
E _v	Campo elétrico vertical
σ°	Coefficiente de retroespalhamento
r	Coefficiente de Correlação de Pearson
H ₀	Hipótese de nulidade
H ₁	Hipótese alternativa
α	nível de significância
r_s	Coefficiente de correlação de Spearman
α -AL2	Ângulo Alfa extraído das imagens ALOS/PALSAR-2
α -S1A	Ângulo Alfa extraído das imagens Sentinel-1A
σ° HH	Coefficiente de retroespalhamento no canal de polarização HH
σ° HV	Coefficiente de retroespalhamento no canal de polarização HV
σ° VV	Coefficiente de retroespalhamento no canal de polarização VV
σ° VH	Coefficiente de retroespalhamento no canal de polarização VH

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Hipóteses.....	4
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo geral.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	5
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1 Degradação florestal.....	6
2.1.1 Degradação florestal por corte seletivo	8
2.2 Polarimetria SAR associada ao ambiente florestal	10
2.2.1 Decomposição de alvos	13
2.2.2 Coeficiente de retroespalhamento, razões e índices biofísicos	15
2.3 Estudos de degradação florestal por corte seletivo em ambientes tropicais a partir de dados SAR.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 Áreas de estudo.....	23
3.2 Base de dados	25
3.2.1 Imagens do satélite ALOS/PALSAR-2 e Sentinel-1A.....	25
3.2.2 Dados de campo	29
3.2.2.1 Dados de campo da UPA 2015.....	30
3.2.2.2 Dados de campo da UPA 2016.....	32
3.2.2.3 Dados de campo da UPA 2017.....	34
3.2.2.4 Dados de campo da UPA 2018.....	34
3.2.3 Grupo de controle	35
3.2.4 Dados auxiliares.....	37
3.3 Metodologia adotada	38
3.3.1 Pré-processamento das imagens SAR	38
3.3.1.1 ALOS/PALSAR-2	39
3.3.1.1.1 Remoção de efeitos ionosféricos nas imagens ALOS2	41
3.3.1.2 Sentinel-1A	45
3.3.2 Seleção das amostras	47
3.3.3 Métodos de avaliação do desempenho dos filtros.....	49

3.3.4	Abordagens metodológicas para detecção de perda de volume	52
3.3.5	Testes estatísticos para validação dos resultados.....	56
4.	RESULTADOS	59
4.1	Avaliação do desempenho dos filtros aplicados nas imagens do satélite ALOS-2. 59	
4.1.1	Avaliação quantitativa do desempenho dos filtros nas imagens do satélite ALOS-2	59
4.1.2	Avaliação qualitativa do desempenho dos filtros aplicados nas imagens ALOS2	66
4.2	Definição do filtro e do tamanho de janela de filtragem nas imagens ALOS2.....	67
4.3	Avaliação do desempenho dos filtros aplicados nas imagens S1A.....	73
4.3.1	Avaliação quantitativa do desempenho dos filtros nas imagens S1A	74
4.3.2	Avaliação qualitativa do desempenho dos filtros nas imagens S1A	80
4.4	Definição do filtro e do tamanho de janela de filtragem nas imagens S1A.....	82
4.5	Testes de Normalidade	89
4.5.1	Testes de normalidade aplicados ao grupo das amostras de controle	89
4.5.2	Testes de normalidade aplicados ao grupo das amostras de campo	90
4.6	Detecção de perdas de volume florestal a partir do grupo de controle.....	94
4.6.1	Detecção para o grupo de controle a partir do atributos ALOS2	95
4.6.1.1	Detecção pixel a pixel para o grupo de controle - ALOS2.....	95
4.6.1.2	Detecção por polígonos 16,48 m para o grupo de controle - ALOS2.....	97
4.6.1.3	Detecção por polígonos 24,72 m para o grupo de controle - ALOS2.....	99
4.6.1.4	Detecção por grid de 2x2 pixels para o grupo de controle - ALOS2.....	101
4.6.1.5	Detecção por grid de 3x3 pixels para o grupo de controle - ALOS2.....	103
4.6.2	Detecção para o grupo de controle a partir dos atributos S1A	105
4.6.2.1	Detecção pixel a pixel para o grupo de controle - S1A.....	105
4.6.2.2	Detecção por polígonos para o grupo de controle - S1A.....	108
4.6.2.3	Detecção por grid de 2x2 pixels para o grupo de controle - S1A.....	112
4.7	Detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo.....	115
4.7.1	Detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo e dos atributos ALOS2	116
4.7.1.1	Detecção pixel a pixel - ALOS2.....	116
4.7.1.2	Detecção por polígonos 16,48 m - ALOS2.....	123
4.7.1.3	Detecção por polígonos 24,72 m - ALOS2.....	130
4.7.1.4	Detecção por grid de 2x2 pixels - ALOS2.....	136

4.7.1.5	Detecção por grid de 3x3 pixels- ALOS2.....	143
4.7.2	Detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo e dos atributos S1A	149
4.7.2.1	Detecção pixel a pixel - S1A.....	149
4.7.2.2	Detecção por polígonos - S1A.....	154
4.7.2.3	Detecção por grid de 2x2 pixels- S1A.....	160
4.8	Teste de correlação dos atributos ALOS2 e S1A.....	165
4.8.1	Teste de correlação dos atributos ALOS2	165
4.8.1.1	Teste de correlação pixel a pixel - ALOS2	165
4.8.1.2	Teste de correlação polígonos de 16,48 m - ALOS2.....	169
4.8.1.3	Teste de correlação polígonos de 24,72 m - ALOS2.....	172
4.8.1.4	Teste de correlação grid de 2x2 pixels - ALOS2.....	174
4.8.1.5	Teste de correlação grid de 3x3 pixels - ALOS2.....	176
4.8.2	Teste de correlação dos atributos S1A.....	180
4.8.2.1	Teste de correlação pixel a pixel - S1A.....	180
4.8.2.2	Teste de correlação polígonos de 31,76 m - S1A.....	182
4.8.2.3	Teste de correlação grid de 2x2 pixels- S1A.....	184
5.	DISCUSSÃO.....	188
5.1	Potenciais atributos derivados do ALOS2 na detecção de perdas de volume florestal	188
5.1	Potenciais atributos S1A na detecção de perdas de volume florestal	201
5.2	Potenciais abordagens para detecção de perdas de volume florestal.....	207
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	211
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	213
	ANEXO A – GEORREFERENCIAMENTO DOS PONTOS DE CONTROLE DA UPA 2015.....	224
	ANEXO B – CONVERSÃO DOS SISTEMAS DE COORDENADAS DA UPA 2016	245
	ANEXO C – GEORREFERENCIAMENTO POR PONTOS DE CONTROLE UPA 2018	246
	ANEXO D – TAXAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ACUMULADA.....	254
	ANEXO E – ANÁLISE VISUAL DA PERFORMANCE DOS FILTROS TESTADOS.....	256

ANEXO F - TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS AO GRUPO DE CONTROLE E AOS ATRIBUTOS EXTRAÍDOS DAS IMAGENS ALOS2 E S1A	288
ANEXO G - TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS ÀS AMOSTRAS DE CAMPO E AOS ATRIBUTOS EXTRAÍDOS DAS IMAGENS ALOS2 E S1A	295
ANEXO H - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE FLORESTA PARA O GRUPO DE CONTROLE NAS IMAGENS ALOS2.....	302
ANEXO I - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE FLORESTA PARA O GRUPO DE CONTROLE NAS IMAGENS S1A.....	332

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal¹, também conhecida como Amazônia Brasileira, cobre uma área contínua de mais de cinco milhões de quilômetros quadrados (IBGE, 2020), sendo, aproximadamente, três milhões e duzentos mil quilômetros quadrados de florestas tropicais (DINIZ et al., 2015). Ela desempenha um importante papel no ciclo do carbono. Estima-se que a Floresta Amazônica Brasileira armazena aproximadamente cinquenta bilhões de toneladas de carbono em biomassa acima do solo (BEBBER, 2019). Além disso, cumpre outras importantes funções, como no balanço de energia e água, conservação da biodiversidade e fornecimento de bens e serviços ecossistêmicos para a sociedade, entre outros (ALAMGIR et al., 2016; MITCHARD, 2018).

No entanto, historicamente, o Brasil está entre os países tropicais com as maiores taxas de perdas de florestas (WEST; BORNER; FEARNSIDE, 2019). Ao longo de 2010 a 2020, 78.454 km² de floresta na Amazônia Brasileira foram suprimidas (INPE, 2022a). Essa perda florestal corresponde aproximadamente a 4.451 milhões de Mg CO₂ das emissões brutas de carbono (INPE, 2022b).

Acrescido a isso, em 2019, houve um declínio nos recursos econômicos para o monitoramento ambiental que afetaram órgãos ambientais como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (PEREIRA et al., 2020). Diante deste cenário, podem ser observados os contínuos aumentos das taxas de desmatamento na Amazônia Legal, sobretudo nos últimos três anos, 2018, 2019 e 2020², que são os mais expressivos desde 2008 (INPE, 2022a).

¹ A Amazônia Legal compreende 52 municípios do estado de Rondônia, 22 do Acre, 62 do Amazonas, 15 de Roraima, 144 do Pará, 16 do Amapá, 139 do Tocantins, 141 do Mato Grosso, e por 181 municípios do estado do Maranhão localizados ao oeste do Meridiano 44º, sendo, 21 deles parcialmente integrados à Amazônia Legal (IBGE, 2020).

² De acordo com o Programa de Monitoramento de Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES), as taxas consolidadas de desmatamento em 2017, 2018, 2019 e 2020 foram, respectivamente de, 6.947 km², 7.536 km², 10.129 km² e 10.851 km², o que corresponde a um aumento do desmatamento de: 8,5% entre os anos de 2017 e 2018; 34,4% entre 2018 e 2019; 7,1% entre 2019 e 2020 e; de uma taxa estimada em 20,0% entre 2020 e 2021 (INPE, 2022a).

O enfraquecimento das políticas de proteção ambiental pode levar a consequências extremas não apenas para a biodiversidade da Amazônia, mas também para o alcance das metas nacionais e internacionais de reduzir as emissões globais de carbono e diminuir as atuais taxas de aquecimento global, como o Acordo de Paris, Desafio de Bonn (*Bonn Challenge*), Plano de Recuperação da Vegetação (PLANEVEG) e *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD+). O manejo ativo da floresta amazônica é essencial para preservar seu papel na mitigação das mudanças climáticas (DIELE-VIEGAS; ROCHA, 2020).

Além do desmatamento, a degradação florestal por corte seletivo e incêndio também contribuem significativamente para a degradação e perda da floresta. Nos últimos anos, a degradação florestal na Amazônia Brasileira tem sido substancial, afetando até uma área maior do que a do desmatamento (VANCUTSEM et al., 2021). Matricardi et al. (2020), ao analisarem o processo de degradação florestal na Amazônia Brasileira por um período de 22 anos, constataram que a extensão e a taxa de degradação florestal foram superiores às provenientes do desmatamento, com uma área total de 337.43 km² de floresta degradada, contra área total de 308.31 km² desmatada. Quin et al. (2021), ao investigaram as perdas de carbono provenientes da degradação florestal na Amazônia Brasileira, constataram que, das 4,45 PgC de perdas brutas acumuladas de biomassa acima do solo (*aboveground biomass* - AGB), 1,18 PgC (~27%) resultaram do desmatamento e 3,27 PgC (~73%) foram provenientes da degradação florestal.

Dentre os estados que compõe a Amazônia Brasileira, o Pará tem liderado o *ranking* de degradação florestal por incêndio e de desmatamento nos últimos anos. Em 2019, foram registrados 30.165 focos de calor, o que representa 33,8% do total dos focos na região amazônica. Em 2020, foram 38.603 focos (37,4%). E em 2021, um total de 22.876 focos (30,5%) foram detectados (INPE, 2022c). No que concerne às taxas de desmatamento no estado do Pará, a perda de vegetação em 2019 representou 41,2% do total desmatado na Amazônia Legal. Em 2020, o desmatamento no estado representou 45,1% do total desmatado em toda a região. Em 2021, as perdas de vegetação nativa representaram 39,7% do

total desmatado (INPE, 2022a). A expansão da agricultura e pecuária em larga escala, bem como a extração ilegal de madeira ao longo da rodovia BR-163 (rodovia Cuiabá-Santarém), contribuem para os altos índices de degradação florestal e de desmatamento nesse estado.

A Floresta Nacional do Tapajós (FNT) é uma importante unidade de conservação (UC) situada na porção sudoeste do Pará. Ela compreende áreas com remanescentes de floresta primária, florestas em diferentes estágios ecológicos e, em algumas áreas, florestas degradadas. O seu entorno é caracterizado por um mosaico de paisagens formado por diferentes usos do solo, florestas degradadas, florestas secundárias e remanescentes de florestas primárias. Ainda em suas áreas adjacentes, há pressões antrópicas multifatoriais e impactos da extração ilegal de madeira (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2008).

Além disso, a FNT perdeu 17.851 hectares de sua área total devido à Lei Federal nº 12.678, de 25 de junho de 2012, que alterou os seus limites (BRASIL, 2012a). Essa mudança aumentou a pressão sobre os remanescentes florestais primários localizados na zona excluída. Além disso, as alterações da Lei Florestal Brasileira (Lei nº 12.651), promulgada no mesmo ano, modificaram o requisito de área mínima que deveria ser mantida como reserva legal (BRASIL, 2012b). Essas mudanças na Lei Florestal corroboram para uma maior vulnerabilidade da FNT aos processos de degradação.

As dificuldades no monitoramento de grandes regiões florestais podem levar à incidência de eventos de degradação. Estudos sobre a degradação florestal, sobretudo pela extração seletiva de madeira, fornecem *insights* mais detalhados para a análise das relações de causa/efeito da perda de florestas, permitindo uma melhor vigilância e monitoramento das áreas de proteção ambiental.

Neste contexto, a utilização de sensoriamento remoto torna-se extremamente importante, pois é uma maneira eficaz e economicamente viável de monitorar as mudanças na cobertura florestal, quer seja em grande escala quer seja em alta frequência temporal. Os radares de abertura sintética (*synthetic aperture radar* – SAR), por operarem na faixa de micro-ondas, são pouco influenciados pelas

condições atmosféricas para a aquisição regular de dados, o que representa uma vantagem em regiões tropicais como a amazônica (HENDERSON; LEWIS, 1998). Além disso, são sensíveis a variações na biomassa e na estrutura da floresta. Essa sensibilidade permite compreender fenômenos de interação da energia emitida com os diferentes estratos constituintes da cobertura florestal (CAZCARRA-BES et al., 2017), possibilitando extrair informações importantes sobre a degradação florestal.

Por sua vez, poucos são os estudos envolvendo sistemas de radar e seu potencial de detecção da degradação florestal, sobretudo na observação de processos discretos como a extração seletiva de madeira no ambiente amazônico (MARTINS et al., 2016). Neste sentido, os sistemas SAR como o ALOS/PALSAR-2 (ALOS2) e o Sentinel-1 (S1A), ambos lançados em 2014 com duas polarizações, maiores resoluções espaciais e menor tempo de revisita, mostram um potencial alternativo para detectar e monitorar distúrbios florestais causados pela exploração madeireira na região da Floresta Amazônica.

1.1 Hipóteses

Essa pesquisa é baseada em duas hipóteses principais:

- Os dados polarimétricos do satélite ALOS/PALSAR-2 podem detectar a perda de volume florestal associado a distúrbios no dossel florestal decorrentes de processos de cortes seletivos de madeira; e
- Os dados polarimétricos do satélite Sentinel-1A podem detectar a perda de volume florestal decorrentes de processos de cortes seletivos de madeira.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de imagens multitemporais de dupla polarização dos satélites ALOS/PALSAR-2 e Sentinel-1A de forma individual para detectar áreas de degradação florestal a partir de corte seletivo de madeira em porções da Floresta Nacional do Tapajós.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar os desempenhos dos filtros *Boxcar*, Mediana, Frost, Gamma Map e Lee para o processo de análise discriminatória, para detectar degradação florestal por processo de corte seletivo;
- b) Avaliar a sensibilidade dos atributos incoerentes e coerentes, oriundos dos dados complexos do satélite ALOS/PALSAR-2, para detectar degradação florestal por processo de extração seletiva de madeira;
- c) Avaliar a capacidade discriminatória dos atributos incoerentes e coerentes, oriundos dos dados complexos do satélite Sentinel-1A, para detectar degradação florestal por processo de corte seletivo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

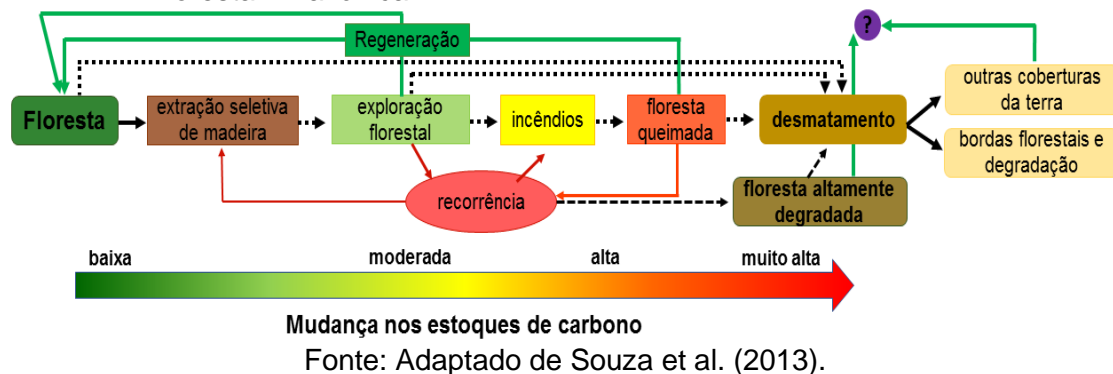
Neste capítulo, são descritos os principais conceitos e a fundamentação teórica utilizada para a realização desta pesquisa. Inicialmente, são descritos os principais conceitos relacionados à degradação florestal por corte seletivo e os principais impactos causados no ambiente florestal. Sequencialmente, são apresentados os fundamentos da polarimetria SAR e alguns de seus produtos derivados. Por fim, são apresentados alguns estudos na temática degradação florestal a partir de dados SAR.

2.1 Degradação florestal

Existem muitas definições de degradação florestal, formuladas para diversos fins (GHAZOUL et al., 2015). A *Food and Agriculture Organization* (FAO) define degradação florestal como um processo de mudança que afeta negativamente as características de uma floresta, reduzindo a sua capacidade de fornecer bens e serviços. Esse processo de mudança é provocado por distúrbios que podem variar em extensão, gravidade, qualidade, origem e frequência. O distúrbio pode ser natural, causado, por exemplo, pelo fogo, tempestade ou seca; ou induzido pelo homem, através da construção de infraestruturas, cultivo, pastoreio, entre outros; ou, ainda, uma combinação de ambos. A perturbação induzida pelo homem pode ser direta, como, por exemplo, a causada pela extração de madeira ou pela implantação de pastagem, ou indireta, como pela disseminação de espécies exóticas invasoras (SIMULA, 2009; ASSIS et al., 2020).

Essencialmente, a degradação florestal tem sido reconhecida como uma importante forma de perturbação (BACCINI et al., 2017; RAPPAPORT et al., 2018). Os distúrbios florestais podem interagir de modo sinérgico, como, por exemplo, o impacto dos eventos de fogo pode ser influenciado pelo desflorestamento ou pela degradação florestal (Figura 2.1) (SILVA JÚNIOR et al., 2021). Essa interação pode propiciar a inflamabilidade da floresta, o aumento da densidade de bordas e o acesso aos remanescentes no interior das florestas, facilitando a introdução da agricultura itinerante, de novos desmatamentos e caça, entre outros (PINHEIRO et al., 2016).

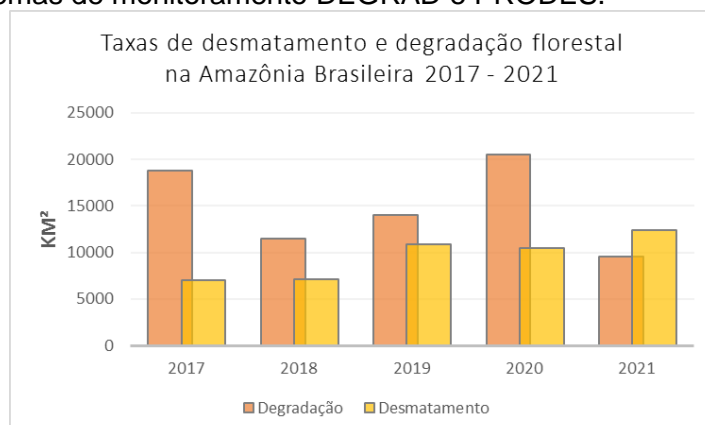
Figura 2.1: Processos e interações da degradação florestal comumente observados na Floresta Amazônica.



Em ambientes tropicais, Andrade et al. (2019) exploraram a questão da degradação florestal como sendo o declínio substancial da estrutura da floresta, inclusive ao longo do tempo, em função das atividades humanas, com a remoção parcial da cobertura da terra. O processo de degradação pode ser lento ou rápido, distribuído ou concentrado, mas deve resultar em emissões líquidas de carbono que são recuperadas ao longo do tempo, através da regeneração e/ou recuperação florestal. Estudos na temática degradação florestal aplicados especificamente para região da Amazônia Brasileira relacionam o conceito de degradação florestal principalmente à exploração seletiva de madeira em regime não sustentável e aos incêndios florestais, ou uma combinação de ambos (SHIMABUKURO et al., 2014; BERENQUER et al., 2018).

A degradação florestal foi reconhecida pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) como um importante contribuinte para as emissões globais de carbono, sendo incorporada ao mecanismo REDD+, na *Conference of the Parties* (COP13) realizada em 2007. Na COP21, realizada em Paris em 2015, os 195 países participantes, dentre eles o Brasil, se comprometeram em reduzir as emissões provenientes do desmatamento e da degradação florestal. Entretanto, observa-se que, nos últimos anos, a degradação florestal na Amazônia Brasileira tem apresentado taxas expressivas, frequentemente superiores aos dos desmatamentos. Estima-se que, entre os anos de 2017 e 2021, a área total degradada foi de 126.640 km², representando mais que o dobro dos 61.288 km² de áreas desmatadas no mesmo período (Figura 2.2) (INPE, 2022c).

Figura 2.2: Taxas anuais de degradação florestal e de desmatamento registradas pelos sistemas de monitoramento DEGRAD e PRODES.



Nesse contexto, apesar da degradação florestal ser percebida como uma importante contribuinte para as emissões globais de gases do efeito estufa, ainda não há um consenso sobre a quantificação das emissões de carbono provenientes da degradação florestal (SILVA JÚNIOR et al., 2021). Além disso, os impactos em longo prazo sobre a biodiversidade faunística e florística nas florestas tropicais também não são totalmente conhecidos e/ou mensurados (ANDRADE et al., 2019).

2.1.1 Degradação florestal por corte seletivo

A exploração de madeira através da extração seletiva consiste na retirada de madeira de um grupo de árvores de espécies selecionadas e geralmente ocorre em áreas limitadas e em curtos períodos (LEI et al., 2018; GAUI et al., 2019). Esse processo pode provocar uma deterioração na densidade e estrutura do dossel (RAPPAPORT et al., 2018), causando uma redução da biomassa aérea (SLIK et al., 2013) e da fotossíntese (FIGUEIRA et al., 2009), podendo ainda prejudicar a composição florística do dossel (LEWIS et al., 2015) e aumentar o risco de extinção local de espécies nativas (NEPSTAD et al., 1999).

O aumento da abertura do dossel devido à exploração seletiva, também denominadas de clareiras, pode contribuir para realçar alterações microclimáticas que, por sua vez, influenciam na proliferação de espécies exóticas (LAURANCE; LAURANCE, 1996). O somatório dessas alterações pode contribuir para elevar a taxa de mortalidade das árvores (LEWIS et al., 2015). O tempo de recuperação das áreas afetadas pela exploração seletiva de madeira,

muitas vezes é determinado pelas condições de pré-perturbação da estrutura biofísica e da intensidade da perturbação, isto é, a intensidade de extração, em termos de volume de madeira por hectare (FROLKING et al., 2009).

Curtis et al. (2018) afirmaram que a extração seletiva de madeira é o principal fator de degradação nas florestas tropicais. A extração seletiva em grandes extensões de terra tem aumentado na maioria das florestas tropicais devido à crescente demanda por produtos madeireiros (LAUFER, 2015). Barros et al. (2002) constataram que, na região amazônica, a exploração seletiva de madeira ocorre com grande frequência e de forma crescente, sobretudo o corte seletivo de madeira de alto valor comercial, devido à demanda madeireira no mercado interno e à melhoria de infraestrutura viária. Apenas em 2009, aproximadamente 14 milhões de m³ de toras de madeira foram extraídas de centros madeireiros da Amazônia Brasileira (PEREIRA et al., 2010).

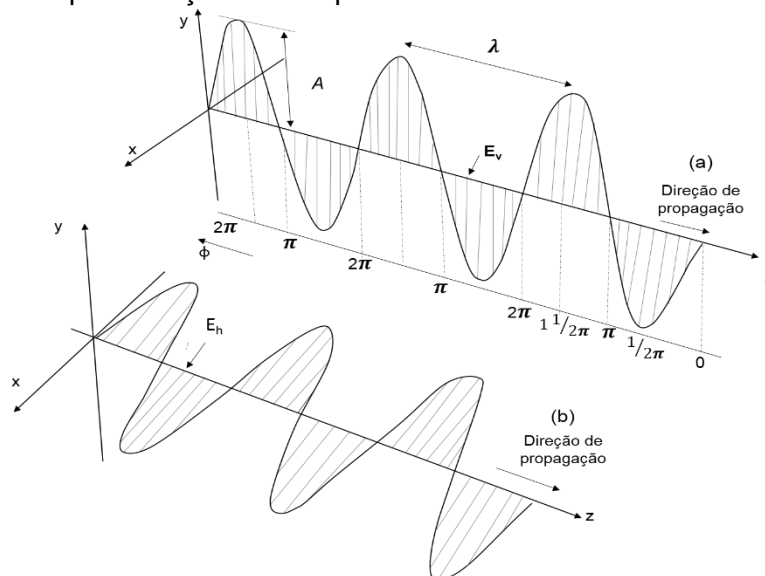
A exploração de madeira na forma de extração seletiva, quando não respeita ou segue um manejo florestal sustentável, propicia a formação de uma paisagem florestal heterogênea, constituída por florestas intactas, restos de infraestruturas madeireiras com solos compactados, pátios de estocagem próximos a estradas vicinais, áreas de abertura de clareiras dispostas aleatoriamente e florestas degradadas (PEARSON et al., 2017). Esse tipo de degradação potencializa a suscetibilidade da floresta a eventos como o de fogo e seca (NUMATA et al., 2010) podendo ser ainda um precursor do desmatamento (GRAÇA et al., 2008). Consequentemente, não assegura a preservação da cobertura florestal, da sua estrutura e diversidade, bem como da ecologia regional do ecossistema florestal (BARLOW et al., 2016).

Nesse sentido, estudos acerca dos impactos ocasionados pela degradação florestal por processos de corte seletivo são de fundamental importância. O monitoramento e a quantificação das perdas de biomassa provenientes da degradação florestal por extração seletiva de madeira, utilizando produtos de sensoriamento remoto, ainda é um grande desafio, especialmente porque as mudanças na cobertura florestal são muito sutis e pontuais.

2.2 Polarimetria SAR associada ao ambiente florestal

O uso de dados polarimétricos de radar para caracterizar a degradação florestal no ambiente amazônico vem ganhando notoriedade nos últimos anos (LEI et al., 2018; WIEDERKEHR et al., 2020; HETHCOAT et al., 2021). A polarimetria SAR pode ser definida como o estudo da orientação da onda eletromagnética (EM) em relação à superfície terrestre, do espalhamento dessa onda e da informação de fase entre as polarizações (H) e vertical (V) (RICHARDS, 2009). A onda EM é constituída pela oscilação de um campo elétrico e um campo magnético, situados em planos ortogonais e com propagação na direção perpendicular entre si e transversais à direção de propagação da onda (WOODHOUSE, 2006) (Figura 2.3).

Figura 2.3: Representação do campo elétrico e de uma onda eletromagnética.



(a) Onda eletromagnética na polarização vertical (V). (b) Onda eletromagnética na polarização horizontal (H). Ilustração do comprimento de onda (λ), amplitude (A), fase (Φ) variando de 0 a 2π e os campos elétricos horizontal (E_h) e vertical (E_v).

Fonte: Adaptado de van der Sanden (1997).

Os sistemas polarimétricos descrevem o estado de polarização da onda transmitida e recebida pelos sistemas. Os dados registrados apresentam informações de amplitude e fase dos sinais refletidos em diferentes configurações de polarização da antena e são armazenados em uma estrutura vetorial complexa.

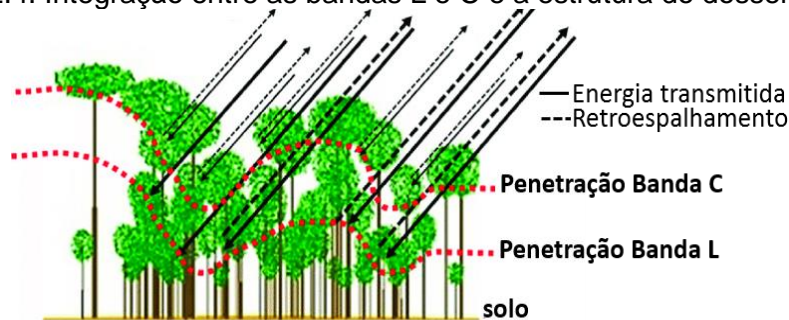
As configurações de polarização dos sistemas SAR podem ser paralelas (HH e VV) ou cruzadas (HV e VH). As combinações são consideradas polarizações simples quando operam com uma única polarização: HH ou VV; múltiplas com dupla polarização: HH e HV, VV e VH ou HH e VV; ou ainda, quádrupla: HH, VV, HV e VH (ULABY; ELACHI, 1990). O primeiro termo corresponde à polarização da radiação emitida, já o segundo termo refere-se à radiação retroespalhada e recebida. A polarização demonstra sensibilidade ao plano de orientação dos alvos, podendo fornecer informações sobre os elementos de dispersão que compõem esses alvos. Alvos predominantemente dispostos na vertical, como os troncos das árvores, apresentam maior interação com os pulsos verticalmente polarizados. Por sua vez, o solo, assim como os galhos, quando orientados horizontalmente, apresentam uma maior interação com pulsos horizontalmente polarizados (LECKIE; RANSON, 1998).

Quando a radiação é espalhada mais de uma vez, pode ocorrer a despolarização da onda. A floresta é considerada um alvo não determinístico, pois apresenta alta capacidade para despolarizar a onda EM, devido à maior complexidade dos seus elementos espalhadores (folhas, ramos e galhos). Ao interagir com a onda EM, geram ondas parcialmente polarizadas, favorecendo o aumento da radiação de polarização cruzada. Mitchard et al. (2009) e Gonçalves et al. (2011) obtiveram, a partir da polarização HV, os maiores coeficientes de correlação com a biomassa e volume em áreas de floresta tropical. Segundo Narvaes (2010), a polarização cruzada apresenta a melhor correlação com a estrutura da vegetação.

A interação entre o sinal emitido pelo sistema SAR e os alvos florestais presentes na superfície terrestre dependem da geometria dos alvos, i.e., a estrutura da vegetação, rugosidade da superfície terrestre, propriedades elétricas (umidade do solo e quantidade de água presente na estrutura da vegetação), comprimento de onda, ângulo de incidência e polarização (LEE; POTTIER, 2009). Esses parâmetros influenciam diretamente na capacidade de discriminar os alvos imageados (LEWIS et al., 1998).

Quanto maior o comprimento de onda que o sistema SAR opera, maior a capacidade de penetração do sinal no dossel. Para comprimentos de onda menores, como é o caso da banda C ($\lambda \sim 3,75 - 7,5$ cm), a energia é submetida ao espalhamento superficial na copa das árvores e, em parte, ao espalhamento volumétrico na estrutura desse dossel (Figura 2.4), sendo que pouca energia atinge o solo (WOODHOUSE, 2006). Para comprimentos de onda maiores, como é o caso da banda L ($\lambda \sim 15 - 30$ cm), ocorre uma maior penetração na vegetação, sendo a reflexão ocasionada principalmente pelos galhos maiores, ramos e troncos. Dependendo da intensidade do pulso emitido, da cobertura vegetal e do teor de umidade presente na sua estrutura, a reflexão pode ocorrer pela superfície do solo (LEWIS et al., 1998). Devido a um maior comprimento de onda, sensores em banda L são predominantemente utilizados para mapear ambientes florestais densamente vegetados (PÔSSA et al., 2018; ALTUNEL et al., 2020).

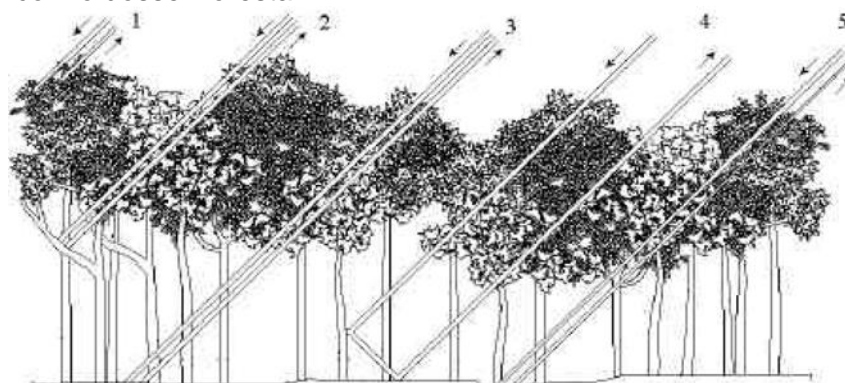
Figura 2.4: Integração entre as bandas L e C e a estrutura do dossel florestal.



Fonte: Adaptado de Omar et al. (2017).

Os principais mecanismos de espalhamentos e seus respectivos processos de interação que ocorrem no ambiente florestal são: superficial, *double-bounce* e volumétrico. Quando a dispersão da energia ocorre na superfície do alvo, é caracterizado pelo espalhamento do tipo superficial (RICHARDS, 2009). O espalhamento *double-bounce* está diretamente associado ao retroespalhamento da onda quando ela é rebatida em duas superfícies perpendiculares. Quando ocorrem múltiplas reflexões da energia dentro de um meio homogêneo, como, por exemplo, através das folhas, galhos, ramos e troncos, para todo o conjunto estrutural do dossel, o espalhamento é caracterizado como sendo volumétrico (LEWIS et al., 1998) (Figura 2.5).

Figura 2.5: Mecanismos e componentes do retroespalhamento proveniente da interação com o dossel florestal.



Sendo o retroespalhamento: 1) da superfície e interior do dossel; 2) direto do tronco; 3) direto do solo; 4) dupla reflexão tronco-solo; e 5) integrado copa-solo.
Fonte: Adaptado de Kuplich (2003).

Essas interações que ocorrem entre a radiação EM e o alvo possibilitam determinar algumas características físicas desses alvos (WOODHOUSE, 2006) que podem auxiliar na sua representação e discriminação (BOERNER et al., 1998).

2.2.1 Decomposição de alvos

A polarimetria SAR permite utilizar teoremas de decomposição de alvos para separar os mecanismos de espalhamento de diferentes naturezas (ULABY; ELACHI, 1990). Segundo Lee e Pottier (2009), a decomposição de alvos tem como objetivo indicar os mecanismos de espalhamentos dominantes como a soma de elementos independentes, associando-os com as propriedades elétricas e geométricas dos alvos.

Nos teoremas de decomposição de alvos, utilizam-se matrizes que modelam os diferentes tipos de espalhamentos. Essas matrizes podem ser fundamentadas na matriz de espalhamento [S] que é utilizada para modelar as transformações dos espalhadores determinísticos, onde os espalhadores transformam o campo elétrico incidente (E_i) no campo espalhado (E_s). Cada elemento da matriz [S] apresenta um elemento complexo (S_{pq}) referente a cada célula de resolução que descreve as componentes de amplitude e fase do sinal transmitido (p) e espalhado (q) (Equação 2.1) (ULABY; ELACHI, 1990).

$$[S] = \begin{pmatrix} S_{VV} & S_{VH} \\ S_{HH} & S_{HV} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Sendo, p, q = H, V.

As matrizes de covariância [C] e coerência [T] são matrizes de segunda ordem que descrevem a polarização dos alvos não determinísticos e são derivadas da matriz [S] (CLOUDE; POTTIER, 1996). A partir dessas matrizes é possível aplicar os teoremas de decomposição de alvos, os mais comumente relatados na literatura são os de Freeman-Durden, Yamaguchi, Cloude-Pottier, Touzi e Van Zyl. Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi utilizada a matriz [C] que possibilitou extrair os atributos polarimétricos derivados do teorema de decomposição de alvos denominada entropia (H) e ângulo alfa (α).

Esse teorema de decomposição é utilizado para modelar dados de dupla polarização, como é o caso das imagens utilizadas do ALOS/PALSAR-2 com as polarizações HH e HV e do Sentinel-1A com polarizações VV e VH. Cloude e Pottier (1996) propuseram a decomposição H/ α a partir das matrizes [C] e [T] 2 x 2 que representam dois autovalores, H e α . H indica o grau de aleatoriedade do processo de espalhamento no elemento de resolução da imagem (SHAN et al., 2011; MASCOLO et al., 2021). Ela é um número real que varia entre $0 \leq H \leq 1$, sendo que valores baixos de H denotam uma fraca despolarização, sugerindo a presença de um único mecanismo de espalhamento, i.e., a presença de um alvo pontual. Valores altos de H indicam a presença de vários mecanismos de espalhamento que contribuem para despolarizar as ondas eletromagnéticas (Equações 2.2 e 2.3). O ângulo alfa (α) identifica o tipo de mecanismo de espalhamento do alvo, sendo $\alpha = 0^\circ$ caracterizado como espalhamento superficial, $\alpha = 45^\circ$ como espalhamento volumétrico e $\alpha = 90^\circ$ como espalhamento do tipo *double-bounce* (CLOUDE; POTTIER, 1996) (Equação 2.4).

$$H = - \sum_{i=1}^2 \rho_i \log_2 \rho_i \quad (2.2)$$

Onde,

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2}, i = 1,2 \quad (2.3)$$

Sendo, ρ_i interpretado como a intensidade relativa do processo de espalhamento “i e λ_i os autovalores que representam a contribuição do mecanismo de espalhamento.

$$\alpha = \rho_1 \alpha_1 + \rho_2 \alpha_2 \quad (2.4)$$

Além dos atributos supracitados H e α , que necessitam da informação de fase e que também são conhecidos como atributos coerentes, ainda é possível extrair informações das diferentes polarizações a partir de medidas de intensidade de cada pixel, denominados de atributos incoerentes. Dentre eles, destacam-se os coeficientes de retroespalhamento, razões de polarização, álgebras, índices radar de vegetação e medidas de texturas.

2.2.2 Coeficiente de retroespalhamento, razões e índices biofísicos

O coeficiente de retroespalhamento (σ^0) corresponde à porção de energia eletromagnética refletida pelo alvo em direção ao sensor, em relação à quantidade de energia emitida pelo sensor (RANEY, 1998). Ele define o comportamento do espalhamento de todos os elementos presentes em uma determinada célula de resolução do terreno (WOODHOUSE, 2006). As medidas de σ^0 podem ser representadas em escala logarítmica (dB) ou linear (m^2/m^2).

O σ^0 pode ser obtido nas polarizações VV (σ^0 VV), HH (σ^0 HH), VH (σ^0 VH) e HV (σ^0 HV), nas razões entre as polarizações, nas álgebras, por índices biofísicos relacionados às características da estrutura florestal e por medidas de texturas associadas a rugosidade da superfície, entre outros. Abaixo, são apresentados os atributos extraídos a partir das imagens ALOS/PALSAR-2 (Tabela 2.1) e Sentinel-1A (Tabela 2.2), nos quais foram empregados nesta pesquisa.

Tabela 2.1: Atributos extraídos das imagens ALOS/PALSAR-2.

	Atributo extraído	Símbolo	Descrição
A partir do retroespalhamento	Coeficiente de retroespalhamento HH	σ° HH	Porção de energia retornada ao sensor a partir da superfície
	Coeficiente de retroespalhamento HV	σ° HV	
	Razão de polarização cruzada	RC-AL2	Parâmetro sensível ao espalhamento do tipo volumétrico
	<i>Radar Normalized Difference Vegetation Index</i>	RNDVI	Parâmetro sensível a presença da vegetação
	Contraste polarização HH Contraste polarização HV	Con-HH Con-HV	Mensura o quanto a intensidade do pixel é similar a sua vizinhança
	Energia polarização HH Energia polarização HV	Ener-HH Ener-HV	O parâmetro energia é uma medida do nível total de intensidade
	Máxima probabilidade pol. HH Máxima probabilidade pol. HV	Max-HH Max-HV	Verifica se a matriz possui um máximo, indicando qual a direção mais importante da textura a ser avaliada
A partir da informação de fase	Ângulo Alfa	α -AL2	Mecanismo de espalhamento dominante
	Entropia	H-AL2	Número de mecanismos de espalhamento dominantes

Tabela 2.2: Atributos extraídos das imagens Sentinel-1A.

	Atributo extraído	Símbolo	Descrição
A partir do retroespalhamento	Coeficiente de retroespalhamento VV	σ° VV	Porção de energia retornada ao sensor a partir da superfície
	Coeficiente de retroespalhamento VH	σ° VH	
	Adição de polarização	SUM-S1	Parâmetros sensíveis em discriminar florestas e não florestas
	Diferença de polarização	DIF-S1	
	Média de polarização	MEAN-S1	
	<i>Radar Ratio Vegetation Index mod</i>	RRVI-mod	Parâmetro sensível ao nível de biomassa
	Contraste polarização VH	Con-VH	Mede o quão a intensidade do pixel é similar a sua vizinhança
	Energia polarização VH	Ener-VH	Mensura o nível total de intensidade
Máxima probabilidade pol. VH	Max-VH	Verifica se a matriz possui um máximo, indicando qual a direção mais importante da textura a ser avaliada	
A partir da informação de fase	Ângulo alfa	α -S1	Mecanismo de espalhamento dominante
	Entropia	H-S1	Número de mecanismos de espalhamento dominantes

O coeficiente de retroespalhamento na polarização HH (σ° HH, ALOS/PALSAR-2, Tabela 2.1) exibe maior interação com estruturas dispostas horizontalmente (WOODHOUSE, 2006). Em ambientes florestais, a interação tende a ser mais forte nos galhos, ramos das árvores e solo, assim como em troncos caídos e restos de infraestruturas orientados no plano horizontal. Por sua vez, o coeficiente de retroespalhamento na polarização VV (σ° VV, Sentinel-1A, Tabela 2.2) tem maior interação com estruturas dispostas verticalmente (WOODHOUSE, 2006). Em ambientes florestais, essas estruturas estão relacionadas principalmente com troncos de árvores.

Os coeficientes de retroespalhamento nas polarizações HV (σ° HV, Tabela 2.1) e VH (σ° VH, Tabela 2.2), considerando o teorema de reciprocidade $S_{hv} = S_{vh}$, apresentam maiores sensibilidades ao espalhamento do tipo volumétrico, sendo

mais adequado para estimar volume de madeira ou biomassa, principalmente em maiores comprimentos de onda, como na banda L (WOODHOUSE, 2006).

A razão de polarização cruzada (RC-AL2, Tabela 2.1) apresenta sensibilidade ao espalhamento do tipo volumétrico (Equação 2.5), incluindo vegetação (HENDERSON; LEWIS, 1998). Essa razão pode ser utilizada como um indicador bruto do grau de cobertura vegetal (WOODHOUSE, 2006):

$$RC = \frac{\sigma_{HV}^0}{\sigma_{HH}^0} \text{ ou } \frac{\sigma_{VH}^0}{\sigma_{HH}^0} \quad (2.5)$$

O índice radar de vegetação por diferença normalizada (*Radar Normalized Difference Vegetation Index* – RNDVI, Tabela 2.1) é um índice biofísico relacionado às características da estrutura florestal, sensível à presença da vegetação (Equação 2.6). Esse índice, proposto por Chen et al. (2017), é semelhante aos índices espectrais ópticos *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI):

$$RNDVI = \frac{(\sigma^{0HV} - \sigma^{0HH})}{(\sigma^{0HV} + \sigma^{0HH})} \quad (2.6)$$

A adição de polarização (SUM-S1, Tabela 2.2) consiste na combinação matemática de soma entre os canais de polarização (Equação 2.7). Já a diferença de polarização (DIF-S1, Tabela 2.2) é obtida a partir da operação de subtração entre as polarizações (Equação 2.8). A média de polarização (MEAN-S1, Tabela 2.2) é representada pela razão entre os canais de polarização (Equação 2.9). Os atributos supracitados visam realçar as características dos alvos presentes nas imagens SAR:

$$SUM - S1 = \sigma^{\circ} VV + \sigma^{\circ} VH \quad (2.7)$$

$$DIF - S1 = \sigma^{\circ} VV - \sigma^{\circ} VH \quad (2.8)$$

$$MEAN - S1 = \frac{\sigma^{\circ} VV + \sigma^{\circ} VH}{2} \quad (2.9)$$

O índice radar de vegetação modificado (*Radar Ratio Vegetation Index* - RRVI-mod, Tabela 2.2) é uma adaptação do índice biofísico RRVI (CHEN et al., 2017). O RRVI é associado aos coeficientes de retroespalhamento relacionados com

as polarizações HH e HV. Por sua vez, o RRVI-mod relaciona os coeficientes às polarizações VV e VH (Equação 2.10). Ambos os índices apresentam sensibilidade ao espalhamento do tipo volumétrico, indicando a presença da vegetação.

$$RRV - mod = \frac{\sigma^{\circ} VV}{\sigma^{\circ} VH} \quad (2.10)$$

Através de medidas de texturas, podem-se extrair informações espaciais das imagens. Em um ambiente florestal, essas medidas estão relacionadas principalmente com a rugosidade da superfície. Nesse sentido, selecionaram-se algumas medidas extraídas da matriz de coocorrência de níveis de cinza (*Grey Level Co-occurrence Matrix* - GLCM). Em síntese, a matriz GLCM é um método estatístico de análise de textura, a partir das variações dos níveis de cinza das imagens e a sua dependência espacial. Ela analisa as coocorrências existentes entre os pares de pixels relacionados a partir de algum padrão (HARALICK et al., 1973). A partir da matriz GLCM é possível extrair medidas estatísticas de texturas de segunda ordem como: Contraste, Dissimilaridade, Homogeneidade, Segundo Momento Angular, Máxima Probabilidade, Entropia, Média, Variância e Correlação. Para esta pesquisa, foram consideradas três medidas, sendo elas: Contraste (Con), Energia (Ener) e Máxima Probabilidade (Max).

O Con mede a diferença entre os maiores e menores valores de intensidade de um pixel e seus vizinhos em toda a imagem (Equação 2.11), isto é, mensura o quanto a intensidade do pixel é similar à sua vizinhança.

$$\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i - j)^2 \quad (2.11)$$

Onde: i é o número de linhas; e j o número de colunas; $P_{i,j}$ é a probabilidade de coocorrência dos valores de cinza para uma determinada distância; e N é a quantidade de diferentes níveis de cinza presentes na imagem.

A Ener, também conhecida como segundo momento angular, representa a quantidade de variação na intensidade de uma dada região da imagem (Equação 2.12), indicando o quanto a textura da imagem é uniforme. Os valores variam entre 0 e 1, sendo os valores ~ 0 associados às células com níveis de cinza

similares, indicando áreas com textura mais homogênea, enquanto os valores de 1 indicam regiões mais heterogêneas (HARALICK et al., 1973).

$$\sum_{i,j} P(i,j)^2 \quad (2.12)$$

Max representa o padrão de cinza que mais se repete na imagem, isto é, a maior quantidade de coocorrências na imagem. Essa medida é dada por (Equação 2.13):

$$\max \{(i,j)\} \quad (2.13)$$

Os coeficientes de retroespalhamento nas diferentes polarizações, as álgebras, razões, índices e as medidas de texturas supracitadas foram selecionados a partir dos resultados de diversos testes aplicados nas imagens ALOS/PALSAR-2 e Sentinel-1, objetivando detectar perdas de volume florestal. Dentre uma gama de atributos testados, os descritos neste Capítulo foram os que apresentaram uma coerência com relação aos diferentes períodos de aquisição das imagens SAR.

2.3 Estudos de degradação florestal por corte seletivo em ambientes tropicais a partir de dados SAR

Pacheco-Pascagaza et al. (2018) investigaram o potencial da integração de dados SAR de múltiplas frequências do ALOS/PALSAR-2, Sentinel-1B e TanDEM-X em combinação com dados adquiridos *in situ* para identificar e classificar níveis de perturbação florestal. Dentre as perturbações, inclui-se a do corte seletivo de madeira, em uma região de floresta secundária na Colômbia. A partir de todas as imagens SAR, foram extraídas as informações da estrutura da floresta. σ^0 HH, σ^0 HV, σ^0 VV e σ^0 VH, dissimilaridade HV e VH, ângulo médio alfa ($\bar{\alpha}$), índice de degradação florestal, índice radar de vegetação, altura do pedestal, coerência e fase nas polarizações HH e HV. As regiões foram classificadas pelo algoritmo *Support Vector Machine* (SVM), obtendo, como resultado classificatório, uma acurácia geral de 66%, com coeficiente *Kappa* de 0,73. Precisão acima de 60% foram obtidas para as florestas severamente e moderadamente perturbadas e mais de 70% para florestas com baixa

perturbação, com valor *Kappa* de 0,72, demonstrando o potencial dos dados SAR multifrequência para avaliar as diferenças na estrutura relacionada aos distúrbios florestais por processos de corte seletivo.

Khati et al. (2018) sugeriram que dados multitemporais e de dupla polarização (HH e HV), do ALOS/PALSAR-2 podem apresentar alta potencialidade para detectar corte seletivo em áreas de florestas tropicais, sobretudo a partir da polarização HV para detectar mudanças no dossel, devido à sensibilidade dessa polarização ao espalhamento volumétrico e a partir do atributo polarimétrico entropia (H), proveniente da decomposição H- α . A principal hipótese é que as áreas não perturbadas pelo corte seletivo apresentam uma alta entropia e que, após o corte, haja uma queda acentuada nos valores de H.

Kuck et al. (2021) utilizaram dados multitemporais de imagens COSMO-SkyMed, banda X e de polarização HH para detectar exploração de madeira na Floresta Nacional do Jamari/RO. Foram testados três algoritmos de aprendizado de máquinas: *Random Forest* (RF), *AdaBoost* (AB) e Redes Neurais *Perceptron* de múltiplas camadas (MLP-ANN). Os melhores resultados foram obtidos pelo algoritmo MLP-ANN, com uma acurácia geral de 88%. De acordo com os autores, as imagens COSMO-SkyMed, com resolução espacial de 3 m e processadas pela técnica de aprendizado de máquinas, podem ser utilizadas para detectar com precisão as atividades de extração seletiva na Amazônia Brasileira.

Hethcoat et al. (2021) utilizaram séries temporais de imagens do Sentinel-1, RADARSAT-2 e ALOS/PALSAR-2 para detectar cortes seletivos em regiões da Floresta Amazônica. Os autores testaram duas abordagens metodológicas: classificação supervisionada por meio do algoritmo RF; análises de séries temporais a partir do algoritmo *Breaks For Additive Season and Trend* (BFAST). De acordo com os resultados obtidos, a classificação RF com os dados do Sentinel-1, RADARSAT-2 e ALOS/PALSAR-2 exibiu um baixo desempenho, apresentando valores altos de erros de comissão e omissão. Por outro lado, as análises de séries temporais do Sentinel-1 indicaram que as áreas sob exploração seletiva de alta intensidade mostraram um aumento distinto no

número de pixels que incluíram um ponto de interrupção durante o período de extração seletiva. O BFAST detectou pontos de interrupção em 50% dos pixels registrados e exibiu uma taxa de alarme falso de aproximadamente 5% na floresta não perturbada/explorada. Segundo esses autores, os dados SAR podem ser utilizados em análises de séries temporais para detectar corte seletivo em locais com alta intensidade de extração seletiva na floresta Amazônica.

Mais recentemente, Hethcoat et al. (2022) combinaram dados ópticos do Landsat 8 e dados SAR do Sentinel-1 para monitorar as perdas florestais provenientes da extração seletiva de madeira em regiões de floresta tropical. Para detectar as perdas, foi empregado o classificador RF, sendo realizados três diferentes testes de classificação: dados Landsat 8; dados Sentinel-1; e dados Landsat 8 + Sentinel-1 combinados. A precisão da classificação considerando somente os dados ópticos do Landsat 8 foi ligeiramente maior do que a combinação entre o Sentinel-1 e Landsat-8. Ainda segundo esses autores, ao combinar os dados ópticos com dados SAR, os resultados mostraram que os dados ópticos dominavam o desempenho preditivo e a adição dos dados SAR introduziu ruídos, reduzindo o potencial da detecção de extração seletiva de madeira.

Embora estudos desenvolvidos em diferentes sistemas sensores, frequências e abordagens metodológicas tenham apresentado potenciais em detectar distúrbios florestais devido à extração seletiva de madeira, ainda é necessário explorar a sensibilidade dos parâmetros SAR à estrutura florestal, para uma maior compreensão dos seus comportamentos e dos seus desempenhos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

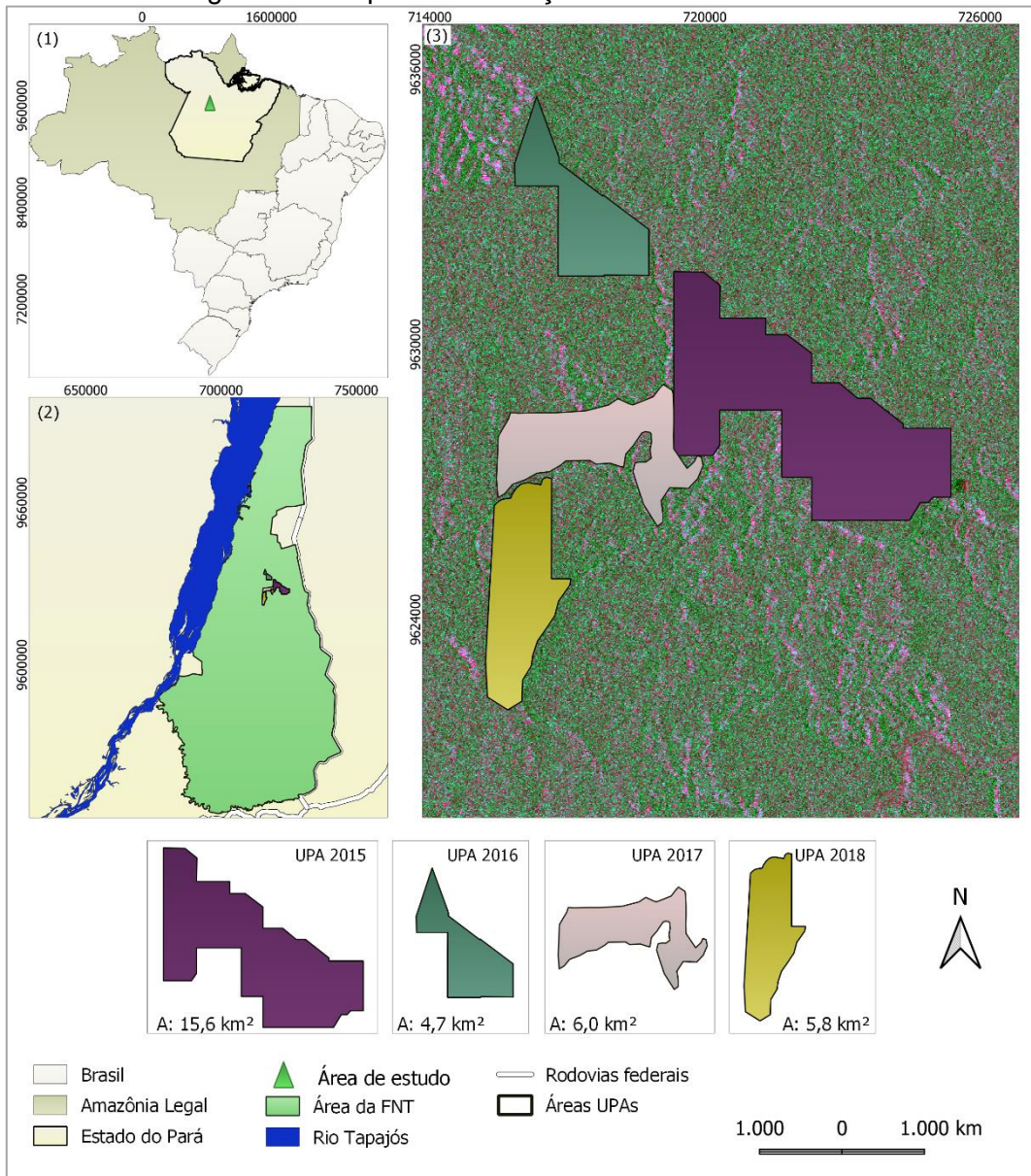
3.1 Áreas de estudo

As áreas de estudo estão inseridas na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), próximas ao km 117 da rodovia BR-163 (rodovia Cuiabá/Santarém), no estado do Pará (Figura 3.1). A paisagem no interior da FNT é constituída por remanescentes de florestas ombrófilas densa e aberta (MMA, 2004) e porções em estágio de sucessão secundária avançada. Ainda no interior da FNT, há porções de vegetação degradada devido principalmente a incêndios florestais que ocorreram no último trimestre de 2015, perdurando até o primeiro trimestre de 2016 (WIEDERKEHR et al., 2018).

Desde 2005, a concessão de uso das áreas de manejo florestal madeireiro na FNT é de responsabilidade da Cooperativa Mista da Flona Tapajós (Coomflona). A Coomflona é uma organização de comunidades tradicionais inseridas na FNT que objetiva viabilizar o aproveitamento de forma sustentável dos recursos florestais madeireiros e não madeireiros, dentro das áreas de manejo florestal da FNT. O manejo florestal sustentável pode ser definido como um sistema de produção baseado em mecanismos de sustentabilidade ambiental e social, e economicamente viável (Plano de Operação Anual – POA, 2016).

Quatro recortes espaciais representam as áreas de estudo, denominadas de Unidades de Produções Anuais (UPAs) que, conjuntamente, abrangem uma área total de aproximadamente 32,1 km². Cada UPA foi explorada em um determinado ano: 2015, 2016, 2017 e 2018 (Figura 3.1).

Figura 3.1: Mapa de localização das áreas de estudo.



Localização das Unidades de Produção Anual (UPAs) no estado do Pará (1) e na Floresta Nacional do Tapajós (2), com suas respectivas geometrias (3) e extensões (leia-se área total "A"). A composição colorida RGB corresponde, respectivamente, à polarização HH, índice RNDVI e polarização HV do ALOS/PALSAR-2 obtido em 18/10/2015.

A localização de cada UPA, a sua área de abrangência e o respectivo ano de exploração são definidos de acordo com os documentos do POA da Coomflona, que são apresentados com mais detalhes na Subseção 3.3.2. As regiões limítrofes da FNT, próximas à rodovia BR-163, são constituídas por extensas áreas destinadas à expansão das atividades agrícolas, além de pastagens plantadas. Em determinados setores, existem áreas destinadas à agricultura

familiar e aos pequenos núcleos urbanos. Manchas de floresta degradada e de sucessão secundária em diferentes estágios complementam o mosaico da paisagem.

O tipo de clima predominante na região é o tropical úmido, conforme classificação de Köppen, com temperatura média anual em torno de 25 °C, e precipitação média mensal de aproximadamente 162 mm, apresentando uma distribuição de chuvas regulares durante o ano (INMET, 2017). A área de estudo está inserida na unidade morfoestrutural Planalto Rebaixado da Amazônia, caracterizado por colinas, vales encaixados e vales dissecados, com altitudes em torno de 100 m. A área também está inserida na unidade Planalto Tapajós-Xingu, que é constituído por extensas superfícies de formação tabular, com altimetria variando entre 120 e 170 m. Os solos argilosos são predominantes, principalmente o Latossolo Amarelo distrófico e, em menores proporções, os Argissolos Vermelho-Amarelo (RADAMBRASIL, 1976).

3.2 Base de dados

3.2.1 Imagens do satélite ALOS/PALSAR-2 e Sentinel-1A

O satélite ALOS-2 foi lançado em maio de 2014 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), tendo, como objetivo, dar continuidade à missão do ALOS-1. O ALOS-2, com o sensor PALSAR-2, banda L ($\lambda \sim 23,6$ cm), permite operar em ambas as direções de visada lateral (à direita e à esquerda da linha da órbita). Ele opera nos seguintes modos de coleta de dados: *Spotlight*, *StripMap* e *ScanSAR* (Tabela 3.1).

Tabela 3.1: Principais características dos modos de imageamento ALOS/PALSAR-2.

Modo de observação	Detalhes do modo de observação (Abreviação)	Resolução (Range x Azimute)	Faixa de imageamento (Range x Azimute)	Polarização*
Spotlight	<i>Spotlight</i> (SPT)	3,0 m x 1,0 m	25 km x 25 km	<i>Single</i>
	<i>Ultrafine</i> (SM1)	3,0 m x 3,0 m	55 km x 70 km	<i>Single ou dual</i>
	<i>High Sensitive</i> (SM2)	6,0 m x 4,3 m	55 km x 70 km	<i>Single ou dual</i>
Stripmap	<i>Fine</i> (SM3)	9,1 m x 5,3 m	70 km x 70 km	<i>Single ou dual</i>
	<i>High Sensitive</i> (SM2) [Full - polarimetric]	5,1 m x 4,3 m	40-50 km x 70 km	<i>Quad</i>
	<i>Fino</i> (SM3) [Dual polarimetric]	8,7 m x 5,3 m	30 km x 70 km	<i>Dual</i>
	<i>ScanSAR Nominal</i> [28 Mhz] (WD1)	47,5 m (5 look) x 77,7 m (3 look)	350,5 km x 355 km	<i>Single ou dual</i>
ScanSAR	<i>ScanSAR Nominal</i> [14 Mhz] (WD1)	95,1 m (5 look) x 77,7 m (3 look)	350,5 km x 355 km	<i>Single ou dual</i>
	<i>ScanSAR Wide</i> [490 km] (WD2)	44,2 m (2 look) x 56,7 m (1,51 look)	489,5 km x 355 km	<i>Single ou dual</i>

Single: HH ou VH ou VH ou VV; *Dual*: HH + HV ou VH + VV; *Quad*: HH + HV + VH + VV.

Foram adquiridas seis imagens multitemporais do ALOS/PALSAR-2 no modo de operação *StripMap* 3 (SM3) em diferentes datas, nas configurações de polarização dupla HH e HV. Esse modo apresenta nível de processamento L1.1 em que os dados estão no formato complexo (*Single Look Complex* - SLC) em geometria *slant range* com compressão em alcance e um *look* em azimute. Na Tabela 3.2, encontram-se descritas as principais características das imagens utilizadas.

As características radiométricas e as calibrações polarimétricas dos dados do ALOS/PALSAR-2 são definidas pela JAXA. Os dados polarimétricos (SM3, nível de processamento L1.1), são fornecidos com a calibração polarimétrica dos efeitos *channel imbalance* e *cross-talk* e com correção radiométrica do efeito do padrão da antena. O efeito *channel imbalance* é definido como o desequilíbrio que ocorre na amplitude e fase das componentes, medidas pelos canais na

recepção e na transmissão do sinal (CORREIA, 2009). O *cross-talk* corresponde à influência da energia de uma determinada polarização, interferindo diretamente na outra polarização do sistema polarimétrico (SHIMADA et al., 2004). Por sua vez, o efeito do padrão da antena são as distorções causadas pelas condições de iluminação da plataforma imageada, apresentando distorção gradual na iluminação devido à variação do ângulo de incidência entre o *near range* e o *far range*.

Tabela 3.2: Principais características das imagens ALOS/PALSAR-2.

Identificação das cenas	Data de aquisição	Polarização	Órbita	Espaçamento entre pixel em <i>range</i> (m)	Espaçamento entre pixel em azimute (m)	Ângulo de incidência do centro da faixa (°)
2019817120	05/10/2014	HH e HV	Ascendente	4,29	3,40	31,42
2075707120	18/10/2015					
2125387120	18/09/2016					
2092267120	05/02/2017					
2187487120	12/11/2017					
2214397120	13/05/2018					

A missão Sentinel-1 faz parte do programa Copérnico de observação da Terra, desenvolvido pela *European Space Agency* (ESA). Essa missão é composta pelos satélites Sentinel-1A, lançado em 2014, e Sentinel-1B, lançado em 2016. Ambos os satélites operam na banda C ($\lambda \sim 5,4$ cm). Os dados são adquiridos em dupla polarização (HH e VH ou VV e VH), com resolução espacial em torno de 10 m, podendo variar dependendo do modo de aquisição. Os modos de aquisição são: *Stripmap*, *Interferometric Wide swath*, *Extra-Wide swath* e *Wave mode* (Tabela 3.3). A grande vantagem do uso dos dados do Sentinel-1 é que eles são disponibilizados gratuitamente e apresentam cobertura global com alta resolução temporal, 12 dias quando se utiliza apenas o Sentinel-1A ou Sentinel-1B e 6 dias quando se utiliza ambos os satélites (Sentinel-1A e 1B) (ESA, 2019a).

Tabela 3.3: Principais características dos modos de imageamento do Sentinel-1.

Modo de observação	Resolução (Range x Azimute)	Faixa de imageamento	Polarização
Strip Map (SM)	5,0 m x 5,0 m	80 km	Single ou dual
Interferometric Wide swath (IW)	5,0 m x 20,0 m	250 km	Single ou dual
Extra-Wide swath (EW)	25,0 m x 100,0 m	400 km	Single ou dual
Wave (WV)	5,0 m x 20,0 m	20 km	Dual

No presente trabalho, foram utilizadas oito imagens multitemporais do Sentinel-1A, adquiridas no modo de operação *Interferometric Wide (IW) swath* na subfaixa IW1 que abrange todos os recortes espaciais. As cenas apresentam espaçamento entre pixel em *range* de 2,33 m e de 14,04 m em alcance, com configuração de polarização dupla (VV e VH) e nível de processamento L1. Os dados neste nível apresentam formato SLC em geometria em *slant range* com compressão em alcance e um *look* em azimute (Tabela 3.4). Os atributos derivados das imagens no formato SLC, nesse nível de processamento, são georreferenciadas a partir dos dados de órbita e altitude do Sentinel-1A (ESA, 2019b). Os produtos do Sentinel-1 no nível de processamento L1 apresentam ainda calibração radiométrica absoluta e relativa, calibração polarimétrica e calibração geométrica.

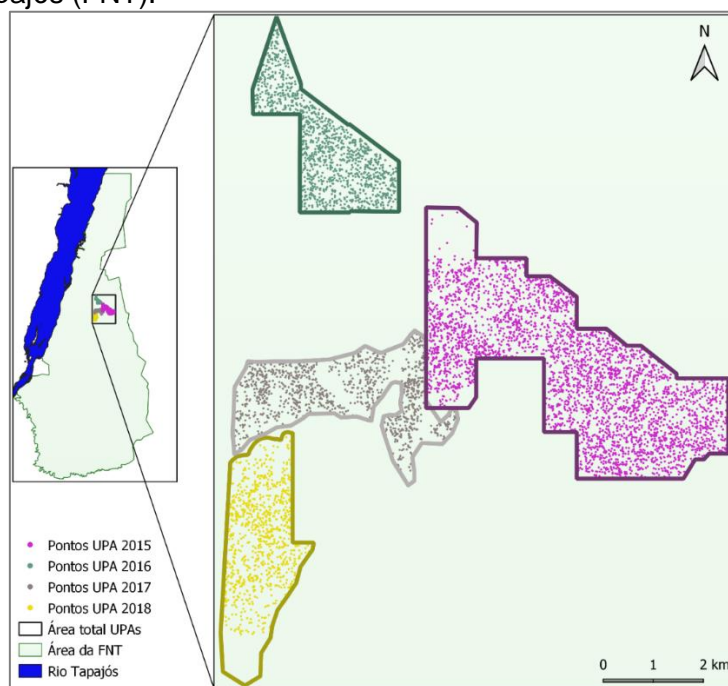
Tabela 3.4: Principais características das imagens do Sentinel-1A, subfaixa IW1.

Identificação das cenas	Data de aquisição	Polarização	Órbita	Espaçamento entre pixel em <i>range</i> (m)	Espaçamento entre pixel em azimute (m)	Ângulo de incidência alcance próximo(°)	Ângulo de incidência alcance distante (°)
46EO	09/09/15	VV e VH	Descendente	2,33	14,04	30,73	36,49
FF27	19/01/16					30,71	36,02
28CF	08/12/16					30,60	36,77
DC59	02/03/17					30,62	36,72
CAFC	09/11/17					30,62	36,73
1BE4	15/12/17					30,62	36,73
D673	25/06/18					30,62	36,72
EFA0	12/08/18					30,62	36,72

3.2.2 Dados de campo

O trabalho de campo para coleta de amostras de corte seletivo na área da FNT estava planejado para ser realizado em setembro de 2020. Devido à pandemia de Covid-19 em 2020, o trabalho de campo foi adiado. Entretanto, em 2021, com o fechamento da FNT, o trabalho de campo teve que ser cancelado. Nesse sentido, foi realizado um esforço junto à equipe técnica da Coomflona para ter acesso ao seu conjunto de dados amostrais de corte seletivo. Os dados disponibilizados pela Coomflona abrangem diferentes áreas florestais exploradas seletivamente na FNT entre 2015, 2016, 2017 e 2018 (Figura 3.2). Os dados obtidos contemplam diferentes formatos, desde arquivos em formato vetorial, mapas em formato raster e planilhas Excel. Neste contexto, são apresentados, nas Subseções abaixo, os dados obtidos para cada área e ano.

Figura 3.2: Localização das Unidades de Produção Anual (UPAs) e suas respectivas amostras de corte seletivo inseridas na área da Floresta Nacional do Tapajós (FNT).



De acordo com o POA da Coomflona, as árvores cortadas foram selecionadas de acordo com os inventários florestais, sendo elas identificadas e suas coordenadas registradas através do Sistema de Posicionamento Global (GPS), utilizando os aparelhos Garmin, modelos GPS 60CSx e GPSMAP 64s (POA - 2016). As principais espécies selecionadas para as colheitas florestais foram

maçaranduba (*Manilkara huberi*), tauari (*Couratari guianensis*), jarana (*Lecythis lurida*) e goiabão (*Pouteria bilocularis*), os quais apresentavam uma maior quantidade de indivíduos aptos para corte, sendo consideradas somente aquelas com diâmetro maior ou igual a 50 cm.

O volume de colheita nas áreas seletivamente exploradas variou entre 27 m³ ha⁻¹ e 29 m³ ha⁻¹. Segundo a Instrução Normativa (IN) n° 05/2006 do Ministério do Meio Ambiente, a intensidade de exploração máxima permitida na Amazônia Legal é de 30 m³ ha⁻¹. Como a IN não estabelece uma graduação de intensidade de corte, foi adotada, para esta pesquisa, a seguinte classificação: baixa intensidade de corte, inferior a 35% da capacidade máxima de exploração; moderada, entre 35% e 75% da capacidade máxima; e alta intensidade, igual ou superior a 75%. Considerando os valores apresentados, a exploração nas áreas de estudo ficou entre 90% e 97%, sendo classificado como de alta intensidade.

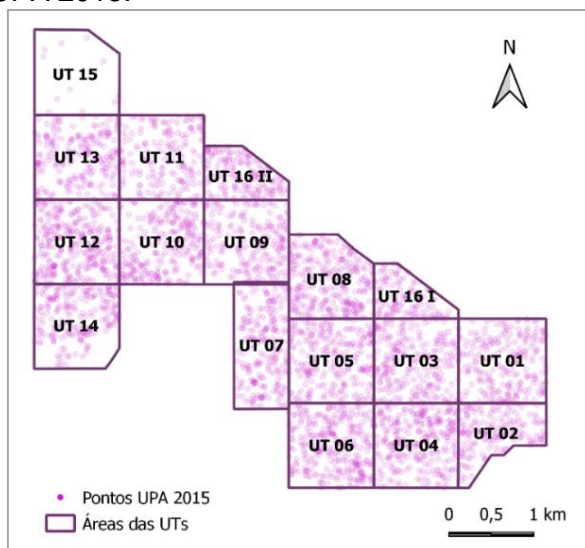
3.2.2.1 Dados de campo da UPA 2015

As amostras de corte seletivo da UPA 2015 estavam plotadas em mapas no formato raster (*tiff*). As informações sobre as posições x e y de cada árvore também estavam descritas em planilhas Excel™. O sistema de referência utilizado na elaboração dos mapas foi o sistema de coordenadas no plano cartesiano. Entretanto, não havia um sistema de referência geodésico associado a eles. O ponto de origem das grades de coordenadas iniciava-se em 0°, o que de fato não correspondia à origem da localização dos elementos representados nos mapas e nas planilhas. Consequentemente, por não ter um ponto de referência conhecido, ficou inviável realizar a transformação direta desses dados para o sistema de coordenadas geográficas, o que, por sua vez, também impossibilitou a realização do georreferenciamento através do método de inserção de pares de coordenadas conhecidas. Assim, não se pôde associar um determinado par de coordenadas com suas respectivas localizações nos mapas a serem georreferenciados.

Ainda assim, objetivando realizar o georreferenciamento dos mapas, foram utilizados os dados vetoriais das Unidades de Trabalhos (UTs). As UTs são 17 áreas menores que, na sua totalidade, compõem a área da UPA 2015 (Figura

3.3). Os dados das UTs já haviam sido repassados pela Coomflona no sistema WGS 84 (*World Geodetic System*), *datum* SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), fuso 21 S.

Figura 3.3: Distribuição espacial das Unidades de Trabalho (UT) que compõem a área total da UPA 2015.



As 17 áreas das UTs foram utilizadas como arquivos de referência para o georreferenciamento dos mapas, sendo coletados um total de 525 pontos de controle ao longo de todos os *rasters*. Os números mínimos e máximos de pontos coletados em cada UT foram de 20 e 55 pontos, respectivamente. As configurações de transformação para o processo de georreferenciamento utilizado foi o do tipo linear e o método de reamostragem pelo vizinho mais próximo, de forma a não alterar as estatísticas das imagens. O sistema de projeção utilizado para gerar os novos mapas georreferenciados foi o WGS 84, *datum* SIRGAS2000 e fuso 21 S.

Como resultado do desempenho dos georreferenciamentos, obteve-se um erro médio de 0,243 pixels, o que representa um erro médio de 2,002 m nas imagens ALOS2 e de 3,859 m nas imagens S1A, sendo o erro médio inferior ao tamanho do pixel em ambas as imagens SAR. Para mais detalhes sobre os resultados do processo de georreferenciamento de cada UT, consultar Anexo A.

Após o georreferenciamento de todos os mapas, foi realizada manualmente a vetorização de 3.672 pontos de corte seletivo. Segundo a equipe técnica da Coomflona, no período de 2015, não foram registrados os dias em que ocorreram

os cortes seletivos. Entretanto, segundo informações cedidas pelos mesmos, os cortes seletivos foram realizados entre o período de 05/10/2015 e 08/01/2016. Em síntese, obteve-se a localização geográfica dos pontos amostrais de corte seletivo para a UPA 2015, entretanto, para todos os pontos, não se sabe exatamente quando foi realizado o corte seletivo, somente que eles ocorreram dentro do período de três meses e vinte dias.

3.2.2.2 Dados de campo da UPA 2016

Assim como na UPA 2015, as amostras de cortes seletivos correspondentes à UPA 2016 foram coletadas no sistema de coordenadas no plano cartesiano. Entretanto, diferentemente dos dados da UPA 2015, na qual as amostras estavam representadas em mapas no formato raster, para a UPA de 2016, as amostras obtidas pela Coomflona estavam representadas no formato vetorial, do tipo *shapefile*.

Esses dados amostrais no formato vetorial, no sistema de coordenadas cartesianas, estavam sem um sistema de referência geodésico associado a eles, i.e., sem um ponto de origem conhecido. Sendo assim, ao visualizar essas amostras no *software* QGIS, todas elas estavam com suas respectivas distâncias deslocadas, sendo localizadas próximo à Antártica. O mesmo ocorreu com os arquivos vetoriais dos limites das áreas de cada UT.

Através do documento POA da Coomflona para UPA 2016, foram obtidos os valores das coordenadas geográficas das áreas das UTs. A obtenção desses valores de coordenadas no sistema de coordenadas geográficas possibilitou ter pontos de referência, isto é, pontos de origens conhecidos que, em uma etapa posterior, viabilizou realizar o deslocamento vetorial das áreas das UTs, conforme descrito abaixo.

Os valores das coordenadas descritos no documento POA foram convertidos de coordenadas geográficas em graus, minutos e segundos com *datum* SIRGAS2000 para coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) em metros, também com *datum* SIRGAS2000. Para essa conversão das coordenadas, foi utilizada a calculadora digital geográfica disponibilizada pelo

INPE³. No Anexo B, é apresentada detalhadamente a etapa de conversão das coordenadas.

Desse processo, obtiveram-se os valores em coordenadas geográficas dos limites das áreas das UTs deslocadas, o que possibilitou calcular a distância entre o ponto de referência e as áreas das UTs deslocadas, viabilizando realizar o efetivo deslocamento necessário em ambos os eixos de coordenadas x e y. Esse procedimento foi realizado no *software* QGIS utilizando o *plug-in* denominado “Transformação”. Após essa etapa, foi realizada a reprojeção dos dados para o sistema cartográfico WGS 84, *datum* SIRGAS2000 e fuso 21 S.

Com o intuito de averiguar se os limites das UTs estavam realmente na posição correta, foram utilizadas imagens do satélite RapidEye disponibilizadas gratuitamente na plataforma da *Planet Explorer*. Para o recobrimento das áreas de estudo, foi utilizado um mosaico com identificação L15 - 0710E-1005N, sendo ele composto por imagens adquiridas entre junho e novembro de 2016. O mosaico ortorretificado possui resolução espacial de 4,77 metros e 16 bits de resolução radiométrica.

A partir desse mosaico, foi possível visualizar as principais estradas abertas na UPA 2016. Essas estradas coincidem com os limites das UTs investigadas, possibilitando assim, comparar as distâncias entre os limites das UTs e as estradas. O erro médio de deslocamento apresentado foi de 10,8 m.

Sequencialmente, objetivando realizar também o deslocamento das amostras de corte seletivo, foi aplicado o mesmo método supracitado para os limites das UTs. Os valores das coordenadas geográficas dos limites das áreas das UTs selecionadas foram utilizados como pontos de referência para calcular a distância de deslocamento das amostras de corte seletivo. Como resultado do processamento de deslocamento, obtiveram-se as amostras nas suas respectivas áreas de UTs. Posteriormente, foi realizada a reprojeção dessas

³ Para realizar cálculos de transformações de coordenadas, pode-se acessar o link: <http://www.dpi.inpe.br/calcula/>.

amostras para a projeção cartográfica WGS 84, *datum* SIRGAS2000 e fuso 21 S.

Assim, obteve-se um total de 1.231 pontos de corte seletivo, sendo que todos os pontos exibiam as datas em que os cortes foram efetuados. O período de exploração seletiva nas áreas investigadas referentes à UPA 2016 foi entre 28/12/2016 e 30/01/2017.

3.2.2.3 Dados de campo da UPA 2017

As amostras de corte seletivo referente à UPA 2017 foram obtidas no formato de planilha Excel™. As planilhas continham informações a respeito da localização de cada UT com as respectivas árvores selecionadas para corte, bem como a data em que foi realizado o corte seletivo e suas respectivas posições projetadas no sistema de coordenadas geográficas. Essas planilhas foram transformadas em arquivos do tipo csv, possibilitando que os dados fossem exportados para o *software* QGIS no formato vetorial. Assim, obtiveram-se um total de 1.213 amostras de corte seletivo. O período da exploração seletiva na UPA 2017 foi entre 20/11/2017 e 07/12/2017.

3.2.2.4 Dados de campo da UPA 2018

No que concerne às amostras de corte seletivo da UPA 2018, os dados obtidos também estavam no formato de planilha Excel™, entretanto, o campo de descrição das coordenadas estava sem os seus respectivos valores. Assim, a Coomflona cedeu os mapas em formato raster, elaborados no sistema de referência de coordenadas geográficas (projeção UTM, *datum* SIRGAS200 e fuso 21 S), o que possibilitou georreferenciar as UTs que compõem a área da UPA 2018. O resultado do processo de georreferenciamento apresentou um erro médio de 0,204 pixels, correspondendo a um erro médio de 1,681 m nas imagens ALOS2 e de 3,240 m nas imagens S1A. Maiores detalhes sobre os resultados do processo de georreferenciamento de cada UT são apresentados no Anexo C. Após o georreferenciamento das UTs, foi realizado, de forma manual, a vetorização de 939 pontos de corte seletivo. Sequencialmente, esses pontos vetoriais foram exportados no formato csv para planilhas Excel, o que possibilitou realizar o cruzamento entre os seguintes dados: pontos de corte seletivo com

seus respectivos identificadores e as coordenadas geográficas; e pontos de corte seletivo com seus respectivos identificadores e datas de corte, também em planilha Excel.

O cruzamento entre os dados supracitados possibilitou, através do identificador de cada árvore (o mesmo nos dois arquivos), associar a exata posição de cada ponto amostral com a sua respectiva data de corte. A exploração seletiva na UPA 2018 ocorreu no intervalo de 05/07 a 10/08/2018. Todo o processo de georreferenciamento e vetorização das amostras foram realizados no *software* QGIS v.3.6.10.

3.2.3 Grupo de controle

Para avaliar se as diferenças no volume florestal observadas eram referentes à degradação por processos de corte seletivo, foi criado um grupo de controle. O grupo de controle foi utilizado para simular o evento investigado, de modo a ter certeza de que as variações observadas foram geradas pelo evento em questão e não devido a casualidades como, por exemplo, sazonalidade, teor de umidade na floresta e diferenças entre os parâmetros das imagens SAR bitemporais.

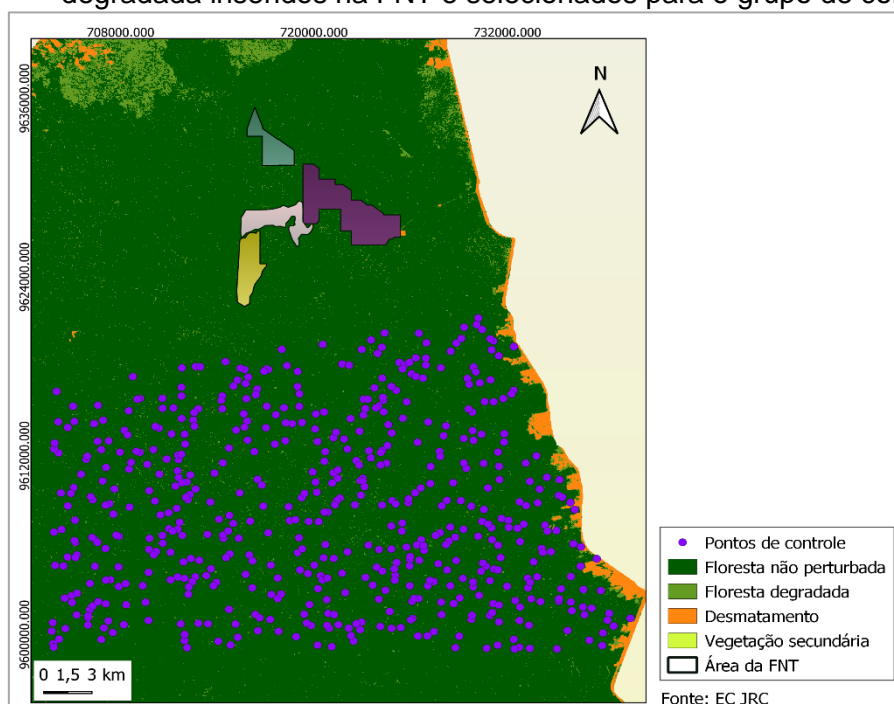
Para criar o grupo de controle, foram utilizados, como referências os dados do mapeamento de florestas tropicais úmidas não perturbadas e não degradadas (*Tropical Moist Forests - TMF*) do período de 1982 a 2020 disponíveis gratuitamente na plataforma do Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia⁴. Os mapas são produzidos a partir de séries temporais de imagens Landsat, com resolução espacial de 30 m (VANCUTSEM et al., 2020). A metodologia utilizada possibilita detectar distúrbios de curta duração nas imagens de satélite como, por exemplo, extração seletiva, incêndios florestais e eventos climáticos severos, como secas, com um nível de confiança de 91% para as áreas de florestas tropicais na América Latina (VANCUTSEM et al., 2021).

⁴ Maiores detalhes sobre o mapeamento e o conjunto de dados TMF podem ser obtido através do link: <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/TMF/>.

Nesse contexto, para compor o grupo de controle, foram gerados, no *software* QGIS v.3.6.10, 600 pontos aleatórios no formato vetorial, com uma distância mínima de 100 m, inseridos em uma área total de aproximadamente 664 km². Um conjunto de 33 pontos que estavam próximos a áreas degradadas dentro da FNT foram excluídos do grupo de controle. Os 567 pontos aleatórios foram então sobrepostos ao mapa de florestas tropicais úmidas não perturbadas e não degradadas que se encontravam no formato raster. A partir dessa sobreposição, foi possível extrair, do mapa, os valores das amostras de florestas para todos os pontos aleatórios gerados.

Além da distância mínima entre os pontos aleatórios, também foi adotada uma distância de 4 km entre a área do grupo de controle e as áreas de estudo (UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018), a fim de evitar e/ou reduzir a autocorrelação espacial. O recorte espacial onde está inserido o grupo de controle na FNT pode ser observado na Figura 3.4.

Figura 3.4: Localização dos pontos amostrais de floresta não perturbada e não degradada inseridos na FNT e selecionados para o grupo de controle.



É importante destacar que todas as amostras que compõem o grupo de controle foram georreferenciadas, utilizando o sistema de projeção WGS 84, *datum* SIRGAS2000 e fuso 21 Sul.

3.2.4 Dados auxiliares

Embora os sistemas radares imageadores sejam menos influenciados pelas condições atmosféricas, quando comparados aos sistemas sensores ópticos, menores comprimentos de ondas como, por exemplo, a banda C ($\lambda \sim 5,4$ cm) do Sentinel-1 podem ser afetados por células de chuva, principalmente pelas mais pesadas (GARKUSHA et al., 2017). A precipitação pluviométrica é um importante parâmetro a ser considerado, pois pode provocar um forte efeito de atenuação das micro-ondas (DANKLMAYER et al., 2009). Segundo Lewis et al. (1998), materiais idênticos podem apresentar diferentes respostas radiométricas em momentos e locais diferentes devido à quantidade de água que os compõem, podendo influenciar na sua interpretabilidade.

Nesse contexto, o conhecimento sobre as taxas de precipitação permite entender e analisar possíveis influências da umidade do ar nas propriedades dielétricas dos materiais e no seu retroespalhamento. Com o intuito de averiguar as taxas de precipitações nos dias em que as imagens ALOS2 e S1A foram adquiridas, bem como nos três dias anteriores à aquisição dos dados, foi realizado um levantamento da precipitação pluviométrica média acumulada de 24 horas. Para isso, foram utilizadas as taxas de precipitações pluviométricas acumuladas no intervalo de 24 horas do produto 3B42 versão 7, obtidas pelo satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) nos recortes das áreas de estudo. Esses dados são geoespacializados e foram adquiridos no formato *geotiff*, apresentam resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ e resolução temporal de 3 horas. Eles são disponibilizados de forma gratuita para toda a comunidade e podem ser acessados na plataforma Giovanni⁵.

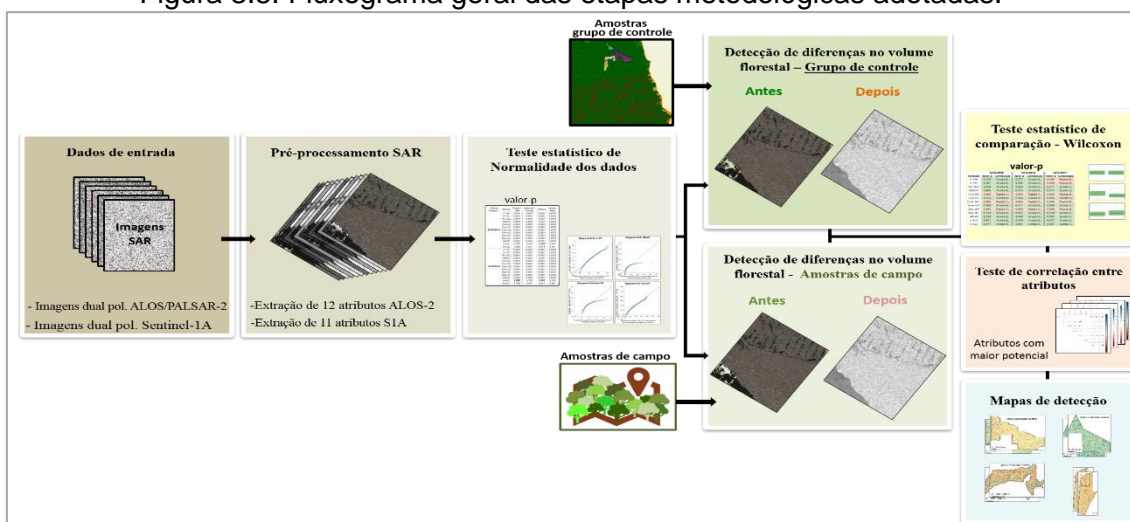
A precipitação média acumulada foi inferior a 10 mm em todos os períodos sob investigação, em ambos os sistemas radares. No Anexo D, são apresentadas as datas consideradas para as análises em ambos os sistemas radares e a média das taxas de precipitação médias acumuladas em quatro dias.

⁵ Maiores detalhes sobre o produto 3B42 pode ser obtido através do link: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.

3.3 Metodologia adotada

As etapas metodológicas utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa estão representadas no fluxograma da Figura 3.5. De modo geral, os dados de entrada consistiram em 14 imagens SAR no formato SLC, seis imagens ALOS/PALSAR-2 e oito imagens Sentinel-1A de dupla polarização. Elas foram pré-processadas, possibilitando extrair os atributos SAR para cada sistema. Após a etapa de pré-processamento, foi realizado o teste de normalidade para os atributos ALOS/PALSAR-2 e Sentinel-1A. Sequencialmente, foi realizada a detecção de diferenças no volume florestal utilizando os atributos SAR e as amostras associadas ao grupo de controle. Os resultados de detecção para o grupo de controle foram validados pelo teste de comparação de Wilcoxon. Posteriormente, foi realizada a detecção para as áreas de estudo considerando as amostras de campo. O mesmo teste estatístico de comparação também foi empregado para validação dos resultados. Por fim, os potenciais atributos foram avaliados pelo coeficiente de correlação de Spearman, sendo então elaborados os mapas temáticos.

Figura 3.5: Fluxograma geral das etapas metodológicas adotadas.



3.3.1 Pré-processamento das imagens SAR

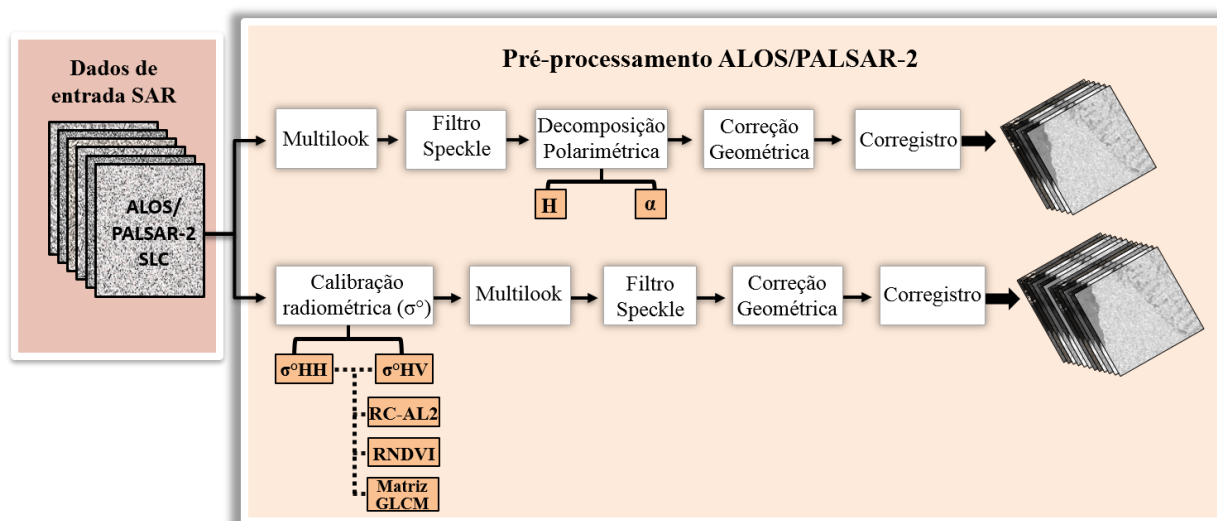
Devido às especificidades dos sistemas radares imageadores do ALOS/PALSAR-2 e do Sentinel-1, para cada sistema, foi necessário adotar uma cadeia de processamento diferenciada, conforme apresentado nas Figura 3.6 e

Figura 3.9. A execução dessa etapa de ambos os sistemas foi realizada no software *Sentinel Application Platform (SNAP)*, versão 8.0.

3.3.1.1 ALOS/PALSAR-2

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos na etapa de pré-processamento das imagens ALOS/PALSAR-2 estão representados na Figura 3.6.

Figura 3.6: Procedimentos metodológicos adotados no pré-processamento das imagens ALOS/PALSAR-2.



Para cada imagem ALOS/PALSAR-2, foram gerados coeficientes de retroespalhamento (σ^0) e atributos polarimétricos. Inicialmente, foi realizada a calibração radiométrica das imagens, que consiste em converter os valores dos números digitais de cada pixel da imagem para valores de retroespalhamento, em unidade de medida de potência na escala linear (m^2/m^2). Esse procedimento padroniza a intensidade do sinal das imagens SAR, permitindo analisar e comparar os sinais entre as imagens obtidas em diferentes aquisições (ABBA et al., 2019). A calibração radiométrica das imagens ALOS2 no modo SLC com nível de processamento L1.1 são calculadas a partir da Equação 3.1:

$$\sigma^0 = 10 \cdot \log_{10} \langle I^2 + Q^2 \rangle + CF - A \quad (3.1)$$

Onde I e Q representam respectivamente a parte real e imaginária das imagens SLC. O parâmetro CF representa o fator de calibração radiométrica, que corresponde a -83 dB. Por sua vez, o parâmetro “ A ” corresponde ao fator de conversão que é fixado em 32 dB (SHIMADA et al., 2009).

Sequencialmente, foi realizado o processamento *multilook* com um tamanho de janela de 1 pixel em *range* e de 2 pixels em azimute, que representa, respectivamente, um espaçamento entre pixels de 5,13 m em direção de *range* e 3,22 m em direção de azimute. Com o intuito de reduzir o efeito *speckle* nos valores de σ° , os seguintes filtros foram testados: *Boxcar*, Mediana, Frost, Gamma Map e Lee. Esses filtros foram selecionados para testes uma vez que se encontram disponíveis no *software* SNAP 8.0. Para cada filtro testado, foram selecionados os seguintes tamanhos da janela de filtragem: 3x3, 5x5 e 7x7 pixels.

Os testes de filtragem foram realizados em quatro imagens ALOS2 que abrangem a área de estudo, obtidas em diferentes datas, considerando as duas polarizações HH e HV. A precipitação pluviométrica no dia da aquisição das imagens foi de 0 mm.

Após a aplicação de cada filtro foi realizada a correção geométrica dos σ° em cada tamanho de janela de filtragem. O modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 30 m, derivado do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM 1 arco de segundo), através do método de reamostragem do vizinho mais próximo, foi utilizado como referência para a correção do terreno. Além da correção geométrica, também foi realizada a projeção para o sistema de projeção WGS 84, *datum* SIRGAS2000 e fuso 21 Sul. Sequencialmente, foram realizadas álgebras matemáticas a partir das polarizações HH e HV dos σ° que possibilitaram extrair índices e razões (Tabela 2.1).

Além das álgebras, também foram processadas as matrizes de coocorrência de níveis de cinza (*Grey Level Co-occurrence Matrix* – GLCM) em ambas as polarizações, HH e HV, o que possibilitou extrair outros atributos relacionados com as medidas de textura. O tamanho determinado da janela móvel das matrizes GLCM foi de 5x5 pixels ao longo de todas as direções angulares, no modo quantizador probabilístico com um nível de quantização de 32 bits e deslocamento de valor 2 entre pixels.

A definição dos parâmetros e seus respectivos valores supracitados que foram utilizados para processar as matrizes GLCM basearam-se nos resultados

obtidos por outros estudos. Champion et al. (2014) relacionaram a idade do povoamento florestal com descritores de textura, provenientes da matriz GLCM. Já Pavanelli et al. (2018) utilizaram a matriz GLCM extraída a partir das imagens ALOS2 para discriminar tipologias de uso e cobertura da terra em uma região da Amazônia. Numbisi et al. (2019) avaliaram a capacidade de matrizes GLCM geradas a partir de imagens do Sentinel-1 para discriminar agroflorestas de cacau em uma região tropical. Caballero et al. (2020) avaliaram a capacidade discriminatória de imagens multitemporais do Sentinel-1 e da matriz GLCM para classificar culturas agrícolas. Como resultado do processamento das matrizes GLCM, foram extraídos, de σ° HH e σ° HV, os seguintes atributos: contraste (Con), energia (Ener) e máxima probabilidade (Max).

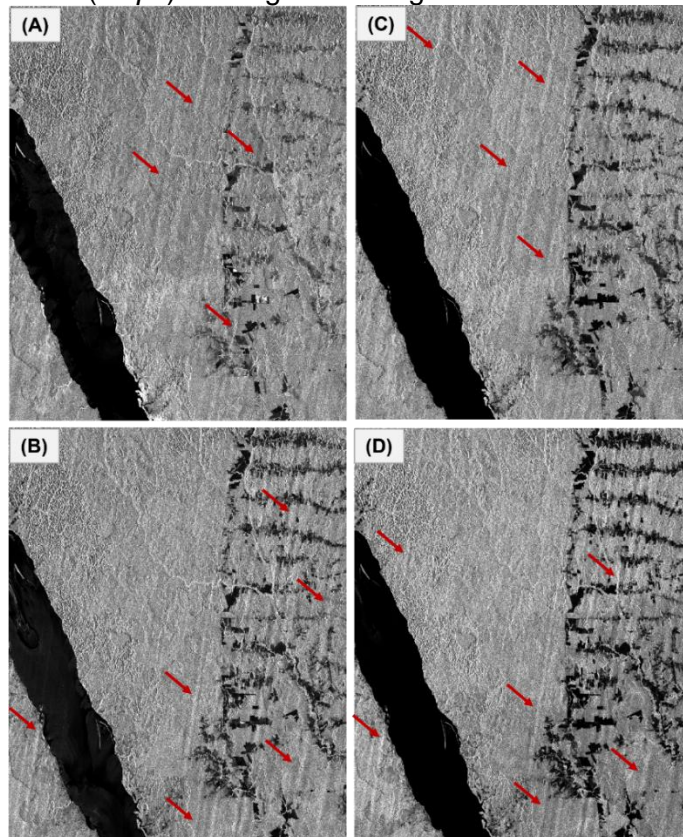
Paralelamente à extração das medidas de texturas, índices e razões derivados dos σ° , também foram obtidos os atributos polarimétricos. Inicialmente foi realizado o processamento *multilook* sob as imagens no formato SLC do ALOS2. O tamanho da janela de *multilook* selecionado foi de 1 pixel em *range* e de 2 pixels em azimuth, o mesmo considerado no pré-processamento do σ° . Sequencialmente, foi realizada a decomposição polarimétrica de dupla polarização, sendo obtidos os atributos polarimétricos entropia (H-AL2) e ângulo alfa (α -AL2). Nas etapas realizadas posteriormente como a filtragem do *speckle*, correção geométrica e projeção cartográfica, também foram aplicados os mesmos parâmetros adotados no processamento de σ° das imagens ALOS2. Como últimos procedimentos da etapa de pré-processamento, os índices, razões, canais de polarização, medidas de texturas e atributos polarimétricos, foram corrigidos. O método de reamostragem pelo vizinho mais próximo foi utilizado para realizar o correto registro das imagens. Após a realização de todos os procedimentos da etapa de pré-processamento, obteve-se um tamanho de pixel final de 8,24 m para os produtos georreferenciados, derivados das imagens ALOS2.

3.3.1.1.1 Remoção de efeitos ionosféricos nas imagens ALOS2

Durante a etapa de pré-processamento das imagens ALOS2, foram observadas que duas imagens adquiridas em 05/02/2017 e 12/11/2017 (Tabela 3.2)

apresentavam um aspecto de listras (*strips*), visualmente perceptíveis nas imagens de amplitude e intensidade dos canais de polarização HH e HV (Figura 3.7).

Figura 3.7: Listras (*strips*) ao longo das imagens do satélite ALOS/PALSAR-2.



Setas em vermelho indicam a presença das listras ao longo das imagens. (A) e (B) correspondem, respectivamente, às imagens em amplitude nas polarizações HH e HV, obtidas em 05/02/2017. (C) e (D) correspondem, respectivamente, às imagens em amplitude das polarizações HH e HV, obtidas em 12/11/2017.

Essas listras presentes nas imagens SAR comumente são associadas aos efeitos de cintilação ionosférica presentes na atmosfera terrestre. Os sistemas SAR mais vulneráveis a esses efeitos são aqueles que operam em maiores comprimentos de onda, como o ALOS/PALSAR-2 ($\lambda \sim 23,6$ cm) (MEYER et al., 2016; GAMA et al., 2022).

Em síntese, o efeito da cintilação ionosférica provoca uma rápida variação da amplitude e fase dos sinais eletromagnéticos e ocorre quando esses sinais atravessam bolhas de plasma ou irregularidades ionosféricas, sendo eles degradados ou até mesmo perdidos (MENDONÇA et al., 2012). As bolhas de plasma são geradas no equador magnético devido às instabilidades do plasma

(PAULINO et al., 2011; MEYER et al., 2016). Essas bolhas geralmente surgem nas regiões equatoriais e tropicais nas latitudes $\pm 20^\circ$, entre março e abril e entre setembro e outubro, sendo mais frequentes após o pôr do sol (MEYER et al., 2016).

Segundo Roth et al. (2012), a principal consequência desse efeito na imagem SAR é a degradação da sua qualidade que pode dificultar a identificação e a interpretabilidade dos alvos investigados. Uma alternativa, a fim de minimizar esses efeitos e, conseqüentemente, viabilizar a sua utilização, é aplicar a técnica de filtragem espectral na imagem SAR.

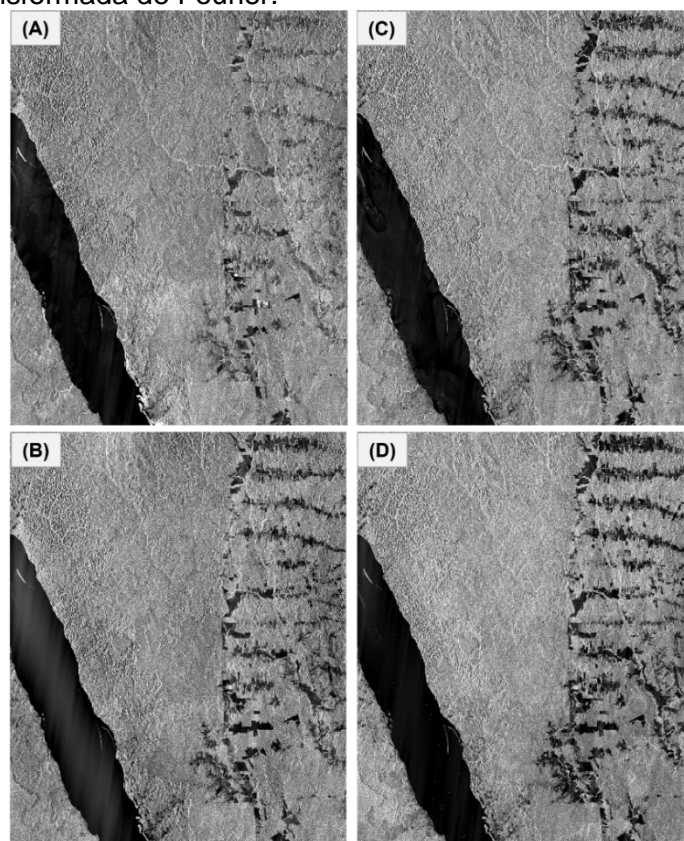
Nesse contexto, tendo como base a filtragem SAR para reduzir o aspecto de listras nas duas imagens ALOS/PALSAR-2, foram realizados os seguintes procedimentos: no *software* SNAP v.8.0, foi aplicado, nas imagens, o processamento *multilook* com um tamanho de janela de 1 x 2 pixels. Em seguida, foram aplicados os filtros com o intuito de reduzir o ruído *speckle*. Os filtros e os parâmetros utilizados foram os mesmos descritos na Subseção 3.3.1.1. Posteriormente, foi realizada a calibração radiométrica das imagens, obtendo-se então, os σ° na medida de potência em m^2/m^2 .

Em uma segunda etapa, para reduzir as listras das imagens já calibradas para σ° , elas foram importadas para o *software Environment for Visualizing Images* (ENVI) utilizando um programa desenvolvido em *Interactive Data Language* (IDL) versão 5.4, e filtradas no domínio da frequência. Essa técnica consiste basicamente em três etapas:

- (A) As imagens SAR foram transformadas do domínio espacial para o domínio da frequência (espectro bidimensional) utilizando a técnica de transformada discreta de Fourier;
- (B) As imagens já no domínio de Fourier (frequência) foram convoluídas com o filtro rejeita-faixa (*stop band*). Em síntese, esse filtro permite eliminar frequências constituintes da imagem. Dessa forma, foi definida a faixa de filtragem na imagem no domínio da frequência, analisando a orientação das faixas espectrais. Esse procedimento possibilitou remover e/ou reduzir os ruídos das imagens, isto é, as listras.

(C) Sequencialmente, foi realizado o processo inverso da transformada de Fourier, onde as imagens no domínio da frequência retornaram ao domínio espacial, isto é, as imagens SAR foram recuperadas, removendo o ruído indesejado e com preservação da resolução das imagens (Figura 3.8).

Figura 3.8: Listras removidas das imagens do satélite ALOS/PALSAR-2, através da transformada de Fourier.



Imagens sem a presença das listras, sendo que (A) e (B) correspondem, respectivamente, às imagens em amplitude nas polarizações HH e HV, obtidas em 05/02/2017; e (C) e (D) correspondem, respectivamente, às imagens em amplitude nas polarizações HH e HV, obtidas em 12/11/2017.

Após reduzir o aspecto de listras nas imagens, elas foram importadas novamente para o ambiente SNAP, onde foi realizada a correção do terreno. Após essa etapa, foram realizadas as álgebras matemáticas a partir do $\sigma^{\circ}HH$ e $\sigma^{\circ}HV$, que possibilitou extrair os índices e razões, bem como as matrizes GLCM, utilizando-se os mesmos parâmetros de pré-processamento adotados para as demais imagens ALOS2. Como última etapa, foi realizado o corregristo das imagens, obtendo-se um tamanho de pixel final de 8,24 metros.

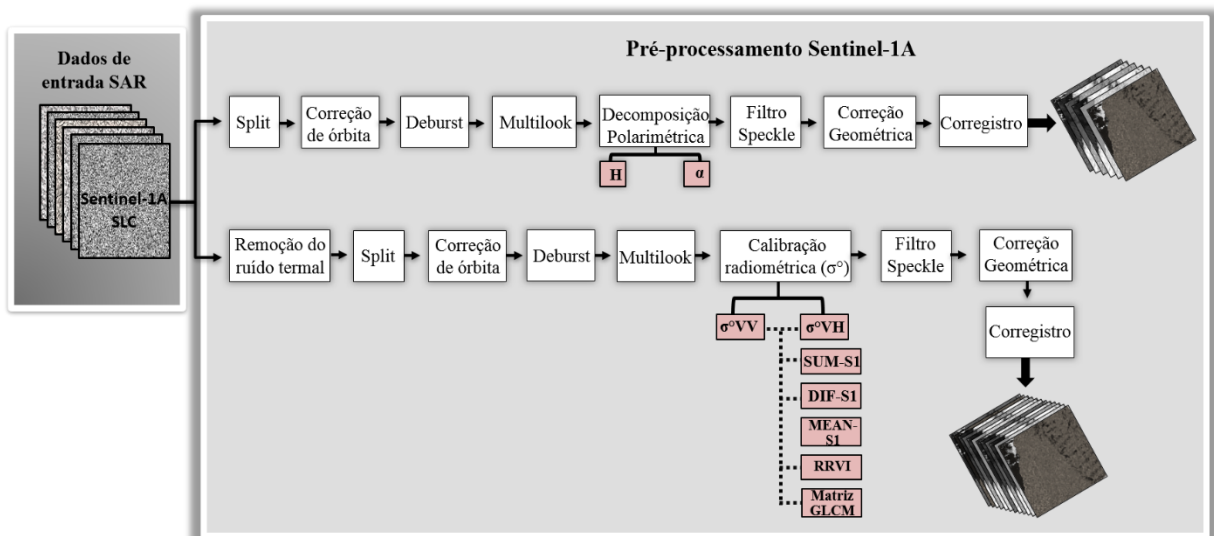
A metodologia aqui empregada para remoção dos efeitos ionosféricos é uma réplica dos procedimentos utilizados por Gama et al. (2022) que também utilizaram as imagens ALOS2 na área da FNT com esse mesmo objetivo. O passo a passo detalhado sobre a metodologia adotada pode ser acessado em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/4/962/htm>.

Ainda no que se refere aos dados complexos SLC (informação de fase e amplitude), no processamento da decomposição H- α o aspecto de listras não foi observado ao longo das duas imagens. Nesse contexto, as etapas de pré-processamento realizadas para extrair os atributos polarimétricos foram as mesmas das utilizadas nas demais imagens ALOS2.

3.3.1.2 Sentinel-1A

As etapas de pré-processamento realizadas para as imagens Sentinel-1A estão representadas na Figura 3.9.

Figura 3.9: Procedimentos metodológicos adotados no pré-processamento das imagens do Sentinel-1A.



Como fase inicial do pré-processamento, com o intuito de gerar os valores de σ^o , foi realizada a remoção do ruído termal das imagens SLC do Sentinel-1A (S1A). Essa etapa consiste em reduzir os efeitos dos ruídos térmicos presentes nas imagens do Sentinel-1 (FILIPPONI, 2019). Sequencialmente foi realizada a operação *split*, que dividiu a imagem em três subfaixas, denominadas de IW1, IW2 e IW3. Para esta pesquisa, foi selecionada somente a subfaixa IW1 e todas

as nove faixas denominadas de *burst* que às compõem. Esses nove *bursts* abrangem todas as áreas de estudo. Em seguida, foi aplicada a correção de órbita. Esse procedimento permite atualizar automaticamente informações sobre a órbita de cada cena do S1, fornecendo informações precisas sobre a posição e velocidade do satélite (FILIPPONI, 2019).

Na etapa posterior, foi aplicado o *deburst*. Esta operação consiste em gerar uma imagem contínua a partir da junção dos *burst*, sendo as subfaixas reamostradas para uma grade de espaçamento de pixel comum em *range* e azimuth, preservando as informações de fase (ABBA et al., 2019). Sequencialmente, foi aplicada nas imagens a técnica *multilook* com janela de 3 pixels em *range* e de 1 pixel em azimuth, uma vez que a resolução em *range* é de 4,18 m e de 14,05 m em azimuth. Foi realizada ainda a calibração radiométrica das imagens, obtendo-se os coeficientes σ° também na medida de potência em m^2/m^2 . A calibração radiométrica das imagens do Sentinel-1 com nível de processamento 1 é calculada a partir da Equação 3.2:

$$\sigma^{\circ}_i = \frac{|ND_i|^2}{A_i^2} \quad (3.2)$$

Onde: σ°_i corresponde ao valor de retroespalhamento por unidade de área no alcance do terreno; ND corresponde o número digital de cada pixel da imagem; e A_i é o valor do coeficiente de calibração.

Na etapa seguinte, com as imagens já calibradas, foram aplicados os filtros *Boxcar*, Mediana, Frost, Gamma Map e Lee, com tamanhos de janelas de 3x3 pixels, 5x5 pixels e 7x7 pixels. Quatro imagens com diferentes datas, nas polarizações VV e VH foram utilizadas para aplicar os testes de filtragem do *speckle*. Nos dias das aquisições das quatro imagens, a precipitação pluviométrica nas áreas de estudo foi igual a 0 mm.

Após aplicar os testes dos filtros, foi realizada a correção geométrica do terreno. O MDE de referência utilizado foi o SRTM – 1 sec, com o método de reamostragem do vizinho mais próximo. O sistema de projeção cartográfica utilizado foi o WGS 84, *datum* SIRGAS2000 e fuso 21 S. Na sequência, foram

geradas as álgebras matemáticas a partir das polarizações VV e VH dos σ° , que possibilitaram extrair os índices e razões do S1A (Tabela 2.2).

A partir dos valores de σ° já pré-processados, foram geradas ainda as matrizes GLCM na polarização VH, possibilitando extrair as medidas de Contraste, Energia e Máxima Probabilidade. O tamanho da janela das matrizes foi de 5x5 pixels em todas as direções angulares, no modo quantizador probabilístico com um nível de quantização de 32 bits e deslocamento de valor 2 entre pixels. Os parâmetros adotados para gerar as matrizes GLCM nas imagens S1A foram os mesmos aplicados para gerar as matrizes das imagens ALOS2.

Simultaneamente ao pré-processamento do σ° VV, σ° VH, dos índices, razões e álgebras, também foram extraídos os atributos polarimétricos provenientes das imagens SLC do S1A. Inicialmente foi realizado o *split* de cada imagem, sendo selecionada somente a subfaixa IW1 e todas as nove faixas que a compõem. Em seguida, foram realizadas as operações de correção de órbita, *deburst* e processamento *multilook*. O tamanho da janela *multilook* selecionado foi o de 3 pixels em *range* e de 1 pixel em azimute, sendo este o mesmo valor adotado no pré-processamento dos σ° das imagens S1A.

Na etapa seguinte, foi realizada a decomposição de alvos H- α , obtendo-se os atributos entropia (H-S1) e ângulo alfa (α -S1). Para as operações posteriores como aplicação do filtro *speckle*, correção geométrica e projeção cartográfica, os valores dos parâmetros adotados foram os mesmos utilizados nos σ° das imagens S1A. No último procedimento da etapa de pré-processamento, os índices, razões, álgebras, canais de polarização e atributos polarimétricos foram corrigidos, obtendo-se um tamanho de pixel final de 15,88 m para os produtos georreferenciados, derivados das imagens S1A.

3.3.2 Seleção das amostras

A seleção de amostras para todas as áreas de estudo analisadas (UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018) foi realizada a partir do conjunto amostral de pontos de corte seletivo, previamente tratados e georreferenciados, conforme descrito na Subseção 3.2.2. Esse procedimento de seleção das amostras foi adotado devido às distorções geométricas presentes nas imagens SAR, pois, quando não

observadas, podem comprometer posteriores análises e interpretações de resultados.

Tais distorções são decorrentes ao modo de imageamento oblíquo, i.e., imageamento de visada lateral dos radares, sendo os seus efeitos típicos nas imagens são o: sombreamento, encurtamento de rampa (*foreshortening*) e inversão de relevo (*layover*) (RICHARDS, 2009). A etapa de correção do terreno realizada no pré-processamento das imagens SAR auxilia na redução desses efeitos, entretanto, eles são intrínsecos ao processo de aquisição das imagens.

Desse modo, a partir da sobreposição de uma das imagens ALOS2 pré-processadas e adquirida em 18/10/2015 e dos pontos amostrais de corte seletivo de todas as UPAs, foi realizada uma análise visual em todas as áreas sob investigação. Esse procedimento propiciou remover amostras possivelmente inseridas em áreas sob o efeito de sombreamento do relevo, indicando que a superfície do solo não foi iluminada pelo sistema.

Além do efeito de sombreamento, observou-se também o encurtamento de rampa. Esse efeito resulta em uma aparência relativamente mais brilhante dessas feições. Comumente esse efeito é associado às áreas de declive ou encostas muito íngremes. O *software* QGIS, versão 3.16.10, foi utilizado como interface para realizar a interpretação visual e remoção das amostras.

A Tabela 3.5 apresenta o total de amostras obtidas junto à Coomflona, nas quais foram tratadas. O total de amostras removidas após interpretação visual e o total de amostras utilizadas nas análises de detecção a partir dos dados ALOS2 e S1A, em todas as UPAs. É importante ressaltar que todas as amostras estão no formato vetorial (na extensão *shapefile*).

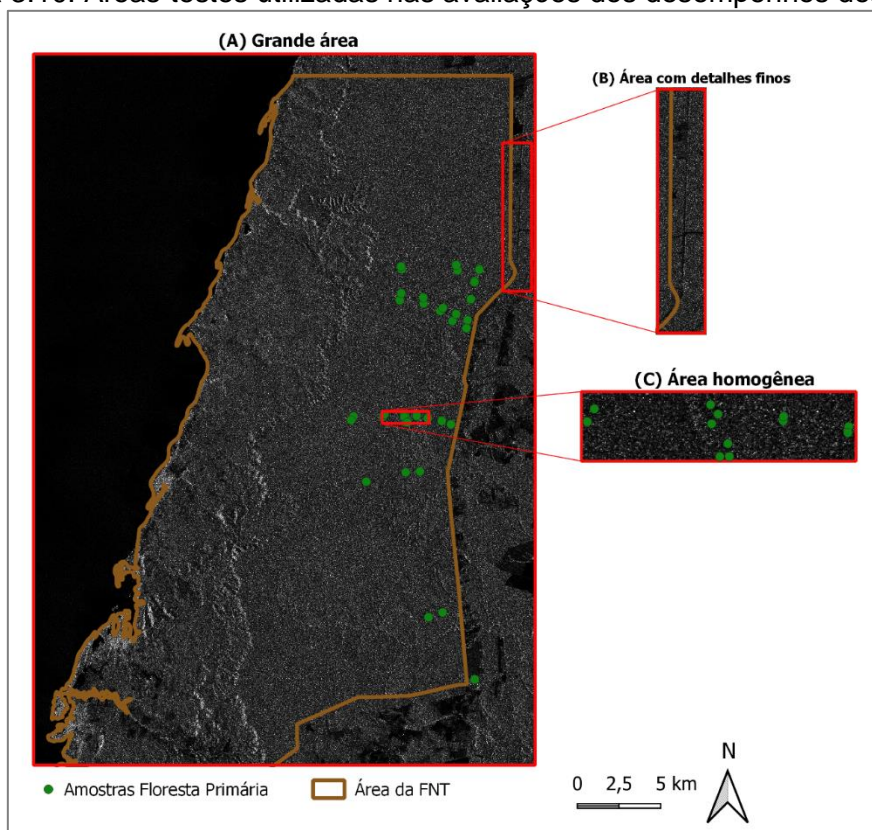
Tabela 3.5: Amostras de corte seletivo para cada Unidade de Produção Anual (UPA).

UPA/Ano	Total de amostras obtidas junto a Coomflona	Total de amostras removidas	Total de amostras selecionadas
UPA 2015	3.672	23	3.649
UPA 2016	1.231	104	1.127
UPA 2017	1.213	110	1.103
UPA 2018	939	72	867

3.3.3 Métodos de avaliação do desempenho dos filtros

Com o intuito de definir o melhor filtro e o tamanho de janela de filtragem a ser utilizado nas imagens SAR, foi realizada uma avaliação quantitativa e qualitativa do desempenho de cada filtro, considerando os diferentes tamanhos de janela (3x3, 5x5 e 7x7 pixels). Alguns índices e métricas, além da análise visual, foram aplicados para essa avaliação. A escolha deles foi baseada nos critérios de: preservação de bordas das feições, redução do *speckle* em todas as áreas analisadas, redução do *speckle* especificamente em áreas homogêneas e, preservação da integridade de detalhes finos. Na Figura 3.10, são apresentadas as áreas em que foram aplicados os testes de filtragem.

Figura 3.10: Áreas-testes utilizadas nas avaliações dos desempenhos dos filtros.



(A) Grande área que recobre porções da FNT; (B) Área com feições caracterizadas por geometrias com detalhes finos como linhas e bordas; e (C) Área homogênea constituída por floresta primária intacta. A imagem foi adquirida pelo satélite ALOS-2, sem aplicação de filtragem espacial, na polarização HH em 05/10/2014.

Os índices e métricas selecionados foram: raiz do erro quadrático médio (*root mean square error* – RMSE), coeficiente de variação (CV), coeficiente de correlação de Pearson (CCP), índice de supressão do *speckle* (ISS) e índice de

medida de similaridade estrutural (IMSE). A RMSE é uma métrica comumente utilizada que objetiva medir a retenção de radiação entre as imagens sem ruídos e as com ruídos. Isso possibilita mensurar as diferenças entre o valor previsto por um estimador e o valor real, avaliando a magnitude do erro. O valor de RMSE é obtido pela Equação 3.3:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M * N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2} \quad (3.3)$$

Onde: M e N representam, respectivamente, a largura e altura das imagens; i e j são, respectivamente, os pixels da linha e coluna das imagens; I é a imagem filtrada; e K é a imagem original. O valor ideal de RMSE é 0, o que corresponde ao esperado de retenção de radiação (ZHANG et al., 2019).

O coeficiente de variação, obtido através da razão entre o desvio-padrão e a média (Equação 3.4) é utilizado principalmente para identificar o nível de suavização de regiões homogêneas.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad (3.4)$$

Onde: s representa o desvio-padrão; e \bar{x} a média dos dados.

Espera-se que, em áreas homogêneas, o *speckle* permaneça constante, sendo determinado pela quantidade de ruídos na imagem. Valores baixos de CV, próximos de 0, indicam uma maior eficiência na redução do *speckle*.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é utilizado para determinar o quanto a imagem original e a imagem filtrada são relacionadas de forma linear (ASAMOH et al., 2018). Ele é calculado pela Equação 3.5:

$$Correlação (ij, i_1j_1) (r) = \frac{\sum_{i=1}^n (i_1 - i) (j_1 - j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (i_j - i)^2 \sum_{i=1}^n (j_1 - j)^2}} \quad (3.5)$$

Onde: i_1 é a intensidade da imagem sem filtro; j_1 é a intensidade da imagem com filtro; i é a intensidade média da imagem sem filtro; e j é a intensidade média da imagem filtrada.

Os valores são obtidos em uma escala de -1 e 1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa e, o valor indica a força da correlação, sendo que $r = 1$ indica que a correlação é perfeita e positiva entre as duas imagens (filtrada e não filtrada); $r = -1$ significa que a correção entre as duas imagens é perfeita e negativa, sendo que se o valor de uma das imagens aumentar, o da outra diminui; e $r = 0$ indica que as duas imagens não dependem linearmente uma da outra (SINGH; UMAMAHESWARI, 2017).

O índice de supressão do *speckle* (ISS) representa a relação entre a variância da imagem filtrada normalizada pela imagem original e é calculado a partir da Equação 3.6:

$$ISS = \frac{\sqrt{\text{variância}(I)}}{\text{média}(I)} * \frac{\text{média}(K)}{\sqrt{\text{variância}(K)}} \quad (3.6)$$

Onde: I é a imagem filtrada; e K é a imagem original.

A imagem filtrada, quando comparada com a imagem original, i.e., a imagem ruidosa, tende a apresentar uma menor variância, pois os ruídos foram reduzidos no processo de filtragem (DASARI et al., 2015). Os valores de ISS geralmente são menores que 1. Quanto menor o valor desse índice, maior será a sua capacidade de reduzir o ruído *speckle*.

Por fim, o índice de medida de similaridade estrutural (IMSE) é utilizado para medir a similaridade entre duas imagens, objetivando a preservação das bordas pelo filtro testado (Equação 3.7). A escala de valores varia entre 1 e -1, sendo que o valor ideal é 1, que corresponde a um alto nível de preservação de bordas (WANG et al., 2004).

$$IMSE = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (3.7)$$

Onde: μ_x é a média de x ; μ_y é a média de y ; σ_x^2 é a variância de x ; σ_y^2 é a variância de y ; σ_{xy} é a variância de x e y ; $C_1 = K_1 L^2$, $C_2 = K_2 L^2$ sendo duas variáveis para estabilizar a divisão com denominador fraco; L representa o intervalo dinâmico dos valores dos pixels (tipicamente $2^{\text{bit por pixel}} - 1$); e $K_1 = 0,01$ e $K_2 = 0,03$ por padrão.

Em síntese, cada índice e métrica supracitados tem um objetivo de avaliação específico, sendo que os resultados obtidos a partir dessas medidas podem ser contraditórios (*trade-off*). O uso de diversos critérios pode auxiliar na avaliação do desempenho de um filtro com base em sua capacidade de gerar uma compensação ideal entre os diferentes objetivos (DASARI et al., 2015).

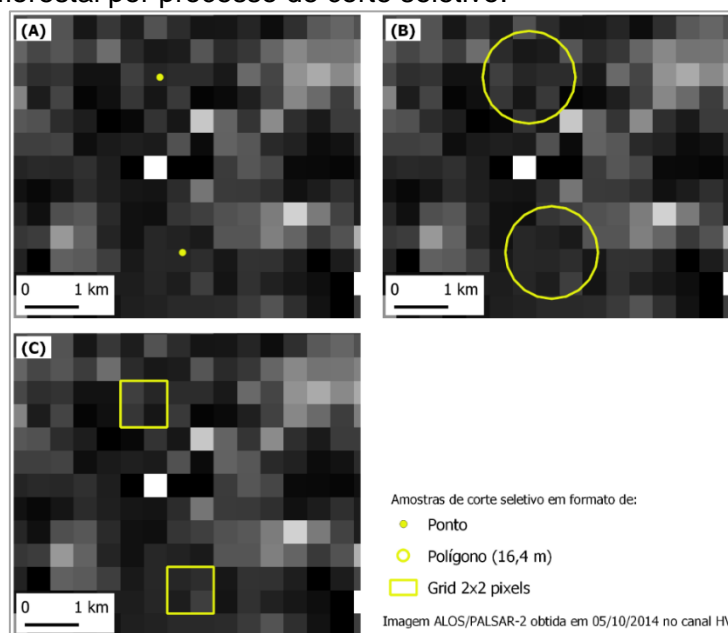
Os índices e métricas supracitados estão disponíveis no MATLAB R2014a (*MATrix LABoratory*), exceto o ISS que foi implementado no *software* R versão 1.7.3.

3.3.4 Abordagens metodológicas para detecção de perda de volume

Para verificar a hipótese da perda de volume na vegetação decorrente da degradação por processos de corte seletivo para ambos os sistemas sensores, foram realizados testes metodológicos considerando as seguintes abordagens:

(A) Pixel a pixel: nessa abordagem, cada amostra de corte seletivo, em formato de ponto, corresponde a um pixel nas imagens SAR (Figura 3.11 - A). Nas imagens ALOS2, um pixel com resolução espacial de 8,24 m corresponde a uma área total de 67,90 m². Já nas imagens S1A, um pixel com resolução espacial de 15,88 m representa a uma área total de 252,17 m², sendo essas consideradas as menores áreas totais possíveis de serem imageadas pelos sistemas. A principal suposição é uma alteração no valor de cada pixel investigado. Antes da realização do corte seletivo, o pixel correspondente à vegetação inalterada tem um determinado valor associado e, após a exploração seletiva, espera-se que o respectivo pixel apresente outro valor associado, uma vez que árvores foram derrubadas e atividades madeireiras adjacentes foram realizadas.

Figura 3.11: Abordagens metodológicas testadas para detectar perdas de volume florestal por processo de corte seletivo.



Exemplo de amostras de cortes seletivos representadas nas três abordagens testadas: (A) pixel a pixel; (B) polígono; e (C) *grid* em uma porção da imagem do satélite ALOS/PALSAR-2.

(B) Polígono: cada ponto de corte seletivo foi convertido em polígono através da ferramenta *buffer*⁶, disponível no *software* QGIS. Para as imagens ALOS2, foram consideradas duas áreas de *buffers* com distâncias fixas de 16,48 m e 24,72 m, que correspondem, respectivamente, a uma área total de 838,88 m² e 1887,50 m². Já para as imagens S1A, a distância fixa considerada foi de 31,76 m, que equivale a uma área total de 3.116 m². As definições dos tamanhos de *buffer* foram baseadas na pesquisa de Wiederkehr et al. (2020) que testaram diferentes tamanhos, objetivando mapear diferentes classes de uso e cobertura da terra na região da FNT, dentre elas, a floresta primária com extração seletiva de madeira. É importante ressaltar que, dependendo da posição do centroide dos polígonos, cada um deles pode abranger uma quantidade diferente de pixels. O tamanho do polígono é fixo, ou seja, é o mesmo para todos, entretanto, a quantidade de pixels inseridos na área de cada polígono pode ser diferente (Figura 3.11 B).

⁶ A ferramenta *Buffer* também denominada em português de zona de amortecimento, cria áreas ao redor das feições de formato ponto, a partir da camada de entrada considerando uma distância especificada.

Após gerar cada polígono de corte seletivo, foi possível extrair o valor médio dos respectivos pixels que o compõem. Neste sentido, a abordagem por polígono possibilita atenuar o efeito *speckle* nas imagens analisadas. A pressuposição nessa abordagem é que um mesmo polígono analisado em dois períodos diferentes, antes e depois da extração seletiva, tenderá a exibir diferentes valores associados e que a área entorno da árvore derrubada que também está inserida no polígono, será influenciada pelas perturbações causadas pelas atividades madeireiras. Esses distúrbios florestais no entorno, além dos pixels onde as árvores foram removidas, resultam em aberturas no dossel florestal, trilhas de arraste, pátios de estocagem, estradas vicinais, etc.

(C) *Grid*: inicialmente foi criada uma grade do tipo retangular no formato vetorial. As dimensões da imagem ALOS2 serviram como referências para cobrir toda a extensão da grade. Já para estabelecer o melhor tamanho dessa grade, foram realizados testes empíricos, considerando, para ambos os espaçamentos horizontal e vertical, o tamanho de 16,48 m. Neste sentido, cada quadrícula que compõem a grade é representada por 4 pixels, que são também denominados de *grid* de 2x2 pixels (Figura 3.11 C). O *grid* de 2x2 pixels representa uma área total de 271,60 m². Uma segunda grade também foi criada, considerando o tamanho entre os espaçamentos (horizontal e vertical) de 24,72 m. Assim, cada quadrícula representa 9 pixels (*grid* de 3x3 pixels) nas imagens ALOS2, equivalendo a uma área total de 611,10 m².

Os mesmos procedimentos supracitados foram empregados para criar a grade regular utilizada com as imagens S1A. As dimensões da imagem S1A foram utilizadas como referências para cobrir a extensão das grades. O tamanho entre os espaçamentos na horizontal e vertical foi de 31,76 m. Cada quadrícula corresponde a um total de 4 pixels das imagens S1A, representando uma área total de 963,22 m².

O sistema de projeção cartográfica utilizado para as grades ALOS2 e S1A foi o UTM, *datum* SIRGAS2000 e fuso 21 S, o mesmo sistema empregado para as imagens SAR e para as amostras de corte seletivo das UPAs e do grupo de controle.

Após a criação das grades, elas foram sobrepostas às imagens pré-processadas do ALOS2 e S1A a fim de verificar se a posição de cada quadrícula estava visualmente em perfeito alinhamento com os pixels das imagens. Após essa constatação, foi utilizada a ferramenta de seleção por localização. Essa ferramenta possibilita criar uma seleção de feições baseada na relação espacial entre cada feição investigada. Neste sentido, tendo como base a seleção dos pontos amostrais de corte seletivo, buscou-se localizar espacialmente todas as quadrículas das grades que interseccionavam com os pontos de corte seletivos. Como resultado desse procedimento, obteve-se a seleção somente das quadrículas correspondentes aos pontos de cortes seletivos.

A partir dessas quadrículas nas quais representam as amostras de corte seletivo, juntamente com os atributos derivados das imagens SAR, foi possível extrair os respectivos valores médios dos pixels. Essa abordagem, assim como por polígono, possibilita reduzir o efeito *speckle* nas imagens SAR. Entretanto, um aspecto importante na abordagem por grade é que a quantidade de pixels por quadrícula é regular, isto é, cada quadrícula é composta por um número igual de pixels, diferentemente da abordagem por polígono que dependendo da posição do centroide dos polígonos, cada um deles poderá abranger uma quantidade diferente de pixels.

Nesse contexto, na abordagem por *grid*, os valores dos pixels que compõem as quadrículas de tamanhos regulares tendem a ser mais homogêneos. A pressuposição nessa abordagem por grade é que, devido ao seu tamanho regular de pixels, uma mesma quadrícula analisada antes e depois do corte seletivo, tende a exibir uma diferença entre valores das amostras, sendo que a área entorno das árvores cortadas, que também está inserida na quadrícula, será influenciada pelas atividades madeireiras (clareiras no dossel, trilhas, pátios e estradas).

É importante ressaltar que os mesmos procedimentos metodológicos realizados para às amostras de corte seletivo de cada UPA, isto é a transformação dos pontos amostrais de campo para polígonos e *grids*, também foram reproduzidos para as amostras do grupo de controle.

3.3.5 Testes estatísticos para validação dos resultados

Para validar os resultados obtidos da detecção de perda de volume florestal, foram aplicados alguns testes estatísticos. Em um primeiro momento, com o intuito de verificar se os conjuntos de dados seguiam ou não à distribuição normal/gaussiana, foi empregado o teste de normalidade. O teste de normalidade é considerado essencial para realizar uma adequada descrição das amostras e suas análises inferenciais (NORMAN; STREINER, 2014).

Existem diversos testes estatísticos que verificam o ajuste dos dados à distribuição normal, dentre eles, o de Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967) e Jarque-Bera (1980), que foram aplicados nesta pesquisa.

Para empregar os testes de normalidade, foram utilizadas as amostras de corte seletivo (Tabela 3.5), analisadas segundo os atributos extraídos das imagens bitemporais do ALOS2 (Tabela 2.1) e S1A (Tabela 2.2), correspondentes ao período anterior e posterior à exploração seletiva. Os testes estatísticos pressupõem, como hipótese de nulidade H_0 , que os dados seguem uma distribuição normal, contra a hipótese alternativa H_1 , da qual os dados não se aderem à distribuição normal. Como resultado, retorna-se um valor-p que deve ser comparado com o nível de significância adotado. Para essa pesquisa, o nível nominal de significância (α) pré-definido foi de 0,05. Neste sentido, caso o valor-p for menor ou igual a $\alpha = 0,05$, deve-se rejeitar a hipótese H_0 e aceitar a hipótese alternativa H_1 .

Os testes de normalidade, além de serem realizados para o conjunto de dados composto pelas amostras de corte seletivo e pelos atributos extraídos das imagens ALOS2 e S1A, também foram empregados para conjunto de dados formado pelas amostras de floresta não perturbada e não degradada do grupo de controle, conforme descrito na Seção 3.2.3.

Após aplicar os testes de normalidade nos dados, verificou-se que eles não seguiram distribuição normal (mais detalhes são apresentados na Seção de Resultados - 4.5). Uma alternativa para lidar com esse tipo de dado foi aplicar testes não paramétricos no qual não fazem pressuposições sobre as

distribuições de probabilidades. Nesse contexto, em um segundo momento, foi aplicado o teste estatístico não paramétrico de Wilcoxon (1945). Este teste é o mais indicado para avaliar se as diferenças detectadas no volume florestal são significativamente diferentes. Neste caso, como são dois períodos, nos quais são utilizadas as mesmas amostras de corte seletivo, os valores avaliados nos testes são considerados do tipo pareados. O teste de Wilcoxon tem, como hipótese nula H_0 , que as duas amostras seguem a mesma distribuição de probabilidade e, como hipótese alternativa H_1 , que as distribuições das duas amostras são diferentes. Como resultado do teste de Wilcoxon, retorna-se um valor-p, no qual foi comparado com o nível de significância adotado de 0,05.

Nesse sentido, para validar que as diferenças detectadas no volume florestal das amostras de campo são realmente significativas, i.e., que existe uma diferença entre os valores de antes e depois do distúrbio florestal, a um nível de significância de 0,05, espera-se rejeitar a hipótese H_0 e aceitar a hipótese H_1 . Por outro lado, para o grupo de controle, espera-se aceitar a hipótese H_0 e rejeitar a hipótese H_1 , uma vez que, teoricamente, não houve distúrbios florestais nas áreas de controle, conseqüentemente, as amostras seguem a mesma distribuição de probabilidade.

Além do valor-p, os gráficos do tipo *boxplot* também foram utilizados para auxiliar nas análises discriminatórias das informações radiométricas das amostras de corte seletivo e as amostras do grupo de controle analisadas sob os atributos derivados dos satélites ALOS2 e S1. Esses gráficos fornecem informações sobre as distribuições e os aspectos dos conjuntos de dados, possibilitando ainda, comparar graficamente as distribuições dos dados. Eles são formados pelo primeiro, segundo (mediana), terceiro quartil e valor máximo, i.e., valores discrepantes.

Por fim, como terceira etapa, foi realizada a análise exploratória dos atributos por meio de teste de correlação a fim de verificar se os atributos são correlacionados ou se eles são independentes. Os atributos selecionados foram aqueles extraídos das imagens ALOS2 e S1A que apresentaram sensibilidade para detectar perdas de volume florestal por processos de corte seletivo. Como os

dados não demonstraram aderência à distribuição normal, foi utilizado o teste não paramétrico de coeficiente de correlação de Spearman, com nível de significância de 0,05.

O teste de coeficiente de correlação de Spearman (r_s) gera valores numa escala de -1 até +1. Coeficientes positivos ($r_s > 0$), indicam correlação direta entre os atributos. Em geral, demonstra o crescimento ou decréscimo concomitante dos atributos considerados; $r_s = 1$, indicam uma perfeita e positiva correlação entre os atributos; coeficientes negativos ($r_s < 0$), indica uma correlação inversa, de modo geral, demonstrando que, à medida que os valores de um dos atributos aumenta, os valores do outro atributo diminui, e vice-versa; $r_s = -1$ indica uma perfeita e negativa correlação; já $r_s = 0$ significa que os atributos em geral são independentes e não estão relacionados (WINTER et al., 2016). Para as análises dos resultados dos testes de correlação de Spearman, foi utilizada a classificação de Dancey e Reidy (2005), sendo considerado correlação forte quando $r_s = 0,7$ a $1,0$; moderado, quando $r_s = 0,4$ a $0,6$; e fraco quando $r_s = 0,1$ a $0,3$. Para realizar todos os testes supracitados, foi utilizado o suplemento denominado de XLSTAT (versão gratuita), disponível no pacote Excel.

4. RESULTADOS

4.1 Avaliação do desempenho dos filtros aplicados nas imagens do satélite ALOS-2

Nas Subseções 4.1.1 e 4.1.2, são apresentados os resultados do desempenho dos filtros e dos tamanhos de janelas de filtragem aplicados nas imagens ALOS2 de forma quantitativa, através de índices avaliativos e, de forma qualitativa, através da análise visual.

4.1.1 Avaliação quantitativa do desempenho dos filtros nas imagens do satélite ALOS-2

Os filtros *Boxcar*, Mediana, Frost com o parâmetro *damping factor* (DF) igual a 1, 2 e 3, Gamma Map e Lee, aplicados em quatro imagens ALOS2 nas polarizações HH e HV com janelas de filtragem de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels, foram avaliados pelos índices *root mean square error* (RMSE), coeficiente de variação (CV), coeficiente de correlação de Pearson (CCP), índice de supressão do *speckle* (ISS) e índice de medida de similaridade estrutural (IMSE). Cada filtro, nos diferentes tamanhos de janelas, foi avaliado de acordo com o seu desempenho em atenuar o ruído *speckle* e preservar a integridade de detalhes finos e as bordas das feições.

No que concerne aos filtros com janela de 3x3 pixels na polarização HH (Tabela 4.1), os desempenhos mais altos obtidos pelos índices RMSE e IMSE foram atribuídos ao filtro Frost nos três valores de DF testados. Já para os índices CV, CCP e ISS, os desempenhos mais altos foram atribuídos aos filtros *Boxcar* e Mediana. Na Tabela 4.1, é observado ainda que há uma inversão entre os desempenhos dos índices para os três filtros considerados, sendo que nos índices RMSE e IMSE, os filtros *Boxcar* e Mediana apresentaram os desempenhos mais baixos. Por sua vez, nos índices CV, CCP e ISS, foi o filtro Frost que exibiu o mais baixo potencial.

Na Tabela 4.2, é apresentado o desempenho dos filtros também na janela 3x3 pixels, mas considerando a polarização HV. Observa-se que, nos índices RMSE e IMSE, o filtro Frost também exibiu os mais altos potenciais: média de RMSE

de 0,025 para DF = 3; 0,032 para DF = 2; e 0,041 para DF = 1; e, a média de IMSE de 0,893 para DF = 3; 0,822 para DF = 2; e 0,719 para DF = 1. Nos índices CV, CCP e ISS, o mais alto desempenho também foi obtido pelo filtro *Boxcar*, sendo a média de CV igual a 0,417; média de CCP de 0,543; e média ISS de 0,650. Entretanto, diferentemente da polarização HH, na polarização HV o filtro Mediana não exibiu um alto desempenho nos índices CV e ISS, com uma média de valores de 0,481 em CV e de 0,683 em ISS.

Tabela 4.1: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost			Gamma M.	Lee
					DF = 1	DF = 2	DF = 3		
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,151	0,163	0,127	0,099	0,077	0,145	0,142
	2075707120 (18/10/2015)		0,151	0,163	0,126	0,098	0,075	0,145	0,143
	2086057130 (27/12/2015)		0,191	0,209	0,148	0,108	0,081	0,187	0,185
	2092267130 (07/02/2016)		0,251	0,277	0,188	0,133	0,097	0,246	0,244
	média		0,186	0,203	0,147	0,110	0,082	0,181	0,179
CV	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,417	0,475	0,452	0,563	0,679	0,466	0,453
	2075707120 (18/10/2015)		0,400	0,460	0,434	0,541	0,654	0,451	0,436
	2086057130 (27/12/2015)		0,393	0,455	0,425	0,523	0,630	0,447	0,428
	2092267130 (07/02/2016)		0,407	0,473	0,441	0,543	0,652	0,453	0,440
	média		0,404	0,466	0,438	0,542	0,654	0,454	0,439
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,531	0,457	0,743	0,861	0,920	0,644	0,670
	2075707120 (18/10/2015)		0,531	0,469	0,724	0,856	0,918	0,612	0,643
	2086057130 (27/12/2015)		0,632	0,493	0,861	0,934	0,961	0,736	0,745
	2092267130 (07/02/2016)		0,566	0,433	0,813	0,901	0,943	0,717	0,750
	média		0,565	0,463	0,785	0,888	0,936	0,677	0,702
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,626	0,643	0,651	0,724	0,801	0,640	0,637
	2075707120 (18/10/2015)		0,622	0,632	0,650	0,731	0,808	0,636	0,636
	2086057130 (27/12/2015)		0,617	0,573	0,624	0,773	0,854	0,629	0,624
	2092267130 (07/02/2016)		0,620	0,545	0,666	0,785	0,869	0,631	0,625
	média		0,621	0,598	0,648	0,753	0,833	0,634	0,631
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,461	0,418	0,592	0,741	0,849	0,494	0,506
	2075707120 (18/10/2015)		0,454	0,411	0,586	0,736	0,845	0,488	0,500
	2086057130 (27/12/2015)		0,460	0,418	0,590	0,738	0,846	0,490	0,500
	2092267130 (07/02/2016)		0,436	0,418	0,571	0,725	0,838	0,466	0,478
	média		0,453	0,416	0,585	0,735	0,845	0,484	0,496

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.2: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Frost					Gamma M.	Lee
			Boxcar	Mediana	DF = 1	DF = 2	DF = 3		
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,048	0,051	0,041	0,033	0,025	0,046	0,045
	2075707120 (18/10/2015)		0,047	0,050	0,040	0,032	0,025	0,045	0,044
	2086057130 (27/12/2015)		0,046	0,049	0,040	0,032	0,025	0,044	0,044
	2092267130 (07/02/2016)		0,049	0,052	0,042	0,033	0,026	0,047	0,046
	média		0,047	0,051	0,041	0,032	0,025	0,046	0,045
CV	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,425	0,491	0,461	0,568	0,679	0,480	0,460
	2075707120 (18/10/2015)		0,414	0,481	0,444	0,545	0,654	0,455	0,444
	2086057130 (27/12/2015)		0,415	0,480	0,452	0,557	0,666	0,466	0,451
	2092267130 (07/02/2016)		0,412	0,475	0,443	0,542	0,651	0,448	0,443
	média		0,417	0,482	0,450	0,553	0,662	0,462	0,449
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,539	0,477	0,721	0,918	0,918	0,612	0,642
	2075707120 (18/10/2015)		0,540	0,480	0,722	0,854	0,917	0,615	0,646
	2086057130 (27/12/2015)		0,544	0,485	0,720	0,853	0,917	0,613	0,642
	2092267130 (07/02/2016)		0,548	0,488	0,723	0,854	0,917	0,616	0,645
	média		0,543	0,483	0,721	0,870	0,917	0,614	0,644
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,647	0,680	0,665	0,726	0,797	0,662	0,658
	2075707120 (18/10/2015)		0,650	0,683	0,668	0,727	0,797	0,665	0,661
	2086057130 (27/12/2015)		0,651	0,684	0,669	0,727	0,797	0,666	0,662
	2092267130 (07/02/2016)		0,653	0,684	0,670	0,728	0,797	0,667	0,664
	média		0,650	0,683	0,668	0,727	0,797	0,665	0,661
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,625	0,593	0,717	0,822	0,894	0,648	0,658
	2075707120 (18/10/2015)		0,630	0,598	0,721	0,824	0,895	0,653	0,662
	2086057130 (27/12/2015)		0,633	0,602	0,723	0,824	0,895	0,656	0,666
	2092267130 (07/02/2016)		0,624	0,594	0,715	0,819	0,891	0,648	0,658
	média		0,628	0,597	0,719	0,822	0,893	0,651	0,661

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos pelos índices para os filtros de 5x5 e 7x7 pixels nas polarizações HH e HV, foram observados desempenhos similares aos obtidos pelo filtro de 3x3 pixels (Tabela 4.3 aTabela 4.6). O filtro Frost foi o que apresentou o mais alto potencial em atenuar o ruído *speckle* (índice RMSE) e preservar as bordas (IMSE), enquanto os filtros *Boxcar* e *Mediana* apresentaram os mais altos potenciais em suavizar as áreas homogêneas (CV), manter a integridade dos detalhes das feições (CCP) e reduzir o *speckle* (ISS). Contudo, o comportamento do filtro *Mediana* na polarização HV, considerando especificamente o índice ISS, distinguiu -se dos resultados obtidos pelos índices CV e CCP, apresentando valores intermediários (Tabela 4.2, Tabela 4.4 e Tabela 4.6). Por sua vez, os filtros *Gamma Map* e *Lee*, avaliados pelos cinco índices, apresentaram valores intermediários em ambas as polarizações e nos três tipos de janelas testados.

Tabela 4.3: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost			Gamma M.	Lee
					DF = 1	DF = 2	DF = 3		
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,163	0,173	0,137	0,105	0,076	0,156	0,153
	2075707120 (18/10/2015)		0,163	0,174	0,134	0,103	0,075	0,156	0,152
	2086057130 (27/12/2015)		0,212	0,231	0,149	0,108	0,078	0,203	0,199
	2092267130 (07/02/2016)		0,283	0,312	0,181	0,124	0,089	0,277	0,274
	média		0,205	0,223	0,150	0,110	0,080	0,198	0,194
CV	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,292	0,324	0,355	0,507	0,656	0,349	0,342
	2075707120 (18/10/2015)		0,277	0,313	0,340	0,487	0,632	0,334	0,321
	2086057130 (27/12/2015)		0,273	0,303	0,326	0,460	0,602	0,326	0,318
	2092267130 (07/02/2016)		0,284	0,321	0,342	0,486	0,632	0,343	0,327
	média		0,281	0,315	0,341	0,485	0,631	0,338	0,327
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,403	0,346	0,675	0,838	0,921	0,552	0,594
	2075707120 (18/10/2015)		0,408	0,359	0,659	0,833	0,918	0,503	0,546
	2086057130 (27/12/2015)		0,457	0,299	0,862	0,918	0,957	0,816	0,802
	2092267130 (07/02/2016)		0,434	0,331	0,782	0,881	0,940	0,689	0,697
	média		0,425	0,334	0,744	0,867	0,934	0,640	0,660
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,557	0,559	0,611	0,706	0,797	0,581	0,576
	2075707120 (18/10/2015)		0,552	0,542	0,618	0,719	0,806	0,578	0,572
	2086057130 (27/12/2015)		0,532	0,453	0,682	0,813	0,877	0,556	0,550
	2092267130 (07/02/2016)		0,527	0,400	0,712	0,854	0,910	0,540	0,536
	média		0,542	0,489	0,656	0,773	0,847	0,564	0,559
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,351	0,324	0,494	0,685	0,835	0,378	0,392
	2075707120 (18/10/2015)		0,344	0,318	0,487	0,679	0,830	0,373	0,387
	2086057130 (27/12/2015)		0,352	0,326	0,492	0,681	0,831	0,375	0,386
	2092267130 (07/02/2016)		0,323	0,297	0,469	0,665	0,821	0,346	0,358
	média		0,343	0,316	0,486	0,677	0,829	0,368	0,381

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.4: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost				
					DF = 1	DF = 2	DF = 3	Gamma M.	Lee
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,051	0,054	0,045	0,035	0,025	0,050	0,049
	2075707120 (18/10/2015)		0,050	0,053	0,044	0,034	0,025	0,049	0,048
	2086057130 (27/12/2015)		0,050	0,053	0,043	0,034	0,025	0,048	0,047
	2092267130 (07/02/2016)		0,052	0,055	0,046	0,036	0,026	0,051	0,050
	média		0,051	0,054	0,044	0,035	0,025	0,049	0,048
CV	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,300	0,336	0,366	0,514	0,660	0,369	0,349
	2075707120 (18/10/2015)		0,290	0,327	0,346	0,484	0,626	0,324	0,323
	2086057130 (27/12/2015)		0,290	0,323	0,350	0,496	0,641	0,347	0,342
	2092267130 (07/02/2016)		0,286	0,324	0,346	0,489	0,631	0,343	0,333
	média		0,291	0,327	0,352	0,496	0,640	0,346	0,337
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,420	0,379	0,658	0,835	0,920	0,509	0,559
	2075707120 (18/10/2015)		0,427	0,389	0,655	0,833	0,918	0,494	0,534
	2086057130 (27/12/2015)		0,431	0,395	0,652	0,831	0,917	0,509	0,556
	2092267130 (07/02/2016)		0,436	0,396	0,659	0,834	0,918	0,517	0,564
	média		0,429	0,390	0,656	0,833	0,918	0,507	0,553
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,594	0,606	0,616	0,694	0,785	0,600	0,598
	2075707120 (18/10/2015)		0,590	0,609	0,618	0,695	0,785	0,603	0,602
	2086057130 (27/12/2015)		0,593	0,611	0,620	0,695	0,783	0,605	0,604
	2092267130 (07/02/2016)		0,595	0,612	0,622	0,696	0,783	0,607	0,606
	média		0,593	0,610	0,619	0,695	0,784	0,604	0,603
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,548	0,529	0,651	0,786	0,888	0,569	0,580
	2075707120 (18/10/2015)		0,555	0,536	0,656	0,788	0,889	0,575	0,586
	2086057130 (27/12/2015)		0,560	0,541	0,658	0,788	0,888	0,579	0,590
	2092267130 (07/02/2016)		0,550	0,531	0,648	0,781	0,883	0,570	0,580
	média		0,553	0,534	0,653	0,786	0,887	0,573	0,584

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.5: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 7x7 pixels aplicados, nas imagens ALOS2 na polarização HH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Frost						Gamma M.	Lee
			Boxcar	Mediana	DF = 1	DF = 2	DF = 3			
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,169	0,178	0,139	0,104	0,072	0,160	0,156	
	2075707120 (18/10/2015)		0,170	0,179	0,136	0,102	0,070	0,159	0,155	
	2086057130 (27/12/2015)		0,222	0,237	0,144	0,106	0,074	0,207	0,202	
	2092267130 (07/02/2016)		0,299	0,322	0,167	0,121	0,084	0,289	0,280	
	média		0,215	0,229	0,147	0,108	0,075	0,204	0,198	
CV	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,219	0,242	0,307	0,489	0,660	0,275	0,275	
	2075707120 (18/10/2015)		0,207	0,236	0,293	0,471	0,636	0,263	0,258	
	2086057130 (27/12/2015)		0,209	0,230	0,279	0,438	0,598	0,254	0,255	
	2092267130 (07/02/2016)		0,215	0,244	0,294	0,467	0,634	0,268	0,262	
	média		0,213	0,238	0,293	0,466	0,632	0,265	0,263	
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,325	0,285	0,649	0,840	0,932	0,504	0,556	
	2075707120 (18/10/2015)		0,329	0,293	0,632	0,836	0,930	0,444	0,497	
	2086057130 (27/12/2015)		0,347	0,209	0,850	0,917	0,962	0,803	0,808	
	2092267130 (07/02/2016)		0,330	0,249	0,766	0,882	0,948	0,664	0,677	
	média		0,333	0,259	0,724	0,869	0,943	0,604	0,635	
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,522	0,520	0,603	0,707	0,804	0,567	0,552	
	2075707120 (18/10/2015)		0,515	0,502	0,619	0,723	0,814	0,568	0,549	
	2086057130 (27/12/2015)		0,4839	0,4162	0,7343	0,8286	0,8830	0,5466	0,5241	
	2092267130 (07/02/2016)		0,4689	0,3629	0,7865	0,8772	0,9170	0,4952	0,4954	
	média		0,4973	0,4504	0,6859	0,7839	0,8546	0,5441	0,5303	
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,3003	0,2853	0,4551	0,6783	0,8492	0,3259	0,3403	
	2075707120 (18/10/2015)		0,2942	0,2791	0,4483	0,6714	0,8439	0,3210	0,3359	
	2086057130 (27/12/2015)		0,3031	0,2886	0,4535	0,6725	0,8435	0,3241	0,3357	
	2092267130 (07/02/2016)		0,2730	0,2577	0,4295	0,6563	0,8338	0,2941	0,3058	
	média		0,2927	0,2777	0,4466	0,6696	0,8426	0,3163	0,3294	

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.6: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 7x7 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 na polarização HV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost			Gamma M.	Lee
					DF = 1	DF = 2	DF = 3		
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,053	0,056	0,046	0,035	0,024	0,052	0,051
	2075707120 (18/10/2015)		0,052	0,055	0,045	0,034	0,024	0,051	0,050
	2086057130 (27/12/2015)		0,051	0,054	0,045	0,034	0,023	0,050	0,049
	2092267130 (07/02/2016)		0,054	0,057	0,047	0,036	0,025	0,052	0,051
	média		0,053	0,055	0,046	0,035	0,024	0,051	0,050
CV	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,230	0,257	0,323	0,498	0,664	0,304	0,287
	2075707120 (18/10/2015)		0,219	0,247	0,298	0,464	0,626	0,249	0,254
	2086057130 (27/12/2015)		0,222	0,244	0,303	0,476	0,643	0,277	0,277
	2092267130 (07/02/2016)		0,218	0,248	0,301	0,473	0,634	0,292	0,270
	média		0,222	0,249	0,306	0,478	0,642	0,280	0,272
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,350	0,320	0,634	0,841	0,932	0,450	0,517
	2075707120 (18/10/2015)		0,357	0,332	0,630	0,836	0,930	0,433	0,483
	2086057130 (27/12/2015)		0,367	0,342	0,624	0,835	0,930	0,449	0,508
	2092267130 (07/02/2016)		0,366	0,338	0,634	0,839	0,931	0,459	0,519
	média		0,360	0,333	0,630	0,838	0,931	0,448	0,507
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,557	0,571	0,596	0,688	0,791	0,570	0,570
	2075707120 (18/10/2015)		0,561	0,574	0,599	0,690	0,791	0,573	0,573
	2086057130 (27/12/2015)		0,565	0,577	0,600	0,688	0,788	0,575	0,576
	2092267130 (07/02/2016)		0,567	0,578	0,603	0,690	0,788	0,579	0,578
	média		0,563	0,575	0,600	0,689	0,789	0,574	0,574
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,513	0,502	0,625	0,784	0,900	0,533	0,544
	2075707120 (18/10/2015)		0,520	0,509	0,630	0,786	0,901	0,540	0,551
	2086057130 (27/12/2015)		0,526	0,515	0,632	0,785	0,899	0,545	0,556
	2092267130 (07/02/2016)		0,516	0,505	0,622	0,777	0,894	0,535	0,546
	média		0,519	0,508	0,627	0,783	0,899	0,538	0,549

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

De acordo com a avaliação quantitativa, conforme supracitado, os filtros Frost e *Boxcar* exibiram os mais altos potenciais, dependendo dos objetivos. Em síntese, observou-se que há uma contradição, i.e., um *trade-off* entre eles quando o todos os objetivos propostos são considerados. Dentre todos os critérios, priorizou-se atenuar o efeito do *speckle* a fim de melhorar o aspecto das imagens e de preservar a integridade dos detalhes finos das feições, uma vez que a perda de volume florestal decorrente da extração seletiva de madeira no ambiente amazônico é, sobretudo, caracterizado por processos pontuais e discretos.

Nesse contexto, foi considerado majoritariamente os índices CV, CCP e ISS aplicados para ambas as polarizações e em todos os tamanhos de janelas testados, sendo então atribuído ao filtro *Boxcar* o mais alto desempenho dentre

os critérios priorizados, quando comparado com o filtro Frost e os demais filtros testados.

4.1.2 Avaliação qualitativa do desempenho dos filtros aplicados nas imagens ALOS2

A fim de avaliar qualitativamente o desempenho de cada filtro testado, foi realizada uma inspeção visual da integridade das feições considerando o nível de borramento, preservação de detalhes finos e preservação de bordas. No Anexo E, são apresentadas as figuras representando os *subsets* das imagens ALOS2 após a aplicação dos filtros.

Ao comparar os diferentes tamanhos de janela de filtragem de um determinado filtro, observou-se que, à medida que houve aumento no tamanho da janela, aumentou também o nível de borramento das imagens em ambas as polarizações. Neste sentido, constatou-se que, para os filtros com janelas de 5x5 e 7x7 pixels, houve uma maior redução do ruído *speckle*, conseqüentemente, uma maior homogeneização nos pixels, conforme pode ser observado nas figuras ampliadas de todos os filtros testados nas polarizações HH e HV. Entretanto, há também uma maior perda e degradação de informações espaciais associadas a essas janelas, principalmente as relacionadas com as feições caracterizadas pelos detalhes mais finos.

Na Figura E., por exemplo, foi possível observar que, nos filtros com as janelas de 5x5 e 7x7 pixels, as feições localizadas principalmente no canto inferior à direita apresentaram degradações e perdas de detalhes, quando comparadas com as imagens com janelas de 3x3 pixels. Nos filtros Gamma Map e Lee, em ambas as polarizações, nas janelas 5x5 e 7x7 pixels, em todas as imagens inspecionadas, observou-se a introdução de artefatos representados por pontos granulados nas imagens que podem ter ocorrido devido a degradações espaciais.

As janelas de 3x3 pixels demonstraram maior capacidade em manter a integridade das feições com detalhes mais finos, preservar as bordas e com menor nível de borramento, havendo assim uma menor degradação das informações espaciais. Entretanto, essa janela teve a menor capacidade de

atenuar o ruído *speckle*. Esse desempenho pode ser observado para todos os filtros aplicados às imagens ALOS2 em ambas as polarizações, nas quatro imagens inspecionadas.

4.2 Definição do filtro e do tamanho de janela de filtragem nas imagens ALOS2

De acordo com os resultados obtidos através da avaliação do desempenho dos filtros aplicados nas imagens ALOS2, pode-se observar que o filtro *Boxcar* demonstrou as mais altas capacidades em reduzir o efeito *speckle* e de manter a integridade dos detalhes finos das feições. Neste sentido, são apresentados, nas Tabela 4.7 e Tabela 4.8, os resultados obtidos pelos índices RMSE, CV, CCP, ISS e IMSE, especificamente para o filtro *Boxcar*, nas polarizações HH e HV, considerando as três janelas investigadas (3x3, 5x5 e 7x7 pixels).

A janela 3x3 pixels apresentou o menor erro, de acordo com a avaliação da RMSE em ambas as polarizações (Tabela 4.7 e Tabela 4.8). Ou seja, elas apresentaram uma maior fidelidade aos valores de intensidade dos pixels presentes nas imagens sem filtragem, sendo a média de RMSE = 0,186 na polarização HH e de 0,047 na polarização HV. Por sua vez, a janela de 7x7 pixels apresentou o maior erro: RMSE = 0,215 na polarização HH e 0,053 na polarização HV.

De acordo com os resultados obtidos pelo CV médio, quanto maior o tamanho de janela, maior é a atenuação do efeito *speckle* (Tabela 4.7 e Tabela 4.8). Neste sentido, o CV mostrou-se mais eficiente na redução do *speckle* na janela de 7x7 pixels, com CV médio de 0,213 na polarização HH e 0,222 na polarização HV e menos eficiente na janela de 3x3 pixels, com CV médio de 0,404 na polarização HH e 0,417 na polarização HV. Isto demonstra que houve um nível maior de suavização de regiões homogêneas na janela de 7x7 pixels e um nível menor de suavização na janela de 3x3 pixels.

Tabela 4.7: Desempenho do filtro *Boxcar* com janelas de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens ALOS2 na polarização HH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar		
			3x3	5x5	7x7
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,151	0,163	0,169
	2075707120 (18/10/2015)		0,151	0,163	0,170
	2086057130 (27/12/2015)		0,191	0,212	0,222
	2092267130 (07/02/2016)		0,251	0,283	0,299
	média	0,186	0,205	0,215	
CV	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,417	0,292	0,219
	2075707120 (18/10/2015)		0,400	0,277	0,207
	2086057130 (27/12/2015)		0,393	0,273	0,209
	2092267130 (07/02/2016)		0,407	0,284	0,215
	média	0,404	0,281	0,213	
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,531	0,403	0,325
	2075707120 (18/10/2015)		0,531	0,408	0,329
	2086057130 (27/12/2015)		0,632	0,457	0,347
	2092267130 (07/02/2016)		0,566	0,434	0,330
	média	0,565	0,425	0,333	
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,626	0,557	0,522
	2075707120 (18/10/2015)		0,622	0,552	0,515
	2086057130 (27/12/2015)		0,617	0,532	0,484
	2092267130 (07/02/2016)		0,620	0,527	0,469
	média	0,621	0,542	0,497	
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HH	0,461	0,351	0,300
	2075707120 (18/10/2015)		0,454	0,344	0,294
	2086057130 (27/12/2015)		0,460	0,352	0,303
	2092267130 (07/02/2016)		0,436	0,323	0,273
	média	0,453	0,343	0,293	

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.8: Desempenho do filtro *Boxcar* com janelas 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens ALOS2 na polarização HV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar		
			3x3	5x5	7x7
RMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,048	0,051	0,053
	2075707120 (18/10/2015)		0,047	0,050	0,052
	2086057130 (27/12/2015)		0,046	0,050	0,051
	2092267130 (07/02/2016)		0,049	0,052	0,054
	média	0,047	0,051	0,053	
CV	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,425	0,300	0,230
	2075707120 (18/10/2015)		0,414	0,290	0,219
	2086057130 (27/12/2015)		0,415	0,290	0,222
	2092267130 (07/02/2016)		0,412	0,286	0,218
	média	0,417	0,291	0,222	
CCP	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,539	0,420	0,350
	2075707120 (18/10/2015)		0,540	0,427	0,357
	2086057130 (27/12/2015)		0,544	0,431	0,367
	2092267130 (07/02/2016)		0,548	0,436	0,366
	média	0,543	0,429	0,360	
ISS	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,647	0,594	0,557
	2075707120 (18/10/2015)		0,650	0,590	0,561
	2086057130 (27/12/2015)		0,651	0,593	0,565
	2092267130 (07/02/2016)		0,653	0,595	0,567
	média	0,650	0,593	0,563	
IMSE	2019817120 (05/10/2014)	HV	0,625	0,548	0,513
	2075707120 (18/10/2015)		0,630	0,555	0,520
	2086057130 (27/12/2015)		0,633	0,560	0,526
	2092267130 (07/02/2016)		0,624	0,550	0,516
	média	0,628	0,553	0,519	

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Segundo as Tabela 4.7 e Tabela 4.8, os resultados obtidos pela avaliação do CCP demonstraram que as imagens ALOS2 processadas com o filtro *Boxcar* na janela de 7x7 pixels em ambas as polarizações, estão menos correlacionadas com as imagens ALOS2 sem filtro, que as imagens filtradas pelo *Boxcar* com janelas menores, como a de 3x3 pixels ou de 5x5 pixels. Na janela de 7x7 pixels, a média do valor de CCP foi de 0,333 em HH e de 0,360 em HV. Na janela de 3x3 pixels, CCP exibiu uma média de 0,565 na polarização HH e 0,543 na polarização HV.

No que concerne ISS a maior atenuação do efeito *speckle* foi observado na janela de 7x7 pixels em ambas as polarizações, com valores de média de ISS de 0,497 na polarização HH e 0,563 na polarização HV, seguido pela janela de 5x5 pixels, com média de ISS de 0,542 na polarização HH e 0,593 na polarização HV. A menor atenuação foi encontrada na janela de 3x3 pixels, com ISS = 0,621 na polarização HH e 0,650 na polarização HV. Segundo o ISS, os resultados obtidos demonstram que há uma menor variância no filtro *Boxcar* na janela de 7x7 pixels, uma vez que houve uma maior capacidade em reduzir o ruído *speckle* (Tabela 4.7 e Tabela 4.8).

Dentre os desempenhos das janelas de filtragens avaliados pelo IMSE, a janela de 3x3 pixels apresentou o mais alto nível de preservação de bordas, com uma média de valor de IMSE = 0,453 na polarização HH e 0,628 em HV (Tabela 4.7 e Tabela 4.8). Já a janela de 7x7 pixels exibiu o mais baixo nível de preservação de bordas, com uma média de IMSE = 0,293 em HH e 0,519 em HV. A maior preservação da borda em um menor tamanho de janela é esperada uma vez que se pressupõe que houve menores perdas e degradações das informações espaciais.

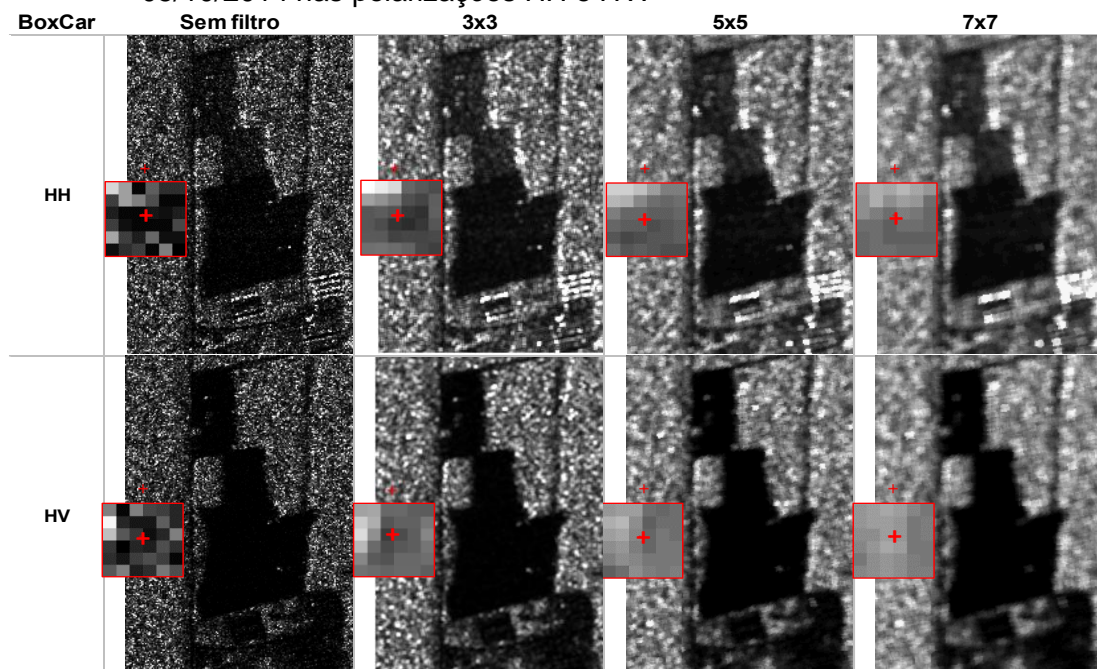
Os resultados do desempenho do filtro *Boxcar* considerando as três janelas de filtragens investigadas demonstram que a de tamanho 7x7 pixels teve o mais alto desempenho na avaliação dos índices CV, CCP e ISS nas polarizações HH e HV e o mais baixo desempenho na avaliação dos índices RMSE e IMSE. Já a janela de 3x3 pixels apresentou a mais alta capacidade quando avaliada pelos índices RMSE e IMSE e a mais baixa quando avaliada pelo CV, CCP e ISS, também em ambas as polarizações. O resultado do desempenho do filtro *Boxcar* com janela de 5x5 pixels avaliados por todos os índices utilizados exibiu valores intermediários nas polarizações HH e HV.

Destaca-se que os resultados obtidos pelos índices especificamente para o filtro *Boxcar* seguiram desempenhos semelhantes aos resultados encontrados na avaliação geral do desempenho de todos os filtros testados para ambas as polarizações, nos três tamanhos de janela, conforme descrito na Subseção 4.1.

Com o intuito de definir o tamanho de janela de filtragem a ser utilizado, além da avaliação quantitativa realizada pelos índices RMSE, CV, CCP, ISS e IMSE, também foi realizada uma avaliação qualitativa através da análise visual do desempenho do filtro *Boxcar* aplicado sob as imagens ALOS2 nas janelas 3x3, 5x5 e 7x7 pixels.

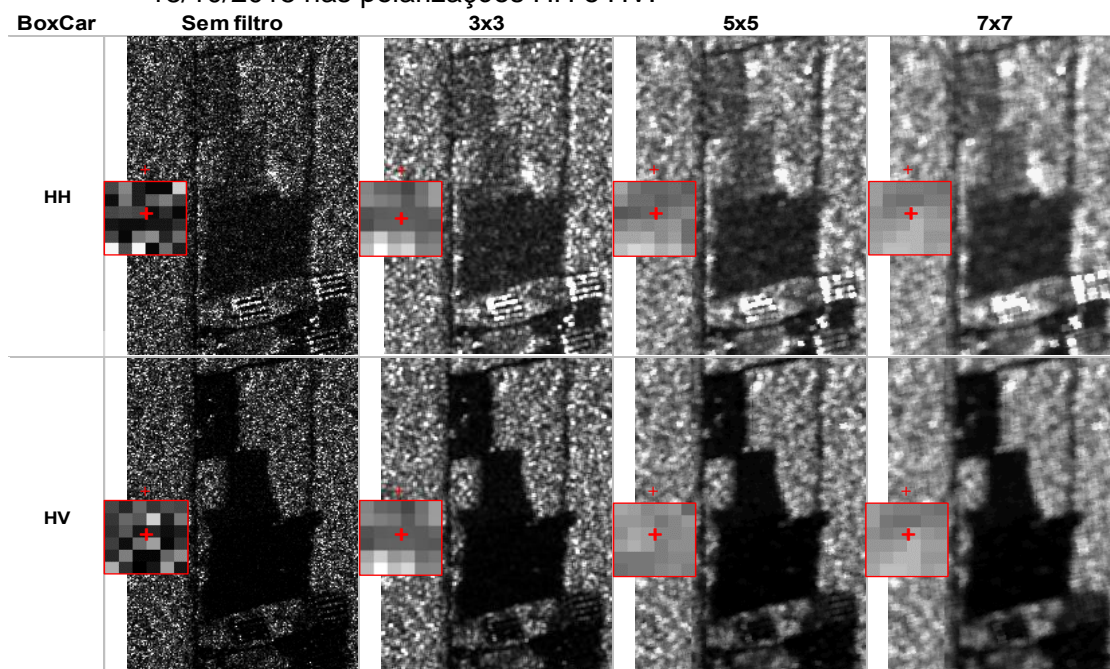
Através da inspeção visual (Figura 4.1 a Figura 4.4), observou-se que, à medida que aumentou o tamanho da janela de filtragem, aumentou também o efeito “borrado” nas feições representadas nas imagens, em ambas as polarizações. Conseqüentemente, pressupõe-se que houve perdas e degradações das informações espaciais. Ao observar as figuras, é possível perceber que nas janelas de 5x5 e 7x7 pixels ocorreram maiores suavizações das feições, quando comparadas com a de 3x3 pixels. O aumento do efeito de borramento nas imagens inspecionadas pode ser observado principalmente nas bordas da feição principal do *subset*.

Figura 4.1: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 05/10/2014 nas polarizações HH e HV.



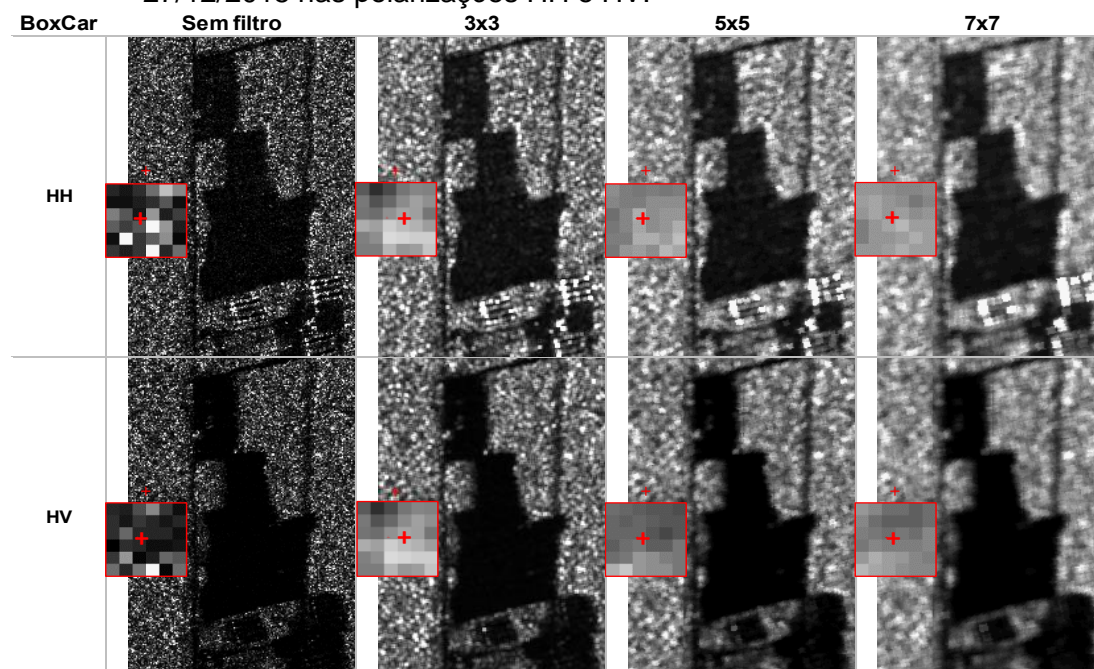
O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Figura 4.2: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 18/10/2015 nas polarizações HH e HV.



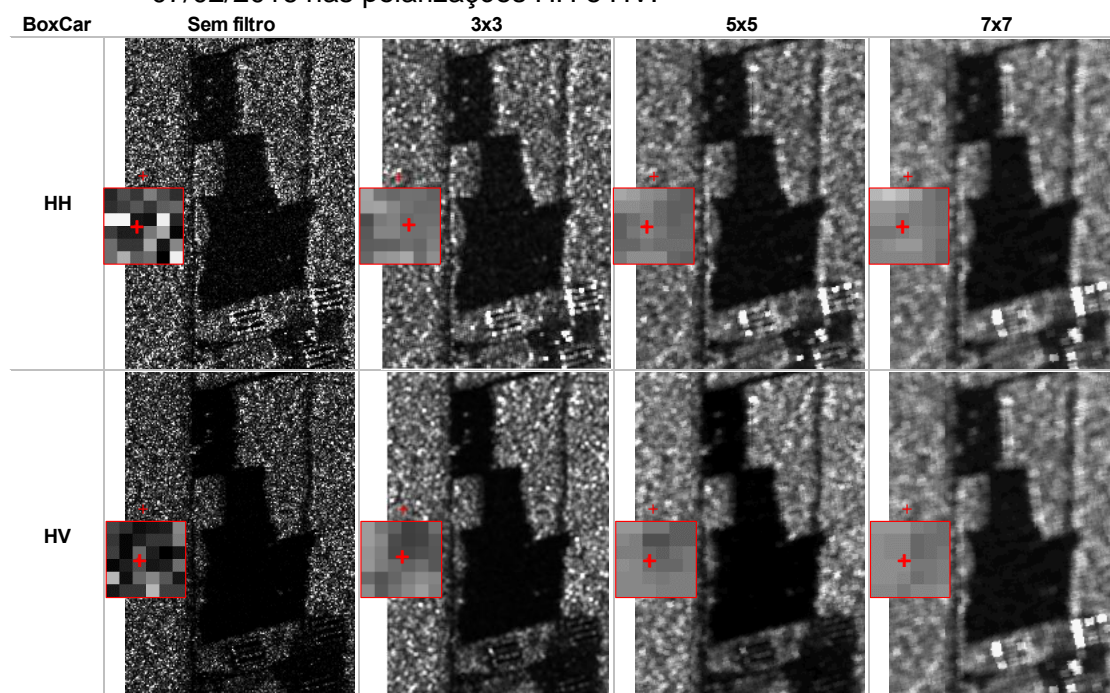
O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Figura 4.3: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 27/12/2015 nas polarizações HH e HV.



O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Figura 4.4: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 07/02/2016 nas polarizações HH e HV.



O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Ao analisar os resultados obtidos a partir das avaliações quantitativa e qualitativa, foi demonstrado que quantitativamente a janela de 7x7 pixels apresentou o maior potencial em suavizar regiões homogêneas, diminuir o ruído *speckle* e preservar detalhes mais finos. Já a janela de 3x3 pixels demonstrou quantitativamente o maior potencial em preservar bordas e uma maior semelhança nos valores dos pixels com as imagens sem filtragem.

Entretanto, na análise visual, observou-se que a janela de 3x3 pixels apresentou melhor preservação da integridade das informações espaciais representadas nas imagens ALOS2, quando comparado com a de 7x7 pixels. Considerando ainda que o objeto de estudo é decorrente dos processos de corte seletivo, caracterizado por eventos discretos e descontínuos, especialmente e temporalmente, a janela de 3x3 pixels empregado ao filtro *Boxcar* foi determinado para realização deste estudo.

4.3 Avaliação do desempenho dos filtros aplicados nas imagens S1A

Nas Subseções 4.3.1 e 4.3.2, são apresentados os resultados do desempenho dos filtros e das janelas de filtragem aplicados nas imagens S1A avaliados

quantitativamente através de índices e qualitativamente através da análise visual.

4.3.1 Avaliação quantitativa do desempenho dos filtros nas imagens S1A

Para as imagens S1A, também foram aplicados os filtros *Boxcar*, Mediana e Frost com DFs iguais a 1, 2 e 3, Gamma Map e Lee nas polarizações VV e VH, com três tamanhos de janela: 3x3, 5x5 e 7x7 pixels. Os índices RMSE, CV, CCP, ISS e IMSE também foram utilizados para avaliar o desempenho de cada filtro em diminuir o efeito *speckle*, preservar as bordas das feições e preservar a integridade de detalhes finos.

Na Tabela 4.9, são apresentados os resultados do desempenho de cada filtro para a janela de 3x3 pixels na polarização VV. Na avaliação dos índices RMSE e IMSE, o filtro Frost com o parâmetro DF igual a 3 demonstrou ter o mais alto desempenho em reduzir o efeito *speckle* e preservar as bordas das feições, exibindo valores de média de RMSE igual a 0,054 e IMSE igual a 0,768. Na avaliação dos índices CV, CCP e ISS, o filtro *Boxcar* apresentou a mais alta capacidade em suavizar as regiões homogêneas, preservar a integridade dos detalhes finos e diminuir o efeito do *speckle*. O índice CV apresentou uma média de 0,333; CCP de 0,622; e ISS de 0,688 (Tabela 4.9).

Diferentemente dos resultados obtidos na avaliação quantitativa do desempenho dos filtros aplicados sob as imagens ALOS2, o filtro Frost com DF igual a 1, na polarização VV, especificamente na avaliação do índice RMSE, apresentou o mais baixo desempenho (Tabela 4.9). O filtro de Mediana apresentou alto desempenho em suavizar áreas homogêneas e atenuar o efeito *speckle* nas imagens ALOS2 na polarização HH e baixo desempenho nas imagens S1A, polarização VV e janela de 3x3 pixels, quando avaliado pelos índices CV e ISS (Tabela 4.9).

Com relação aos filtros testados com a janela de 3x3 pixels na polarização VH, os índices RMSE e IMSE atribuíram os mais altos desempenhos ao filtro Frost nos três valores de DF testados (Tabela 4.10). Esse resultado está em consonância com todos os resultados obtidos por esses dois índices para as imagens ALOS2. Por sua vez, o filtro *Boxcar* exibiu o mais alto desempenho

segundo a avaliação dos índices CV, CCP e ISS, obtendo, respectivamente, médias de 0,322, 0,606 e 0,689 (Tabela 4.10). Esses resultados obtidos por esse filtro na avaliação dos índices CV, CCP e ISS também corroboram os resultados obtidos na avaliação do desempenho das imagens ALOS2.

Tabela 4.9: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost				
					DF = 1	DF = 2	DF = 3	Gamma	M. Lee
RMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,065	0,069	0,647	0,053	0,047	0,061	0,061
	F2B1 (24/07/2017)		0,081	0,086	0,618	0,067	0,058	0,077	0,076
	C59C (17/09/2018)		0,077	0,082	0,609	0,063	0,055	0,072	0,071
	3CEC (24/09/2019)		0,138	0,083	0,627	0,063	0,055	0,073	0,072
	média		0,090	0,080	0,625	0,062	0,054	0,071	0,070
CV	FF27 (19/01/2016)	VV	0,326	0,371	0,345	0,360	0,336	0,342	0,341
	F2B1 (24/07/2017)		0,356	0,399	0,367	0,397	0,444	0,389	0,382
	C59C (17/09/2018)		0,325	0,372	0,334	0,357	0,397	0,345	0,342
	3CEC (24/09/2019)		0,325	0,367	0,336	0,370	0,423	0,343	0,345
	média		0,333	0,377	0,345	0,371	0,400	0,355	0,353
CCP	FF27 (19/01/2016)	VV	0,630	0,578	0,711	0,795	0,856	0,702	0,719
	F2B1 (24/07/2017)		0,614	0,558	0,706	0,797	0,858	0,705	0,725
	C59C (17/09/2018)		0,617	0,562	0,705	0,795	0,857	0,702	0,722
	3CEC (24/09/2019)		0,629	0,580	0,716	0,804	0,865	0,708	0,727
	média		0,622	0,570	0,710	0,798	0,859	0,705	0,723
ISS	FF27 (19/01/2016)	VV	0,697	0,726	0,707	0,728	0,759	0,717	0,711
	F2B1 (24/07/2017)		0,686	0,716	0,694	0,715	0,749	0,706	0,700
	C59C (17/09/2018)		0,678	0,709	0,687	0,709	0,743	0,699	0,731
	3CEC (24/09/2019)		0,692	0,719	0,700	0,724	0,758	0,716	0,707
	média		0,688	0,718	0,697	0,719	0,752	0,709	0,712
IMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,593	0,570	0,647	0,714	0,780	0,624	0,629
	F2B1 (24/07/2017)		0,559	0,535	0,618	0,692	0,765	0,597	0,603
	C59C (17/09/2018)		0,550	0,526	0,609	0,684	0,757	0,588	0,595
	3CEC (24/09/2019)		0,569	0,546	0,627	0,700	0,770	0,606	0,613
	média		0,568	0,544	0,625	0,698	0,768	0,604	0,610

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.10: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 3x3 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost			Gamma M.	Lee
					DF = 1	DF = 2	DF = 3		
RMSE	FF27 (19/01/2016)	VH		0,019	0,020	0,017	0,015	0,013	0,018
	F2B1 (24/07/2017)			0,020	0,022	0,019	0,017	0,015	0,019
	C59C (17/09/2018)			0,020	0,021	0,018	0,016	0,014	0,019
	3CEC (24/09/2019)			0,019	0,020	0,017	0,015	0,013	0,020
	média			0,019	0,021	0,018	0,016	0,014	0,019
CV	FF27 (19/01/2016)	VH		0,317	0,350	0,336	0,328	0,328	0,339
	F2B1 (24/07/2017)			0,311	0,364	0,321	0,350	0,396	0,348
	C59C (17/09/2018)			0,325	0,388	0,342	0,425	0,425	0,345
	3CEC (24/09/2019)			0,333	0,389	0,345	0,379	0,428	0,379
	média			0,322	0,373	0,336	0,370	0,394	0,353
CCP	FF27 (19/01/2016)	VH		0,622	0,570	0,709	0,796	0,858	0,691
	F2B1 (24/07/2017)			0,599	0,539	0,697	0,792	0,855	0,702
	C59C (17/09/2018)			0,597	0,546	0,689	0,784	0,853	0,678
	3CEC (24/09/2019)			0,607	0,554	0,703	0,798	0,864	0,689
	média			0,606	0,552	0,699	0,792	0,857	0,690
ISS	FF27 (19/01/2016)	VH		0,706	0,740	0,712	0,732	0,763	0,721
	F2B1 (24/07/2017)			0,687	0,723	0,695	0,716	0,749	0,709
	C59C (17/09/2018)			0,683	0,720	0,691	0,713	0,748	0,705
	3CEC (24/09/2019)			0,682	0,719	0,689	0,712	0,749	0,704
	média			0,689	0,725	0,697	0,718	0,752	0,710
IMSE	FF27 (19/01/2016)	VH		0,815	0,800	0,841	0,873	0,904	0,833
	F2B1 (24/07/2017)			0,787	0,771	0,817	0,854	0,889	0,809
	C59C (17/09/2018)			0,793	0,777	0,823	0,861	0,895	0,814
	3CEC (24/09/2019)			0,807	0,791	0,835	0,871	0,903	0,827
	média			0,801	0,785	0,829	0,865	0,898	0,820

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

A avaliação dos filtros para as janelas de 5x5 pixels e 7x7 pixels nas polarizações, VV e VH demonstraram desempenhos semelhantes (Tabela 4.11 a Tabela 4.14). O filtro Frost com DF igual a 2 e 3 foram apontados como tendo os mais altos desempenhos, quando avaliados pelos índices RMSE e IMSE. Já o filtro *Boxcar*, dentre todos os filtros avaliados, apresentou o mais alto desempenho quando avaliado pelos índices CV, CCP e ISS.

Tabela 4.11: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros com janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Frost						
			Boxcar	Mediana	DF = 1	DF = 2	DF = 3	Gamma M.	Lee
RMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,075	0,078	0,068	0,060	0,052	0,070	0,069
	F2B1 (24/07/2017)		0,093	0,097	0,086	0,075	0,064	0,088	0,086
	C59C (17/09/2018)		0,088	0,092	0,081	0,071	0,061	0,083	0,081
	3CEC (24/09/2019)		0,089	0,093	0,081	0,071	0,061	0,083	0,082
	média		0,086	0,090	0,079	0,070	0,060	0,081	0,080
CV	FF27 (19/01/2016)	VV	0,213	0,234	0,230	0,273	0,336	0,257	0,252
	F2B1 (24/07/2017)		0,230	0,247	0,252	0,310	0,389	0,275	0,273
	C59C (17/09/2018)		0,230	0,239	0,226	0,268	0,331	0,241	0,238
	3CEC (24/09/2019)		0,230	0,231	0,234	0,293	0,368	0,304	0,269
	média		0,225	0,238	0,236	0,286	0,356	0,269	0,258
CCP	FF27 (19/01/2016)	VV	0,424	0,380	0,582	0,723	0,818	0,567	0,608
	F2B1 (24/07/2017)		0,390	0,339	0,577	0,730	0,823	0,562	0,613
	C59C (17/09/2018)		0,399	0,354	0,578	0,728	0,822	0,567	0,614
	3CEC (24/09/2019)		0,410	0,358	0,596	0,743	0,834	0,568	0,617
	média		0,406	0,358	0,583	0,731	0,824	0,566	0,613
ISS	FF27 (19/01/2016)	VV	0,629	0,640	0,648	0,678	0,721	0,656	0,650
	F2B1 (24/07/2017)		0,613	0,624	0,628	0,662	0,711	0,640	0,633
	C59C (17/09/2018)		0,604	0,615	0,621	0,655	0,702	0,633	0,625
	3CEC (24/09/2019)		0,621	0,630	0,644	0,678	0,724	0,653	0,645
	média		0,617	0,627	0,636	0,668	0,715	0,645	0,638
IMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,441	0,428	0,514	0,610	0,709	0,479	0,489
	F2B1 (24/07/2017)		0,394	0,381	0,475	0,582	0,690	0,440	0,452
	C59C (17/09/2018)		0,385	0,372	0,465	0,571	0,680	0,430	0,442
	3CEC (24/09/2019)		0,409	0,396	0,487	0,591	0,697	0,452	0,463
	média		0,407	0,394	0,485	0,588	0,694	0,450	0,461

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Assim como observado nos resultados obtidos a partir da avaliação quantitativa dos filtros testados sobre as imagens ALOS2, nos resultados exibidos para as imagens S1A também é perceptível que há uma inversão entre os desempenhos dos filtros, principalmente entre os filtros Frost e *Boxcar*, avaliados pelos cinco índices. Nos índices RMSE e IMSE, os maiores desempenhos foram obtidos pelo filtro Frost e os menores atribuídos ao filtro *Boxcar*. Nos índices CV, CCP e ISS, os maiores desempenhos foram exibidos pelo filtro *Boxcar* e o mais baixo desempenho, exibido pelo filtro Frost.

Isso demonstra que há um *trade-off* entre os índices utilizados devido aos diferentes objetivos propostos. Assim como adotado nas imagens ALOS2, para as imagens S1A também foram priorizados os critérios de diminuir o efeito *speckle* nas imagens e manter a integridade dos detalhes finos, sendo esses critérios representados pelos índices CV, CCP e ISS. Neste sentido, dentre a

avaliação de todos os filtros testados, destaca-se o filtro *Boxcar* que exibiu o mais alto potencial de acordo com os critérios priorizados.

Os filtros Gamma Map e Lee avaliados pelos cinco índices, em ambas as polarizações e nos três tamanhos de janelas testados, exibiram valores intermediários. Resultados semelhantes também foram observados nas avaliações do desempenho dos filtros nas imagens ALOS2.

Tabela 4.12: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 5x5 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost			Gamma M.	Lee
					DF = 1	DF = 2	DF = 3		
RMSE	FF27 (19/01/2016)	VH	0,021	0,022	0,020	0,017	0,015	0,020	0,020
	F2B1 (24/07/2017)		0,023	0,024	0,021	0,019	0,016	0,022	0,022
	C59C (17/09/2018)		0,023	0,023	0,021	0,018	0,016	0,021	0,021
	3CEC (24/09/2019)		0,021	0,022	0,019	0,017	0,014	0,020	0,020
	média		0,022	0,023	0,020	0,018	0,015	0,021	0,021
CV	FF27 (19/01/2016)	VH	0,198	0,215	0,219	0,273	0,342	0,273	0,255
	F2B1 (24/07/2017)		0,191	0,221	0,209	0,260	0,330	0,246	0,229
	C59C (17/09/2018)		0,211	0,237	0,234	0,292	0,367	0,284	0,259
	3CEC (24/09/2019)		0,215	0,237	0,236	0,291	0,365	0,262	0,255
	média		0,204	0,227	0,224	0,279	0,351	0,266	0,250
CCP	FF27 (19/01/2016)	VH	0,423	0,381	0,583	0,727	0,824	0,555	0,596
	F2B1 (24/07/2017)		0,385	0,340	0,568	0,721	0,818	0,556	0,606
	C59C (17/09/2018)		0,383	0,340	0,557	0,716	0,820	0,531	0,582
	3CEC (24/09/2019)		0,396	0,353	0,578	0,735	0,835	0,548	0,599
	média		0,397	0,354	0,571	0,725	0,824	0,547	0,596
ISS	FF27 (19/01/2016)	VH	0,642	0,660	0,654	0,683	0,726	0,660	0,656
	F2B1 (24/07/2017)		0,620	0,637	0,633	0,663	0,709	0,644	0,638
	C59C (17/09/2018)		0,616	0,633	0,628	0,660	0,709	0,638	0,632
	3CEC (24/09/2019)		0,614	0,631	0,627	0,660	0,709	0,636	0,631
	média		0,623	0,640	0,636	0,667	0,713	0,645	0,639
IMSE	FF27 (19/01/2016)	VH	0,754	0,744	0,788	0,832	0,877	0,772	0,777
	F2B1 (24/07/2017)		0,719	0,709	0,757	0,807	0,858	0,744	0,751
	C59C (17/09/2018)		0,728	0,718	0,766	0,817	0,867	0,751	0,758
	3CEC (24/09/2019)		0,746	0,736	0,782	0,830	0,878	0,768	0,775
	média		0,737	0,727	0,773	0,822	0,870	0,759	0,765

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.13: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros de janela 7x7 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar	Mediana	Frost			Gamma M.
					DF = 1	DF = 2	DF = 3	
RMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,078	0,081	0,071	0,063	0,053	0,074
	F2B1 (24/07/2017)		0,097	0,101	0,089	0,078	0,065	0,092
	C59C (17/09/2018)		0,092	0,095	0,084	0,074	0,062	0,087
	3CEC (24/09/2019)		0,092	0,096	0,084	0,074	0,062	0,087
	média		0,090	0,093	0,082	0,072	0,061	0,085
CV	FF27 (19/01/2016)	VV	0,156	0,171	0,178	0,232	0,306	0,182
	F2B1 (24/07/2017)		0,169	0,183	0,200	0,272	0,365	0,211
	C59C (17/09/2018)		0,158	0,178	0,179	0,233	0,309	0,175
	3CEC (24/09/2019)		0,159	0,172	0,187	0,258	0,344	0,262
	média		0,161	0,176	0,186	0,249	0,331	0,208
CCP	FF27 (19/01/2016)	VV	0,323	0,292	0,531	0,704	0,814	0,502
	F2B1 (24/07/2017)		0,284	0,248	0,534	0,713	0,821	0,505
	C59C (17/09/2018)		0,292	0,253	0,531	0,708	0,819	0,505
	3CEC (24/09/2019)		0,296	0,254	0,554	0,728	0,833	0,509
	média		0,299	0,261	0,537	0,713	0,822	0,505
ISS	FF27 (19/01/2016)	VV	0,602	0,609	0,625	0,660	0,709	0,628
	F2B1 (24/07/2017)		0,585	0,590	0,603	0,644	0,699	0,609
	C59C (17/09/2018)		0,575	0,580	0,596	0,635	0,690	0,601
	3CEC (24/09/2019)		0,594	0,599	0,624	0,663	0,713	0,624
	média		0,589	0,595	0,612	0,650	0,703	0,615
IMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,390	0,384	0,466	0,577	0,695	0,426
	F2B1 (24/07/2017)		0,338	0,332	0,423	0,546	0,675	0,382
	C59C (17/09/2018)		0,331	0,325	0,413	0,534	0,663	0,373
	3CEC (24/09/2019)		0,357	0,351	0,437	0,556	0,681	0,397
	média		0,354	0,348	0,435	0,553	0,678	0,394

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.14: Desempenho dos índices na avaliação dos filtros com janela 7x7 pixels, aplicados nas imagens S1A na polarização VH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Frost						
			Boxcar	Mediana	DF = 1	DF = 2	DF = 3	Gamma M.	Lee
RMSE	FF27 (19/01/2016)	VH	0,022	0,023	0,020	0,018	0,015	0,021	0,021
	F2B1 (24/07/2017)		0,024	0,025	0,022	0,020	0,017	0,023	0,023
	C59C (17/09/2018)		0,023	0,024	0,022	0,019	0,016	0,022	0,022
	3CEC (24/09/2019)		0,022	0,023	0,020	0,018	0,015	0,021	0,020
	média	0,023	0,024	0,021	0,019	0,016	0,022	0,021	
CV	FF27 (19/01/2016)	VH	0,146	0,155	0,168	0,230	0,311	0,236	0,199
	F2B1 (24/07/2017)		0,140	0,164	0,160	0,219	0,299	0,170	0,171
	C59C (17/09/2018)		0,158	0,175	0,185	0,257	0,344	0,219	0,207
	3CEC (24/09/2019)		0,162	0,179	0,187	0,255	0,344	0,209	0,201
	média	0,151	0,168	0,175	0,240	0,325	0,208	0,195	
CCP	FF27 (19/01/2016)	VH	0,335	0,306	0,536	0,709	0,820	0,497	0,550
	F2B1 (24/07/2017)		0,279	0,243	0,517	0,700	0,814	0,491	0,558
	C59C (17/09/2018)		0,278	0,246	0,508	0,698	0,818	0,467	0,537
	3CEC (24/09/2019)		0,285	0,250	0,530	0,719	0,835	0,481	0,554
	média	0,294	0,261	0,523	0,706	0,822	0,484	0,550	
ISS	FF27 (19/01/2016)	VH	0,616	0,631	0,632	0,666	0,714	0,633	0,629
	F2B1 (24/07/2017)		0,594	0,606	0,610	0,645	0,696	0,614	0,610
	C59C (17/09/2018)		0,589	0,602	0,605	0,642	0,697	0,608	0,604
	3CEC (24/09/2019)		0,587	0,600	0,604	0,642	0,697	0,606	0,603
	média	0,597	0,610	0,613	0,649	0,701	0,615	0,612	
IMSE	FF27 (19/01/2016)	VH	0,734	0,727	0,769	0,820	0,872	0,751	0,756
	F2B1 (24/07/2017)		0,697	0,691	0,736	0,792	0,852	0,720	0,728
	C59C (17/09/2018)		0,707	0,701	0,746	0,803	0,862	0,728	0,736
	3CEC (24/09/2019)		0,727	0,720	0,764	0,817	0,873	0,747	0,755
	média	0,716	0,710	0,754	0,808	0,865	0,737	0,744	

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

4.3.2 Avaliação qualitativa do desempenho dos filtros nas imagens S1A

Os filtros testados sobre as imagens S1A também foram avaliados qualitativamente através da inspeção visual. Assim como nas imagens ALOS2, buscou-se analisar a preservação da integridade dos detalhes finos das feições, a preservação de bordas e o nível de borramento das imagens S1A após a aplicação dos filtros com os diferentes tamanhos de janelas. Todas as imagens inspecionadas são apresentadas no Anexo E.

Para as imagens adquiridas em 19/01/2016 e 24/09/2019, nas polarizações VV e VH (Figura E., Figura E.30, Figura E.14 e Figura E.15), pode-se observar que as feições presentes nessas imagens apresentaram menor efeito de suavização em suas bordas, quando comparadas com as demais imagens inspecionadas em ambas as polarizações (Figura E.5 a Figura E.15). As feições inspecionadas

nessas figuras não foram bem definidas nas polarizações, independente do filtro testado. Percebeu-se uma suavização excessiva das bordas e das feições, além do aspecto de borramento dessas imagens.

Observou-se ainda que há uma limitação visual, principalmente relacionada com as feições caracterizadas com detalhes mais finos para essas imagens S1A, quando comparada com as imagens ALOS2. Isso ocorre devido ao comprimento de onda da banda C ($\lambda \sim 5,4$ cm) do S1A ser menor do que a banda L ($\lambda \sim 23,6$ cm) do ALOS2 e, conseqüentemente, ter um menor poder de penetração no dossel florestal.

Em síntese, considerando o conjunto de imagens S1A inspecionadas em ambas as polarizações, observou-se que nas janelas 5x5 e 7x7 pixels, houve uma maior redução do ruído *speckle*, conseqüentemente, resultando em uma maior homogeneidade das imagens, como pode ser observado nas figuras ampliadas. Contudo, houve maior perda e degradação das informações espaciais das feições e das delimitações das bordas, além de um maior efeito do aspecto “borrado” nas imagens nesses dois tamanhos de janelas.

Assim como observado na inspeção visual das imagens ALOS2, para os filtros e tamanhos de janelas testados nas imagens S1A, também se percebeu que os filtros Gamma Map e Lee, nas janelas de 5x5 pixels e 7x7 pixels e nas polarizações VV e VH, de modo geral, exibiram artefatos representados por pontos com aspectos granulados, distribuídos aleatoriamente ao longo das imagens.

Considerando que o objeto de estudo investigado neste trabalho é caracterizado por eventos discretos e descontínuos, a janela de 3x3 pixels, apresentou visualmente um maior desempenho em manter a integridade das feições, principalmente as com detalhes mais finos, de preservar as bordas das feições e com menor nível de borramento associado. Conseqüentemente, exibiu um menor desempenho em atenuar o efeito *speckle* nas imagens.

O resultado da análise quantitativa do desempenho dos filtros nos tamanhos de janelas testados foi similar aos resultados da inspeção visual realizada para as imagens ALOS2, onde a janela de 3x3 pixels apresentou o melhor resultado em

termos de preservação da integridade das informações espaciais, principalmente aquelas associadas às feições mais finas, também com uma maior preservação de bordas e menor nível de borramento, quando comparado com as janelas de 5x5 pixels e 7x7 pixels.

4.4 Definição do filtro e do tamanho de janela de filtragem nas imagens S1A

Conforme enfatizado na Subseção 4.3, dentre todos os filtros testados, o *Boxcar* apresentou o melhor desempenho em atenuar o ruído *speckle* e preservar a integridade de detalhes finos das feições. Neste contexto, os índices RMSE, CV, CCP, ISS e IMSE avaliaram o desempenho do filtro *Boxcar* nas três janelas de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels, considerando as polarizações VV e VH (Tabela 4.15 e Tabela 4.16).

Os resultados obtidos pelo índice RMSE para as três janelas de filtragem demonstraram que a de 5x5 na polarização VV exibiu o menor erro, com uma média de RMSE de 0,086. Já a janela de 3x3 pixels exibiu o maior erro, com RMSE = 0,090 (Tabela 4.15). Contudo, na polarização VH, o menor erro obtido foi atribuído à janela de 3x3 pixels, com RMSE = 0,019 e o maior erro associado a janela de 7x7 pixels, com RMSE = 0,023. Os resultados obtidos pelo índice RMSE para a polarização VV nas imagens S1A apresentaram um desempenho diferente dos obtidos por esse mesmo índice para as imagens ALOS2. No que concerne os resultados obtidos na polarização VH, estes estão em consonância com os resultados obtidos para as imagens ALOS2 (Subseção 4.2).

De acordo com as Tabela 4.15 e Tabela 4.16, os resultados obtidos pelo CV demonstraram que, à medida em que aumentou o tamanho da janela, maior foi a redução do *speckle* em ambas as polarizações. Consequentemente, a maior eficiência de CV está associada à janela de 7x7 pixels, com CV médio de 0,160 na polarização VV e 0,151 na polarização VH. A menor eficiência foi observada na janela de 3x3 pixels, com CV = 0,333 em VV e 0,322 em VH. Os resultados apresentados por CV para as imagens S1A demonstraram desempenhos semelhantes aos resultados obtidos para as imagens ALOS2.

Tabela 4.15: Desempenho do filtro *Boxcar* com janelas de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens S1A na polarização VV.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar		
			3x3	5x5	7x7
RMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,065	0,075	0,078
	F2B1 (24/07/2017)		0,081	0,093	0,097
	C59C (17/09/2018)		0,077	0,088	0,092
	3CEC (24/09/2019)		0,138	0,089	0,092
	média		0,090	0,086	0,090
CV	FF27 (19/01/2016)	VV	0,326	0,213	0,156
	F2B1 (24/07/2017)		0,356	0,230	0,169
	C59C (17/09/2018)		0,325	0,230	0,158
	3CEC (24/09/2019)		0,325	0,230	0,159
	média		0,333	0,225	0,161
CCP	FF27 (19/01/2016)	VV	0,630	0,424	0,323
	F2B1 (24/07/2017)		0,614	0,390	0,284
	C59C (17/09/2018)		0,617	0,399	0,292
	3CEC (24/09/2019)		0,629	0,410	0,296
	média		0,622	0,406	0,299
ISS	FF27 (19/01/2016)	VV	0,697	0,629	0,602
	F2B1 (24/07/2017)		0,686	0,613	0,585
	C59C (17/09/2018)		0,678	0,604	0,575
	3CEC (24/09/2019)		0,692	0,621	0,594
	média		0,688	0,617	0,589
IMSE	FF27 (19/01/2016)	VV	0,593	0,441	0,390
	F2B1 (24/07/2017)		0,559	0,394	0,338
	C59C (17/09/2018)		0,550	0,385	0,331
	3CEC (24/09/2019)		0,569	0,409	0,357
	média		0,568	0,407	0,354

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Tabela 4.16: Desempenho do filtro *Boxcar* com janelas de filtragem de 3x3, 5x5 e 7x7 pixels nas imagens S1A na polarização VH.

Índice	Id Imagem	Polarização	Boxcar		
			3x3	5x5	7x7
RMSE	Sentinel-1A FF27 (19/01/2016)	VH	0,019	0,021	0,022
	Sentinel-1A F2B1 (24/07/2017)		0,020	0,023	0,024
	Sentinel-1A C59C (17/09/2018)		0,020	0,023	0,023
	Sentinel-1A 3CEC (24/09/2019)		0,019	0,021	0,022
	média		0,019	0,022	0,023
CV	Sentinel-1A FF27 (19/01/2016)	VH	0,317	0,198	0,146
	Sentinel-1A F2B1 (24/07/2017)		0,311	0,191	0,140
	Sentinel-1A C59C (17/09/2018)		0,325	0,211	0,158
	Sentinel-1A 3CEC (24/09/2019)		0,333	0,215	0,162
	média		0,322	0,204	0,151
CCP	Sentinel-1A FF27 (19/01/2016)	VH	0,622	0,423	0,335
	Sentinel-1A F2B1 (24/07/2017)		0,599	0,385	0,279
	Sentinel-1A C59C (17/09/2018)		0,597	0,383	0,278
	Sentinel-1A 3CEC (24/09/2019)		0,607	0,396	0,285
	média		0,606	0,397	0,294
ISS	Sentinel-1A FF27 (19/01/2016)	VH	0,706	0,642	0,616
	Sentinel-1A F2B1 (24/07/2017)		0,687	0,620	0,594
	Sentinel-1A C59C (17/09/2018)		0,683	0,616	0,589
	Sentinel-1A 3CEC (24/09/2019)		0,682	0,614	0,587
	média		0,689	0,623	0,597
IMSE	Sentinel-1A FF27 (19/01/2016)	VH	0,815	0,754	0,734
	Sentinel-1A F2B1 (24/07/2017)		0,787	0,719	0,697
	Sentinel-1A C59C (17/09/2018)		0,793	0,728	0,707
	Sentinel-1A 3CEC (24/09/2019)		0,807	0,746	0,727
	média		0,801	0,737	0,716

RMSE: *root mean square error*; CV: coeficiente de variação; CCP: coeficiente de correlação de Pearson; ISS: índice de supressão do *speckle*; IMSE: índice de medida de similaridade estrutural. DF: *damping factor*. A escala de cores com os gradientes verde, branco e vermelho representam qualitativamente os valores obtidos de acordo com a escala de cada índice. Os melhores e os piores valores para cada índice são representados nas cores verde e vermelha, respectivamente.

Com relação aos resultados obtidos pelo índice CCP, a janela de 7x7 pixels nas polarizações VV e VH demonstraram estar menos correlacionadas com as imagens S1A sem filtragem, quando comparadas com as imagens filtradas as janelas de 3x3 e 5x5 pixels (Tabela 4.15 e Tabela 4.16). Para a janela de 7x7 pixels, a média de CCP obtida foi de 0,299 na polarização VV e de 0,294 na polarização VH. Para a janela de 3x3 pixels, CCP exibiu uma média de 0,622 na polarização HH e 0,606 na polarização VH.

Na avaliação do índice ISS, a maior atenuação do efeito *speckle* foi obtida para a janela de 7x7 pixels, com ISS = 0,589 na polarização VV e de 0,597 na polarização VH. Já a menor redução do *speckle* foi observada na janela de 3x3 pixels, com ISS = 0,688 em VV e 0,689 em VH (Tabela 4.15 e Tabela 4.16).

Por fim, na avaliação do índice IMSE, a janela de 3x3 pixels apresentou o mais alto desempenho em preservar as bordas das feições em ambas as polarizações, com valor de IMSE de 0,568 em VV e de 0,800 em VH. Por sua vez, a janela de 7x7 pixels exibiu o mais baixo desempenho na preservação das bordas, com IMSE = 0,354 na polarização VV e IMSE = 0,716 na polarização VH.

Os resultados obtidos para o filtro *Boxcar* nas janelas testadas em ambas as polarizações das imagens S1A apresentaram desempenhos similares aos encontrados nas imagens ALOS2. Dentre todos os índices empregados, o único que obteve um desempenho diferente foi o RMSE na polarização VV. Em síntese, para as imagens S1A, a janela de 3x3 pixels apresentou os mais altos desempenhos na avaliação do índice IMSE nas polarizações VV e VH, e do índice RMSE na polarização VH. No entanto, a mesma janela apresentou os mais baixos desempenhos na avaliação dos índices CV, CCP e ISS. Já a janela de 7x7 pixels apresentou a mais alta capacidade quando avaliada pelos índices CV, CCP e ISS nas polarizações VV e VH e a mais baixa quando avaliada pelos índices RMSE e IMSE.

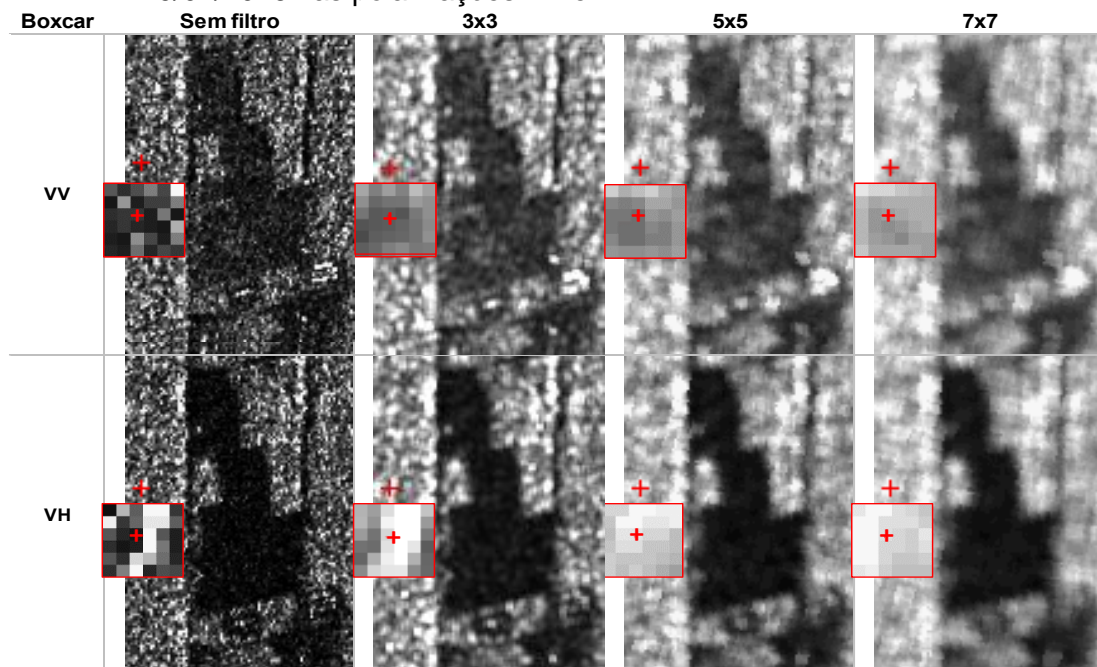
De modo geral, o desempenho do filtro *Boxcar* com janela de 5x5 pixels avaliado pelos índices RMSE, CV, CCP, ISS e IMSE apresentou valores intermediários nas polarizações VV e VH. Esses resultados encontrados para as imagens S1A estão em consonância com os resultados obtidos nessa janela de filtragem para as imagens ALOS2 nas polarizações VV e VH.

Além da avaliação quantitativa do desempenho do filtro *Boxcar* nas diferentes janelas testadas, também foi realizada uma análise qualitativa. Assim como nas imagens ALOS2, esse procedimento foi adotado para auxiliar na definição do tamanho de janela de filtragem. Os principais parâmetros considerados na análise qualitativa foram: análise visual da integridade das informações, como a

preservação de bordas e de feições com detalhes finos, e o nível de borramento contido nas imagens S1A após a aplicação do filtro *Boxcar*.

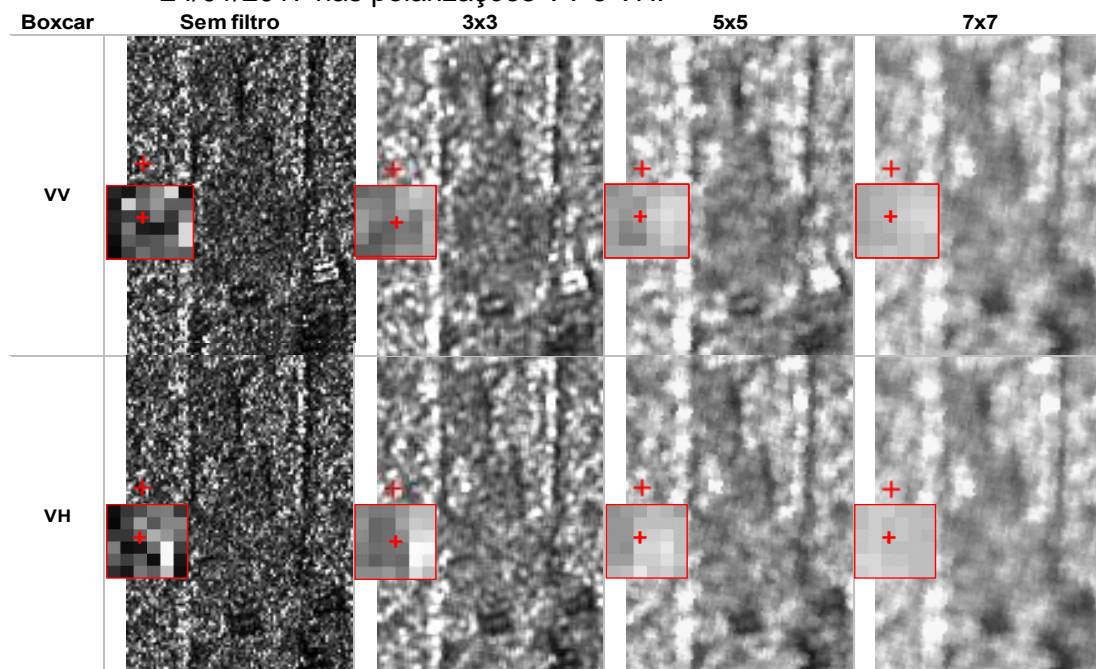
Através da análise visual do filtro *Boxcar* aplicado nas três janelas de filtragem, foi possível observar uma redução do ruído *speckle* à medida que o tamanho da janela de filtragem aumenta, conforme ilustrado nas Figura 4.6 a Figura 4.8. De um modo geral, as feições nas imagens S1A investigadas não são bem definidas em ambas as polarizações, observando-se um crescente aumento da suavização das bordas das feições e apresentando o aspecto de borramento nas imagens.

Figura 4.5: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 19/01/2016 nas polarizações VV e VH.



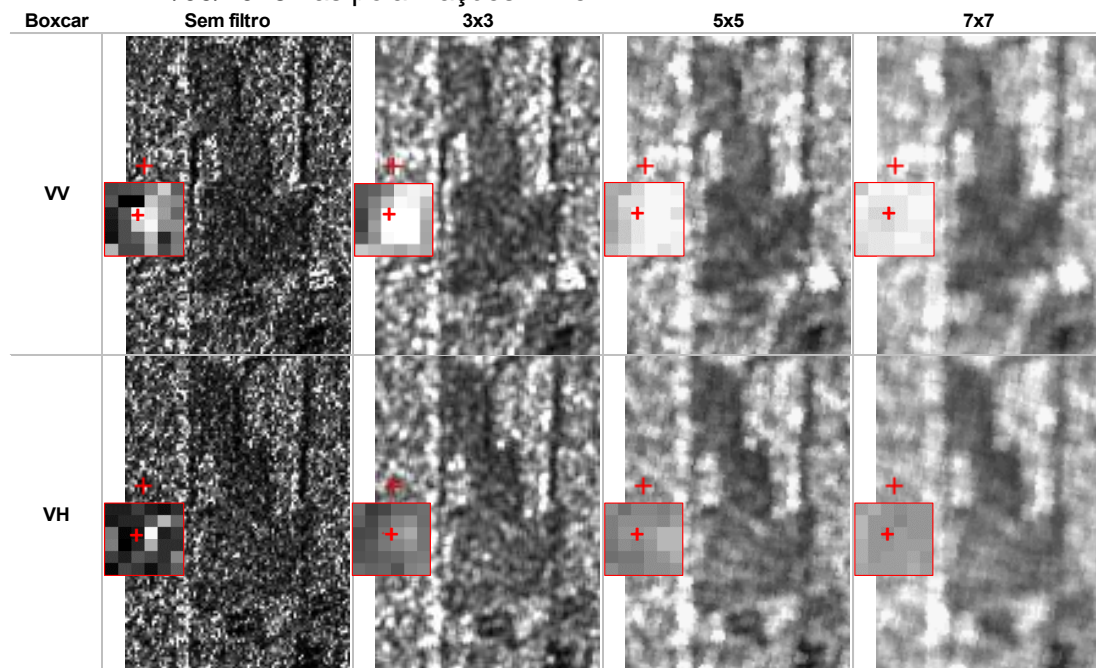
O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Figura 4.6: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 24/01/2017 nas polarizações VV e VH.



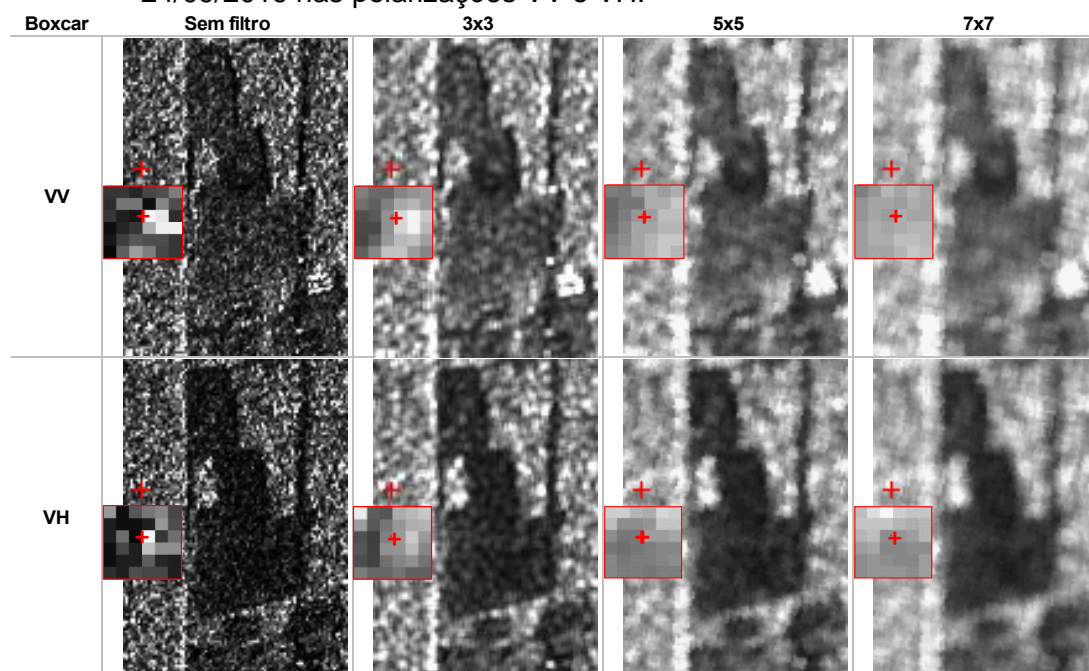
O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Figura 4.7: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 17/09/2018 nas polarizações VV e VH.



O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Figura 4.8: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem S1A adquirida em 24/09/2019 nas polarizações VV e VH.



O símbolo da cruz em cor vermelha representa uma amostra da classe Floresta Primária.

Nesse sentido, por mais que quantitativamente o desempenho do filtro *Boxcar* na janela de 7x7 pixels tenha apresentado os melhores desempenhos quando avaliados pelos índices CV, CCP e ISS, observa-se que, visualmente, esse tamanho de janela de filtragem apresenta uma maior perda e degradação de informações espaciais, sendo adotado o tamanho de janela de 3x3 pixels para a realização deste estudo.

É importante destacar que as análises quantitativas e qualitativas realizadas conjuntamente deram suporte na tomada de decisão para definir o tamanho de janela de filtragem a ser aplicado nas imagens ALOS2 e S1A. As análises considerando quatro imagens de cada sistema sensor, nas duas polarizações disponíveis, HH e HV para o ALOS2 e VV e VH para o S1A, adquiridas em diferentes datas, tiveram papéis preponderantes na definição do tamanho da janela. Principalmente no que se refere às imagens S1A, na qual as mesmas feições observadas nas imagens adquiridas em diferentes períodos apresentaram diferentes níveis de borramento.

4.5 Testes de normalidade

4.5.1 Testes de normalidade aplicados ao grupo das amostras de controle

Com o intuito de verificar se as distribuições das amostras pertencentes ao grupo de controle seguiam ou não a uma distribuição normal, quando analisadas segundo os atributos extraídos das imagens ALOS2 e S1A, foram realizados os testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera, considerando um nível de significância α igual a 0,05.

Para as amostras do grupo de controle analisadas pelos atributos ALOS2, somente em α -AL2, extraído das imagens de 05/10/2014, 18/10/2015, 05/02/2017 e 12/11/2017, os testes de normalidade indicaram que os conjuntos de dados seguiram a distribuição Normal, com valor-p entre 0,053 e 0,540 (Anexo F, Tabela F.1 a Tabela F.3). Unanimemente os testes foram capazes de indicar que as amostras em α -AL2, extraídas da imagem adquirida em 05/02/2017, seguiram a distribuição normal, com valor-p variando entre 0,433 e 0,540.

Uma exceção observada nos resultados dos testes de normalidade, considerando os dados ALOS2, foi em relação ao atributo H-AL2, extraído da imagem adquirida em 13/05/2018. Os testes de Anderson-Darling e Lilliefors indicaram que os dados seguiram a distribuição normal, com valor-p $\geq 0,069$ para o teste de Anderson-Darling e valor-p $\geq 0,347$ em Lilliefors (Tabela F.3). Já nos testes de Shapiro-Wilk e Jarque-Bera, o valor-p obtido foi $< 0,010$. Para os demais atributos (σ° HH, σ° HV, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH e Max-HV), os testes de normalidade indicaram que os conjuntos de dados não seguiram distribuição normal.

Considerando que as amostras do grupo de controle, analisadas segundo os testes de normalidade, nos atributos extraídos das diferentes imagens ALOS2, apresentaram majoritariamente distribuições que tenderam a não seguir a distribuição normal, optou-se por aplicar em todos os conjuntos de dados ALOS2, testes estatísticos não-paramétricos para validar os resultados de detecção.

Com relação aos testes de normalidade aplicados aos dados S1A, observou-se que as amostras do grupo de controle tenderam a seguir uma distribuição normal, quando analisadas pelo atributo α -S1, extraído das imagens adquiridas em 09/09/2015, 19/01/2016, 08/12/2016, 02/03/2017 e 25/06/2018. Destaca-se que, em todos os testes de normalidade, considerando as imagens supracitadas (exceto em 19/01/2016), o atributo α -S1 exibiu um valor-p entre 0,050 e 0,922 (Tabela F.4, Tabela F.5 e Tabela F.7). Para o atributo H-S1, nas imagens de 09/09/2015, 02/03/2017, 09/11/2017 e 12/08/2018, as amostras também seguiram a distribuição normal, com valor-p entre 0,054 e 0,983.

Nos demais atributos ($\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVl, Con-VH, Ener-VH e Max-VH), as amostras do grupo de controle tenderam à distribuição não normal. A coerência entre os resultados obtidos pelos diferentes testes de normalidade, com valor-p < 0,05, reforça a inferência de que esses dados não se aderiram à distribuição normal. Nesse sentido, as amostras de controle aplicadas tanto para os atributos do ALOS2 quanto para S1A indicaram que os ajustes das distribuições dos dados foram diferentes da distribuição normal, com exceção do atributo α . Com o intuito de validar os resultados de detecção considerando todos os conjuntos de dados, foi aplicado o teste não paramétrico de Wilcoxon.

4.5.2 Testes de normalidade aplicados ao grupo das amostras de campo

Para a avaliação da normalidade dos conjuntos de dados correspondentes às amostras de campo das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, associados aos atributos extraídos das imagens ALOS2 e S1A, também foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera, em um Intervalo de Confiança (IC) de 95%.

No que concerne o conjunto de dados formado por 3.649 amostras da UPA 2015 e pelos atributos extraídos do par de imagens de 05/10/2014 e 18/10/2015, os testes de normalidade sugeriram que os dados não se ajustaram a uma distribuição normal, com valor-p entre 0,0001 e 0,003 (Tabela G.1). Esses resultados foram apontados por todos os testes de normalidade aplicados, denotando uma alta coerência entre os seus desempenhos.

O teste de Lilliefors apresentou desempenho diferente dos demais testes, quando aplicado ao conjunto de dados constituído por 1.127 amostras da UPA 2016 e aos atributos extraídos da imagem ALOS2, obtida em 18/09/2016. Para os atributos α -AL2 e H-AL2, os valores-p foram, respectivamente, de 0,136 e 0,072 (Anexo G, Tabela G.2), indicando uma aderência dos dados à distribuição normal. Entretanto, nos testes de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Jarque-Bera, os resultados obtidos para ambos os atributos (α -AL2 e H-AL2) e para os demais atributos, sugeriram que os dados não se ajustaram à distribuição normal, exibindo um valor-p entre 0,0001 e 0,001.

No que concerne às amostras da UPA 2016, associadas aos atributos extraídos da imagem ALOS2 de 05/02/2017, os testes de Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera indicaram, com valor-p > 0,050, que no atributo H-S1, os dados se ajustaram à distribuição normal. O teste de Shapiro-Wilk, no entanto, sugeriu que os dados não apresentaram uma aderência a distribuição normal, exibindo um valor-p \leq 0,018 (Anexo G, Tabela G.2).

Por sua vez, as 1.103 amostras da UPA 2017 analisadas pelos atributos ALOS2, extraídos da imagem de 12/11/2017, somente em α -AL2 os testes de normalidade indicaram que o conjunto de dados seguiu distribuição normal, com valor-p variando de 0,096 a 0,487. É importante ressaltar que os quatro testes de normalidade aplicados indicaram o ajuste de distribuição de probabilidade dos dados a uma distribuição normal, demonstrando uma alta coerência entre os resultados obtidos por esses testes.

Para as amostras da UPA 2017, quando analisadas pelos atributos ALOS2 extraídos da imagem de 13/05/2018, somente o teste de Lilliefors indicou que a distribuição do conjunto de dados no atributo α -AL2 se ajustou a uma normal (Anexo G, Tabela G.3), com valor-p \geq 0,171.

Em síntese, ao comparar os resultados dos testes de normalidade aplicados ao grupo de controle e aos grupos de amostras de campo, analisados segundo 12 atributos extraídos das imagens ALOS2, observou-se que em apenas α -AL2 e H-AL2, os dados tenderam a seguir distribuição normal. Entretanto, ao considerar todos os conjuntos de dados, formado pelas seis imagens ALOS2,

pelo grupo de controle e pelas amostras de campo da UPA 2015, 2016 e 2017, observou-se que essa tendência não se confirmou. Para os demais atributos, $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH e Max-HV, os resultados dos testes de normalidade, unanimemente, indicaram que os conjuntos de dados não se ajustaram à distribuição normal.

Com relação aos conjuntos de dados S1A, as amostras de campo da UPA 2015, analisadas segundo os 11 atributos extraídos das imagens de 09/09/2015 e 19/01/2016, tenderam a seguir distribuição não normal, com valor-p < 0,05.

Uma exceção ao resultado supracitado foi observada no teste de Lilliefors para o atributo H-S1, extraído da imagem adquirida em 09/09/2015, no qual exibiu um valor-p $\geq 0,06$ (Anexo G, Tabela G.4), indicando que esse específico conjunto de dados se ajustou à distribuição normal. Entretanto, essa tendência não foi demonstrada pelos testes de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Jarque-Bera, que exibiram valores-p entre 0,0001 e 0,006 ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

No que concerne os testes de normalidade aplicados para as amostras de campo da UPA 2016, segundo os atributos extraídos da imagem S1A de 08/12/2016, somente em H-S1 os dados tenderam a seguir uma distribuição normal. De acordo com os testes de Lilliefors e Jarque-Bera, H-S1 exibiu valores-p de 0,096 e 0,089, respectivamente. Contudo, nos testes de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling, os dados tenderam a não se ajustar à distribuição normal, exibindo valor-p $\leq 0,012$ no teste de Shapiro-Wilk e, valor-p $\leq 0,034$ no teste de Anderson-Darling.

Considerando os atributos extraídos da imagem S1A adquirida em 02/03/2017, associados às amostras da UPA 2016, os resultados obtidos por todos os testes de normalidade, de maneira unânime, sugeriram que, em α -S1, o conjunto de dados possui distribuição normal. Nos testes de Shapiro-Wilk e Anderson-Darling, obtiveram-se valores-p maiores que 0,136 e 0,327, respectivamente. Nos testes de Lilliefors e Jarque-Bera, os valores-p foram maiores que 0,147 e 0,089, respectivamente (Anexo G, Tabela G.5). Esses resultados indicaram uma boa aderência dos dados à distribuição normal. No entanto, para os demais atributos extraídos, $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH,

Ener-VH, Max-VH e H-S1, os testes exibiram valores-p entre 0,0001 e 0,015, sugerindo que os dados não possuem distribuição normal.

Por sua vez, as amostras de campo da UPA 2017, analisadas segundo os atributos extraídos das imagens S1A, obtidas em 09/11/2017 e 15/12/2017, avaliados segundo os testes de normalidade, indicaram majoritariamente que os conjuntos de dados não se ajustaram à distribuição normal, com p-valor entre 0,0001 e 0,002. Neste contexto, os resultados dos testes de normalidade apresentaram fortes indícios de que os conjuntos de dados não provêm de uma distribuição normal. Somente em H-S1, extraído da imagem de 09/11/2017, os testes sugeriram uma distribuição normal. Shapiro-Wilk apresentou um p-valor $\geq 0,059$, Anderson-Darling um p-valor $\geq 0,068$, Lilliefors p-valor $\geq 0,156$ e Jarque-Bera um p-valor $\geq 0,112$ (Anexo G, Tabela G.6).

Com relação às amostras de campo da UPA 2018, associadas aos atributos extraídos da imagem S1A adquirida em 25/06/2018, os testes empregados não encontraram evidências de normalidade nas distribuições de todos os dados investigados, exibindo valores-p entre 0,0001 e 0,013. Por fim, para o conjunto de dados formados pelos atributos extraídos da imagem de 12/08/2018, os resultados dos testes de normalidade indicaram que somente em α -S1 e H-S1, os dados seguiram uma distribuição normal. Há fortes indícios de normalidade, principalmente relacionado ao atributo H-S1, uma vez que os testes exibiram um alto valor-p, como foram os casos dos testes de Anderson-Darling (valor-p $> 0,630$) e Lilliefors (valor-p $> 0,560$) (Anexo G, Tabela G.7).

Em síntese, os resultados obtidos nos testes de normalidade para os conjuntos de dados do ALOS2 e do S1A, considerando tanto as amostras de campo quanto as amostras do grupo de controle, não foi demonstrada uma ampla tendência dos dados à distribuição normal. Nesse sentido, considerando que predominantemente os conjuntos de dados seguem distribuição não normal, foi aplicado o teste estatístico não paramétrico de Wilcoxon para todos os conjuntos de dados a fim de validar os resultados de detecção de perdas de volume florestal por processo de corte seletivo.

4.6 Detecção de perdas de volume florestal a partir do grupo de controle

O grupo formado por 567 amostras de controle (Subseção 3.2.3) foi utilizado para avaliar se as diferenças observadas no volume florestal foram decorrentes dos processos de degradação por cortes seletivos ou devido a possíveis casualidades. Foram testados um total de 12 atributos extraídos a partir das imagens ALOS2 e um total de 11 atributos extraídos das imagens S1A, respectivamente, descritos nas Tabela 2.1 e Tabela 2.2.

A detecção de perdas de volume florestal para o grupo de controle, aplicados aos atributos ALOS2 e S1A, foi realizado considerando três abordagens metodológicas, pixel a pixel, polígono e grid, conforme apresentado na Subseção 3.3.4. Para avaliar se as diferenças detectadas no volume florestal a partir das amostras do grupo de controle foram significativamente diferentes, foi aplicado o teste de Wilcoxon considerando o valor-p com $\alpha = 0,05\%$. Esse teste estatístico pressupõe, como hipótese H_0 , que as amostras entre antes e depois do corte seguem a mesma distribuição de probabilidade; e como hipótese alternativa H_1 , que as distribuições das amostras são diferentes.

Para os resultados obtidos pelo grupo de controle, espera-se aceitar a hipótese H_0 e rejeitar a hipótese H_1 , uma vez que, teoricamente, não houve eventos de distúrbios florestais nas áreas onde as amostras de controle foram selecionadas, não havendo então, uma mudança no sinal radar associada a essas áreas de floresta. Consequentemente, as amostras entre antes e depois do evento tendem a seguir a mesma distribuição.

Nas Subseções 4.6.1 e 4.6.2, são apresentados os resultados obtidos para as amostras do grupo de controle, testados nas três abordagens considerando os atributos das imagens ALOS2 e S1A. Ressalta-se que todos os atributos incoerentes derivados das imagens de ambos os sistemas SAR foram processados na medida de potência em escala linear (m^2/m^2). Entretanto, para fins de comparação com outros estudos, foi realizada a transformação dos atributos $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, RC-AL2, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1 e RRVI para escala logarítmica (dB).

4.6.1 Detecção para o grupo de controle a partir do atributos ALOS2

As imagens ALOS2 utilizadas para a detecção a partir do grupo de controle foram as mesmas utilizadas subsequentemente para extrair os resultados a partir dos grupos de amostras de campo. Para cada área de estudo, foi associado um par de imagens ALOS2 que contemplou o período anterior e posterior aos cortes. A exploração seletiva em cada UPA foi realizada em um período específico que não coincidiu com a exploração seletiva de outra UPA. A área de estudo da UPA 2018 não foi considerada nas análises do ALOS2, uma vez que não havia imagens ALOS/PALSAR-2 disponíveis para o referido período de corte seletivo. Os pares de imagens utilizados pelo grupo de controle e amostras de campo, associados a cada UPA são listados na Tabela 4.17.

Tabela 4.17: Pares de imagens ALOS2 correspondentes ao período anterior e posterior a extração seletiva em cada Unidade de Produção Anual (UPA).

UPA	Data de aquisição das imagens ALOS2	
	Antes dos cortes	Após os cortes
UPA 2015	05/10/2014	18/10/2015
UPA 2016	18/09/2016	05/02/2017
UPA 2017	12/11/2017	13/05/2018

4.6.1.1 Detecção pixel a pixel para o grupo de controle - ALOS2

De acordo com os resultados obtidos, dentre os atributos extraídos das imagens ALOS2 e associadas à UPA 2015 e à UPA 2016, em Con-HH, Ener-HH e Max-HH as amostras apresentaram distribuições diferentes, com valores-p entre 0,0001 e 0,005 (Tabela 4.18 – UPA 2015 e UPA 2016). Corroborando com estes resultados, nos gráficos *boxplots* (Anexo H, Figura H.1 e Figura H.), para os atributos Con-HH, Ener-HH e Max-HH são observadas as alterações das distribuições das amostras nos dois períodos simulados.

Os resultados supracitados indicaram que houve diferenças significativas entre os valores das amostras associados hipoteticamente ao período anterior e posterior aos cortes seletivos. No atributo Con-HH associado às imagens da UPA 2015, as amostras antes dos cortes apresentaram uma média de valores de retroespalhamento 120,81 e, após a simulação dos cortes, uma média de 82,66. No atributo Ener-HH, as amostras de floresta antes dos cortes apresentaram

uma média de 0,32 e, após os cortes, uma média de 0,42. Por sua vez, no atributo Max-HH, as amostras exibiram média de retroespalhamento de 0,13 antes da simulação dos cortes e média de 0,13 após os cortes (Figura H.1).

Tabela 4.18: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,378	Aceita H_0	0,277	Aceita H_0	0,008	Rejeita H_0
σ° HV	0,281	Aceita H_0	0,286	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
RC-AL2	0,638	Aceita H_0	0,248	Aceita H_0	0,211	Aceita H_0
RNDVI	0,965	Aceita H_0	0,276	Aceita H_0	0,077	Aceita H_0
Con-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Con-HV	0,310	Aceita H_0	0,460	Aceita H_0	0,055	Aceita H_0
Ener-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Ener-HV	0,288	Aceita H_0	0,511	Aceita H_0	0,068	Aceita H_0
Max-HH	0,005	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Max-HV	0,744	Aceita H_0	0,567	Aceita H_0	0,230	Aceita H_0
α -AL2	0,831	Aceita H_0	0,549	Aceita H_0	0,622	Aceita H_0
H-AL2	0,977	Aceita H_0	0,561	Aceita H_0	0,807	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Nesse sentido, os três atributos foram desconsiderados para as posteriores análises de detecção de perdas de volume a partir das amostras de campo na área correspondente às UPAs 2015 e 2016, pela abordagem pixel a pixel.

Conforme pode ser observado na Tabela 4.18 - UPA 2015 e 2016, para os demais atributos, σ° HH, σ° HV, RC-AL2, RNDVI, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, o teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras observadas antes e após o hipotético evento de corte seletivo, seguiram as mesmas distribuições, com valores-p variando entre 0,248 e 0,977. Isto sugere que não houve diferenças significativas entre as mesmas amostras analisadas em diferentes períodos (Figura H.1 e Figura H.).

Com relação aos resultados de detecção obtidos pelas amostras do grupo de controle, dentre os atributos extraídos das imagens ALOS2 e associadas à UPA

2017, em $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, Con-HH, Ener-HH e Max-HH, o teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras são diferentes, com valores- $p \leq 0,008$ para as amostras relacionadas ao atributo $\sigma^{\circ}HH$ e, valores- $p \leq 0,0001$ para as amostras associadas a $\sigma^{\circ}HV$, Con-HH, Ener-HH e Max-HH (Tabela 4.18 - UPA 2017). As amostras antes da simulação da exploração seletiva apresentaram em $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, Con-HH, Ener-HH e Max-HH, respectivamente, uma média de valor de -6,823, -11,531, 200,470, 0,297 e 0,114 e, após, uma média de: -6,585, -11,124, 122,009, 0,297 e 0,123 (Figura H.).

Por sua vez, nos atributos RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, as distribuições das amostras tenderam a ser as mesmas, com valores- p variando entre 0,055 (Con-VH) a 0,807 (H-AL2), indicando que os valores das amostras do grupo de controle, observados entre os períodos simulados, não tiveram influências significativas devido a possíveis casualidades.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4.18 e nas Figura H.1 a Figura H., as distribuições das amostras do grupo de controle, associadas às imagens ALOS2 das UPAs 2015, 2016 e 2017 tenderam a seguir a mesma distribuição, exceto os atributos Con, Ener e Max na polarização HH, além dos atributos $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$ associados as imagens da UPA 2017.

4.6.1.2 Detecção por polígonos 16,48 m para o grupo de controle - ALOS2

Os resultados dos testes estatísticos de Wilcoxon, considerando $\alpha = 0,05$, na abordagem por polígonos de 16,48 m, indicaram que os atributos associados às imagens ALOS2 da UPA 2015, UPA 2016 e UPA 2017, apresentaram desempenhos similares aos resultados obtidos na abordagem pixel a pixel (Tabela 4.18 e Tabela 4.19). Em síntese, as amostras de controle associadas aos atributos extraídos da matriz GLCM, Con, Ener e Max, especificamente na polarização HH, tenderam a apresentar distribuições significativamente diferentes, com valor- $p \leq 0,0001$. Deste modo, os resultados sugerem que os três atributos não apresentam potencialidades. Nas Figura H.4 a Figura H.6, é possível observar as diferenças entre os valores das distribuições das amostras antes e depois da simulação da exploração seletiva.

Tabela 4.19 - Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 16,48 m, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,197	Aceita H ₀	0,788	Aceita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀
σ° HV	0,540	Aceita H ₀	0,145	Aceita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀
RC-AL2	0,962	Aceita H ₀	0,348	Aceita H ₀	0,661	Aceita H ₀
RNDVI	0,702	Aceita H ₀	0,479	Aceita H ₀	0,067	Aceita H ₀
Con-HH	0,0001	Rejeita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀
Con-HV	0,252	Aceita H ₀	0,402	Aceita H ₀	0,029	Rejeita H ₀
Ener-HH	0,0001	Rejeita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀
Ener-HV	0,092	Aceita H ₀	0,798	Aceita H ₀	0,119	Aceita H ₀
Max-HH	0,0001	Rejeita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀	0,0001	Rejeita H ₀
Max-HV	0,059	Aceita H ₀	0,651	Aceita H ₀	0,260	Aceita H ₀
α -AL2	0,900	Aceita H ₀	0,740	Aceita H ₀	0,888	Aceita H ₀
H-AL2	0,980	Aceita H ₀	0,785	Aceita H ₀	0,643	Aceita H ₀

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H₀ indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H₀ implica em aceitar a hipótese H₁, no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

As diferenças entre os valores de média obtidos pelo atributo Con-HH, extraídos das imagens ALOS2 correspondentes às UPAs 2015, 2016 e 2017, foram, respectivamente, de 38,809, 85,776 e 76,202. Para o atributo Ener-HH, as diferenças entre as médias foram de 0,007, 0,060 e 0,011, respectivamente, para as imagens associadas às UPAs 2015, 2016 e 2017. Já as diferenças entre os valores de média para o atributo Max-HH derivados das imagens ALOS2 correspondentes às UPAs 2015, 2016 e 2017, foram, respectivamente, de 0,020, 0,036 e 0,006.

Nesse contexto, os três atributos foram desconsiderados para as análises posteriores de detecção de diferenças no volume florestal com o grupo de amostras de campo, na abordagem por polígonos com distância de 16,48 m, considerando as três áreas de estudo.

Ainda conforme pode ser observado na Tabela 4.19, as amostras nos atributos RC-AL2, RNDVI, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 seguiram as mesmas distribuições nos três pares de imagens, com valores-p variando de 0,059 a

0,962. Esses resultados também podem ser constatados através das comparações entre as distribuições das amostras, sendo possível observar a similaridade radiométrica entre elas antes e após a simulação do evento de corte, conforme representado pelos gráficos *boxplots* nas Figura H. a Figura H.6. Os resultados aqui descritos corroboram com os resultados obtidos por esses mesmos atributos investigados na abordagem pixel a pixel.

Segundo o teste de Wilcoxon, para os atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$ e $\sigma^{\circ}\text{HV}$, correspondentes às imagens da UPA 2017, as distribuições das amostras também seguiram distribuições significativamente diferentes, com valor- $p \leq 0,0001$ (Tabela 4.19). Resultados similares a esses também foram encontrados na abordagem pixel a pixel para ambos os atributos, $\sigma^{\circ}\text{HH}$ e $\sigma^{\circ}\text{HV}$, correspondentes às imagens da UPA 2017.

Ainda com relação à UPA 2017, o atributo Con-HV apresentou um valor- $p \leq 0,029$, indicando que as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, ao compará-las nos dois momentos de simulação. De acordo com os gráficos *boxplots* (Figura H.6), a diferença entre as médias dos valores de retroespalhamento das amostras antes e depois da simulação dos cortes foi de 5,156. O resultado supracitado, relacionado ao atributo Con-HV, diferiu-se do encontrado na abordagem pixel a pixel para o mesmo período.

Nesse sentido, além de desconsiderar os atributos Con-HH, Ener-HH e Max-HH para as posteriores análises de detecção com as amostras de campo, na abordagem por polígono de 16,48 m, também foi excluído o atributo Con-HV especificamente para a UPA 2017.

4.6.1.3 Detecção por polígonos 24,72 m para o grupo de controle - ALOS2

As amostras de corte seletivo do grupo de controle, associadas aos pares de imagens correspondentes às UPAs 2015 e 2016, na abordagem por polígono de 24,72 m, demonstraram desempenhos parecidos com os obtidos a partir das abordagens pixel a pixel e por polígono de 16,72 m (Tabela 4.20, Tabela 4.19 e Tabela 4.18 - UPA 2015 e UPA 2016).

Dentre os 12 atributos empregados, em nove deles ($\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2), as distribuições das

amostras não apresentaram diferenças significativas, com valores-p variando entre 0,059 e 0,993 (Tabela 4.20 UPA 2015 e UPA 2016). Indicando que não houve uma variação com relação às respostas da vegetação antes e depois da simulação dos cortes, e conseqüentemente, demonstrando uma alta similaridade radiométrica (Figura H.7 e Figura H.8).

Tabela 4.20: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 24,72 m, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,197	Aceita H_0	0,413	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
σ° HV	0,540	Aceita H_0	0,151	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
RC-AL2	0,962	Aceita H_0	0,653	Aceita H_0	0,530	Aceita H_0
RNDVI	0,702	Aceita H_0	0,832	Aceita H_0	0,017	Rejeita H_0
Con-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Con-HV	0,252	Aceita H_0	0,747	Aceita H_0	0,032	Rejeita H_0
Ener-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Ener-HV	0,092	Aceita H_0	0,328	Aceita H_0	0,109	Aceita H_0
Max-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Max-HV	0,059	Aceita H_0	0,307	Aceita H_0	0,274	Aceita H_0
α -AL2	0,900	Aceita H_0	0,845	Aceita H_0	0,692	Aceita H_0
H-AL2	0,980	Aceita H_0	0,993	Aceita H_0	0,314	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Ainda com relação às detecções obtidas a partir do grupo de controle, associadas aos pares de imagens correspondentes à UPA 2015 e à UPA 2016, para os atributos Con-HH, Ener-HH e Max-HH, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p $\leq 0,0001$. Esses resultados indicaram uma variação nas respostas desses atributos. Destaca-se o Con-HH que apresentou uma diferença entre os valores de média de 39,831 e 62,073, respectivamente, para as imagens associadas às UPAs 2015 e 2016, e o atributo Ener-HH que exibiu uma diferença entre os valores de média de 0,120 para as imagens associadas à UPA 2015 (Figura H.7 e Figura H.8).

No que concerne os resultados do teste estatístico de Wilcoxon aplicados aos atributos das imagens ALOS associadas à UPA 2017, observou-se que, em um

maior número de atributos, as amostras apresentaram distribuições significativamente diferentes, quando comparadas com as abordagens metodológicas por pixel a pixel e por polígonos com 16,42 m. Os atributos que apresentaram valores- $p < 0,05$ foram: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH e Max-HH (Tabela 4.20). Dentre esses atributos, ressalta-se que, no atributo Con-HH, as amostras antes da simulação dos cortes exibiram uma média de valores de 99,977, e após os cortes, uma média de 43,931 (Figura H.9). Destacam-se ainda, os resultados obtidos para o atributo RNDVI, com valor- $p \leq 0,032$, que quando comparado com os resultados obtidos nas demais abordagens supracitadas, as amostras seguiram uma mesma distribuição.

4.6.1.4 Detecção por *grid* de 2x2 pixels para o grupo de controle - ALOS2

Na abordagem por *grid* de 2x2 pixels, os resultados dos testes de Wilcoxon indicaram que nos atributos Con-HH, Ener-HH e Max-HH, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes em todos os pares de imagens, com valores- $p \leq 0,0001$ (Tabela 4.21). Destaca-se o atributo Con-HH que apresentou uma diferença de 38,948 no valor entre as médias das distribuições das amostras analisados antes e depois da simulação dos cortes (Figura H.3 a Figura H.17).

Em síntese, os comportamentos das distribuições das amostras do grupo de controle, observadas antes e após as simulações da exploração seletiva de madeira, nos três atributos empregados (Con-HH, Ener-HH e Max-HH), indicaram uma variação nas respostas de retroespalhamento. Esses resultados relacionados a variação radiométrica não eram esperados, uma vez que, hipoteticamente não houve mudanças/perturbações na área onde as amostras de controle estavam inseridas, conseqüentemente, não se esperava ter mudanças nos valores de retroespalhamento das amostras antes e após a simulação dos cortes.

Por sua vez, nos atributos RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, as amostras de controle observadas antes e após os eventos de distúrbios florestais seguiram com as mesmas distribuições em todos os pares de imagens investigados. Segundo o teste de Wilcoxon (Tabela 4.21), não houve

diferenças significativas nas distribuições das amostras, com valores-p variando entre 0,091 e 0,971, ao nível de significância de 0,05.

Tabela 4.21: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por *grid* de 2x2 pixels, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,463	Aceita H_0	0,960	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
σ° HV	0,881	Aceita H_0	0,604	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
RC-AL2	0,626	Aceita H_0	0,552	Aceita H_0	0,535	Aceita H_0
RNDVI	0,414	Aceita H_0	0,642	Aceita H_0	0,245	Aceita H_0
Con-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Con-HV	0,682	Aceita H_0	0,945	Aceita H_0	0,091	Aceita H_0
Ener-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Ener-HV	0,248	Aceita H_0	0,602	Aceita H_0	0,129	Aceita H_0
Max-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Max-HV	0,230	Aceita H_0	0,238	Aceita H_0	0,368	Aceita H_0
α -AL2	0,971	Aceita H_0	0,614	Aceita H_0	0,830	Aceita H_0
H-AL2	0,628	Aceita H_0	0,759	Aceita H_0	0,634	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Dentre todos os atributos analisados, nos quais as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições, no atributo H-AL2, foram encontradas as menores diferenças entre os valores de média das amostras testadas antes e após a simulação do evento. As diferenças entre as médias foram de 0,003, 0,001 e 0,002, respectivamente, para as imagens de associadas às UPAs 2015, 2016 e 2017 (Figura H.3 a Figura H.17).

Os resultados supracitados, relacionados com os atributos nos quais as amostras do grupo de controle apresentaram as mesmas distribuições, indicaram que possivelmente não houve alterações/perturbações no ambiente onde as amostras estavam inseridas, conseqüentemente, não havendo mudanças nos valores dos pixels e nas distribuições do grupo amostral, observadas nos diferentes momentos (Figura H.3 a Figura H.17).

Os resultados do teste estatístico indicaram que nos atributos $\sigma^{\circ}HH$ e $\sigma^{\circ}HV$ associados especificamente às imagens ALOS2 da UPA 2017, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, quando observadas antes e após os cortes seletivos, com valores-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.21). Os resultados diferem dos encontrados para esses mesmos atributos, quando comparados com as imagens relacionadas às UPAS de 2015 e 2016. Entretanto, quando eles são comparados especificamente com as imagens ALOS2 da UPA 2017, pelas abordagens pixel a pixel e por polígonos de distância de 16,48 m e 24,72 m, observa-se desempenhos similares, com valor-p $< 0,05$.

Em síntese, observou-se através dos resultados obtidos pelo teste de Wilcoxon, com IC de 95%, que o comportamento das distribuições das amostras de controle testadas na abordagem metodológica por grid, considerando o tamanho de 2x2 pixels (Tabela 4.21), foi similar ao desempenho observado na abordagem pixel a pixel (Tabela 4.18).

4.6.1.5 Detecção por *grid* de 3x3 pixels para o grupo de controle - ALOS2

Para os atributos testados e associados às imagens ALOS2 da UPA 2015 considerando as amostras do grupo de controle no formato de *grid* de 3x3 pixels, observou-se que em $\sigma^{\circ}HV$, Con-HH, Ener-HH e Max-HH, as distribuições das amostras foram diferentes. Para o atributo $\sigma^{\circ}HV$, o teste de Wilcoxon apresentou um valor-p $\leq 0,32$, já para Con-HH, Ener-HH e Max-HH os valores-p foram $\leq 0,001$ (Tabela 4.22).

Destaca-se o atributo Con-HH que, dentre os atributos supracitados, apresentou o maior valor de diferença (36,735) entre as distribuições das amostras observadas nos dois períodos. Essa diferença entre os valores das distribuições pode ser observada nos gráficos *boxplots* do Anexo H, Figura H.13. Dentre os resultados obtidos pelos atributos associados às imagens ALOS2 da UPA 2015, o atributo $\sigma^{\circ}HV$, quando comparado com as demais abordagens testadas, foi o único que apresentou um desempenho diferente.

Tabela 4.22: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por *grid* de 3x3 pixels, aplicado ao grupo de controle - ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,099	Aceita H_0	0,988	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
σ° HV	0,032	Rejeita H_0	0,105	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
RC-AL2	0,715	Aceita H_0	0,240	Aceita H_0	0,780	Aceita H_0
RNDVI	0,706	Aceita H_0	0,353	Aceita H_0	0,151	Aceita H_0
Con-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Con-HV	0,099	Aceita H_0	0,946	Aceita H_0	0,053	Aceita H_0
Ener-HH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Ener-HV	0,342	Aceita H_0	0,089	Aceita H_0	0,053	Aceita H_0
Max-HH	0,0000	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Max-HV	0,517	Aceita H_0	0,126	Aceita H_0	0,135	Aceita H_0
α -AL2	0,556	Aceita H_0	0,794	Aceita H_0	0,907	Aceita H_0
H-AL2	0,618	Aceita H_0	0,792	Aceita H_0	0,579	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Dentre os atributos derivados dos pares de imagens ALOS2 e associados às UPAS 2015 e 2016, os que as amostras seguiram as mesmas distribuições ao serem observadas nos diferentes tempos foram: σ° HH, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, com valores-p variando entre 0,083 e 0,988 (Tabela 4.22). Quando comparado com as diferenças entre os valores de média desses atributos supracitados, ressalta-se o atributo H-AL2 (Figura H.13 e Figura H.14) que apresentou as menores diferenças entre os valores de média. O atributo H-AL2 associado ao par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2015, apresentou uma diferença média de 0,001. Já para o par de imagens associado à UPA 2016, não houve diferença entre as distribuições das amostras observadas nos diferentes momentos.

Os atributos testados e associados ao par de imagens ALOS2 da UPA 2017 apresentaram desempenhos similares aos obtidos nas abordagens pixel a pixel e *grid* de 2x2 pixels, sendo as distribuições das amostras significativamente diferentes nos atributos σ° HH, σ° HV, Con-HH, Ener-HH e Max-HH, com valores-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.22). Dentre eles, destaca-se o atributo Con-HH, no qual as

distribuições das amostras antes da simulação do evento apresentaram uma média de valores de 200,119 e, após, uma média de valores de 123,084, resultado em uma diferença entre as médias de 77,035 (Figura H.15).

Os atributos que não apresentaram diferenças significativas entre os valores das distribuições das amostras foram: RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2. O menor valor-p obtido, ao nível de significância $\alpha = 0,05$ foi atribuído a Con-HV e a Ener-HV, ambos com valores-p $\geq 0,053$. Já o maior valor-p foi atribuído a α -AL2, com $p \geq 0,907$ (Tabela 4.22).

4.6.2 Detecção para o grupo de controle a partir dos atributos S1A

As imagens S1A empregadas para detectar diferenças no volume florestal a partir do grupo de controle foram as mesmas utilizadas posteriormente para detectar as diferenças no volume florestal com os dados de campo. Os desbastes por corte seletivo ocorreram em um período específico em cada UPA, não coincidindo esses períodos nas áreas de estudos investigadas. Um par de imagens S1A, correspondendo ao período anterior e posterior aos desbastes foi empregado para cada área de estudo, contemplando as UPAs de 2015, 2016, 2017 e 2018. Os pares de imagens utilizados para extrair os resultados de detecção a partir do grupo de controle e para as amostras de campo, associados à cada UPA, são apresentados na Tabela 4.23.

Tabela 4.23: Pares de imagens S1A correspondentes ao período anterior e posterior a extração seletiva em cada Unidade de Produção Anual (UPA).

UPA	Data de aquisição das imagens S1A	
	Antes dos cortes	Após os cortes
UPA 2015	09/09/2015	19/01/2016
UPA 2016	08/12/2016	02/03/2017
UPA 2017	09/11/2017	15/12/2017
UPA 2018	25/06/2018	12/08/2018

4.6.2.1 Detecção pixel a pixel para o grupo de controle - S1A

De acordo com os resultados obtidos pelo teste de Wilcoxon, com IC de 95%, dentre os 11 atributos investigados e associados às imagens S1A da UPA 2015, em apenas um deles ($\sigma^{\circ}VH$), as amostras apresentaram as mesmas distribuições, com valor-p $\geq 0,596$ (Tabela 4.24).

De acordo com o Anexo I, Figura I.1, a média de valores das distribuições das amostras antes e depois das simulações dos cortes foram as mesmas, com valor de 0,041, indicando que não houve uma variação nas respostas de retroespalhamento do atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$, quando observado nos dois diferentes períodos. Os valores mínimos na distribuição antes e depois da simulação foram de 0,006 e 0,010, respectivamente. Os valores máximos da distribuição antes e depois dos cortes foram de 0,0110 e 0,041, respectivamente.

Tabela 4.24: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel, aplicado ao grupo de controle – S1A.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017		UPA 2018	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
$\sigma^{\circ}\text{VV}$	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
$\sigma^{\circ}\text{VH}$	0,596	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
SUM-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
DIF-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0000	Rejeita H_0	0,0000	Rejeita H_0
MEAN-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
RRVI	0,0001	Rejeita H_0	0,216	Aceita H_0	0,338	Aceita H_0	0,598	Aceita H_0
Con-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0002	Rejeita H_0	0,136	Aceita H_0
Ener-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,448	Aceita H_0	0,548	Aceita H_0
Max-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,582	Aceita H_0	0,754	Aceita H_0
α -S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0380	Rejeita H_0	0,274	Aceita H_0	0,996	Aceita H_0
H-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0230	Rejeita H_0	0,444	Aceita H_0	0,170	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Nesse sentido, apenas o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ foi considerado para as análises de detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo na área da UPA 2015, considerando a abordagem pixel a pixel.

Com relação aos atributos extraídos das imagens S1A, associadas à UPA 2016, também foi observado que em apenas um atributo, o RRVI, as distribuições das amostras foram as mesmas, com valor-p $\geq 0,195$ (Tabela 4.24 e Figura I.). Para os demais atributos, as distribuições de probabilidade das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p $< 0,05$. O atributo Con-VH exibiu a maior diferença entre as médias das distribuições, com valor de 35,371. Assim, apenas o atributo RRVI foi considerado nas posteriores análises de detecção considerando as amostras de campo na área da UPA 2016.

Os resultados relacionados às distribuições de probabilidade do grupo de controle e associados aos atributos S1A investigados, indicaram uma grande variação nas respostas do sinal de radar, tanto para os atributos associados às imagens da UPA 2015 quanto para os da UPA 2016. Para o grupo de controle, esperava-se não encontrar diferenças significativas nas distribuições das amostras.

De acordo com os testes estatísticos de Wilcoxon, dentre os atributos associados às imagens S1A da UPA 2017, em RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as amostras seguiram as mesmas distribuições, quando analisadas nos dois períodos simulados. Os valores-p exibidos por esses atributos variaram entre 0,274 e 0,582 (Tabela 4.24), sugerindo que não houve variação significativas nas respostas SAR da floresta.

Ainda, os atributos extraídos da matriz GLCM, Ener-VH e Max-VH, exibiram as menores diferenças nas médias dos valores das distribuições das amostras. No atributo Ener-VH, as médias dos valores de retroespalhamento antes e depois da simulação da exploração seletiva foram de 0,294 e 0,293, respectivamente. No atributo Max-VH, as médias antes e depois da simulação foram de 0,111 e 0,109, respectivamente (Figura I.3).

Por sua vez, nos atributos σ° VV, σ° VH, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1 e Con-VH, o teste de Wilcoxon indicou que houve diferenças significativas entre as distribuições das amostras, com valores-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.24 - UPA 2017). Nesse sentido, os atributos supracitados foram então descartados para as posteriores análises de detecção, considerando as amostras de campo e imagens SAR da UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.

Com relação aos resultados obtidos para os atributos associados às imagens S1A da UPA 2018, em RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as amostras seguiram as mesmas distribuições, quando observadas antes e após as simulações da exploração seletiva. Destaca-se, dentre os atributos, o α -S1 com o maior valor-p obtido ($p \geq 0,996$) (Tabela 4.24 - UPA 2018). Esses resultados indicaram que há uma similaridade radiométrica entre as amostras de um mesmo atributo, quando analisadas nos dois períodos (Figura I.). Por sua

vez, nos atributos $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1 e MEAN-S1, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor- $p \leq 0,0001$ (Tabela 4.24), indicando que não há sobreposição das distribuições das amostras do grupo de controle quando observadas nos diferentes tempos.

Em síntese, os resultados obtidos pelo grupo de controle na abordagem pixel a pixel indicou que, nos atributos $\sigma^{\circ}VV$, SUM-S1, DIF-S1 e MEAN-S1, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes em todos os pares de imagens S1A que estão associados às UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, sendo esses atributos descartados para as análises de detecção a partir das amostras de campo na abordagem pixel a pixel. Dentre os atributos que indicaram que as amostras seguiram as mesmas distribuições, destaca-se o RRVI, que apresentou uma maior coerência/linearidade em seus resultados, ao ser testado em diferentes pares de imagens S1A.

Os atributos extraídos dos pares de imagens associados às UPAs de 2015 e 2016 não apresentaram bons desempenhos para o grupo de controle. Como resultado, esperava-se que as mesmas amostras observadas em diferentes tempos (antes e após o evento) seguissem uma mesma distribuição. Ou seja, esperava-se não encontrar diferenças significativas nos valores de retroespalhamento associados a vegetação, uma vez que, possivelmente não houve perturbações na área florestal onde as amostras de controle foram selecionadas. Entretanto, não foi observado para os dados S1A adquiridos para às UPAs 2015 e 2016. Já para os atributos extraídos dos pares das imagens associados às UPAs de 2017 e 2018, houve uma maior coerência/linearidade nos resultados obtidos.

4.6.2.2 Detecção por polígonos para o grupo de controle - S1A

Na Tabela 4.25, são apresentados os resultados dos testes estatísticos de Wilcoxon na abordagem por polígono, aplicados em cada um dos 11 atributos extraídos a partir de diferentes pares de imagens S1A que foram associados às UPAs de 2015, 2016, 2017 e 2018.

Tabela 4.25: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 31,76 m, aplicado ao grupo de controle - S1A.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017		UPA 2018	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° VV	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
σ° VH	0,951	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
SUM-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
DIF-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
MEAN-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
RRVI	0,0001	Rejeita H_0	0,287	Aceita H_0	0,536	Aceita H_0	0,726	Aceita H_0
Con-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,319	Aceita H_0
Ener-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,085	Aceita H_0	0,971	Aceita H_0
Max-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,105	Aceita H_0	0,630	Aceita H_0
α -S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0280	Rejeita H_0	0,381	Aceita H_0	0,610	Aceita H_0
H-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,052	Aceita H_0	0,685	Aceita H_0	0,106	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Para os atributos extraídos das imagens S1A, correspondentes à UPA 2015, apenas em σ° VH as amostras seguiram as mesmas distribuições, com valor-p $\geq 0,951$. O valor de média obtido foi de 0,042, com um intervalo de distribuição de 0,011 a 0,102 para as amostras observadas antes das simulações dos cortes e um intervalo de 0,014 a 0,014 a 0,112 para as mesmas amostras observadas após a simulação do evento (Figura I.5). As sobreposições das distribuições obtidas pelo atributo σ° VH indicaram que não houve significativa variação entre as distribuições das amostras quando observadas nos diferentes períodos.

Por sua vez, para os demais atributos empregados, σ° VV, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, o teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valores-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.25 - UPA 2015). Os resultados obtidos na abordagem por polígono de 31,76 m para o par de imagens S1A, associado à UPA 2015, foram similares aos resultados obtidos a partir da abordagem pixel a pixel. Dentre todos os atributos, o σ° VH foi o único em as distribuições das amostras seguiram as mesmas distribuições de probabilidade.

Com relação aos resultados obtidos para os atributos extraídos dos pares das imagens S1A, correspondentes à UPA 2016, em RRVI e H-S1, as amostras

seguiram as mesmas distribuições, com valor-p $\geq 0,287$ para RRVI e valor-p $\geq 0,052$ para H-S1 (Tabela 4.25 - UPA 2016). Entretanto, para os demais atributos, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p $< 0,05$, indicando, dessa forma, uma variação entre as respostas radiométricas das amostras, quando observadas antes e após as simulações da exploração seletiva. Destaca-se o Con-VH que exibiu o valor de 36,428, considerado este atributo, que exibiu a maior diferença entre as médias das distribuições (Figura I.6).

Ao comparar os resultados obtidos pelas abordagens metodológicas pixel a pixel e por polígono, para o par de imagens associados à UPA 2016, no atributo RRVI, as amostras seguiram as mesmas distribuições em ambas as abordagens, com valor-p $\geq 0,195$ para RRVI na abordagem pixel a pixel e valor-p $\geq 0,287$ na abordagem por polígono (Tabela 4.25). Entretanto, além desse atributo, destaca-se o H-S1, que somente na abordagem por polígono, indicou que as distribuições das amostras foram as mesmas.

Conforme os resultados obtidos no teste de Wilcoxon, para o par de imagens S1A associado à UPA 2017, nos atributos RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições, com valores-p entre 0,053 e 0,685 (Tabela 4.25 - UPA 2017). Dentre os atributos supracitados, destacam-se o Ener-VH e o H-S1. O Ener-VH obteve um valor de média de 0,268 e um intervalo de distribuição de 0,230 a 0,359, antes da simulação. Após a simulação, exibiu um valor de média de 0,265 e um intervalo de valores de 0,230 a 0,350. Já o H-S1 exibiu um valor de média de 0,705 e intervalo de distribuição de 0,441 a 0,925, antes da exploração. Após a exploração, o valor de média desse atributo foi de 0,701 e um intervalo de distribuição de 0,478 a 0,701, apresentando uma diferença entre os valores de média de 0,004 (Figura I.7).

Os resultados supracitados indicaram que não houve diferenças significativas nos valores das distribuições das amostras, quando observadas antes e após os distúrbios florestais. Esses resultados encontram-se em consonância com o esperado para o grupo de controle, uma vez que, hipoteticamente, não houve perturbações no ambiente florestal onde as amostras de controle foram obtidas.

Por sua vez, nos atributos $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1 e Con-VH, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p $\leq 0,0001$. Essas diferenças entre os valores das distribuições das mesmas amostras de controle, nos dois diferentes períodos, podem ser observadas nos gráficos *boxplots* da Figura I.7. A maior diferença entre os valores médios das distribuições pôde ser observada no atributo Con-VH, que exibiu um valor médio de 14,586.

Os resultados obtidos para os atributos derivados dos pares de imagens S1A, correspondentes à UPA 2017, para as abordagens pixel a pixel e por polígono, indicaram desempenhos similares, sendo que em ambas as abordagens, nos atributos RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as amostras de controle seguiram as mesmas distribuições, quando comparadas nos dois momentos, antes e após as simulações dos cortes. Já os atributos $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1 e Con-VH, as distribuições foram significativamente diferentes em ambas as abordagens.

De acordo com os resultados obtidos pelo teste de Wilcoxon, para os atributos extraídos das imagens S1A e associados à UPA 2018, as distribuições das amostras foram significativas diferentes para $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1 e MEAN-S1, exibindo um valor-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.25 - UPA 2018). Esses resultados indicaram que há variações entre as respostas de retroespalhamento, quando as mesmas amostras de controle foram comparadas antes e após as simulações de exploração seletiva. Nesse sentido, os atributos supracitados foram desconsiderados nas análises posteriores de detecção de perdas de volume florestal, a partir das amostras de campo, associadas às imagens S1A da UPA 2018, na abordagem por polígono.

Para os atributos RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, o teste estatístico de comparação indicou que as distribuições das amostras foram as mesmas, com valores-p variando entre 0,106 e 0,979 (Tabela 4.25 - UPA 2018). Destacam-se os atributos Ener-VH e Max-VH que exibiram as menores diferenças entre os valores de média das distribuições. O atributo Ener-VH apresentou uma diferença entre as médias de 0,001. Para o atributo Max-VH,

não houve diferença entre os valores de média das distribuições, com valor médio de 0,106 antes e após as simulações (Figura I.8).

Os resultados obtidos para os atributos extraídos dos pares de imagens S1A, associados à UPA 2018, na abordagem por polígono foram similares aos obtidos através da abordagem pixel a pixel, indicando os mesmos atributos, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, como os mais sensíveis para detecção de perdas de volume florestal, decorrentes dos processos de cortes seletivos, a partir do grupo de controle.

4.6.2.3 Detecção por *grid* de 2x2 pixels para o grupo de controle - S1A

Os resultados do teste de Wilcoxon obtidos para os atributos S1A na abordagem *grid* de 2x2 pixels, correspondentes às imagens da UPA 2015, somente em σ° VH as amostras apresentaram as mesmas distribuições com valor-p $\geq 0,585$ (Tabela 4.26 - UPA 2015). O valor médio da distribuição do conjunto amostral observado antes da simulação da exploração seletiva foi o mesmo quando observado após a simulação, exibindo um valor médio de 0,041. Na Figura I.99, é possível observar as sobreposições das distribuições do atributo σ° VH.

Para os demais atributos empregados, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.26 - UPA 2015), indicando significativa variação entre as respostas de retroespalhamento associado à vegetação florestal da área de controle.

Tabela 4.26: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por *grid* de 2x2 pixels, aplicado ao grupo de controle - S1A.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017		UPA 2018	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° WV	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
σ° VH	0,585	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
SUM-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
DIF-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,002	Rejeita H_0	0,0000	Rejeita H_0
MEAN-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
RRVI	0,0001	Rejeita H_0	0,422	Aceita H_0	0,787	Aceita H_0	0,585	Aceita H_0
Con-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,002	Rejeita H_0	0,076	Aceita H_0
Ener-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,091	Aceita H_0	0,476	Aceita H_0
Max-VH	0,0001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,054	Aceita H_0	0,987	Aceita H_0
α -S1	0,0001	Rejeita H_0	0,027	Rejeita H_0	0,311	Aceita H_0	0,625	Aceita H_0
H-S1	0,0001	Rejeita H_0	0,013	Rejeita H_0	0,592	Aceita H_0	0,120	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Os resultados obtidos para os atributos associados às imagens da UPA 2015 na abordagem por *grid* foram similares aos resultados obtidos nas abordagens por polígono e pixel a pixel. Segundo o teste de Wilcoxon, somente no atributo σ° VH as amostras seguiram as mesmas distribuições, não havendo nenhuma diferença entre os valores de média das distribuições das amostras de controle, quando observadas antes e depois da simulação nas três abordagens testadas.

Com relação aos atributos extraídos das imagens S1A correspondentes à UPA 2016, somente em RRVI as distribuições das amostras foram as mesmas, com valor-p $\geq 0,422$ (Tabela 4.26 - UPA 2016). Nos atributos σ° VV, σ° VH, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p $\leq 0,027$. Nesse sentido, esses atributos que apresentaram diferenças nas distribuições de probabilidades foram desconsiderados nas análises de detecção com as amostras de campo, na abordagem por *grid*.

De modo geral, os resultados obtidos pela abordagem por *grid* foram similares aos resultados obtidos na abordagem pixel a pixel, sendo que somente no atributo RRVI as amostras seguiram as mesmas distribuições. No entanto,

destaca-se a abordagem por polígono, no qual, além do atributo RRVI, o H-S1 também indicou que as distribuições das amostras foram as mesmas.

Para os atributos associados às imagens S1A da UPA 2017, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes em $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, e Con-VH, com valores-p $\leq 0,002$ (Tabela 4.26 - UPA 2017). Dentre eles, destaca-se o Con-VH o maior valor de diferença, 13,589, entre as distribuições das amostras (Figura I.5). Os resultados obtidos pelos atributos supracitados indicaram que houve diferenças significativas nas respostas de retroespalhamento da vegetação na área de controle, quando observadas no par bitemporal de imagens S1A. Nesse sentido, esses atributos foram desconsiderados nas análises de detecção a partir dos dados de campo, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.

Já nos atributos RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as amostras de controle seguiram as mesmas distribuições, quando observadas nos dois períodos investigados, com valor-p entre 0,054 e 0,787 (Tabela 4.26 - UPA 2017, Figura I.5), indicando que, para esses atributos, não houve diferenças significativas nas respostas de retroespalhamento associado à vegetação. Os resultados obtidos pelos atributos nas três abordagens, pixel a pixel, polígono e *grid*, considerando as amostras do grupo de controle para às imagens S1A associadas à UPA 2017, exibiram desempenhos similares, sendo que, dentre todos os atributos empregados, nos atributos RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições.

No que concerne os resultados do teste de Wilcoxon para os atributos derivados das imagens S1A, correspondente à UPA 2018, em RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, as amostras seguiram as mesmas distribuições, com valor-p entre 0,076 e 0,987 (Tabela 4.26 - UPA 2018). Destaca-se o atributo Max-VH com maior valor-p $\geq 0,987$ e com a menor diferença entre as médias das distribuições, com valor de 0,003 (Figura I.16).

Os outros atributos, $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1 e MEAN-S1, apresentaram um valor-p $\leq 0,0001$, indicando que houve significativas diferenças entre as distribuições das amostras, conseqüentemente, significativa variação das

respostas da vegetação quando observados nas imagens S1A, correspondentes aos períodos dos eventos simulados. Assim sendo, tais atributos foram descartados para as posteriores análises de detecção utilizando as amostras de campo, com a abordagem *grid* de 2x2 pixels, no par de imagens associados à UPA 2018.

Em síntese, observou-se que os resultados obtidos na abordagem por *grid* foram similares aos resultados obtidos na abordagem pixel a pixel. Para os atributos extraídos do par de imagens S1A, associado à UPA 2015, nas três abordagens testadas, apenas $\sigma^{\circ}\text{VH}$ indicou que as amostras seguiram as mesmas distribuições. Já para o par de imagens associado à UPA 2016, destaca-se o atributo RRVI que apresentou potencial, exibindo resultados coerentes, uma vez que, ao ser testado nos outros pares de imagens das UPAs 2017 e 2018, também indicou que as distribuições das amostras do grupo de controle seguiram as mesmas distribuições.

Para os atributos associados aos pares das imagens das UPAs de 2017 e 2018, houve uma maior linearidade entre os resultados obtidos nas diferentes imagens S1A utilizadas e nas três abordagens testadas, indicando um maior potencial dos atributos empregados, quando associados a esses pares de imagens (09/11 e 15/12/2017; 25/06 e 12/08/2018).

4.7 Detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo

Na identificação das diferenças detectadas no volume florestal decorrentes dos cortes seletivos realizados nas áreas das UPAs de 2015, 2016, 2017 e 2018, foram utilizadas as amostras de campo, analisadas segundo os atributos extraídos das imagens ALOS2 e S1A. Foram considerados apenas os atributos que não apresentaram diferenças significativas entre os valores das distribuições das amostras de controle. O teste de Wilcoxon, com um intervalo de confiança de 95%, foi aplicado para validar os resultados de detecção de perdas de volume.

Para os resultados de detecção a partir das amostras de campo, espera-se rejeitar a hipótese H_0 e aceitar a hipótese H_1 , uma vez que houve distúrbios

florestais nas áreas manejadas seletivamente, havendo uma mudança no sinal de radar associado a essas áreas florestais investigadas. Desse modo, as distribuições das amostras, observadas antes e depois do evento, tendem a ser significativamente diferentes.

Nas Subseções 4.7.1 e 4.7.2 são apresentados os resultados obtidos para as amostras de campo, testados nas três abordagens considerando os atributos ALOS2 e S1A selecionados. É importante destacar ainda que os atributos incoerentes provenientes das imagens ALOS2 e S1A foram processados na medida de potência m^2/m^2 . Contudo, para fins de comparação com outros estudos na temática degradação florestal por extração seletiva, foi realizada a transformação dos atributos $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, $\sigma^{\circ}VH$, RC-AL2, e RRVI para a medida de potência (dB).

4.7.1 Detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo e dos atributos ALOS2

Os conjuntos de dados utilizados para extrair os resultados de detecção de perdas de volume florestal, a partir das amostras de campo, são apresentados na Tabela 4.27. O conjunto de cada UPA é formado por um par bitemporal de imagens ALOS2, correspondendo ao período anterior e posterior aos cortes, e pelas amostras de campo.

Tabela 4.27: Conjunto de dados ALOS2 utilizados na detecção, a partir das amostras de campo.

UPAs	Data imagens antes dos cortes e média da precipitação média diária acumulada em 4 dias	Data imagens depois dos cortes e média da precipitação média diária acumulada em 4 dias	Total de amostras	Período realizado os cortes
UPA 2015	05/10/2014 - 0,00 mm	18/10/2015 - 0,00 mm	3.649	05/10/2015 a 16/10/2015
UPA 2016	18/09/2016 - 0,00 mm	05/02/2017 - 6,10 mm	1.127	28/12/2016 a 30/01/2017
UPA 2017	12/11/2017 - 0,00 mm	13/05/2018 - 8,08 mm	1.103	20/11/2017 a 07/12/2017

4.7.1.1 Detecção pixel a pixel - ALOS2

Para a detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo utilizando a abordagem metodológica pixel a pixel, foram empregados os 3.649 pontos amostrais correspondentes à UPA 2015. Dentre os 12 atributos ALOS2 aplicados à detecção considerando o grupo de controle, em nove deles as

amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições, sendo eles: σ° HH, σ° HV, RNDVI, RC-AL2, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2. Nesse sentido, foram aplicados o teste de Wilcoxon a esses atributos considerando as amostras de campo.

Segundo o teste de comparação em σ° HH e Con-HV, as distribuições das amostras tenderam a ser as mesmas, exibindo, respectivamente, valores-p de 0,804 e 0,367 (Tabela 4.28 - UPA 2015; Figura 4.9). Nos demais atributos, o teste de Wilcoxon sugeriu que as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valores-p variando entre 0,012 e 0,033, indicando assim, que esses atributos (σ° HV, RNDVI, RC-AL2, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2) apresentam potencial em detectar perdas de volume florestal por processos de corte seletivo.

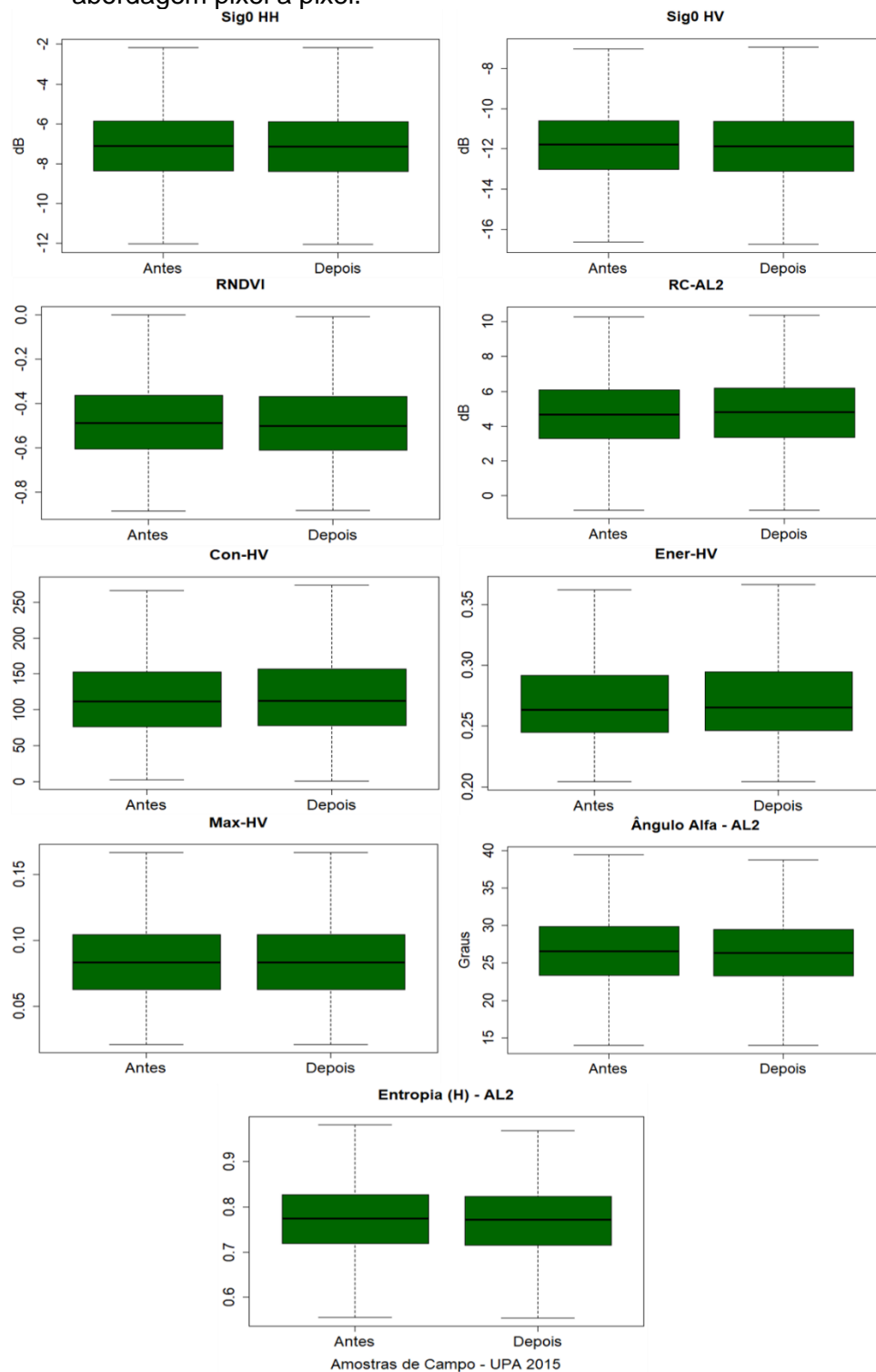
Percebeu-se que, nos atributos σ° HV, RNDVI, Ener-HV, Max-HV e H-AL2, houve uma discreta diferença entre as médias dos valores de retroespalhamento. Por outro lado, observou-se nos atributos RC-AL2 e α -AL2, que houve uma maior diferença entre os valores de médias de retroespalhamento. Em RC-AL2, a diferença entre os valores de média foi de -0,117 dB e, em α -AL2, a diferença foi de 0,188°.

Tabela 4.28: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel aplicado aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,804	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
σ° HV	0,031	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
RC-AL2	0,016	Rejeita H_0	0,008	Rejeita H_0	0,253	Aceita H_0
RNDVI	0,013	Rejeita H_0	0,003	Rejeita H_0	0,037	Rejeita H_0
Con-HV	0,367	Aceita H_0	0,001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Ener-HV	0,012	Rejeita H_0	0,776	Aceita H_0	0,056	Aceita H_0
Max-HV	0,033	Rejeita H_0	0,631	Aceita H_0	0,756	Aceita H_0
α -AL2	0,039	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,501	Aceita H_0
H-AL2	0,018	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,227	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Figura 4.9: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.

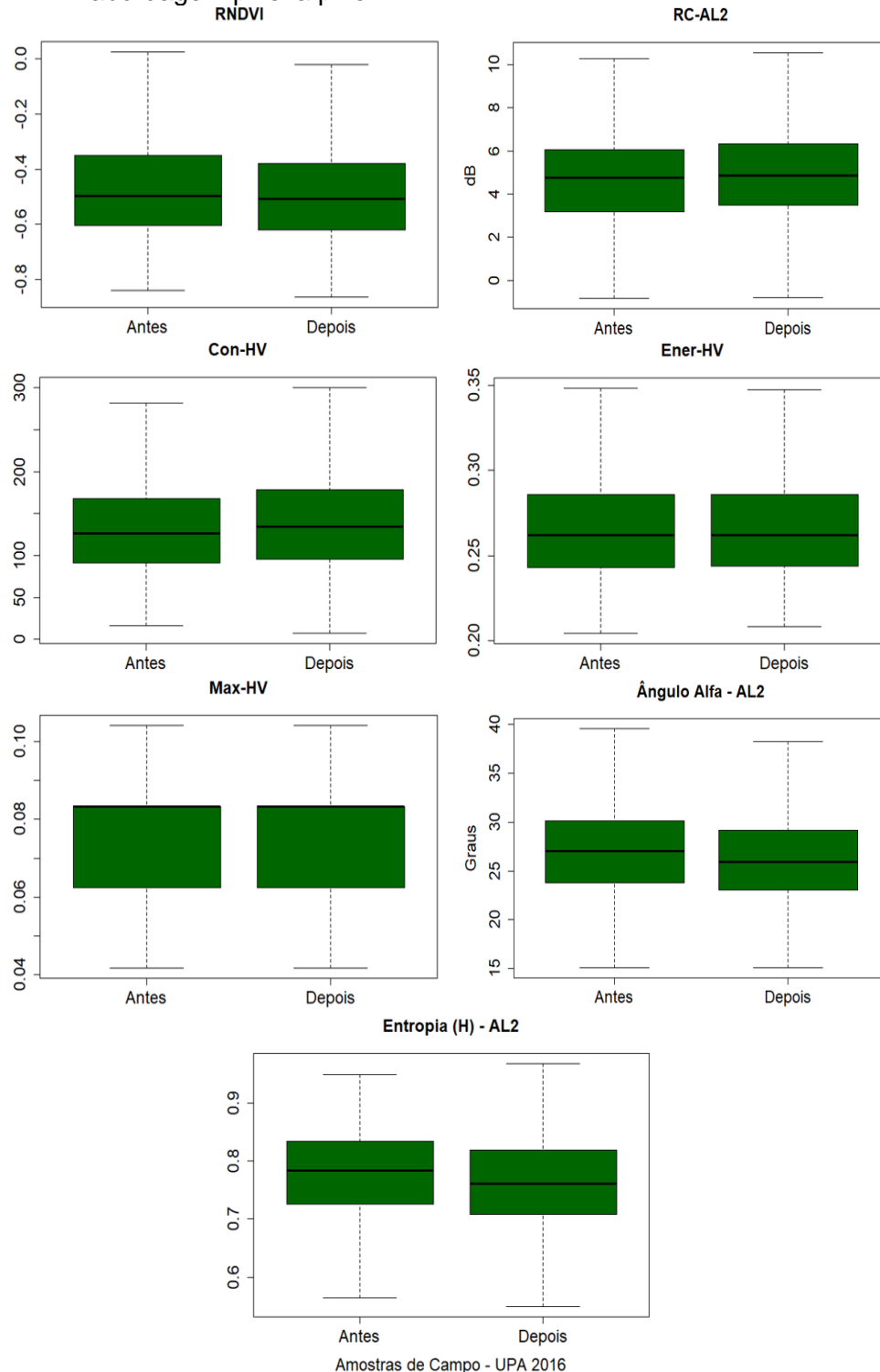


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RNDVI, RC-AL2, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015.

Com relação aos resultados de detecção obtidos pelo conjunto de dados da UPA 2016, foram considerados os 1.127 pontos de campo e os atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RNDVI, RC-AL2, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2. De acordo com os resultados do teste de Wilcoxon, em Ener-HV e Max-HV, as amostras seguiram as mesmas distribuições, com valores-p entre 0,631 e 0,778 (Tabela 4.28 - UPA 2016). Ao observar os valores de média das distribuições das amostras nos atributos supracitados, constatou-se que não houve diferenças entre os valores das distribuições das amostras, quando observadas nos diferentes períodos. Em Ener-HV, a média foi de 0,269 para ambas as distribuições, antes e após os cortes. Em Max-HV, a média obtida foi de 0,082 (Figura 4.10).

Já para os atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RNDVI, RC-AL2, α -AL2 e H-AL2, o teste de Wilcoxon indicou que as diferenças entre as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valores-p entre 0,0001 e 0,008 (Tabela 4.28 - UPA 2016). Ressalta-se os atributos Con-HV e α -AL2 que exibiram as maiores diferenças entre os valores de média. Em Con-HV, a diferença foi de -8,950, enquanto em α -AL2, a diferença foi de 0,947°, indicando, para esses dois atributos, uma maior separabilidade entre as amostras observadas nos dois períodos, quando comparada com os demais atributos supracitados.

Figura 4.10: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.



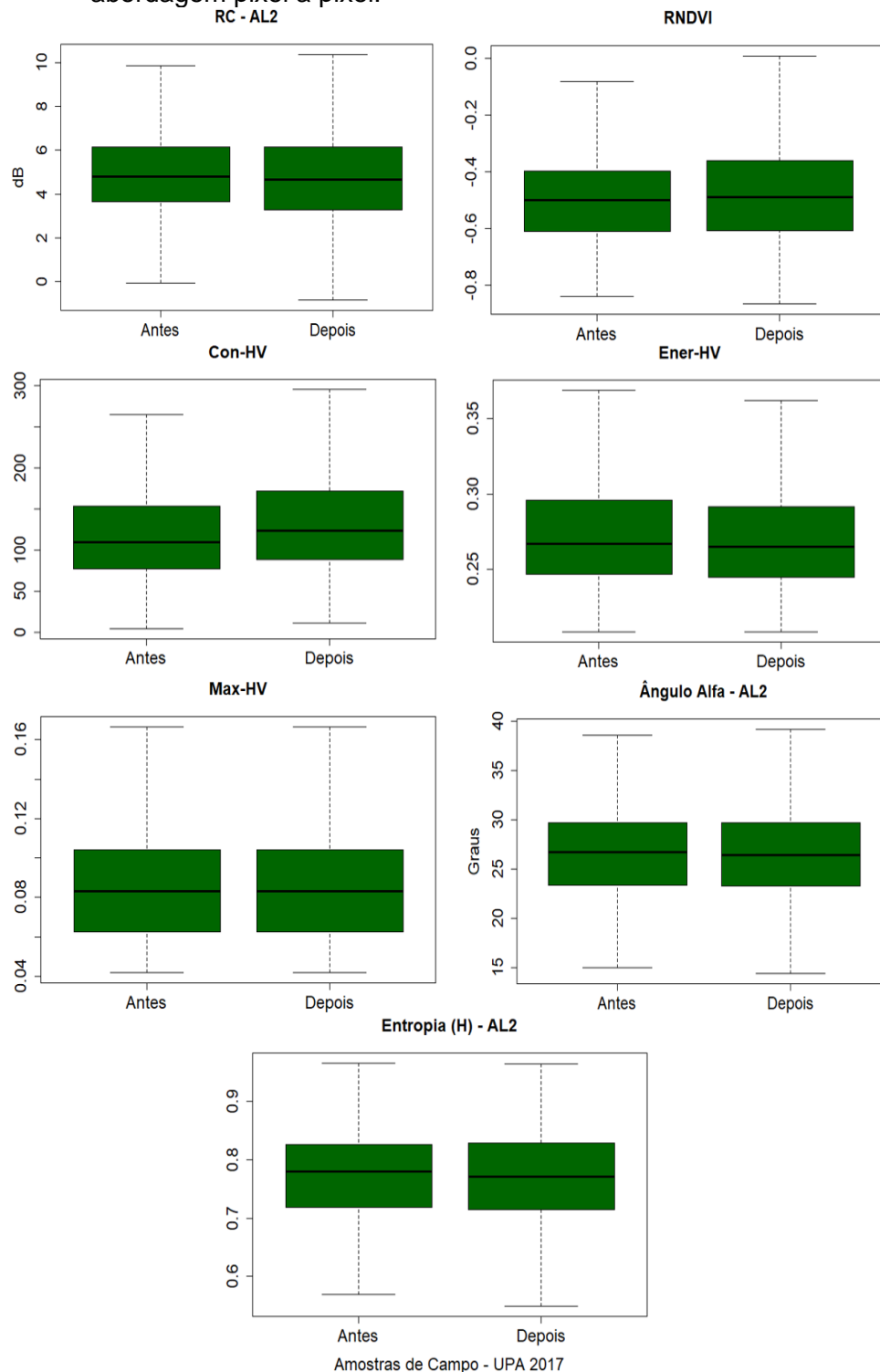
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RNDVI, RC-AL2, Con-HV, $\sigma^{\circ}HV$, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2016.

Segundo os resultados obtidos pelo teste de Wilcoxon, aplicados ao conjunto de dados da UPA 2017 e considerando os 1.103 pontos de campo, nos atributos RC-AL2, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições de probabilidade, exibindo valores-p de 0,253, 0,056, 0,756, 0,501 e 0,227, respectivamente (Tabela 4.28 - UPA 2017). Observa-se as sobreposições entre as distribuições das amostras, quando observadas antes e após os cortes (Figura 4.11), indicando que esses atributos não apresentaram capacidades em detectar perdas de volume florestal decorrentes dos processos de corte seletivo.

Na Figura 4.11, é possível observar que, no atributo RNDVI, houve uma pequena queda nos valores das distribuições das amostras após a exploração seletiva, denotando que a diferença entre os valores de retroespalhamento foi sutil. Contudo, essas diferenças foram estatisticamente significativas, com valor-p \leq 0,037, de acordo com o teste de comparação de Wilcoxon (Tabela 4.28 - UPA 2017).

No atributo Con-HV, o resultado do teste estatístico também sugeriu que as distribuições das amostras foram diferentes, com valor-p \leq 0,0001. Esse atributo exibiu a maior diferença de média entre as distribuições, que foi de -16,516, denotando sensibilidade em detectar as diferenças no volume florestal, devido aos eventos de corte seletivo na área da UPA 2017.

Figura 4.11: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2017.

4.7.1.2 Detecção por polígonos 16,48 m - ALOS2

Na detecção de perdas de volume florestal utilizando a abordagem por polígono, as amostras em formato de pontos, correspondentes a cada UPA, foram convertidas para o formato de polígono com distância de 16,48 m. Assim, para o conjunto de dados da UPA 2015, foram considerados 3.649 polígonos amostrais.

Segundo o teste de Wilcoxon, considerando o conjunto de dados ALOS2 da UPA 2015, as distribuições das amostras tenderam a ser as mesmas nos atributos $\sigma^{\circ}HH$ e Con-HV, com valores-p de 0,437 e 0,206, respectivamente (Tabela 4.29 - UPA 2015), demonstrando que esses atributos não possuem capacidade de detectar as perdas de volume florestal provenientes dos processos de cortes seletivos.

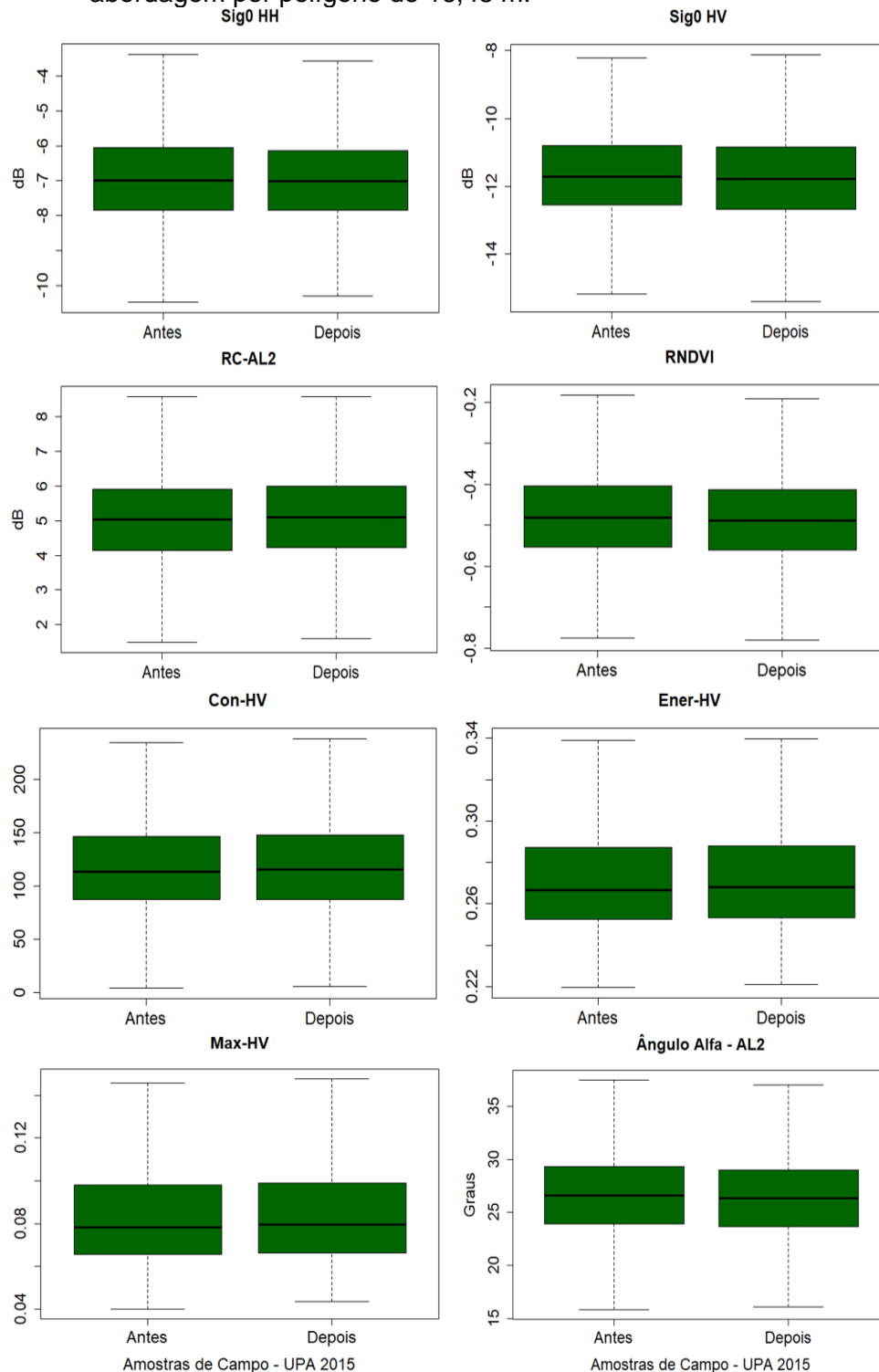
No entanto, nos atributos $\sigma^{\circ}HV$, RC-AL2, RNDVI, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, os resultados indicaram que as distribuições das amostras são significativamente diferentes, com valores-p entre 0,002 e 0,025 (Tabela 4.29 - UPA 2015). De um modo geral, observou-se que houve uma pequena diferença entre os valores de média das distribuições, quando analisadas nos dois períodos (Figura 4.12). Por exemplo, no atributo RC-AL2, a diferença entre os valores de média das distribuições foi de -0,079 dB, indicando uma discreta sensibilidade desses atributos em detectar diferenças no volume florestal.

Tabela 4.29: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 16,48 m, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,437	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
σ° HV	0,011	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
RC-AL2	0,015	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,441	Aceita H_0
RNDVI	0,025	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,055	Aceita H_0
Con-HV	0,206	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
Ener-HV	0,007	Rejeita H_0	0,909	Aceita H_0	0,002	Rejeita H_0
Max-HV	0,009	Rejeita H_0	0,557	Aceita H_0	0,093	Aceita H_0
α -AL2	0,011	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,511	Aceita H_0
H-AL2	0,008	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,234	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Figura 4.12: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 16,48 m.

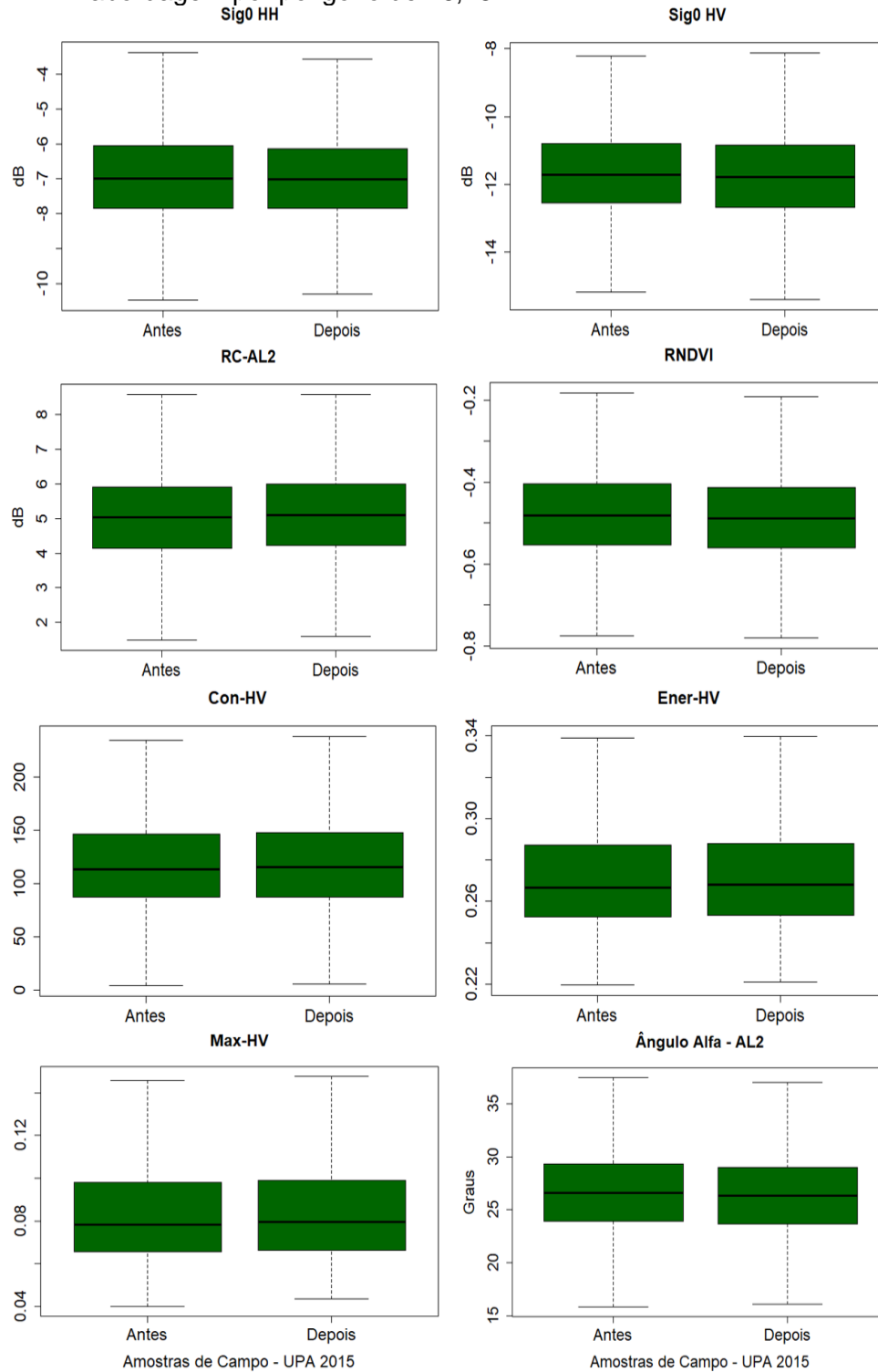


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015.

O teste de Wilcoxon, aplicado ao conjunto de dados da UPA 2016, apontou que, em Ener-HV e Max-HV, as amostras seguiram as mesmas distribuições de probabilidade. Os valores-p obtidos para Ener-HV e Max-HV foram de 0,909 e 0,557, respectivamente (Tabela 4.29 - UPA 2016). Os resultados obtidos para ambos os atributos indicaram que não houve diferença entre os valores de média das distribuições, quando observadas nos dois momentos considerados. Indicando uma similaridade radiométrica entre os valores das distribuições, conseqüentemente não havendo uma separabilidade entre as amostras quando observadas antes e após os eventos de cortes seletivos (Figura 4.13).

Já nos atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, α -AL2 e H-AL2, as distribuições das amostras tenderam a ser significativamente diferentes, exibindo valor-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.29 - UPA 2016). Em alguns atributos, as diferenças significativas obtidas foram pequenas, como, por exemplo, em $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$ e RC-AL2, que obtiveram uma diferença entre os valores de média das distribuições de -0,769 dB, -0,487 dB e -0,310 dB, respectivamente. Por outro lado, em outros atributos que também exibiram sensibilidades em detectar diferenças no volume florestal, observou-se uma maior diferença entre os valores de média das distribuições, como foi o caso do atributo Con-HV que exibiu uma diferença entre os valores de média das distribuições de -8,432.

Figura 4.13: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 16,48 m.

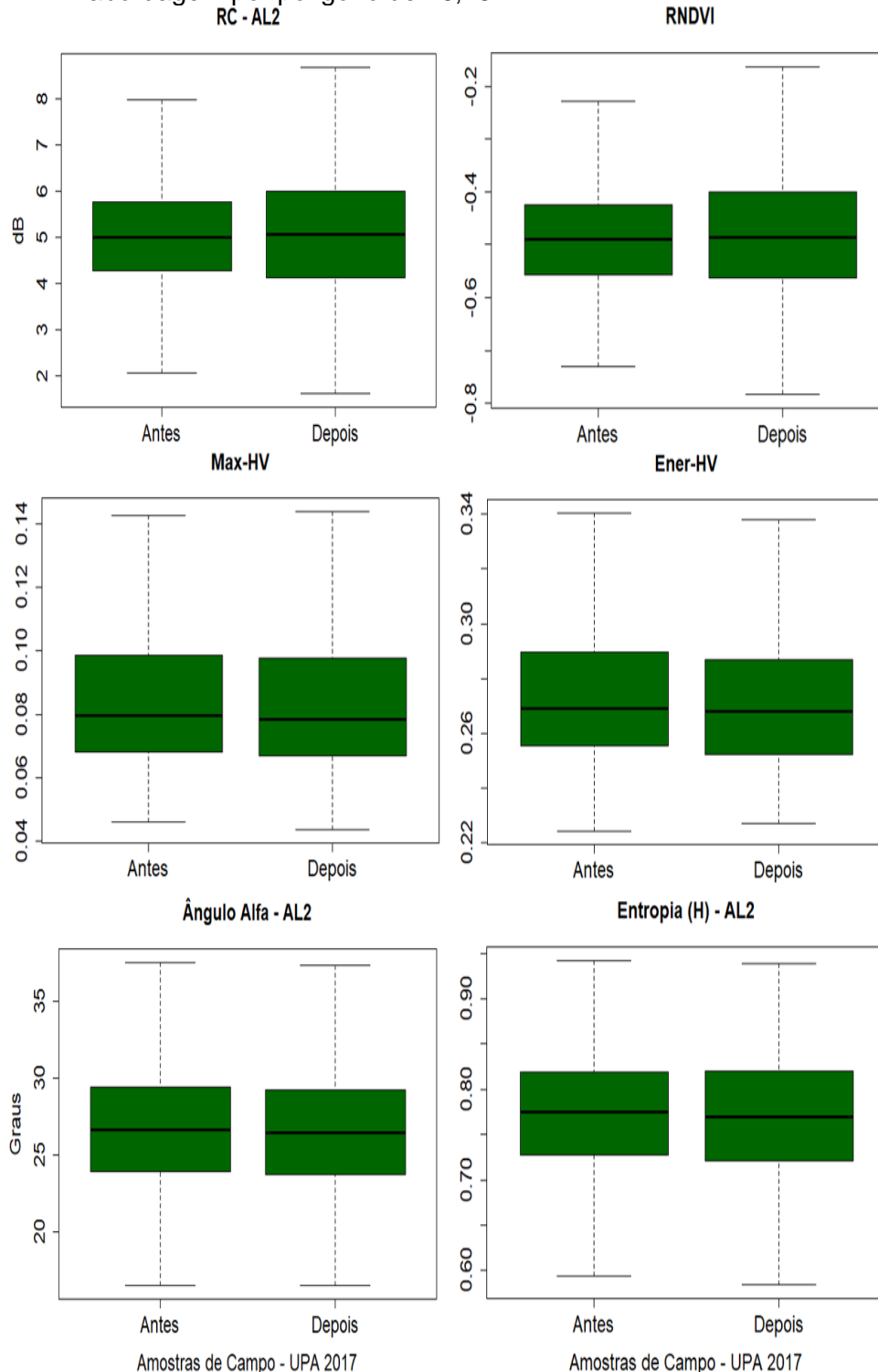


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: σ° HH, σ° HV, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2016.

De acordo com a Figura 4.14, no atributo Ener-HV, pode-se perceber, ao comparar as distribuições das amostras nos dois momentos, que houve uma discreta diferença entre os valores de médias das distribuições, denotando uma baixa variação entre as respostas de retroespalhamento, antes e após a exploração seletiva. Por mais que tenha sido indicado uma baixa variação pelos gráficos *boxplots*, segundo os resultados obtidos pelo teste de comparação de Wilcoxon, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, antes e após os cortes seletivos. O valor-p obtido para Ener-HV foi de 0,007 (Tabela 4.29), sugerindo o potencial desse atributo em detectar diferenças no volume florestal devido aos processos de cortes seletivos.

Por sua vez, nos atributos RC-AL2, RNDVI, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições de probabilidade, com valores-p variando de 0,055 a 0,511, indicando que os atributos supracitados não apresentaram capacidades de detectar diferenças no volume florestal, considerando a área da UPA 2017.

Figura 4.14: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 16,48 m.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RC-AL2, RNDVI, Max-HV, Ener-VH, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2017.

4.7.1.3 Detecção por polígonos 24,72 m - ALOS2

As amostras de campo em formato de pontos também foram convertidas para buffers com distância de 24,72 m, sendo então utilizadas em conjunto com os atributos extraídos das imagens ALOS2 para detectar diferenças no volume florestal. No que concerne o conjunto de dados da UPA 2015, os resultados do teste de Wilcoxon indicaram que, nos atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$ e Con-HV, as amostras seguiram as mesmas distribuições de probabilidade, exibindo, respectivamente, valor-p $\geq 0,247$ e $p \geq 0,106$ (Tabela 4.30). Indicando que ambos os atributos, $\sigma^{\circ}\text{HH}$ e Con-HV, não apresentaram sensibilidades em detectar as diferenças no volume da floresta decorrentes dos processos de corte seletivo.

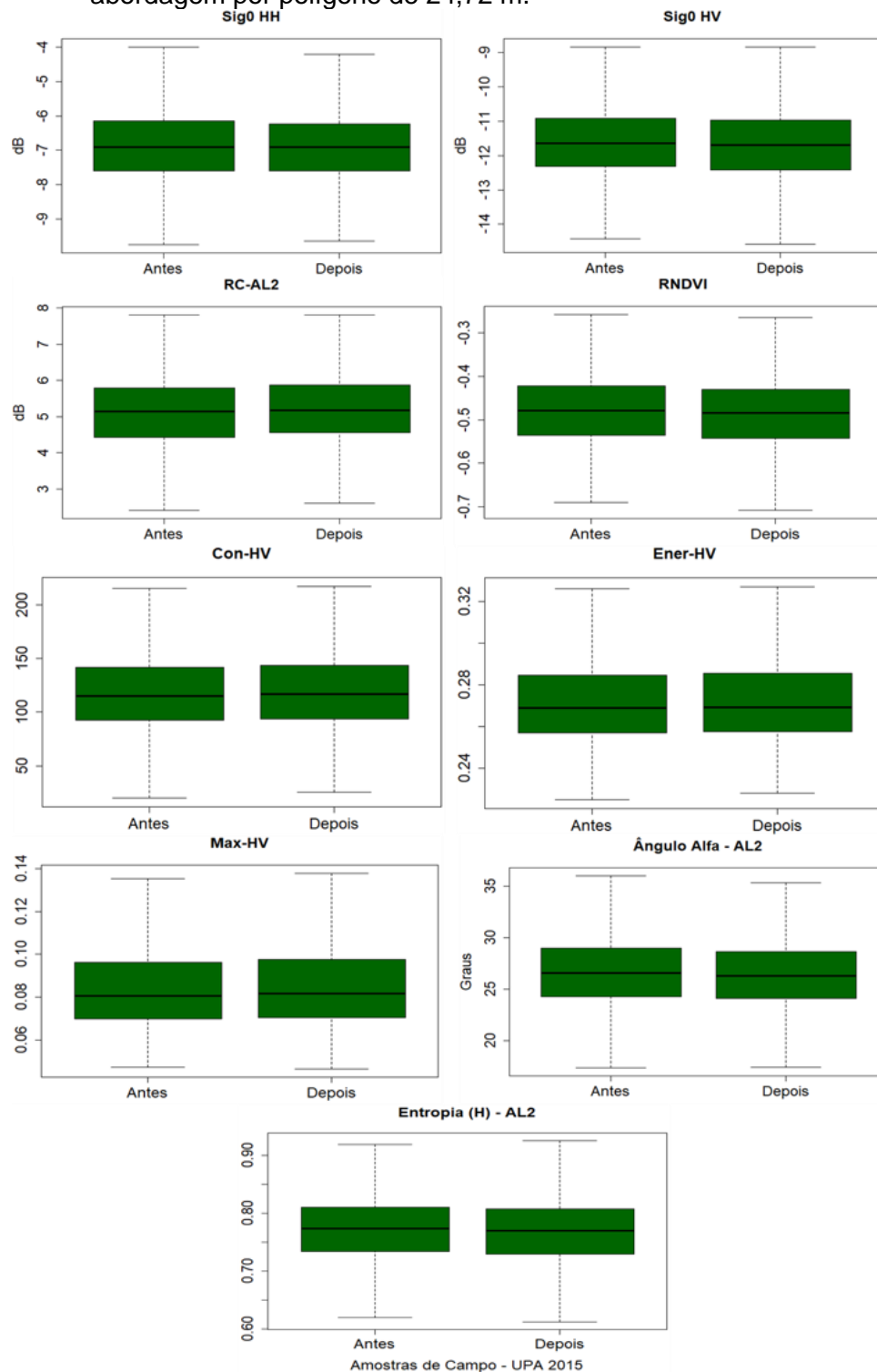
Tabela 4.30: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 24,72 m, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
$\sigma^{\circ}\text{HH}$	0,247	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
$\sigma^{\circ}\text{HV}$	0,009	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
RC-AL2	0,001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,148	Aceita H_0
RNDVI	0,004	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
Con-HV	0,106	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
Ener-HV	0,004	Rejeita H_0	0,897	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Max-HV	0,005	Rejeita H_0	0,617	Aceita H_0	0,002	Rejeita H_0
α -AL2	0,003	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,467	Aceita H_0
H-AL2	0,004	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,288	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Já, nos atributos $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, o teste de comparação de Wilcoxon sugeriu que as amostras, quando observadas nos dois períodos, antes e após os cortes, apresentaram diferenças significativas em suas distribuições, com valor-p $< 0,05$. De um modo geral, essas diferenças detectadas entre os valores das distribuições foram sutis, conforme pode ser observado na Figura 4.15.

Figura 4.15: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 24,72 m.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015.

Dentre os atributos que as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, destacam-se o RC-AL2 e o α -AL2 que exibiram as maiores diferenças entre os valores de média: 0,060 dB e 0,218°, respectivamente (Figura 4.15), denotando uma maior sensibilidade de ambos os atributos em detectar diferenças no volume florestal devido aos processos de cortes seletivos.

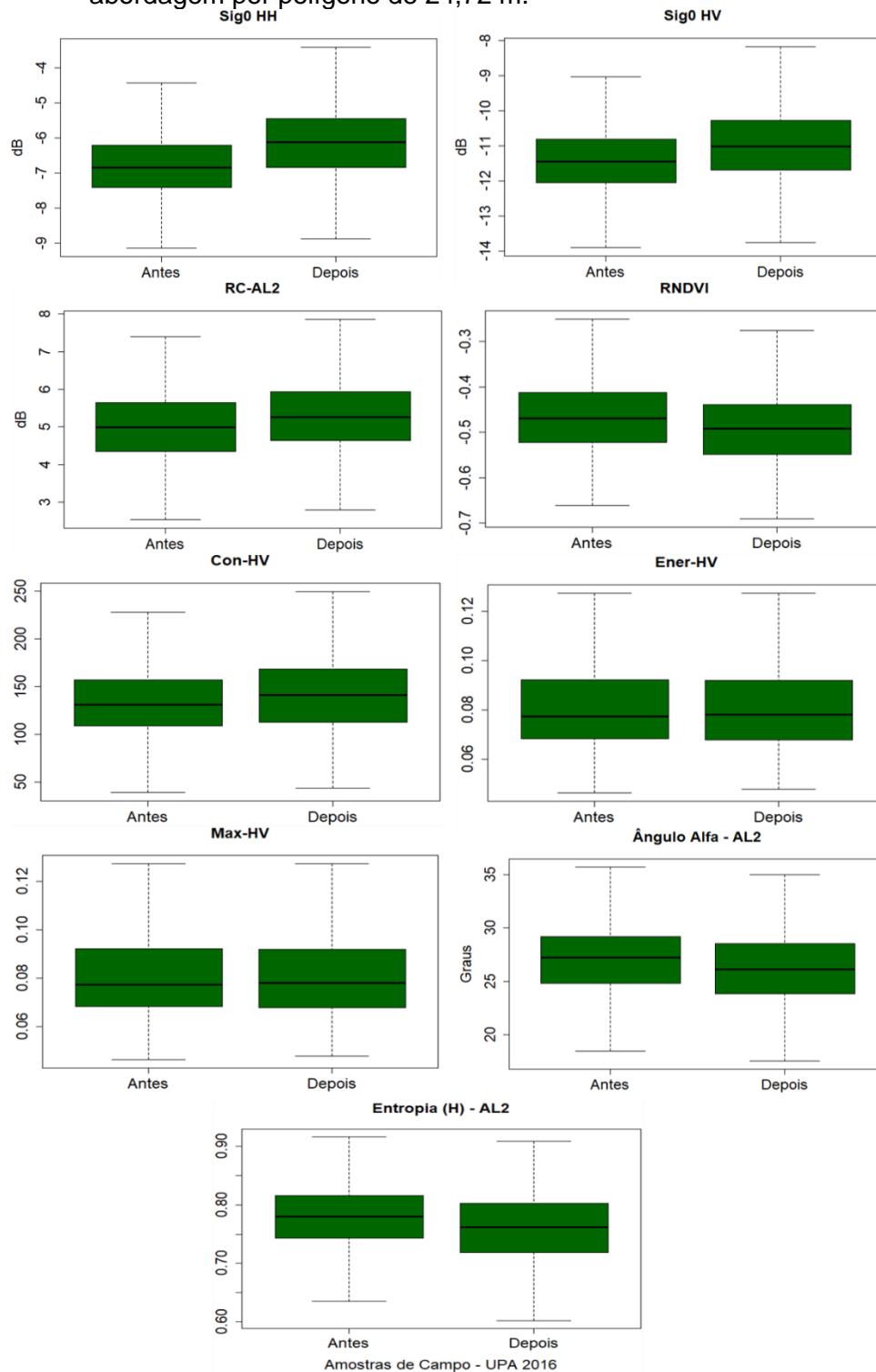
Com relação ao conjunto de dados da UPA 2016, os resultados obtidos pelo teste de Wilcoxon sugeriram que, nos atributos Ener-HV e Max-HV, as amostras seguiram as mesmas distribuições, com valores-p entre 0,617 e 0,926 (Tabela 4.30). Na Figura 4.16, ao comparar os valores de médias das distribuições, antes e após os cortes seletivos, observa-se que não houve diferenças entre os valores, sugerindo assim, que ambos os atributos não apresentaram potencial em detectar mudanças no volume florestal.

Por sua vez, o teste de Wilcoxon, aplicado aos atributos σ° HH, σ° HV, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, α -AL2 e H-AL2, indicou que as distribuições das amostras foram diferentes, exibindo valor-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.30). Dentre alguns dos atributos supracitados, as diferenças significativas entre os valores de média das distribuições das amostras foram menores, como, por exemplo, em RC-AL2 e RNDVI, com diferenças de -0,303 dB e 0,024, respectivamente. As maiores diferenças significativas entre os valores de média das distribuições foram observadas nos atributos Con-HV, α -AL2 e σ° HH.

Em Con-HV, a diferença entre os valores de média foi de -8,15. Antes e depois do distúrbio, os valores de média da distribuição das amostras foram de 135,01 e 143,16, respectivamente, denotando um aumento do sinal de radar após a exploração seletiva. Já no atributo α -AL2, houve um decaimento do sinal de radar, sendo que antes e depois os cortes, os valores de média da distribuição foram de 27,18° e 26,28°, respectivamente, havendo uma diferença significativa de 0,90° entre os valores de média das distribuições. Para o atributo σ° HH, a diferença entre os valores de média exibida foi de -0,73 dB. Antes e depois dos desbastes por processo de corte seletivo, os valores médios foram de -6,84 dB e, -6,114 dB, respectivamente, sugerindo uma queda do sinal de radar no atributo σ° HH (Figura 4.16). Nesse sentido, dentre os atributos σ° HV, RC-AL2,

RNDVI e H-AL2, o Con-HV, α -AL2 e σ° HH indicaram uma maior sensibilidade em detectar as diferenças no volume florestal devido aos cortes seletivos realizados na área da UPA 2016.

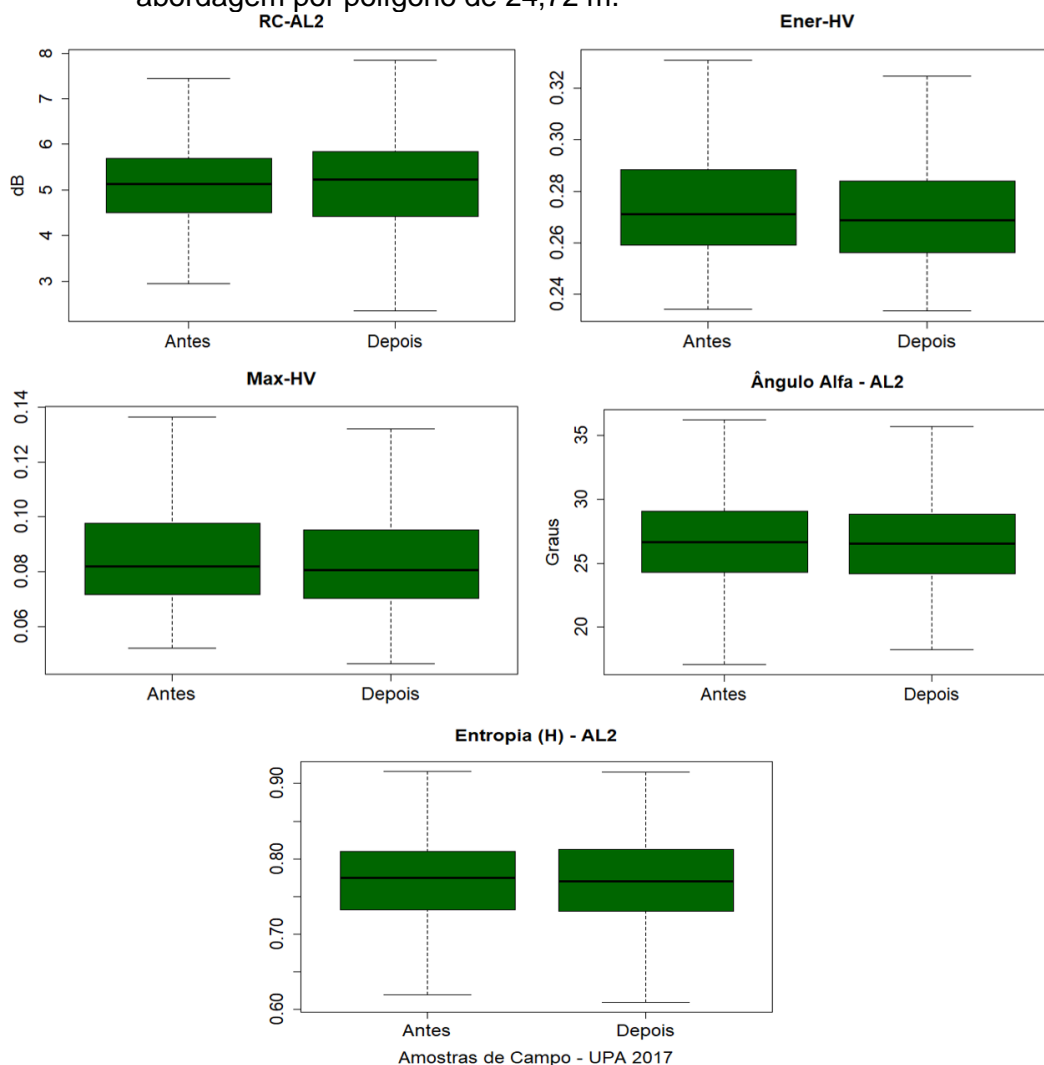
Figura 4.16: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 24,72 m.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2016.

Para os resultados de detecção considerando o conjunto de dados da UPA 2017, o teste de Wilcoxon indicou que, para os atributos RC-AL2, α -AL2 e H-AL2, as amostras seguiram as mesmas distribuições de probabilidade ao serem observadas nos dois períodos, exibindo valor-p de 0,148 para RC-AL2, $p \geq 0,467$ em α -AL2 e $p \geq 0,288$ em H-AL2 (Tabela 4.30; Figura 4.17). Esses resultados indicaram o baixo potencial dos três atributos em detectar as diferenças no volume do dossel florestal devido aos distúrbios causados pelos cortes seletivos na área da UPA 2017.

Figura 4.17: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 24,72 m.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RC-AL2, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2017.

As diferenças significativas entre as distribuições das amostras, quando comparadas antes e após os distúrbios florestais, decorrentes de cortes seletivos, foram obtidas pelos atributos Ener-HV e Max-HV, com valor- $p < 0,05$ (Tabela 4.30). As diferenças detectadas foram estatisticamente significativas, no entanto, os decaimentos do sinal de radar nesses dois atributos foram sutis, com uma diferença entre os valores de média das distribuições entre 0,006 e 0,004.

4.7.1.4 Detecção por *grid* de 2x2 pixels - ALOS2

Os pontos amostrais de cada UPA foram transformados em grids com tamanho de 2x2 pixels. Neste sentido, um único grid pode englobar mais de um ponto, dependendo da distância entre os pontos amostrais.

No conjunto de dados da UPA 2015, os 3.649 pontos amostrais foram convertidos em grids de tamanho 2x2 pixels, correspondendo a um total de 3.526 grids amostrais. De acordo com o teste de Wilcoxon, aplicado aos atributos ALOS2 da UPA 2015, em σ° HV, Ener-HV, Max-HV e H-AL2, as distribuições das amostras foram estatisticamente diferentes, exibindo valor- $p < 0,05$ (Tabela 4.31). Na Figura 4.18, é possível observar uma discreta diferença entre os valores médios das distribuições das amostras.

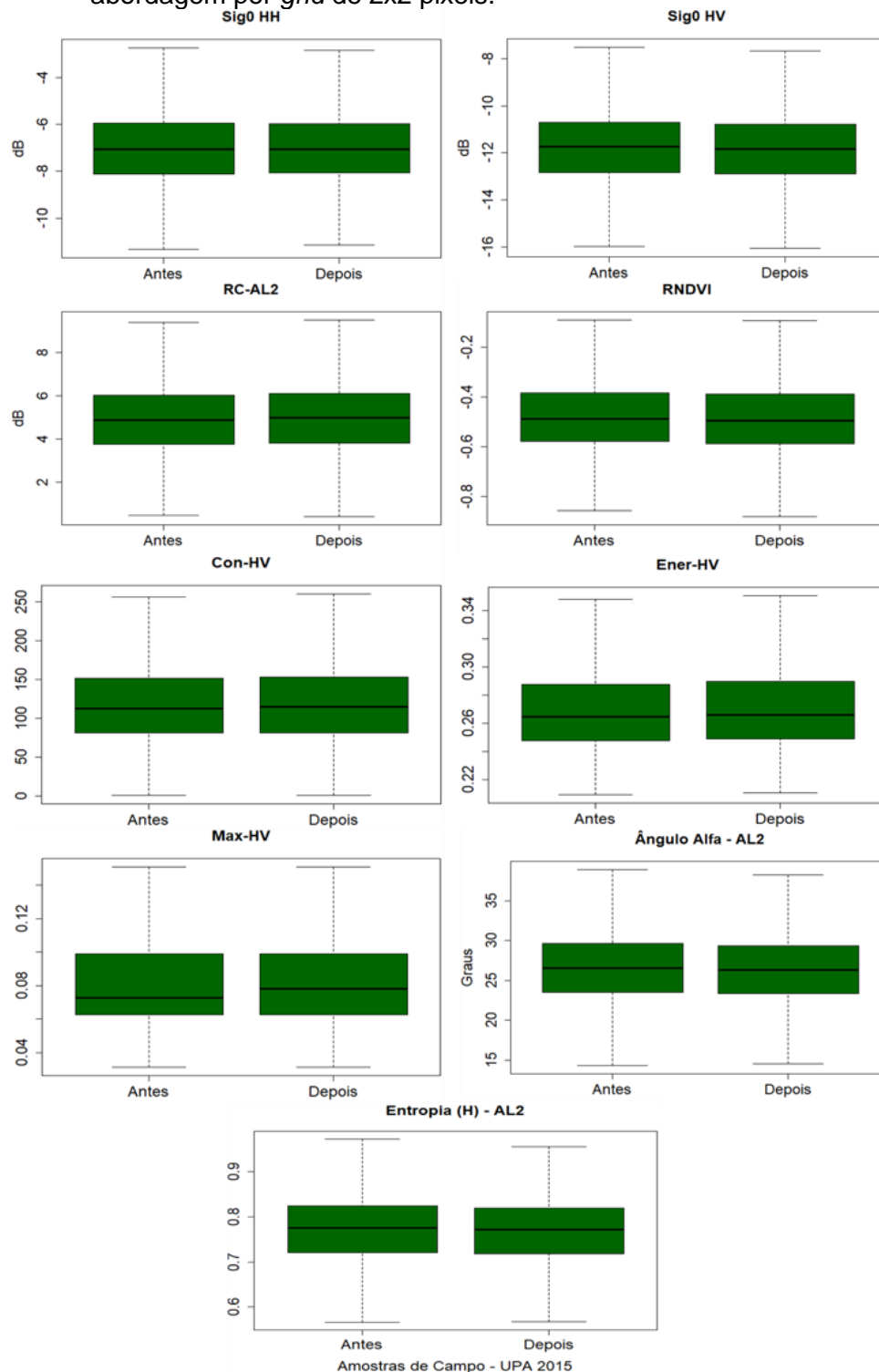
Já para os atributos σ° HH, RC-AL2, RNDVI, Con-HV e α -AL2, os resultados obtidos indicaram que as amostras seguiram as mesmas distribuições, com valores- p entre 0,054 e 0,778 (Tabela 4.31), indicando que esses atributos não foram capazes de detectar diferenças no volume florestal devido à exploração seletiva de madeira.

Tabela 4.31: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem *grid* de 2x2 pixels, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,778	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
σ° HV	0,025	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
RC-AL2	0,054	Aceita H_0	0,0000	Rejeita H_0	0,644	Aceita H_0
RNDVI	0,076	Aceita H_0	0,001	Rejeita H_0	0,169	Aceita H_0
Con-HV	0,255	Aceita H_0	0,000	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Ener-HV	0,033	Rejeita H_0	0,691	Aceita H_0	0,018	Rejeita H_0
Max-HV	0,048	Rejeita H_0	0,618	Aceita H_0	0,368	Aceita H_0
α -AL2	0,056	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,603	Aceita H_0
H-AL2	0,020	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,238	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Figura 4.18: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



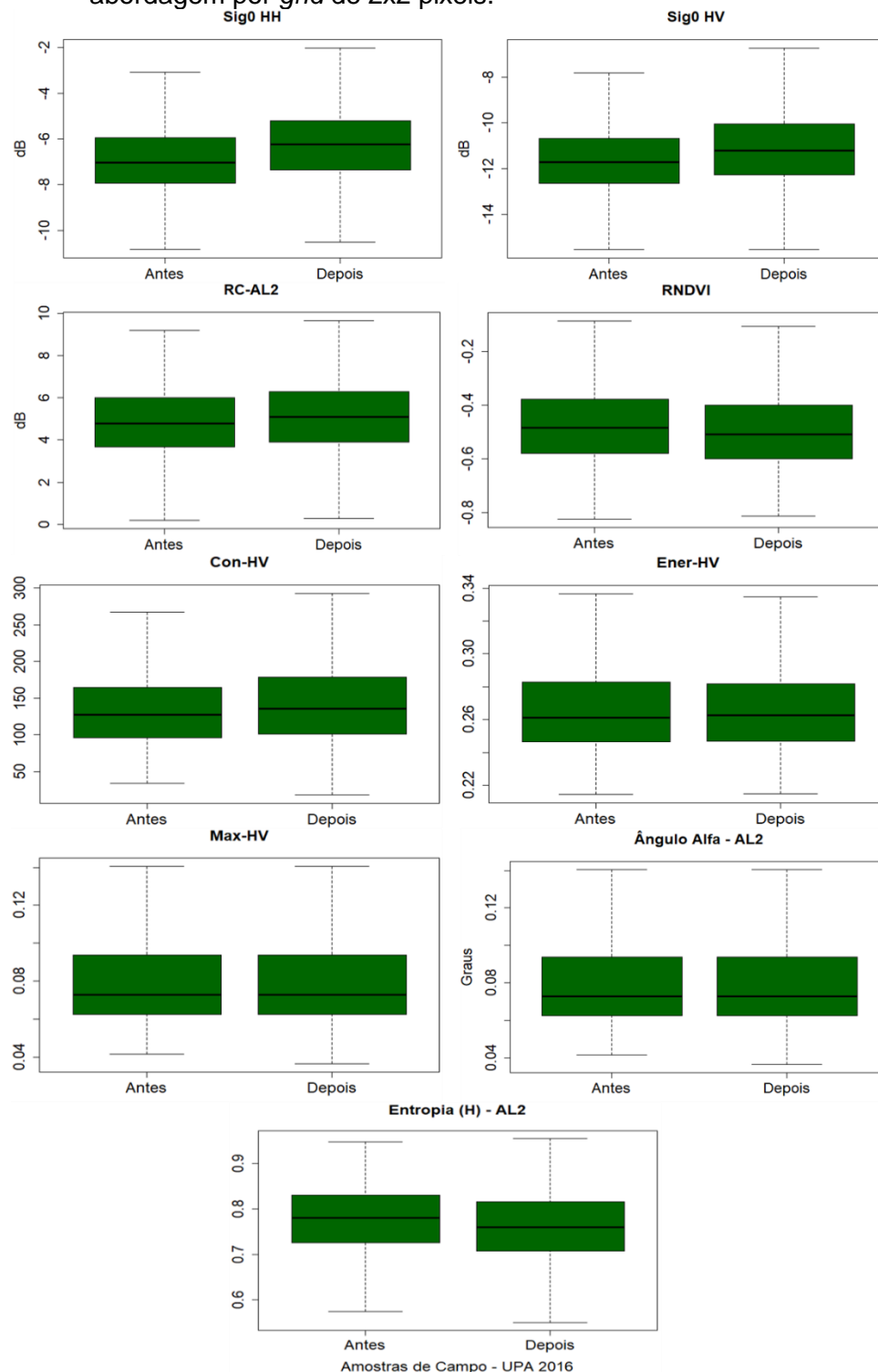
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2015.

No que concerne ao conjunto de dados da UPA 2016, os 1.127 pontos de campo (Tabela 4.27), quando convertidos em *grid* de 2x2 pixels, resultaram em 1.077 grids amostrais. Os resultados de detecção obtidos pelo teste de Wilcoxon indicaram que dentre os atributos analisados, em Ener-HV e Max-HV, as distribuições das amostras foram as mesmas, com valor- $p \geq 0,691$ para Ener-HV e $p \geq 0,618$ para Max-HV (Tabela 4.31). As diferenças entre os valores de média das distribuições das amostras, quando comparadas nos dois períodos investigados, foram de 0,001 para ambos os atributos supracitados (Figura 4.19). Sugerindo, que houve sobreposição entre as distribuições, isto é, uma similaridade radiométrica entre as amostras de antes e depois do evento, demonstrando baixo potencial em detectar perdas de volume florestal por processos de corte seletivo.

Nos atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, α -AL2 e H-AL2, o teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, exibindo valor- $p \leq 0,0001$ (Tabela 4.31). As maiores diferenças nos valores de média das distribuições foram observadas nos atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$, Con-HV e α -AL2 (Figura 4.19).

Em $\sigma^{\circ}\text{HH}$, os valores de média da distribuição das amostras antes e depois da exploração seletiva foram de -7,02 dB e -6,27 dB, respectivamente, exibindo uma diferença de -0,75 dB. Esse resultado indica que houve um decaimento no sinal radar devido aos distúrbios relacionados aos cortes seletivos. Em Con-HV, os valores de média antes e depois dos cortes foram de 134,12 e 143,80, respectivamente, apresentando uma diferença entre os valores de média de -9,68. Observa-se, para Con-HV, um aumento do sinal de radar após os cortes. Por sua vez, em α -AL2 os valores de média da distribuição antes e depois dos cortes foram de 40,61° e 26,25°, respectivamente, com uma diferença entre as médias de 0,91°, denotando uma queda do sinal radar nesse atributo. Nesse sentido, os atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$, Con-HV e α -AL2 apresentaram as maiores potencialidades em detectar as diferenças no volume do dossel florestal, devido à extração seletiva.

Figura 4.19: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.

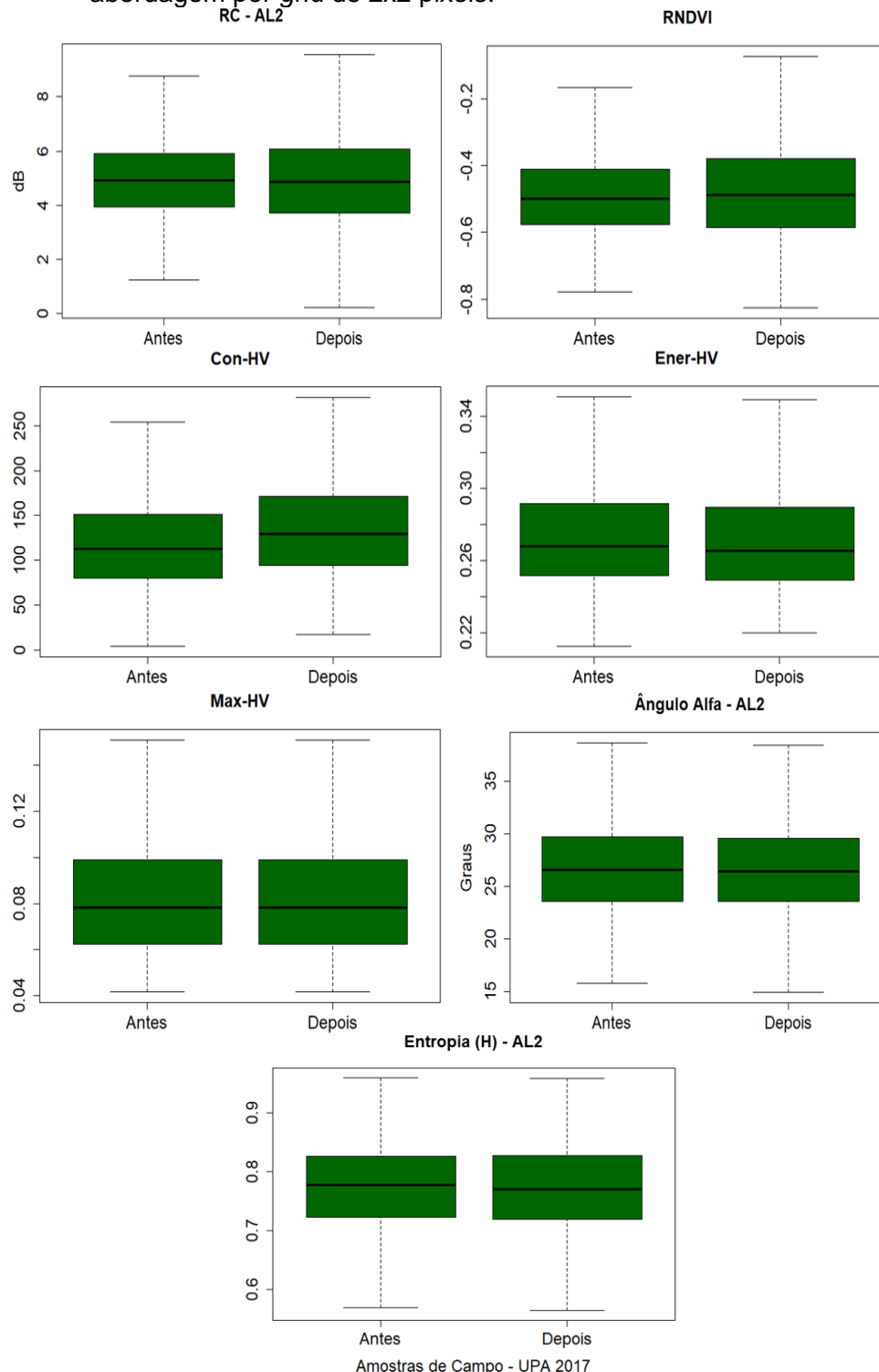


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2016.

Para o conjunto de dados da UPA 2017, os 1.103 pontos de campo foram convertidos para *grids*, obtendo-se um total de 1.041 *grids* amostrais. Os resultados do teste de Wilcoxon indicaram que, nos atributos Ener-HV e Con-HV, as distribuições das amostras foram diferentes, com valor- $p < 0,05$ (Tabela 4.31), indicando sensibilidade de ambos os atributos em detectar diferenças no volume florestal devido aos cortes seletivos. Destaca-se ainda o atributo Con-HV que obteve a maior diferença entre os valores de média das distribuições das amostras, com um valor de -16,33 (Figura 4.20), sugerindo o mais alto desempenho para Con-HV em detectar os distúrbios.

Já para os atributos RC-AL2, RNDVI, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, o teste de comparação indicou que as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições, com valores- p variando de 0,17 a 0,64 (Tabela 4.31). Como pode ser observado na Figura 4.20, as menores diferenças entre os valores de média das distribuições das amostras foram obtidas pelos atributos Max-HV e H-AL2, com sobreposições entre as distribuições inferiores a 0,004. Indicando uma similaridade radiométrica entre as amostras observadas antes e após a exploração, conseqüentemente, demonstrando que os atributos supracitados não apresentaram sensibilidades em detectar distúrbios florestais devido aos cortes.

Figura 4.20: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2017.

4.7.1.5 Detecção por *grid* de 3x3 pixels- ALOS2

Na detecção de perdas de volume florestal por processos de corte seletivo, na abordagem por *grid* de 3x3 pixels, os 3.649 pontos amostrais da UPA 2015 foram convertidos para grids, totalizando assim, 3.360 grids amostrais. Segundo os resultados do teste de Wilcoxon, para os atributos σ° HH e Con-HV, as distribuições das amostras tenderam a ser as mesmas, com valores-p de 0,83 e 0,36, respectivamente (Tabela 4.32), demonstrando que, em ambos os atributos, não foi possível detectar os distúrbios causados no volume florestal devido aos cortes seletivos.

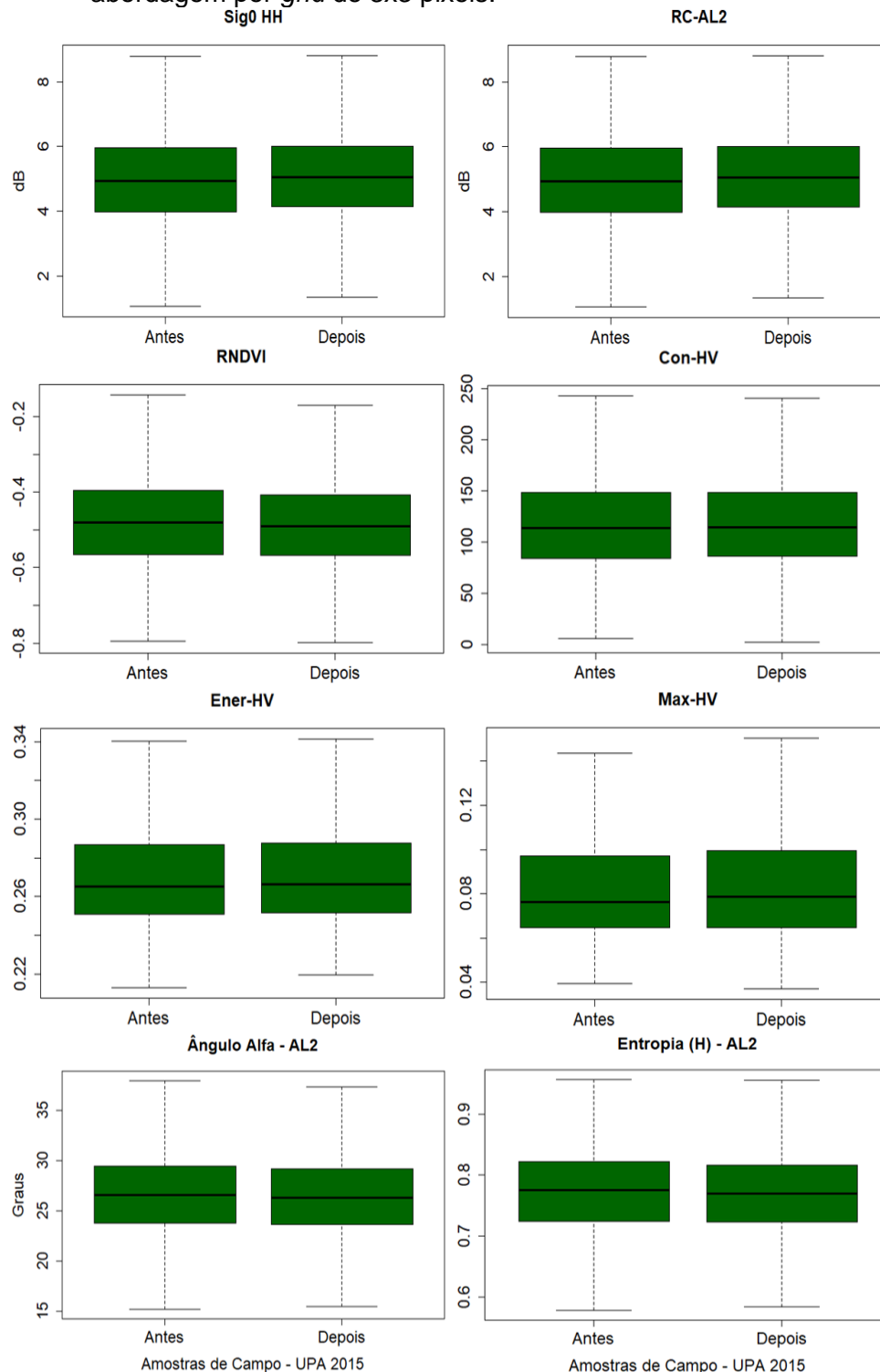
Na Figura 4.21, nos atributos RC-AL2, RNDVI, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, ao comparar os valores de média das distribuições das amostras nos dois períodos analisados, observou-se que os valores obtidos se encontram muito próximos uns dos outros. No entanto, os resultados obtidos no teste de Wilcoxon indicaram que as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, exibindo valores-p entre 0,001 e 0,018. Neste sentido, os atributos supracitados apresentaram sensibilidade em detectar as sutis diferenças obtidas no volume da vegetação decorrentes dos processos de cortes seletivos.

Tabela 4.32: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem *grid* de 3x3 pixels, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016 e 2017, nos atributos ALOS2.

Atributo	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017	
	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° HH	0,831	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
σ° HV	teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado	
RC-AL2	0,001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,241	Aceita H_0
RNDVI	0,001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,184	Aceita H_0
Con-HV	0,365	Aceita H_0	0,001	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Ener-HV	0,018	Rejeita H_0	0,997	Aceita H_0	0,005	Rejeita H_0
Max-HV	0,007	Rejeita H_0	0,820	Aceita H_0	0,247	Aceita H_0
α -AL2	0,005	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,311	Aceita H_0
H-AL2	0,007	Rejeita H_0	0,0001	Rejeita H_0	0,169	Aceita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Figura 4.21: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por *grid* de 3x3 pixels.

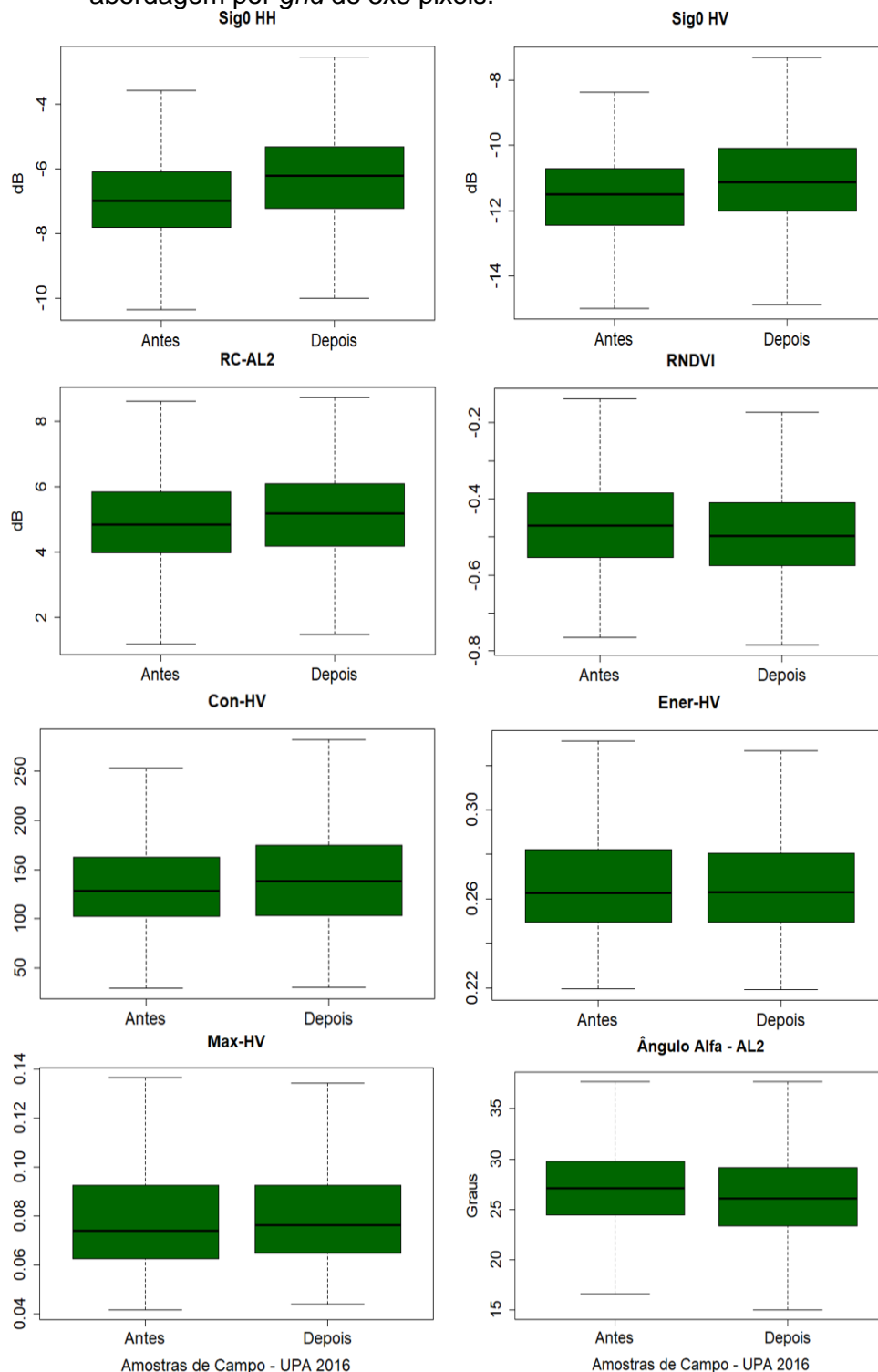


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: σ^0_{HH} , RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2015.

Com relação ao conjunto amostral da UPA 2016, foram considerados 1.031 grids amostrais, oriundos da transformação realizada dos 1.127 pontos de campo para *grids*. Os resultados pelo teste de Wilcoxon indicaram que, em Ener-HV e Max-HV, as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições de probabilidade, com valor-p > 0,80 (Tabela 4.32), denotando similaridade radiométrica entre as amostras, quando comparadas nos dois períodos investigados (Figura 4.22), não havendo sensibilidade em detectar as diferenças no volume florestal devido aos cortes seletivos.

Para os atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, α -AL2 e H-AL2, os resultados do teste de comparação indicaram que houve diferenças significativas entre as distribuições das amostras, com valor-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.32). Ressalta-se que os atributos $\sigma^{\circ}\text{HH}$ e α -AL2 apresentaram as maiores diferenças entre os valores médios das distribuições. Em $\sigma^{\circ}\text{HH}$, as médias obtidas antes e depois dos desbastes foram de -6,94 dB e -6,24 dB, respectivamente, exibindo um decaimento do sinal de radar de -0,70 dB. Já em α -AL2, os valores médios da distribuição das amostras antes e depois da exploração seletiva foram de 27,23° e 26,37°, respectivamente, indicando também um decaimento do sinal radar de 0,85°. Assim, $\sigma^{\circ}\text{HH}$ e α -AL2 demonstraram ter as maiores potencialidades para detectar as perdas de volume florestal a partir dos cortes seletivos.

Figura 4.22: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por *grid* de 3x3 pixels.

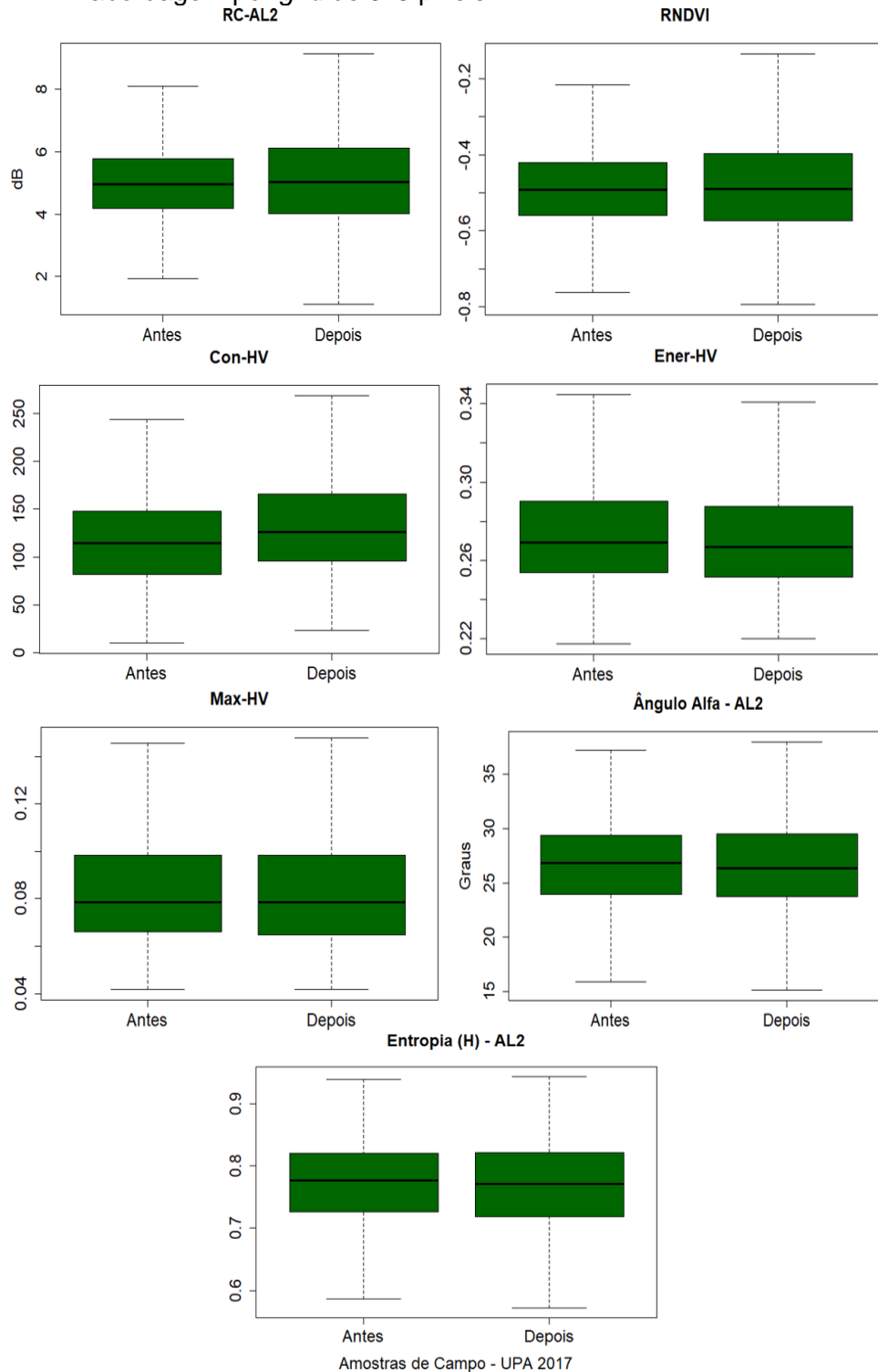


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}HH$, $\sigma^{\circ}HV$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2016.

Os resultados do teste de Wilcoxon obtidos para o conjunto de dados da UPA 2017, considerando 1.002 *grids* amostrais, indicou que, nos atributos RC-AL2, RNDVI, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, as amostras seguiram as mesmas distribuições, exibindo valores-p entre 0,17 e 0,31 (Tabela 4.32), sugerindo baixa potencialidade desses atributos. Nos atributos Con-HV e Ener-HV, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p < 0,05. Como pode-se observar na Figura 4.23, a maior diferença entre os valores de média das distribuições foi obtida pelo atributo Con-HV (-15,142), denotando um alto potencial desse atributo em detectar as diferenças no dossel florestal devido aos cortes.

De modo geral, os resultados de detecção obtidos pelas diferentes abordagens metodológicas sugerem que os desempenhos dos atributos ALOS2 foram similares. Por exemplo, para o conjunto de dados da UPA 2015, os atributos ALOS2 exibiram os mesmos potenciais nas abordagens pixel a pixel e por polígonos com distâncias de 16,48 m e 24,72 m. Já na UPA 2016, os desempenhos foram os mesmos nas cinco abordagens testadas. Entretanto, considerando o conjunto de dados da UPA 2017, observou-se, que nas abordagens por polígonos de 16,48 m e 24,72 m, um maior número de atributos não foi testado (Tabela 4.29 e Tabela 4.30), quando comparado com as demais abordagens testadas. Possivelmente, isso se deve às maiores áreas totais consideradas por ambos (Subseção 3.3.4).

Figura 4.23: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por *grid* de 3x3 pixels.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RC-AL2, RNDVI, Con-HV, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 extraídos do par de imagens ALOS2, correspondente à UPA 2017.

4.7.2 Detecção de perdas de volume florestal a partir das amostras de campo e dos atributos S1A

Na Tabela 4.33, são apresentados os conjuntos de dados utilizados nas respectivas áreas de estudos (UPAs) investigadas.

Tabela 4.33: Conjunto de dados S1A utilizados na detecção, a partir das amostras de campo.

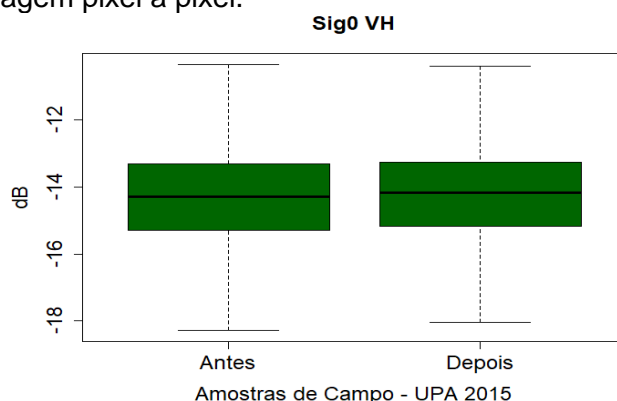
UPAs	Data imagens antes dos cortes e média da precipitação média diária acumulada em 4 dias	Data imagens depois dos cortes e média da precipitação média diária acumulada em 4 dias	Total de amostras	Período realizado os cortes
UPA 2015	09/09/2015 - 0,00 mm	19/01/2016 - 0,00 mm	3.649	05/10/2015 a 08/01/2016
UPA 2016	08/12/2016 - 1,94 mm	02/03/2017 - 3,69 mm	1.127	28/12/2016 a 30/01/2017
UPA 2017	09/11/2017 - 0,00 mm	15/12/2017 - 5,95 mm	1.103	20/11/2017 a 07/12/2017
UPA 2018	25/06/2018 - 0,63 mm	12/08/2018 - 0,00	867	05/07/2018 a 10/08/2018

4.7.2.1 Detecção pixel a pixel - S1A

Para detectar as diferenças de volume florestal a partir das amostras de campo, utilizando a abordagem pixel a pixel, foram consideradas, para a UPA 2015, as 3.649 amostras no formato de ponto. Dentre os atributos S1A testados no grupo de controle, somente em $\sigma^{\circ}\text{VH}$ as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições. Consequentemente, aplicou-se o teste de Wilcoxon apenas para esse atributo.

Na Figura 4.24, observa-se que, no atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$, ao comparar os intervalos das distribuições e as médias das amostras antes e após os distúrbios, os valores obtidos estavam muito próximos uns dos outros, denotando uma discreta diferença entre os valores de retroespalhamento. Entretanto, segundo os resultados do teste de Wilcoxon para o $\sigma^{\circ}\text{HV}$, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, exibindo um valor-p < 0,0001 (Tabela 4.34). Antes e depois da exploração seletiva, os valores médios de retroespalhamento foram de -14,34 dB e -14,24 dB, respectivamente, indicando uma diferença de -0,11 dB. Os valores mínimos da distribuição antes e depois do evento foram de -21,29 dB e -19,86 dB, respectivamente. Já os valores máximos das distribuições antes e após os distúrbios foram, respectivamente, de -9,39 dB e -9,31 dB (Figura 4.24).

Figura 4.24: *Boxplot* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.



O *boxplot* representa o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo o atributo σ° VH extraído do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2015.

Tabela 4.34: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem pixel a pixel, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, nos atributos S1A.

	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017		UPA 2018	
Atributo	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° VH	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado		teste não aplicado		teste não aplicado	
RRVI	teste não aplicado		0,009	Rejeita H_0	0,225	Aceita H_0	0,004	Rejeita H_0
Con-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0
Ener-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0	0,196	Aceita H_0
Max-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0	0,389	Aceita H_0
α -S1	teste não aplicado		teste não aplicado		0,263	Aceita H_0	0,019	Rejeita H_0
H-S1	teste não aplicado		teste não aplicado		0,885	Aceita H_0	0,016	Rejeita H_0

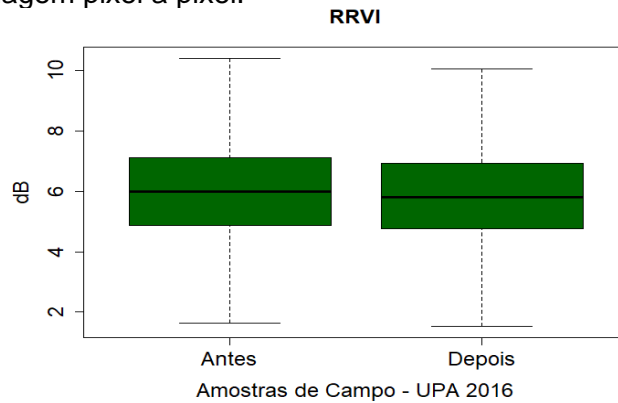
Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

No que concerne à detecção de diferenças do volume florestal a partir dos dados de campo da UPA 2016, foram utilizados 1.127 pontos amostrais de corte seletivo, analisados segundo o atributo RRVI. De acordo com o teste de Wilcoxon, as amostras apresentaram distribuições significativamente diferentes, quando observadas antes e após os distúrbios, exibindo um valor-p $\leq 0,009$ (Tabela 4.34).

A diferença entre os valores de média das distribuições foi de 0,18 dB, com um intervalo de distribuição de 0,74 a 10,54 dB antes das extrações seletivas de madeira; e de um intervalo de 0,57 e 5,80 dB após as extrações, denotando uma

sensibilidade do atributo RRVI devido a um leve decaimento do sinal SAR (Figura 4.25).

Figura 4.25: *Boxplot* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.

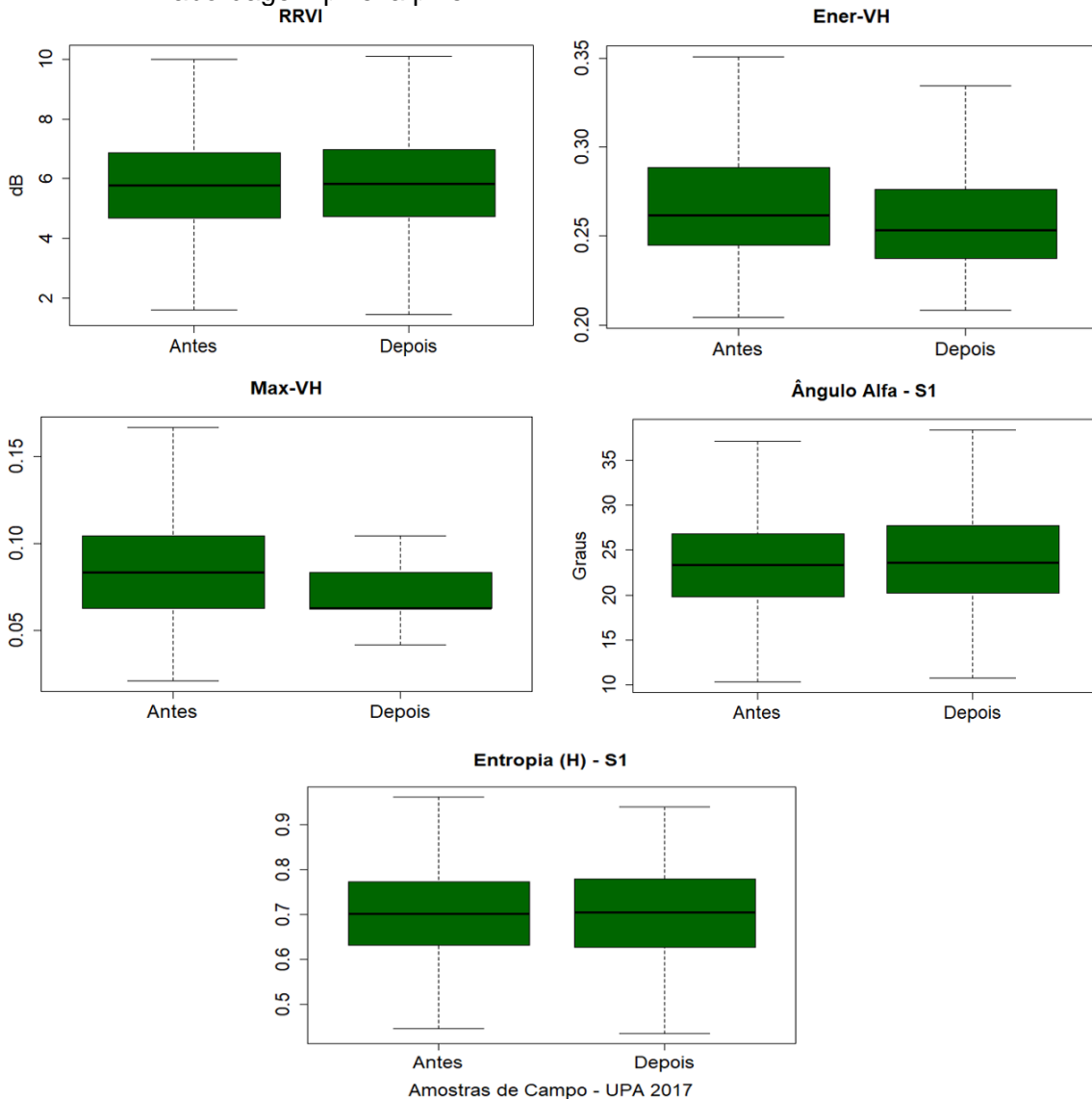


O *boxplot* representa o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo o atributo RRVI extraído do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2016.

De acordo com os resultados do teste de Wilcoxon aplicados ao conjunto de dados da UPA 2017, considerando os 1.103 pontos amostrais, nos atributos RRVI, α -S1 e H-S1, as amostras tenderam a seguir as mesmas distribuições, com valores-p, de 0,225, 0,263 e 0,885, respectivamente (Tabela 4.34). Indicando que esses atributos não apresentaram sensibilidade em detectar perdas de volume florestal decorrentes dos processos de corte seletivos.

Na Figura 4.26, é possível comparar as distribuições das amostras, quando observadas nos dois diferentes períodos, e observar que, para os atributos Ener-VH e Max-VH, houve uma discreta queda nas distribuições das amostras após os cortes, denotando que a diferença entre os valores de retroespalhamento dos atributos foram muito sutis. Porém, o teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras são significativamente diferentes, com valor-p < 0,0001 (Tabela 4.34).

Figura 4.26: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.

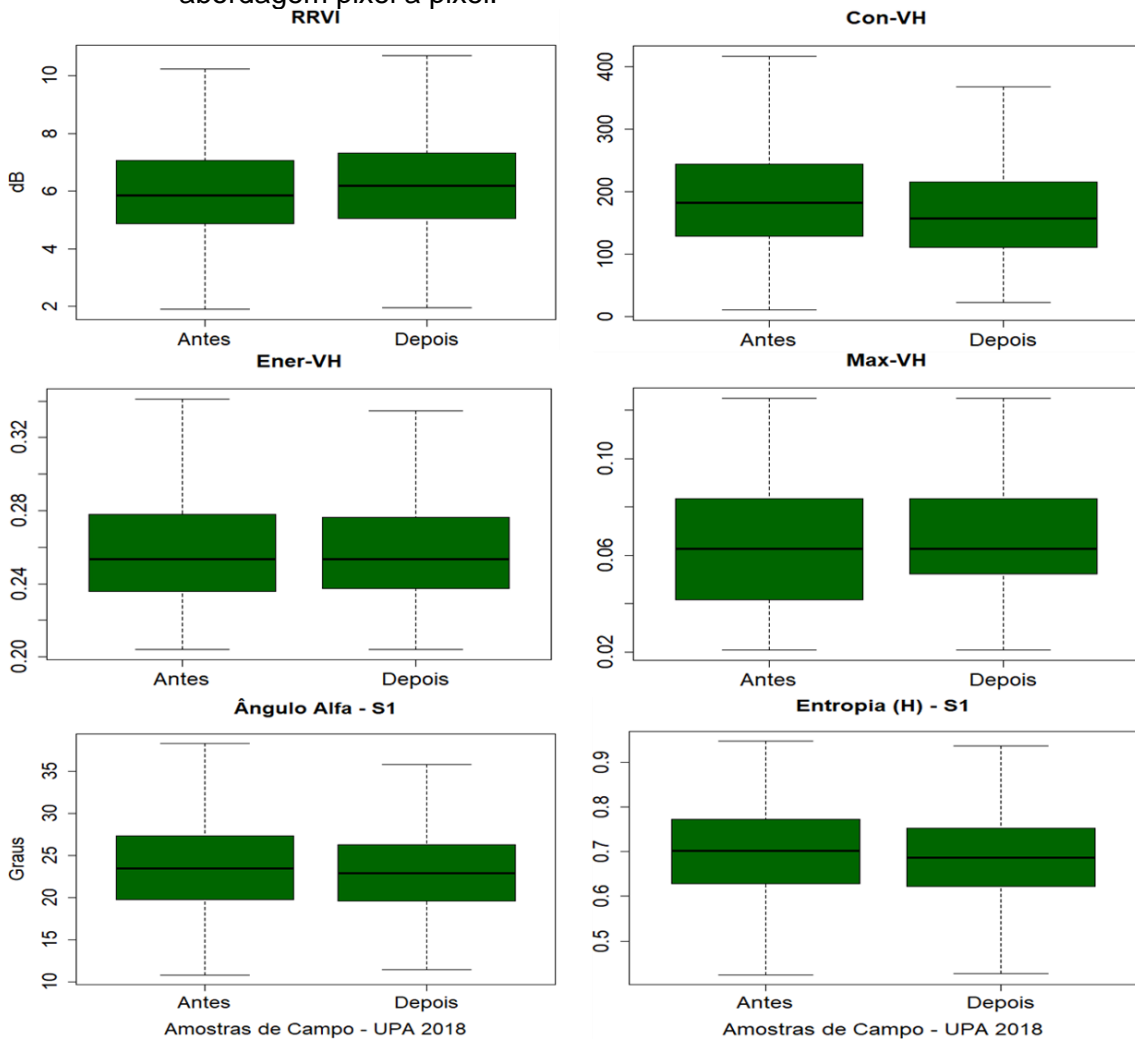


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1 extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2017.

Com relação aos resultados de detecção obtidos pelo conjunto de dados associados à UPA 2018, foram considerados os 867 pontos amostrais e os atributos RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1. De acordo com o teste de comparação de Wilcoxon, nos atributos Ener-VH e Max-VH, as amostras, quando observadas nos dois momentos, tenderam a seguir a mesma distribuição, com valores-p entre 0,19 e 0,39 (Tabela 4.34). Na Figura 4.27, é possível observar em Ener-VH e Max-VH que as linhas centrais das distribuições

das amostras observadas antes e após os cortes, tenderam a estar muito próximas. A diferença entre os valores de média das distribuições em Ener-VH e Max-VH foi inferior a 0,005. Esses resultados indicam um baixo potencial de ambos em detectar perdas de volume florestal por processos de corte seletivo.

Figura 4.27: Boxplots representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem pixel a pixel.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1 extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2018.

Ainda em relação à UPA 2018, as distribuições das amostras tenderam a ser estatisticamente diferentes nos atributos RRVI, Con-VH, α -S1 e H-S1, com valor $p < 0,05$ (Tabela 4.34), exibindo esses atributos potenciais em detectar as diferenças no volume florestal. Dentre eles, destaca-se o Con-VH que exibiu uma

diferença entre os valores de média de 24,14, indicando uma maior diferenciação e separabilidade entre as amostras observadas nos dois períodos.

Em síntese, os resultados obtidos para as amostras de campo na abordagem pixel a pixel indicaram que não houve uma coerência/linearidade entre os desempenhos dos atributos em detectar perdas de volume florestal devido aos cortes seletivos. Sugerindo que há limitações ao utilizar essa abordagem para os dados do Sentinel-1, considerando os atributos testados nas áreas densamente florestadas, como as das áreas de estudo.

4.7.2.2 Detecção por polígonos - S1A

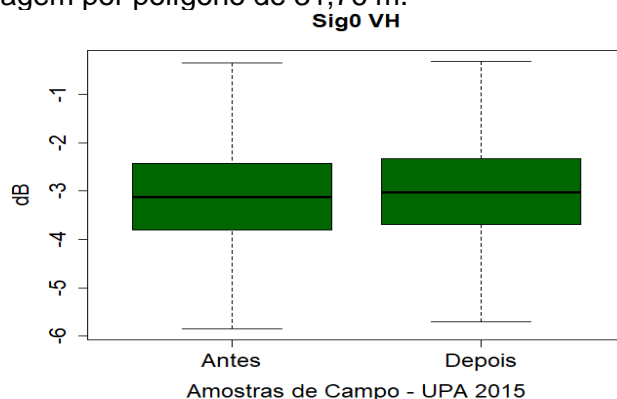
Na detecção de perdas de volume florestal por processo de corte seletivo utilizando a abordagem por polígonos, todas as amostras de campo representadas por pontos foram convertidas para polígonos com distância de 31,76 m. No que concerne o conjunto de dados corresponde à UPA 2015, apenas o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ foi considerado nas análises. Na Figura 4.28, é possível observar que os valores das distribuições exibidos nas linhas centrais tenderam a estar muito próximos uns dos outros, quando observados, antes e após os distúrbios florestais. Os valores de média da distribuição das amostras observadas antes e depois das perturbações foram de -3,11 dB e -3,02 dB, respectivamente, apresentando uma diferença entre os valores de -0,09 dB. Essa diferença entre as distribuições pode estar associada a um leve decaimento do sinal de radar devido à exploração seletiva na área investigada.

O teste de Wilcoxon, a um nível de significância de 5%, sugeriu que as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor- $p \leq 0,0001$ (Tabela 4.35), indicando o potencial de $\sigma^{\circ}\text{VH}$ em detectar diferenças no volume florestal a partir de processos de cortes seletivos. Esse atributo apresentou sensibilidade ao espalhamento do tipo volumétrico associado à cobertura florestal.

Os resultados encontrados na abordagem por polígonos, para o conjunto de dados associados à UPA 2015, demonstram desempenho similar aos encontrados na abordagem pixel a pixel, considerando o mesmo conjunto de dados. Em ambas as abordagens, o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ demonstrou sensibilidade em

detectar as diferenças no volume florestal, ainda que essa diferença tenha sido sutil.

Figura 4.28: *Boxplot* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por polígono de 31,76 m.



O *boxplot* representa o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo o atributo σ° VH extraído do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2015.

Tabela 4.35: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por polígono de 31,76 m, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, nos atributos S1A.

	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017		UPA 2018	
Atributo	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° VH	0,0001	Rejeita H_0	teste não aplicado		teste não aplicado		teste não aplicado	
RRVI	teste não aplicado		0,008	Rejeita H_0	0,934	Aceita H_0	0,0001	Rejeita H_0
Con-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0
Ener-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0	0,043	Rejeita H_0
Max-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0	0,051	Aceita H_0
α -S1	teste não aplicado		teste não aplicado		0,139	Aceita H_0	0,009	Rejeita H_0
H-S1	teste não aplicado		0,952	Aceita H_0	0,892	Aceita H_0	0,015	Rejeita H_0

Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

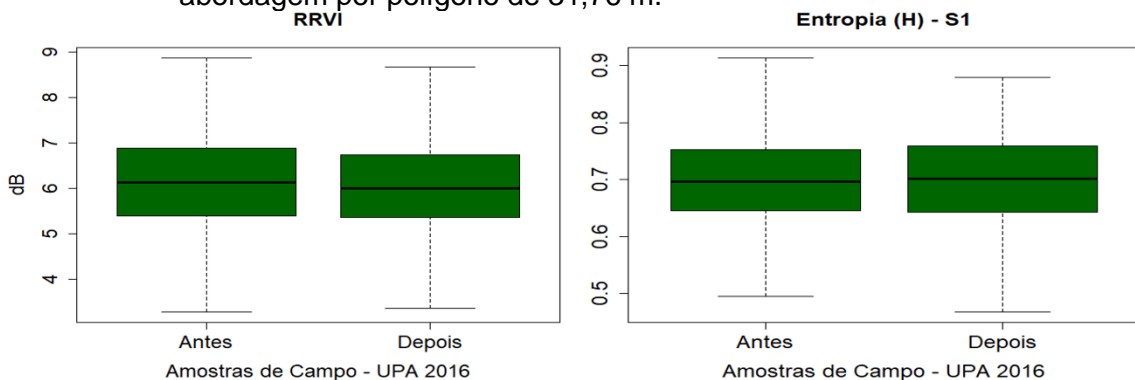
O resultado do teste de Wilcoxon aplicado ao conjunto de dados da UPA 2016 indicou que, em H-S1, as amostras seguiram as mesmas distribuições, com valor-p $\geq 0,95$ (Tabela 4.35). A diferença entre as médias das distribuições foi de 0,001, com intervalo de distribuição de 0,47 a 0,92 para as amostras observadas antes da exploração seletiva e, intervalo de 0,42 a 0,95 para as observadas após os cortes. Esses resultados sugerem que há sobreposição entre as distribuições,

indicando similaridade radiométrica entre as amostras observadas nos diferentes momentos do evento (Figura 4.29), demonstrando que H-S1 não exibe sensibilidade em detectar diferenças na cobertura vegetal devido aos desbastes por cortes seletivos.

Por sua vez, no atributo RRVI, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor- $p \leq 0,008$ (Tabela 4.35). O valor de média exibido para as amostras antes dos cortes foi de 6,13 dB, com intervalo de distribuição de 2,28 dB a 9,93 dB. Já para as mesmas amostras, quando observadas após os desbastes, a média obtida foi de 6,02 dB, com intervalo de distribuição de 2,70 dB a 10,09 dB (Figura 4.29). A diferença entre os valores médios foi de 0,11, indicando um decaimento do sinal de radar em RRVI.

Os resultados obtidos pelo atributo RRVI na abordagem por polígonos associados ao conjunto de dados da UPA 2016, foram similares aos resultados apresentados na abordagem por pixel a pixel, considerando o mesmo conjunto de dados. A sutil queda do sinal radar observada após os desbastes foi detectada estatisticamente pelo teste de comparação de Wilcoxon, com um grau de confiança de 95%, indicando a sensibilidade de RRVI em detectar diferenças no volume florestal da UPA 2016 devido aos eventos de cortes seletivos ocorridos na área.

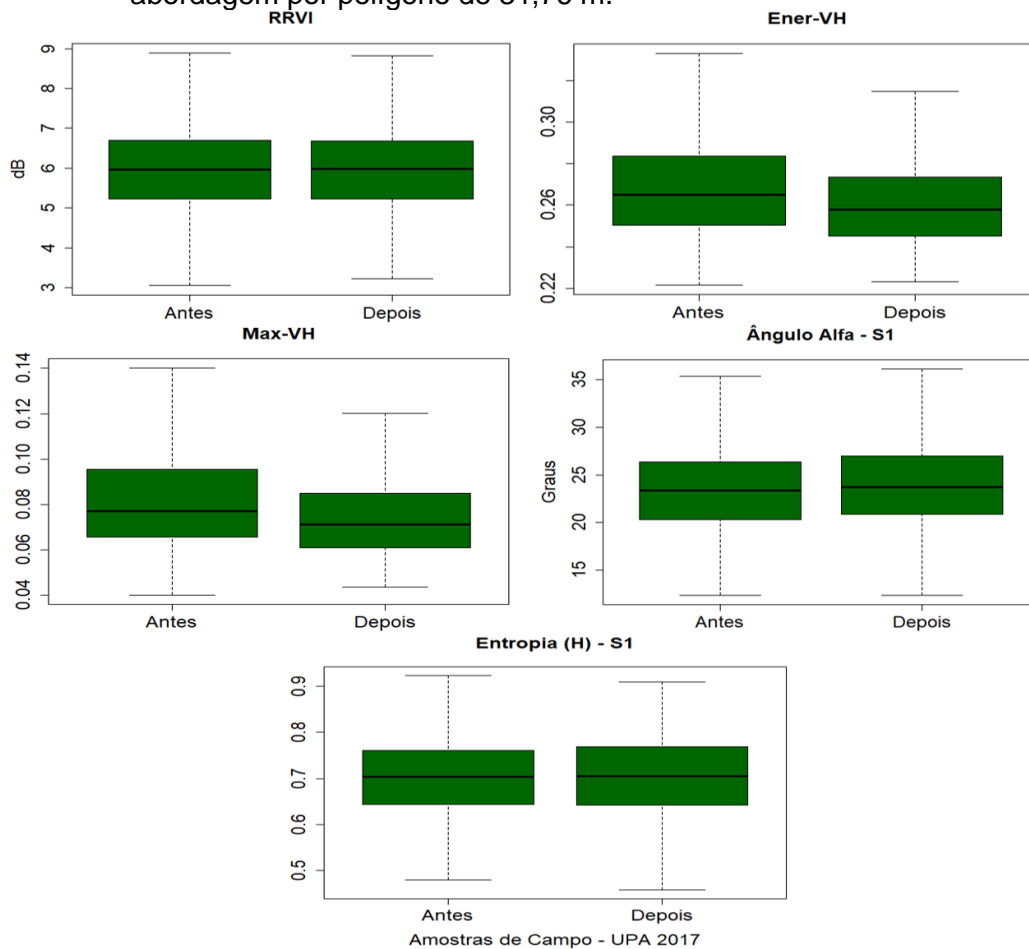
Figura 4.29: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por polígono de 31,76 m.



Os *boxplots* representa o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos RRVI e H-S1 extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2016.

O teste de Wilcoxon aplicado ao conjunto de dados da UPA 2017 indicou que nos atributos RRVI, α -S1 e H-S1, as amostras seguiram as mesmas distribuições, exibindo valores-p de 0,93, 0,14 e 0,89, respectivamente (Tabela 4.35). No atributo H-S1, foi observada a menor diferença entre as médias dos valores das distribuições, que foi de 0,001. As sobreposições das distribuições especificamente nesses três atributos podem ser observadas na Figura 4.30 para os atributos Ener-VH e Max-VH, com uma discreta queda nos valores das distribuições das amostras após os eventos de cortes seletivos. Segundo o teste de Wilcoxon, as distribuições foram significativamente diferentes, com valor-p \leq 0,001 (Tabela 4.35), indicando o potencial desses atributos em detectar perdas de volume florestal decorrentes dos processos de cortes seletivos.

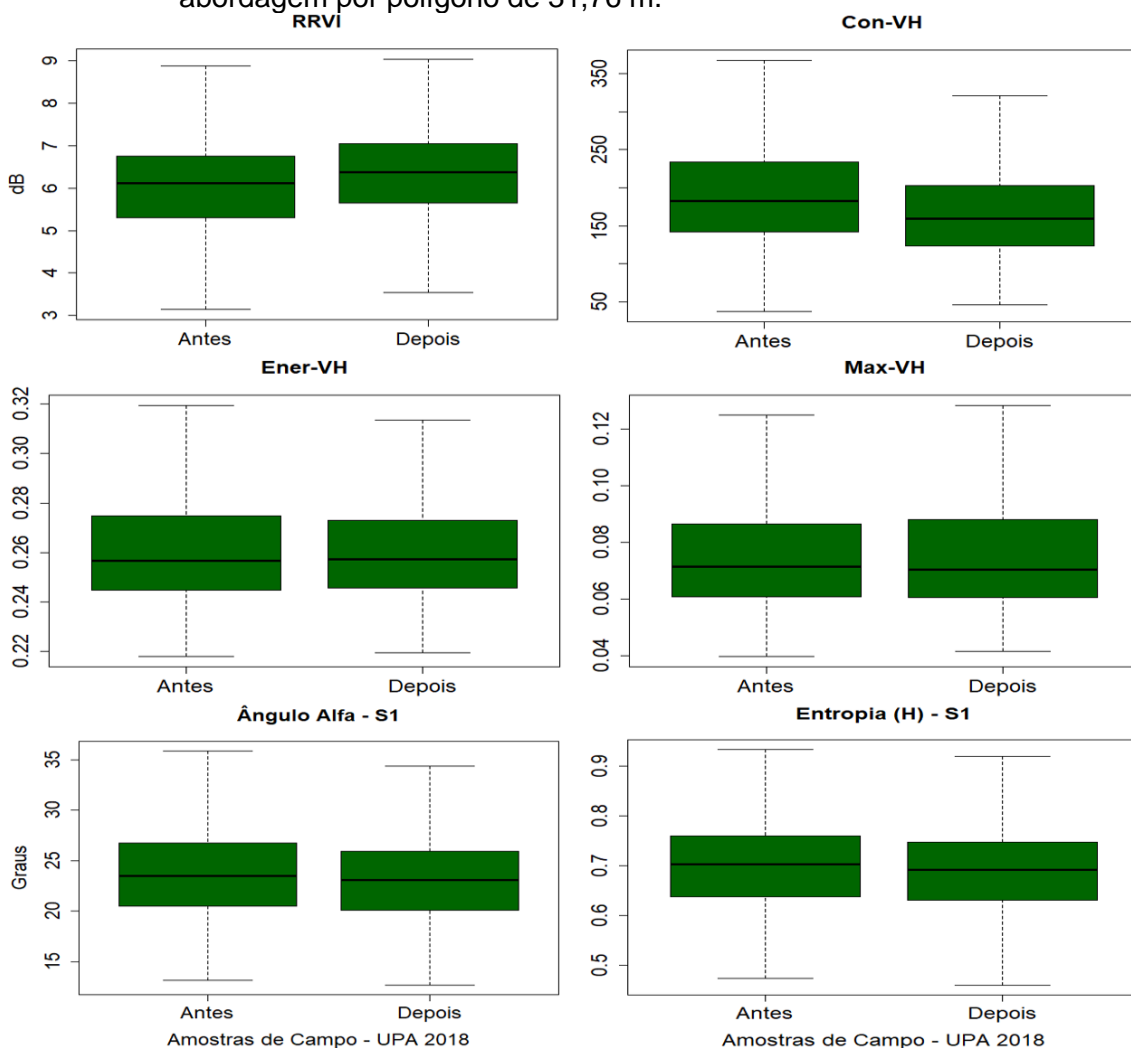
Figura 4.30: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por polígono de 31,76 m.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1 extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2017.

Com relação ao conjunto de dados da UPA 2018, o teste de Wilcoxon aplicado aos atributos RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, sugeriu que as distribuições das amostras foram as mesmas somente em Max-VH, com valor-p $> 0,05$ (Tabela 4.35). A diferença entre os valores de média das distribuições em Max-VH foi de 0,005. Nos demais atributos, RRVI, Con-VH, Ener-VH, α -S1 e H-S1, o teste de comparação indicou que as distribuições das amostras são estatisticamente diferentes, com valores-p variando entre 0,0001 e 0,043. Destacam-se os atributos Con-VH e α -S1 que exibiram as maiores diferenças de média entre os valores, respectivamente, 23,62 e $0,60^\circ$ (Figura 4.31).

Figura 4.31: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por polígono de 31,76 m.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1 extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2018.

Com relação aos atributos RRVI, Ener-VH e H-S1, apesar das amostras seguirem distribuições estatisticamente diferentes, os valores das médias das distribuições das amostras tenderam a estar muito próximos (Figura 4.31), indicando uma sutil queda no sinal de radar.

Em síntese, os resultados obtidos através da abordagem por polígonos foram similares aos resultados encontrados na abordagem pixel a pixel. O atributo α -VH exibiu desempenhos similares nas duas abordagens supracitadas, quando analisado com os dados da UPA 2015. No conjunto de dados da UPA 2016, o

atributo RRVI também apresentou similaridade nos seus desempenhos, quando testado nas duas abordagens. O mesmo ocorreu com os desempenhos dos atributos associados à UPA 2017 (Tabela 4.34 e Tabela 4.35).

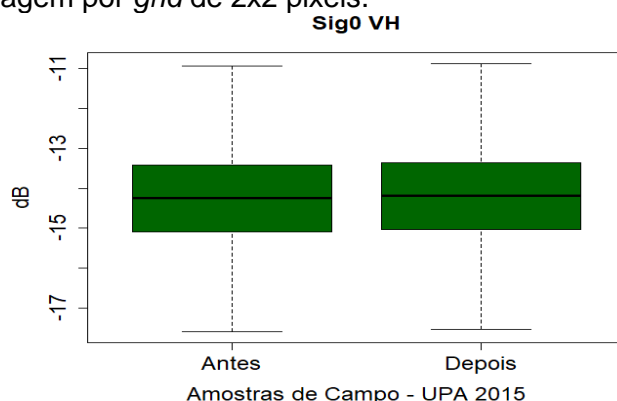
Entretanto, os resultados dos desempenhos dos atributos na UPA 2018 foram diferentes, quando comparados com os resultados obtidos pelas duas abordagens supracitadas. Na abordagem por polígonos, observou-se que Ener-VH foi sensível em detectar as áreas com perdas significativas de volume florestal decorrentes dos cortes seletivos. Já na abordagem por pixel, Ener-VH não demonstrou capacidade em detectar as áreas com perdas de volume florestal.

4.7.2.3 Detecção por *grid* de 2x2 pixels- S1A

No conjunto de dados da UPA 2015, os 3.649 pontos amostrais foram convertidos em *grids* de 2x2 pixels, correspondendo a um total de 3.194 *grids* amostrais. Alguns pontos amostrais que estavam próximos uns dos outros foram incorporados em um mesmo *grid*.

De acordo com a Figura 4.32, pode-se observar, para o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$, que os valores entre os intervalos de distribuição das amostras antes e depois da exploração seletiva exibiram uma tênue diferença de -0,08 dB. No entanto, segundo os resultados do teste de Wilcoxon, as distribuições tenderam a ter distribuições significativamente diferentes, exibindo um valor- $p \leq 0,005$ (Tabela 4.36). Os resultados supracitados indicaram que o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ apresentou potencial em detectar a discreta queda do sinal radar devido aos distúrbios na cobertura florestal provocados pelos cortes seletivos. Esses resultados encontrados para o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ estão em consonância com os obtidos nas abordagens pixel a pixel e por polígonos considerando o conjunto de dados da UPA 2015.

Figura 4.32: *Boxplot* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



O *boxplot* representa o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo o atributo σ° VH extraído do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2015.

Tabela 4.36: Resultados do teste de Wilcoxon na abordagem por *grid* de 2x2 pixels, aplicados aos conjuntos amostrais das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018, nos atributos S1A.

	UPA 2015		UPA 2016		UPA 2017		UPA 2018	
Atributo	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão	Valor-p	Conclusão
σ° VH	0,005	Rejeita H_0	teste não aplicado		teste não aplicado		teste não aplicado	
RRVI	teste não aplicado		0,042	Rejeita H_0	0,971	Aceita H_0	0,002	Rejeita H_0
Con-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		teste não aplicado		0,000	Rejeita H_0
Ener-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0	0,353	Aceita H_0
Max-VH	teste não aplicado		teste não aplicado		0,0001	Rejeita H_0	0,367	Aceita H_0
α -S1	teste não aplicado		teste não aplicado		0,369	Aceita H_0	0,016	Rejeita H_0
H-S1	teste não aplicado		teste não aplicado		0,989	Aceita H_0	0,036	Rejeita H_0

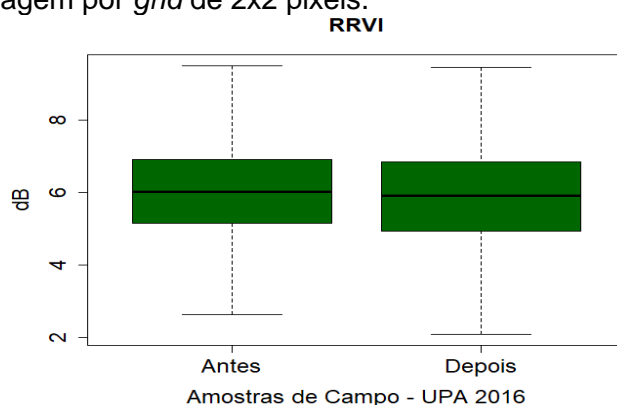
Teste de Wilcoxon aplicado ao nível de significância $\alpha = 0,05$. Interpretação do teste estatístico: aceitar a hipótese H_0 indica que as amostras seguem a mesma distribuição; rejeitar a hipótese H_0 implica em aceitar a hipótese H_1 , no qual sugere que as distribuições das amostras são diferentes.

Para o conjunto amostral da UPA 2016, os 1.127 pontos (Tabela 4.33) após serem convertidos para grids, compreenderam um total de 974 amostras de campo. O teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras em RRVI foram estatisticamente diferentes, com valor-p < 0,05 (Tabela 4.36). Segundo o gráfico *boxplot* (Figura 4.33), antes de realizar o manejo do corte seletivo, as amostras apresentaram valor de média de 6,02 dB e intervalo de distribuição de 0,72 dB a 10,61 dB. Essas mesmas amostras analisadas após os cortes apresentaram valor de média de 5,90 dB e intervalo de distribuição de 0,84 a 10,58. A diferença entre os valores de média obtida foi de 0,12 dB. Nesse

sentido, os resultados obtidos indicaram que o atributo RRVI exibiu capacidade de detectar a discreta diferença entre os valores de retroespalhamento.

Os resultados supracitados vão ao encontro dos resultados obtidos por RRVI nas abordagens testadas anteriormente, pixel a pixel e por polígonos, considerando o grupo de dados da UPA 2016.

Figura 4.33: *Boxplot* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



O *boxplot* representa o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo o atributo RRVI extraído do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2016.

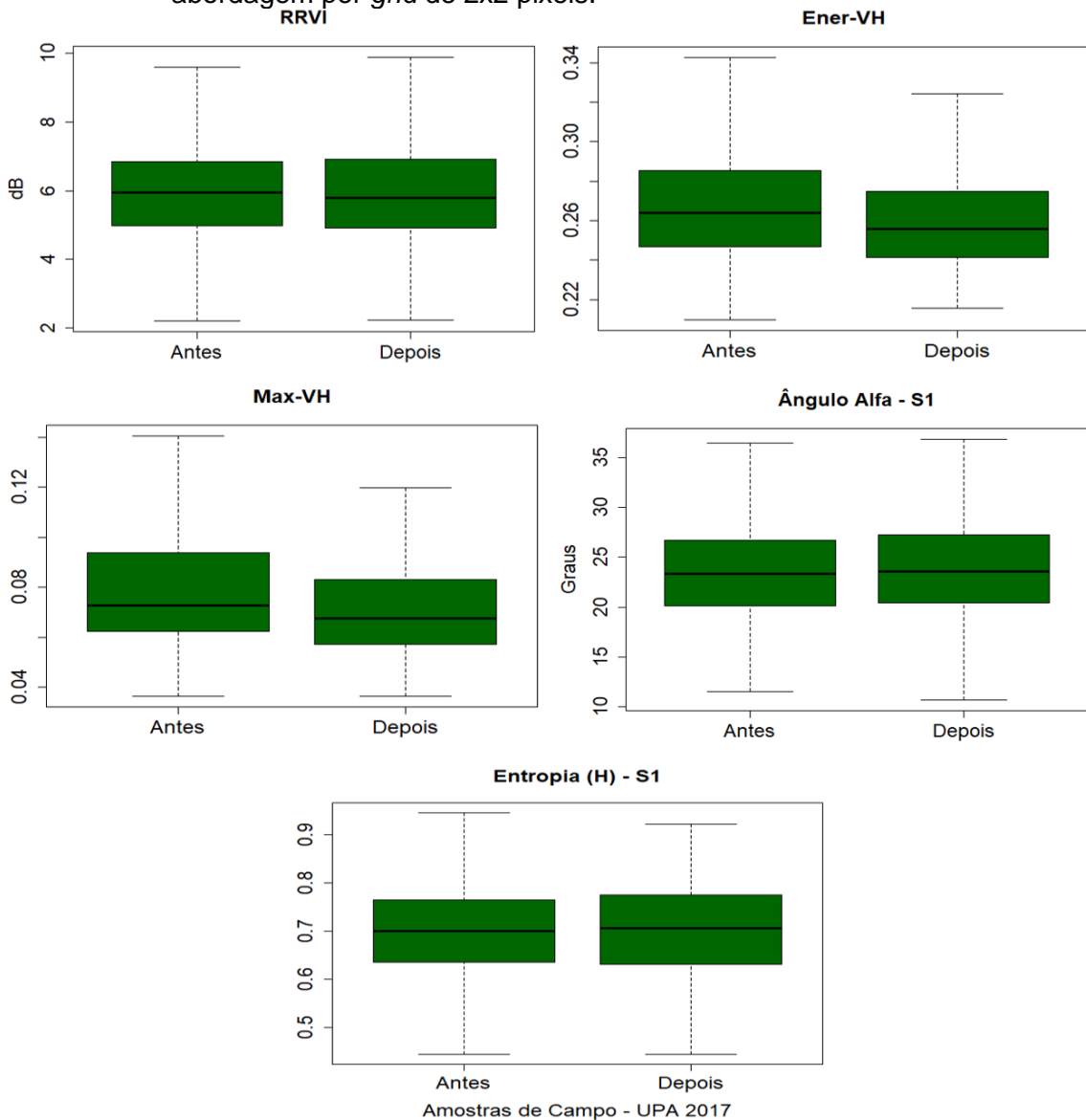
O conjunto de amostras da UPA 2017 é constituído por 1.103 pontos de campo, entretanto, após a conversão do formato dos pontos para *grid*, o conjunto amostral passou a compreender um total de 949 *grids*.

No que concerne a detecção de perdas de volume florestal na área da UPA 2017, o teste de Wilcoxon sugeriu que, nos atributos RRVI, α -S1 e H-S1, as amostras seguem as mesmas distribuições, com valores-p de 0,97, 0,37 e 0,99, respectivamente (Tabela 4.36). Indicando que houve sobreposições entre as distribuições entre as amostras, quando observadas nos diferentes períodos, antes e após os distúrbios (Figura 4.34). Consequentemente, RRVI, α -S1 e H-S1 não apresentaram capacidades em detectar as diferenças no volume florestal.

Por sua vez, nos atributos Ener-VH e Max-VH, as distribuições das amostras foram significativamente diferentes, com valor-p $\leq 0,0001$ (Tabela 4.36), indicando o potencial desses atributos em detectar perdas de volume florestal decorrentes dos processos de corte seletivo na área da UPA 2017. Esses

mesmos atributos, Ener-VH e Max-VH, empregados nas demais abordagens testadas, considerando o conjunto de dados da UPA 2017, também exibiram capacidades em detectar perdas no volume florestal devido aos distúrbios decorrentes aos cortes seletivos.

Figura 4.34: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.

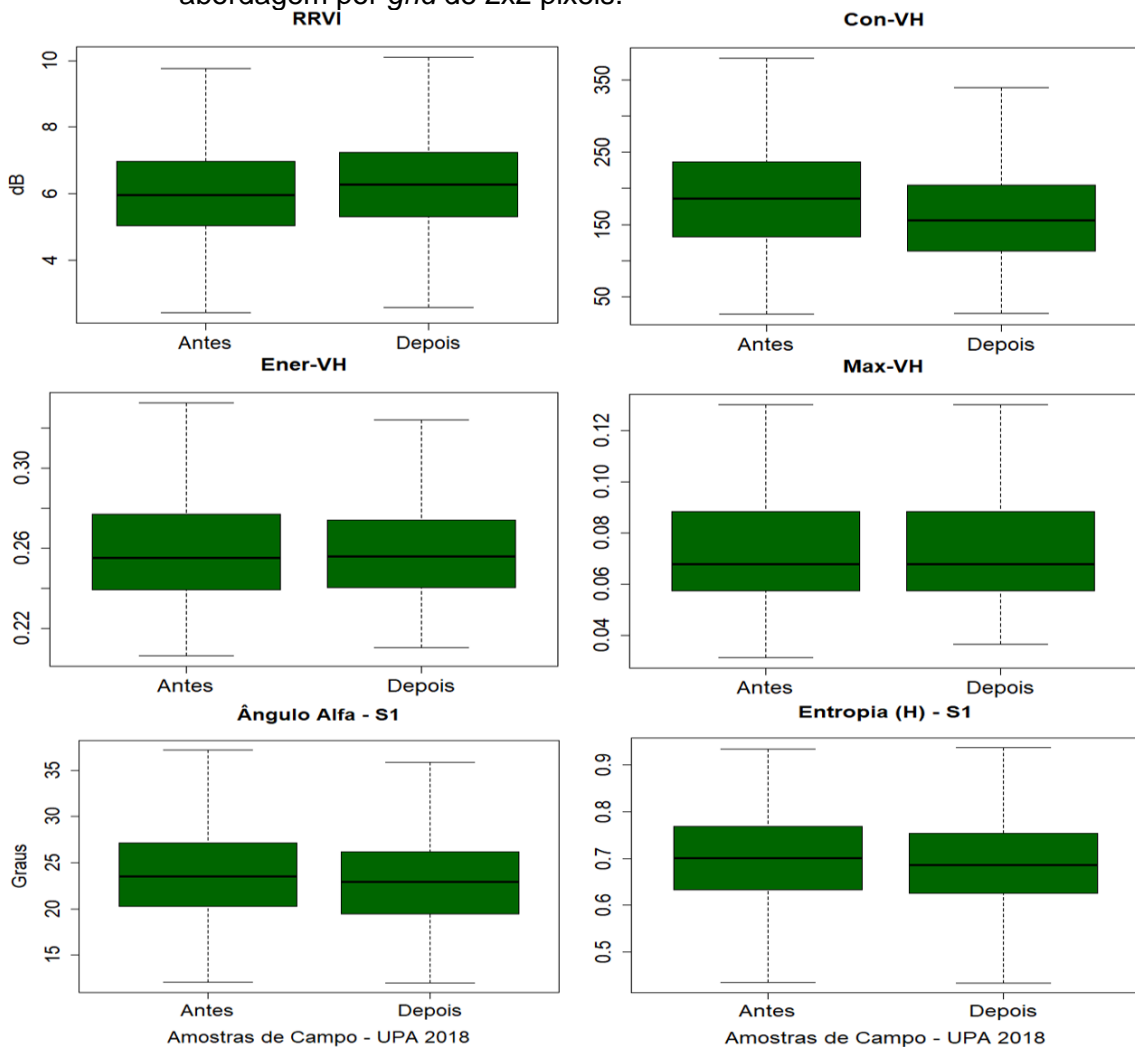


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RRVI, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1 extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2017.

O conjunto amostral da UPA 2018, originalmente constituído por 867 pontos de campo (Tabela 4.33), quando convertido para o formato de *grid* de 2x2 pixels, apresentou um total de 754 amostras. Segundo o teste de Wilcoxon, as amostras

tenderam a seguir as mesmas distribuições nos atributos Ener-VH e Max-VH, com valores-p de 0,35 e 0,37, respectivamente (Tabela 4.36). A diferença entre os valores de média das distribuições foi de 0,003 para Ener-VH e de 0,004 para Max-VH (Figura 4.35), indicando sobreposição das distribuições e conseqüentemente alta similaridade radiométrica.

Figura 4.35: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de campo antes e depois da extração seletiva para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1 extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2018.

Por sua vez, o teste de Wilcoxon aplicado aos atributos RRVI, Con-VH, α -S1 e H-S1, indicou que as distribuições das amostras foram estatisticamente diferentes, quando comparadas antes e após o evento de distúrbio, exibindo um valor-p < 0,05 (Tabela 4.36). Indicando o potencial desses atributos em detectar

perdas de volume florestal por cortes seletivos. Destacam-se os atributos Con-VH e α -S1 que apresentaram as maiores diferenças nos valores de média das distribuições das amostras. Para o atributo Con-VH, a diferença nos valores de média foi de 24,07 e para α -S1 foi de 0,61°.

Os resultados obtidos na abordagem por *grid* de 2x2 pixels foram similares aos obtidos na abordagem pixel a pixel, relacionando as sensibilidades de detecção aos mesmos atributos. Na abordagem por polígono de 31,76 m, apenas os resultados obtidos na UPA 2018 foram diferentes dos obtidos pelas duas outras abordagens testadas. Destacou-se o atributo Con-VH pela capacidade em detectar as perdas de volume florestal na UPA 2018. Esse mesmo atributo, quando testado nas demais abordagens, considerando a mesma área, não havia apresentado potencialidades.

Em síntese, nas três abordagens testadas, não foi constatado um potencial atributo capaz de detectar diferenças no volume florestal devido aos cortes seletivos. Para cada UPA, bem como para com um conjunto amostral único, os atributos empregados apresentaram diferentes potenciais, não havendo uma linearidade e ou coerência entre os resultados obtidos por eles ao longo do tempo.

4.8 Teste de correlação dos atributos ALOS2 e S1A

Os atributos ALOS2 e S1A que apresentaram sensibilidade em detectar perdas de volume florestal decorrente aos processos de corte seletivo, foram avaliados por meio do teste de correlação de Spearman, com um grau de confiança de 95%. Isso possibilitou selecionar apenas aqueles atributos que não apresentaram uma alta correlação entre si. Nas subseções abaixo, são apresentados os resultados dos testes de correlação obtidos para cada UPA nas três abordagens metodológicas testadas: pixel a pixel, polígono e grid.

4.8.1 Teste de correlação dos atributos ALOS2

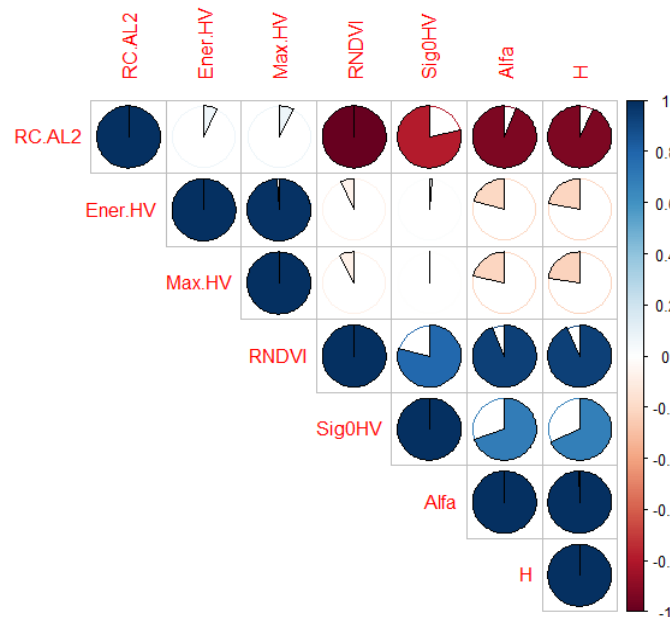
4.8.1.1 Teste de correlação pixel a pixel - ALOS2

Conforme os resultados obtidos pela detecção de perda de volume florestal na abordagem metodológica pixel a pixel, para a UPA 2015, os atributos ALOS2

que apresentaram sensibilidade foram: RC-AL2, Ener-HV, Max-HV, RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. De acordo com os resultados exibidos pelo teste de correlação de Spearman (r_s), (Figura 4.36), pode-se observar que o atributo RC-AL2, ao ser relacionado com Ener-HV e Max-HV, apresentou valores de correlação próximos a 0, indicando que RC-AL2 não apresenta uma dependência com Ener-HV e Max-HV.

Contudo, RC-AL2, ao ser relacionado com RNDVI, apresentou um valor de $r_s = -1,0$, indicando uma correlação perfeita e negativa. Isto significa que, quando a resposta de um dos dois atributos aumenta, a resposta do outro atributo diminui, ou seja, eles são inversamente proporcionais (Figura 4.36). Altos valores de r_s atribuídos a RC-AL2 foram obtidos ao comparar esse atributo com σ° HV ($r_s = -0,79$), com α -AL2 ($r_s = -0,94$) e H-AL2 ($r_s = -0,93$).

Figura 4.36: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem pixel a pixel.



Ener-HV, quando comparado com Max-HV, também apresentou uma correlação forte e positiva ($r_s = 0,99$), demonstrando que esses dois atributos são dependentes entre si. Já Ener-HV, quando relacionado com RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2, demonstrou que não está correlacionado com estes atributos. Destaca-se o valor de $r_s = -0,04$ obtido pelo resultado do teste de correlação entre Ener-HV e σ° HV (Figura 4.36).

O atributo Max-HV, ao ser comparado com os atributos RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2, exibiu, valores de r_s iguais a -0,08, -0,05, -0,21 e -0,22, respectivamente, indicando uma fraca correlação. Por sua vez, RNDVI, quando relacionado com σ° HV, α -AL2 e H-AL2, obteve, r_s iguais a 0,79, 0,94 e 0,93, respectivamente, indicando uma correlação forte e positiva. O atributo σ° HV, ao ser comparado com α -AL2, apresentou um valor de $r_s = 0,70$; quando comparado com H-AL2, exibiu um valor de $r_s = 0,68$ (Figura 4.36). Com relação ao teste de correlação realizado para α -AL2 e H-AL2, obteve-se um $r_s = 0,99$, demonstrando uma forte e positiva correlação entre esses dois atributos polarimétricos.

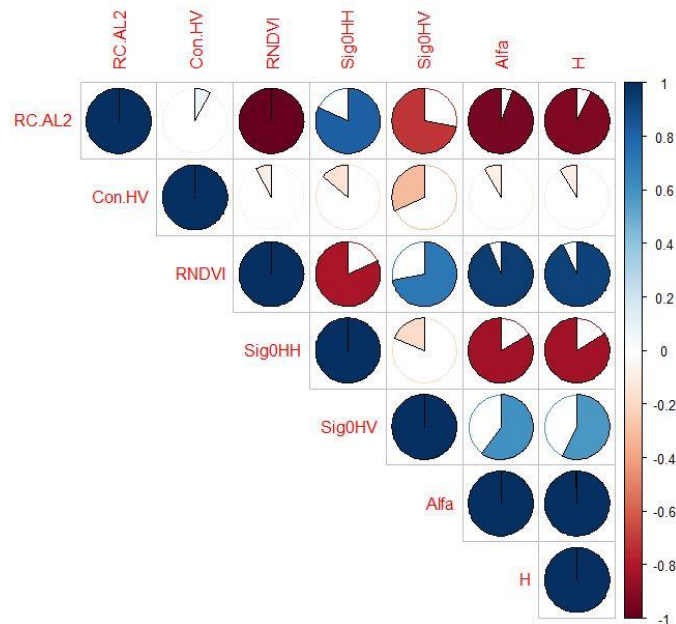
Em síntese, observa-se que há uma forte e positiva correlação entre os atributos Ener-HV e Max-HV, com valor de $r_s = 0,99$, assim como também há uma forte e positiva relação entre os atributos RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2, com valores de r_s entre 0,69 e 1,00. Essas fortes e positivas correlações encontradas entre os atributos supracitados demonstram que, à medida que as respostas de um dos atributos aumenta ou diminui, a resposta dos outros atributos tendem a acompanhá-lo, aumentando ou diminuindo conjuntamente. Ainda se percebeu que há uma forte e negativa correlação entre os atributos RC-AL2, RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2, com valores de r_s entre -0,79 e -1,00. Esse resultado indica que, à medida que a resposta do atributo RC-AL2 tende a aumentar, as respostas de RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2 tendem a diminuir; e à medida que a resposta de RC-AL2 diminui, as respostas dos outros atributos tendem a aumentar.

Com relação à UPA 2016, os atributos que exibiram sensibilidade em detectar perdas de volume florestal foram RC-AL2, Con-HV, RNDVI, σ° HH, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. Segundo os resultados obtidos pelo teste de correlação, ao comparar RC-AL2 com RNDVI, α -AL2, H-AL2 e σ° HV, obteve-se, valores de r_s iguais a -1,0, -0,94, 0,93, e -0,72, respectivamente (Figura 4.37), indicando uma forte e negativa correlação. Os resultados supracitados associados ao RC-AL2 vão ao encontro com os resultados obtidos por este mesmo atributo quando comparado com RNDVI, α -AL2, H-AL2 e σ° HV para a UPA 2015.

RC-AL2, ao ser correlacionado com o atributo Con-HV, apresentou um valor de $r_s = 0,08$, indicando que há uma fraca relação entre estes dois atributos. Por sua

vez, RC-AL2 ao ser comparado com $\sigma^{\circ}\text{HH}$, exibiu um valor de $r_s = 0,82$, demonstrando que há uma forte relação entre eles, sendo que as respostas de ambos os atributos tendem a aumentar ou diminuir simultaneamente (Figura 4.37).

Figura 4.37: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem pixel a pixel.



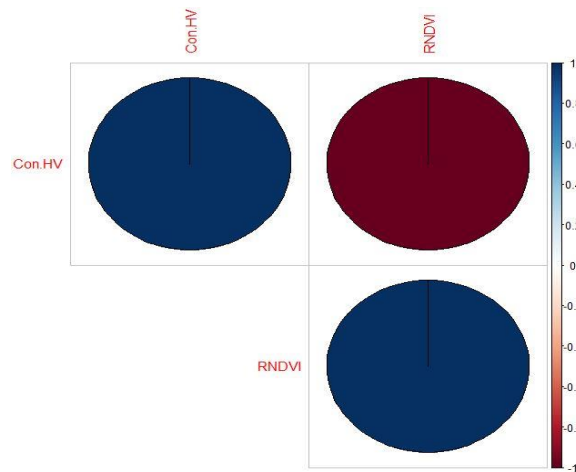
O atributo Con-HV, quando comparado com RNDVI, $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2 , exibiu valores de r_s variando entre -0,08 e -0,14. Quando foi relacionado ao atributo $\sigma^{\circ}\text{HV}$, apresentou um valor de $r_s = -0,32$. Os resultados dos testes de correlação obtidos para Con-HV demonstram que este atributo apresenta uma fraca relação com as variáveis supracitadas. Conforme observa-se na Figura 4.37, o RNDVI apresentou uma forte e positiva correlação com $\alpha\text{-AL2}$ ($r_s = 0,94$), H-AL2 ($r_s = 0,93$) e $\sigma^{\circ}\text{HV}$ ($r_s = 0,72$). Quando o RNDVI foi relacionado com $\sigma^{\circ}\text{HH}$, houve uma forte e negativa correlação ($r_s = -0,82$).

O resultado do teste de correlação obtido para $\sigma^{\circ}\text{HH}$ indicou uma fraca relação desse atributo com $\sigma^{\circ}\text{HV}$ ($r_s = -0,19$). Contudo, $\sigma^{\circ}\text{HH}$, ao ser relacionado com $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2 , exibiu uma forte e negativa correlação ($r_s = -0,83$ e $-0,84$, respectivamente) (Figura 4.37). Já o atributo $\sigma^{\circ}\text{HV}$, ao ser comparado com os atributos polarimétricos $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2 , apresentou uma moderada relação com esses atributos, indicando que há dependência entre eles. O teste de correlação

realizado para α -AL2 e H-AL2 demonstrou uma forte e positiva correlação entre eles ($r_s = 0,99$). Esta forte e positiva relação entre α -AL2 e H-AL2 também foi observado no conjunto de dados referente à UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.

Para a UPA 2017, os atributos sensíveis em detectar perdas de volume florestal foram Con-HV e o RNDVI. Segundo os resultados do teste de correlação, o atributo Con-HV, ao ser relacionado com o atributo RNDVI, exibiu valor de $r_s = -1,0$, indicando que há uma perfeita e negativa relação entre si (Figura 4.38).

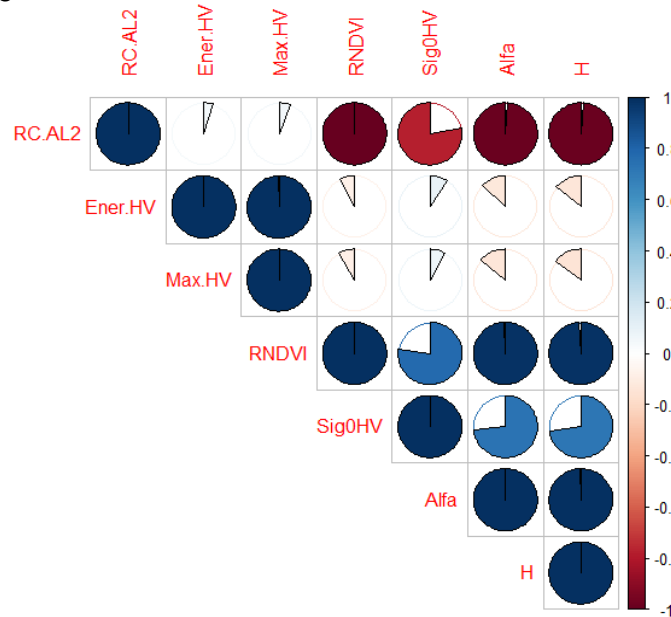
Figura 4.38: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem pixel a pixel.



4.8.1.2 Teste de correlação polígonos de 16,48 m - ALOS2

Considerando a abordagem metodológica por polígono, com uma distância de 16,48 m, os atributos que apresentaram sensibilidade na detecção de perdas de volume de floresta para a UPA 2015 foram RC-AL2, Ener-HV, Max-HV, RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. Pode-se observar na Figura 4.39 que o atributo RC-AL2 apresenta uma forte e negativa correlação com RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. À medida que a resposta de RC-AL2 varia, as respostas de RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2 tendem também a variar juntos, mas em sentido oposto. Também é possível observar que há uma fraca correlação entre RC-AL2 e Ener-HV ($r_s = 0,05$) e entre RC-AL2 e Max-HV ($r_s = 0,06$).

Figura 4.39: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por polígono de 16,48 m.



O atributo Ener-HV, quando correlacionado com Max-HV, exibiu uma forte relação ($r_s = 0,99$). Para os demais atributos, os valores de correlação obtidos foram entre -0,14 e 0,09, denotando uma fraca relação entre Ener-HV, RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. O Max-HV também apresentou uma fraca correlação ao ser comparado com RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2 (Figura 4.39). Por sua vez, o RNDVI, ao ser relacionado com α -AL2 e H-AL2, exibiu um valor de $r_s = 0,99$, indicando que há uma forte e positiva correlação entre RNDVI, α -AL2 e H-AL2. RNDVI, quando comparado com σ° HV, apresentou um $r_s = 0,77$, indicando também uma forte correlação. Por sua vez, o atributo σ° HV ao ser comparado com α -AL2 e H-AL2, obteve valores de r_s iguais a 0,73 e 0,72, respectivamente. Os atributos polarimétricos α -AL2 e H-AL2 também apresentaram uma forte correlação entre si.

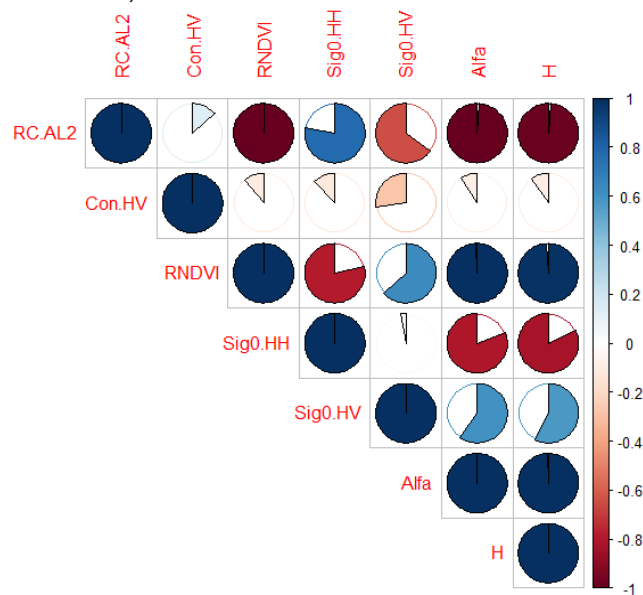
Os resultados de correlação obtidos para a UPA 2015 através do método de polígono com distância de 16,48 m estão em consonância com os resultados encontrados também para a UPA 2015, a partir do método pixel a pixel. Os atributos RNDVI, α -AL2 e H-AL2 continuaram fortemente e positivamente correlacionados. O RC-AL2 também continuou mantendo uma forte e negativa

correlação com RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2, assim como ocorreu com Ener-HV e Max-HV.

Com relação à UPA 2016, os atributos que apresentaram capacidade em detectar perdas de volume florestal foram o RC-AL2, Con-HV, RNDVI, σ° HH, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. O RC-AL2, ao ser comparado com RNDVI, α -AL2 e H-AL2, apresentou uma forte e positiva correlação ($r_s = -0,99$) (Figura 4.40). Baixo valor de r_s , (0,13) foi observado ao comparar RC-AL2 com o atributo Con-HV, demonstrando uma fraca relação entre eles. O atributo Con-HV, quando comparado com RNDVI, σ° HH, σ° HV, α -AL2 e H-AL2, também exibiu baixos valores de r_s , indicando uma fraca correlação.

Os atributos RNDVI, α -AL2 e H-AL2, ao serem relacionados, exibiram uma forte e positiva correlação ($r_s = 0,99$). RNDVI, ao ser comparado com σ° HH, mostrou uma forte e negativa correlação, com $r_s = -0,79$. Já quando RNDVI foi correlacionado com σ° HV, exibiu um valor de $r_s = 0,63$. O atributo σ° HH, ao ser associado com σ° HV, apresentou uma baixa correlação, no entanto, ao ser relacionado com os atributos polarimétricos α -AL2 e H-AL2, apresentou uma forte e negativa correlação. O atributo σ° HV exibiu uma moderada correlação quando comparado com α -AL2 ($r_s = 0,60$) e H-AL2 ($r_s = 0,57$). Por fim, α -AL2 e H-AL2 apresentaram uma perfeita e negativa correlação (Figura 4.40).

Figura 4.40: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por polígono de 16,48 m.

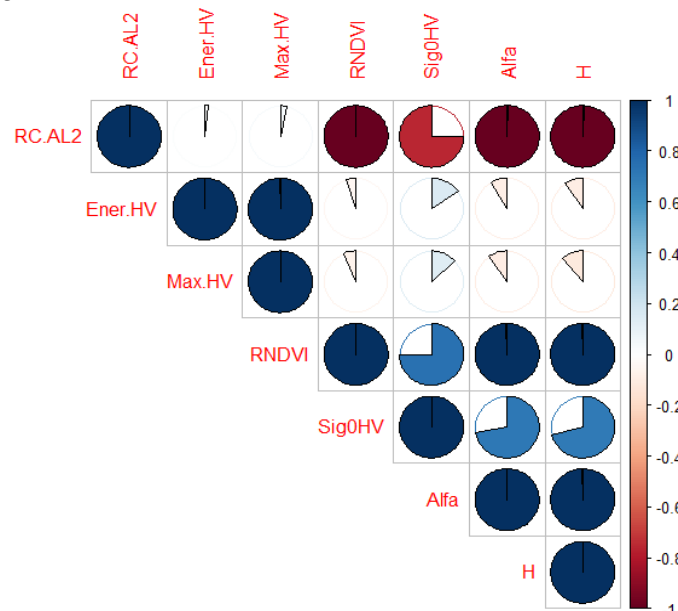


No que concerne à UPA 2017, o único atributo que demonstrou capacidade em detectar perdas de volume florestal foi o Ener-HV, assim, não foi necessário aplicar o teste de correlação.

4.8.1.3 Teste de correlação polígonos de 24,72 m - ALOS2

Na abordagem metodológica considerando o polígono de distância 24,72 m, os atributos que apresentaram sensibilidade a perdas de volume florestal para a UPA 2015 foram o RC-AL2, Ener-HV, Max-HV, RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. Os atributos Ener-HV e Max-HV, quando relacionados, exibiram uma alta e positiva correlação ($r_s = 0,99$). Desempenho similar ao supracitado também foi observado quando os atributos polarimétricos α -AL2, H-AL2 e RNDVI foram comparados (Figura 4.41). Os atributos RC-AL2, RNDVI, α -AL2 e H-AL2, quando correlacionados, também apresentaram uma forte, mas negativa, correlação. RC-AL, quando relacionado com σ° HV, exibiu $r_s = -0,75$, valor esse considerado relativamente alto, indicando que a correlação é negativa e forte entre RC-AL2 e σ° HV.

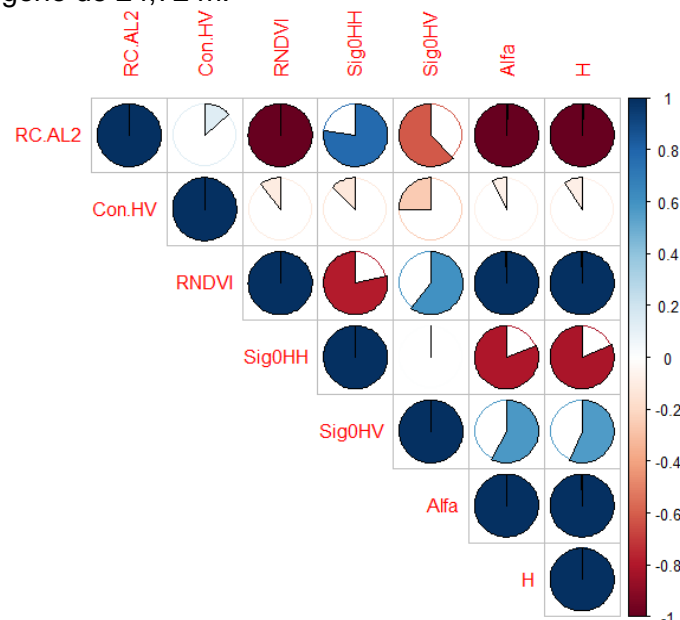
Figura 4.41: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por polígono de 24,72 m.



O atributo σ° HV, ao ser comparado com α -AL2 e H-AL2, exibiu r_s iguais a 0,72 e 0,71, respectivamente, indicando uma forte e positiva associação com ambos os atributos.

Para a UPA 2016, os atributos considerados sensíveis à detecção de perda de volume florestal foram o RC-AL2, Con-HV, RNDVI, $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2. De acordo com os resultados do teste de correlação, o RC-AL2 apresentou uma forte e negativa relação com RNDVI ($r_s = -1,0$), $\alpha\text{-AL2}$ ($r_s = -1,0$) e H-AL2 ($r_s = -0,99$). Já quando RNDVI foi relacionado com $\sigma^{\circ}\text{HV}$, exibiu uma moderada e negativa correlação ($r_s = -0,62$). De acordo com os resultados obtidos para RC-AL2, este atributo apresentou uma forte e positiva associação com $\sigma^{\circ}\text{HH}$ (Figura 4.42), indicando uma correção diretamente proporcional entre eles.

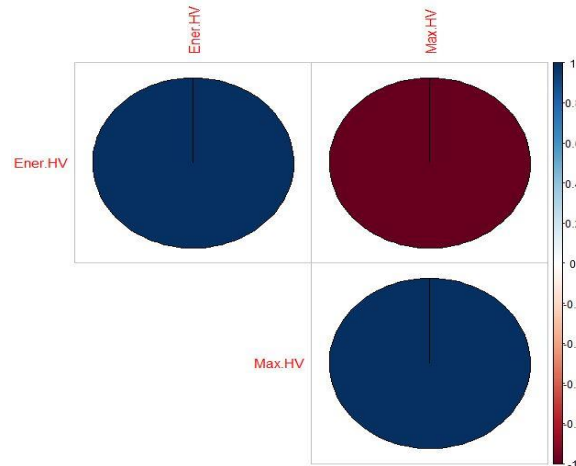
Figura 4.42: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por polígono de 24,72 m.



O atributo Con-HV, ao ser relacionado com RNDVI, $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2, exibiu uma fraca e negativa correlação, com valores de r_s entre -0,08 e -0,25 (Figura 4.42). Já os atributos RNDVI, $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2 demonstraram uma forte e positiva relação entre si, com valores de r_s entre 0,99 e 1,0. O RNDVI, quando comparado com o $\sigma^{\circ}\text{HH}$, também demonstrou uma forte e negativa correlação ($r_s = -0,79$). O atributo $\sigma^{\circ}\text{HH}$, por sua vez, apresentou uma forte e negativa correlação com $\alpha\text{-AL2}$ ($r_s = -0,81$) e H-AL2 ($r_s = -0,82$), indicando que eles são inversamente proporcionais. Por sua vez, o $\sigma^{\circ}\text{HV}$, quando correlacionado com $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2, obteve valores de r_s iguais a 0,58 e 0,56, respectivamente, indicando uma moderada e positiva relação entre eles.

No que concerne à UPA 2017, os atributos que apresentaram capacidade de detectar perdas de volume florestal foram o Ener-HV e o Max-HV. Como pode ser observado na Figura 4.43, há uma correlação perfeita e negativa ($r_s = -1,0$) entre eles.

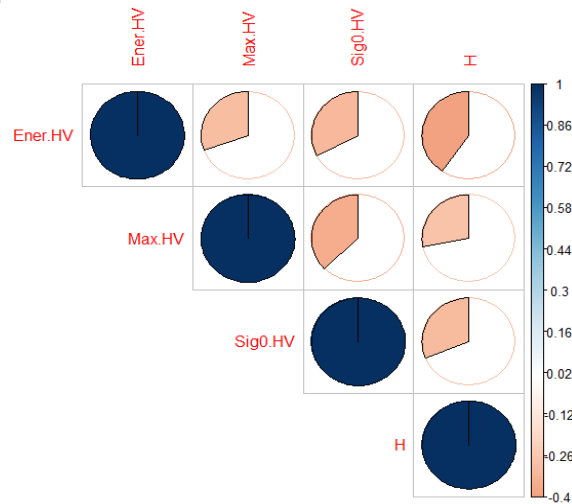
Figura 4.43: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem por polígono de 24,72 m.



4.8.1.4 Teste de correlação grid de 2x2 pixels - ALOS2

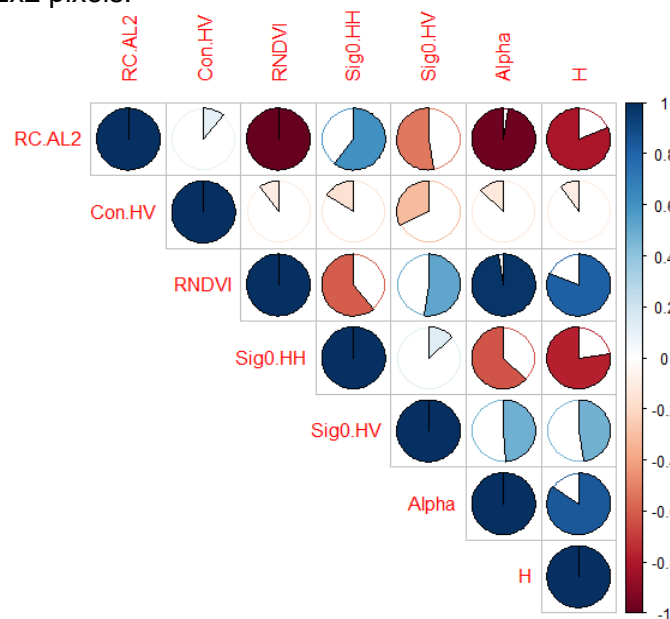
Na abordagem por grid, considerando o tamanho de 2x2 pixels, os atributos que apresentaram sensibilidade para detectar perdas de volume florestal, associados à UPA 2015, foram o Ener-HV, Max-HV, σ° HV e H-AL2. Como ilustrado na Figura 4.44, de modo geral, os atributos apresentaram de fraca a moderada correlação entre si. O maior valor de correlação obtido foi de -0,40, ao relacionar os atributos Ener-HV e H-AL2.

Figura 4.44: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



Os atributos que exibiram capacidade na detecção de perdas de volume florestal para a UPA 2016 na abordagem *grid* de 2x2 pixels foram o RC-AL2, Con-HV, RNDVI, σ° HH, σ° HV, α -AL2 e H-AL2. De acordo com os resultados do teste de correlação (Figura 4.45), o atributo RC-AL2 exibiu uma forte e negativa correlação com RNDVI ($r_s = -1,0$), α -AL2 ($r_s = -0,98$) e H-AL2 ($r_s = -0,81$). RNDVI apresentou uma moderada relação ao ser comparado com σ° HH ($r_s = 0,61$) e com σ° HV ($r_s = -0,52$). Contudo, RC-AL2, quando foi comparado com o atributo Con-HV, demonstrou ter uma fraca correlação com este atributo ($r_s = 0,11$), indicando que eles tendem a variar apresentando pouca relação entre si.

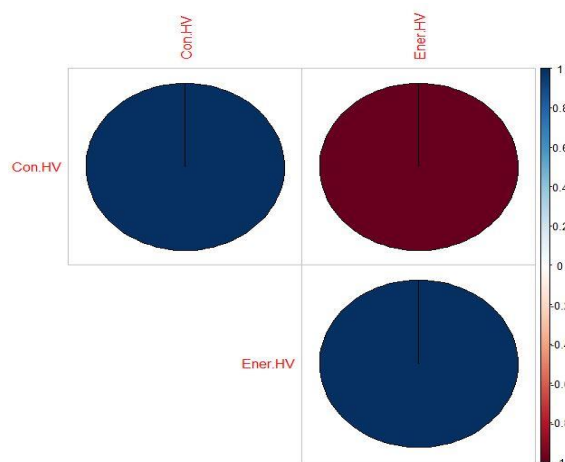
Figura 4.45: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



Em síntese, observou-se que os atributos RNDVI, α -AL2 e H-AL2 apresentaram uma forte e positiva correlação entre si, com valores de r_s variando entre 0,81 e 1,0. Também foi observada uma forte, mas negativa relação entre σ° HH e H-AL2 ($r_s = -0,77$) (Figura 4.45). Por sua vez, o σ° HV, ao ser comparado com α -AL2 e H-AL2, exibiu uma moderada e positiva correlação, com r_s iguais a 0,49 e 0,48, respectivamente. Já o atributo σ° HH, quando relacionado com α , obteve um valor de $r_s = -0,63$; e quando comparado com H-AL2, apresentou um valor de $r_s = -0,77$. Os atributos σ° HV e σ° HH demonstraram uma fraca dependência entre si, isto é, estão pouco correlacionados ($r_s = 0,13$).

Com relação aos atributos sensíveis à detecção por perdas de volume da floresta para a UPA 2017, o teste de correlação realizado para os atributos Con-HV e Ener-HV exibiu uma perfeita negativa correlação ($r_s = -1$) (Figura 4.46), indicando que a relação entre eles foi inversamente proporcional.

Figura 4.46: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



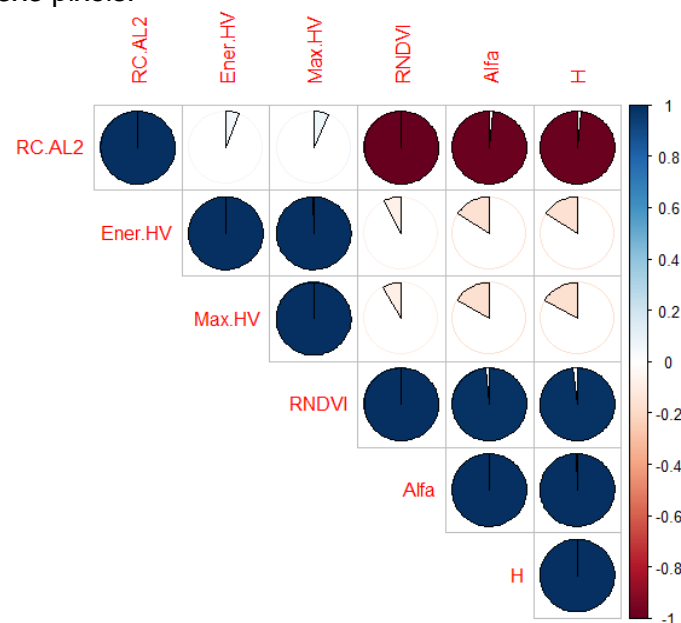
4.8.1.5 Teste de correlação *grid* de 3x3 pixels - ALOS2

De acordo com os resultados de detecção de perda de volume florestal na abordagem por *grid* de 3x3 pixels para a UPA 2015, os atributos que apresentaram sensibilidade foram RC-AL2, Ener-HV, Max-HV, RNDVI, α -AL2 e H-AL2. Os testes de correlação empregados nesses atributos supracitados indicaram que há uma forte e negativa correlação entre RC-AL2, RNDVI, α -AL2 e H-AL2. Os valores de r_s obtidos para esses atributos variou entre -0,98 e -1,00

(Figura 4.47). Por sua vez, os atributos RNDVI, α -AL2 e H-AL2 também exibiram uma forte, entretanto, positiva correlação entre si.

Os atributos Ener-HV e Max-HV apresentaram uma fraca relação quando relacionados com RNDVI, α -AL2 e H-AL2. Entretanto, Ener-HV e Max-HV apresentaram uma forte e positiva correlação entre si, isto é, à medida que a resposta de um dos atributos variar, a resposta do outro também tenderá a variar conjuntamente, na mesma direção.

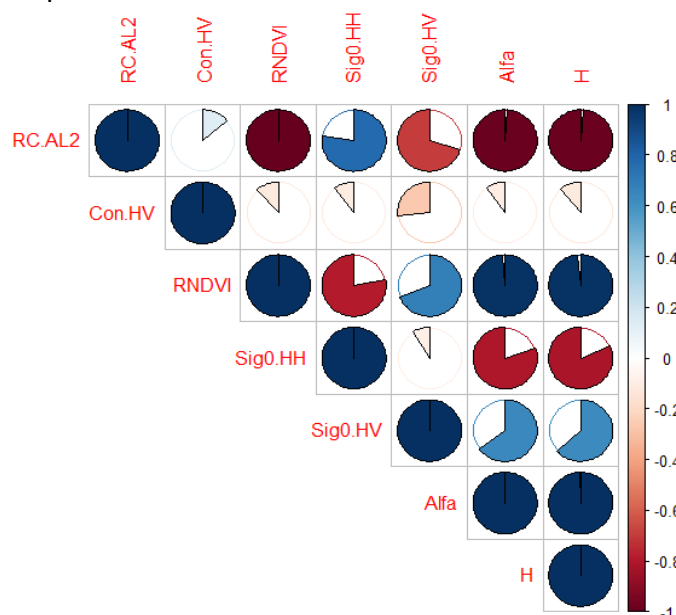
Figura 4.47: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2015 pela abordagem por *grid* de 3x3 pixels.



Referente à UPA 2016, os atributos que exibiram capacidade em detectar perdas associadas ao volume florestal foram RC-AL2, Con-HV, RNDVI, σ° HH, σ° HV, α -S1 e H-AL2. De acordo com os testes de correlação aplicados, os atributos RC-AL2, RNDVI, σ° HV, α -AL2 e H-AL2 demonstraram ter uma forte e negativa correlação entre si, com valores de r_s variando entre -0,70 e -1,00 (Figura 4.48). O atributo σ° HH também demonstrou uma forte e negativa relação com α -AL2 ($r_s = -0,81$), H-AL2 ($r_s = -0,81$) e RNDVI (-0,78). Entretanto, σ° HH, ao ser relacionado com σ° HV, exibiu um valor de $r_s = -0,09$, indicando uma fraca associação entre eles. Neste sentido, o atributo Con-HV também obteve uma fraca e negativa correlação quando comparado com RNDVI, σ° HH, σ° HV, α -AL2

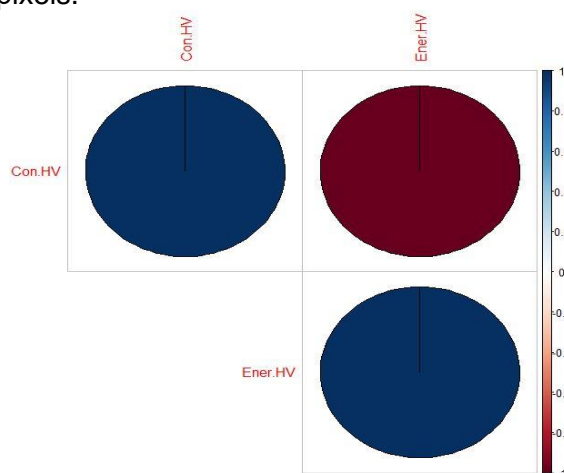
e H-AL2. Já o σ° HV exibiu uma moderada e positiva correlação, ao ser relacionado com os atributos α -AL2 ($r_s = 0,65$) e H-AL2 ($r_s = 0,63$) (Figura 4.48).

Figura 4.48: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2016 pela abordagem por *grid* de 3x3 pixels.



Com relação à UPA 2017, os atributos que apresentaram sensibilidade em detectar perdas de volume florestal foram o Con-HV e o Ener-HV. O atributo Con-HV, quando comparado com Ener-HV, apresentou uma correlação perfeita e negativa ($r_s = -1$) (Figura 4.49).

Figura 4.49: Correlação entre os atributos ALOS2 e UPA 2017 pela abordagem por *grid* de 3x3 pixels.



Em síntese, o desempenho dos atributos nos testes de correlação foi muito similar nas abordagens testadas, considerando cada conjunto de dados. Para a

UPA 2015, foi observada uma forte e positiva correlação entre os atributos Ener-HV e Max-HV, sendo então desconsiderado Max-HV. A escolha em manter o Ener-HV é que este atributo apresentou maiores sensibilidades de detecção ao ser associado também ao conjunto de dados da UPA 2017, principalmente quando testado nas abordagens por polígono de 16,48 m, *grids* de 2x2 e 3x3 pixels (Tabela 4.29, Tabela 4.31 e Tabela 4.32).

Os atributos RNDVI, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2 também apresentaram uma forte e positiva correlação entre si, quando analisados no conjunto de dados da UPA 2015, optando-se por considerar apenas os atributos RNDVI na abordagem pixel a pixel e $\alpha\text{-AL2}$ em todas as demais abordagens, exceto em *grid* de 2x2 pixels. Dentre todos os atributos ALOS2 investigados, o RNDVI apresentou a maior sensibilidade quando associado aos três conjuntos de dados (UPAs 2015, 2016 e 2017) na abordagem pixel a pixel (Tabela 4.28). Por sua vez, o $\alpha\text{-AL2}$ apresentou as maiores variações entre as respostas radiométricas das amostras nas abordagens por polígono de 16,48 m e 24,72 m e *grid* de 3x3 pixels.

O RC-AL2 exibiu uma forte e negativa correlação com RNDVI e $\alpha\text{-AL2}$, no entanto, optou-se por mantê-lo no conjunto de dados da UPA 2015, pois possibilitaria um maior contraste entre as respostas dos atributos. Considerando o conjunto de dados da UPA 2015 testados na abordagem por *grid* de 2x2 pixels, os atributos apresentaram uma fraca a moderada correlação entre si. Neste sentido, foram considerados os atributos Ener-HV, $\sigma^{\circ}\text{HV}$ e H-AL2 (Tabela 4.37).

Nos resultados de correlação obtidos para os dados de 2016, RNDVI, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, $\alpha\text{-AL2}$ e H-AL2 apresentaram uma forte e positiva correlação entre si. Assim, optou-se em considerar o RNDVI na abordagem pixel a pixel e $\alpha\text{-AL2}$ nas demais abordagens. O RC-AL2 também apresentou uma forte e positiva correlação com $\sigma^{\circ}\text{HH}$, sendo considerado então apenas o RC-AL2, uma vez que ele apresentou maiores sensibilidades de detecção, ao ser associado também aos dados da UPA 2015. O atributo Con-HV não apresentou correlação com os demais atributos, sendo também considerado em todas as abordagens metodológicas testadas (Tabela 4.37).

Os resultados do teste de correlação associados aos dados da UPA 2017 indicaram o Con-HV e o RNDVI na abordagem pixel a pixel; Ener-HV e Max-HV na abordagem por polígono de 24,72 m; e Con-HV e Ener-HV nas abordagens por *grids* de 2x2 e 3x3 pixels, são inversamente proporcionais. Neste sentido, buscou-se considerar todos os atributos supracitados, pois pode possibilitar um maior contraste entre as respostas de ambos os atributos (Tabela 4.37).

Os atributos selecionados pós-testes de correlação que apresentam maiores capacidades de detectar perdas de volume florestal a partir da extração seletiva de madeira, considerando todas as metodologias testadas são apresentados na Tabela 4.37.

Tabela 4.37: Potenciais atributos ALOS2 sensíveis as perdas de volume em cada UPA, nas três abordagens testadas.

	UPA 2015	UPA 2016	UPA 2017
Pixel a pixel	Ener-HV,RNDVI, RC-AL2	RNDVI, RC-AL2, Con-HV	Con-HV e RNDVI
Polígono 16,48 m	Ener-HV, α -AL2, RC-AL2	α -AL2, RC-AL2, Con-HV	Ener-HV
Polígono 24,72 m	Ener-HV, α -AL2, RC-AL2	α -AL2, RC-AL2, Con-HV	Ener-HV e Max-HV
Grid 2x2 pixels	Ener-HV, σ° HV, H-AL2	α -AL2, RC-AL2, Con-HV	Con-HV e Ener-HV
Grid 3x3 pixels	Ener-HV, α -AL2, RC-AL2	α -AL2, RC-AL2, Con-HV	Con-HV e Ener-HV

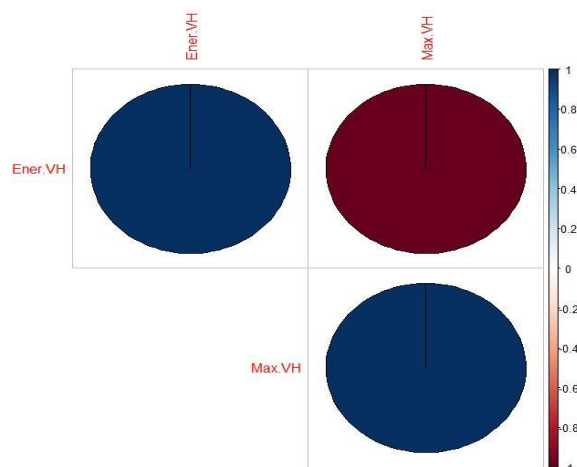
4.8.2 Teste de correlação dos atributos S1A

4.8.2.1 Teste de correlação pixel a pixel - S1A

Segundo os resultados de detecção de perda de volume florestal na abordagem pixel a pixel, para as UPAs 2015 e 2016, não foi necessário aplicar o teste de correlação, uma vez que apenas um atributo, σ° VH para UPA 2015 e RRVl para a UPA 2016 demonstrou sensibilidade.

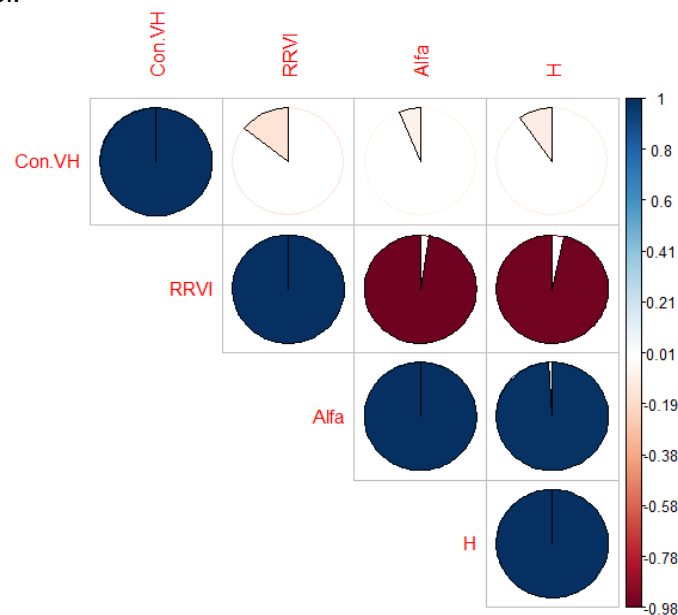
Com relação à UPA 2017, os resultados obtidos através do teste de correlação, ao nível de significância de 5%, indicaram que há uma perfeita e negativa correlação entre os atributos Ener-VH e Max-VH, sugerindo assim que esses dois atributos são inversamente proporcionais (Figura 4.50).

Figura 4.50: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2017 pela abordagem pixel a pixel.



Referente à UPA 2018, os atributos que demonstraram capacidades de detectar perdas de volume florestal associados aos processos de corte seletivo foram os atributos Con-VH, RRVI, α -S1 e H-S1. Na Figura 4.51, pode-se perceber que os atributos RRVI, α -S1 e H-S1 apresentam uma forte correlação entre si. Quando α -S1 e H-S1 foram comparados, o teste de correlação exibiu uma forte e positiva associação entre eles, indicando que, quando a resposta de um deles se altera, a resposta do outro tende a se alterar junto, na mesma direção. Entretanto, quando α -S1 e H-S1 foram relacionados com RRVI, a forte correlação foi obtida na direção negativa (Figura 4.51), indicando que eles são inversamente proporcionais. Por sua vez, o atributo Con-VH, quando correlacionado com RRVI, α -S1 e H-S1, exibiu valores de r_s iguais a -0,14, -0,06 e -0,1, respectivamente, indicando uma fraca e negativa relação entre Con-VH com esses atributos.

Figura 4.51: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2018 pela abordagem pixel a pixel.

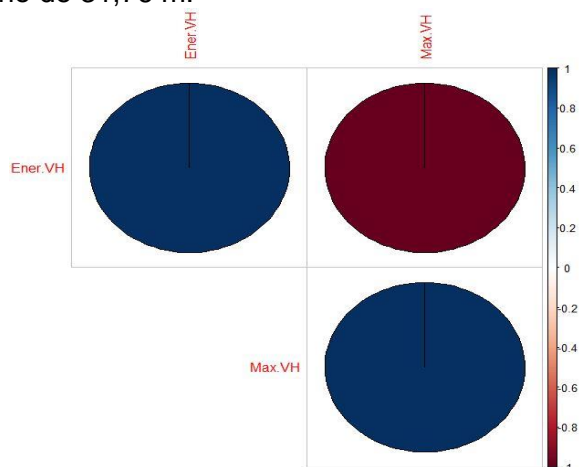


4.8.2.2 Teste de correlação polígonos de 31,76 m - S1A

Considerando a abordagem metodológica por polígonos com distância de 31,76 m, apenas o atributo σ° VH exibiu sensibilidade em detectar perdas de volume florestal na UPA 2015. Já na UPA 2016, somente o atributo RRVI demonstrou capacidades. Neste sentido, não foi necessário aplicar os testes de correlação para ambas as UPAs. Os resultados obtidos para essas duas áreas de estudos, a partir da metodologia por polígonos, vão ao encontro com os resultados obtidos para essas mesmas áreas a partir da metodologia pixel a pixel (Subseção 4.8.2.1).

Para a UPA 2017, os atributos que demonstraram sensibilidades foram Ener-VH e Max-VH. Os resultados de correlação indicaram que há uma forte relação entre ambos os atributos investigados (Figura 4.52).

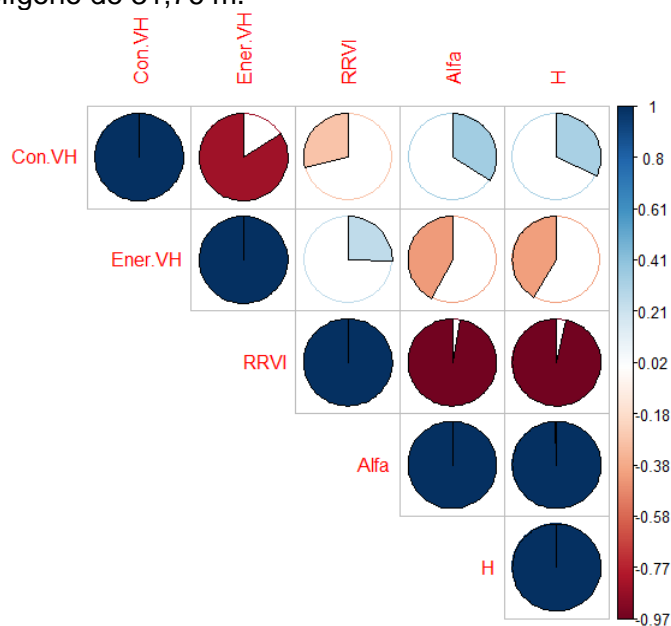
Figura 4.52: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2017 pela abordagem por polígono de 31,76 m.



Os resultados obtidos para a UPA 2017 estão em consonância com os resultados obtidos para essa mesma área e atributos investigados na abordagem metodológica pixel a pixel. Com relação à UPA 2018, os atributos que demonstraram capacidades em detectar perdas de volume florestal foram o Con-VH, Ener-VH, RRVI, α -S1 e H-S1. Os resultados dos testes de correlação indicaram uma forte e negativa correlação entre os atributos Con-VH e Ener-VH, ($r_s = -0,84$) (Figura 4.53). Já o Con-VH, quando relacionado com RRVI, α -S1 e H-S1, demonstrou uma fraca dependência com esses atributos. Ener-VH também demonstrou uma fraca a moderada correlação com RRVI ($r_s = 0,26$), α -S1 ($r_s = -0,42$) e H-S1 ($r_s = -0,41$).

RRVI, quando relacionado com os atributos polarimétricos α -S1 e H-S1, também exibiu uma forte e negativa correlação, indicando uma forte dependência entre esses três atributos. Ainda, α -S1 e H-S1, quando correlacionados, exibiram valor r_s de 0,99 (Figura 4.53).

Figura 4.53: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2018 pela abordagem por polígono de 31,76 m.



Em síntese, percebeu-se que há uma forte correlação entre os atributos Con-VH e Ener-VH. RRVI, α -S1 e H-S1 também apresentaram uma forte dependência entre si. Por sua vez, o atributo Con-VH, quando comparado com RRVI, α -S1 e H-S1 indicou uma fraca a moderada associação com esses atributos. Desempenho similar a esses últimos supracitados também foi observado para Ener-VH, quando relacionado com RRVI, α -S1 e H-S1, com valores de r_s , iguais a 0,26, -0,48 e -0,47, respectivamente (Figura 4.53).

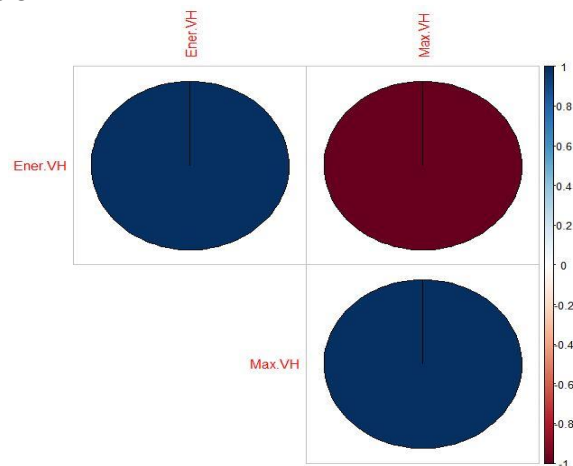
4.8.2.3 Teste de correlação *grid* de 2x2 pixels- S1A

Na abordagem por *grid* de 2x2 pixels, a detecção de perdas de volume indicou que, dentre todos os atributos investigados, apenas o σ° VH mostrou sensibilidade na detecção para os dados associados a área da UPA 2015, assim como apenas o atributo RRVI apresentou sensibilidade na detecção para a área da UPA 2016. O desempenho desses dois atributos em ambas as áreas também foi constatado nas abordagens por pixel a pixel e polígono, conforme descrito nas Subseções apresentadas acima (Subseções 4.8.2.1 e 4.8.2.2).

Os atributos que exibiram sensibilidade na detecção para a área da UPA 2017 foram o Ener-VH e o Max-VH. Segundo os testes de correlação aplicados, esses

dois atributos exibiram uma perfeita e negativa correlação entre si (Figura 4.54), indicando que eles são inversamente proporcionais.

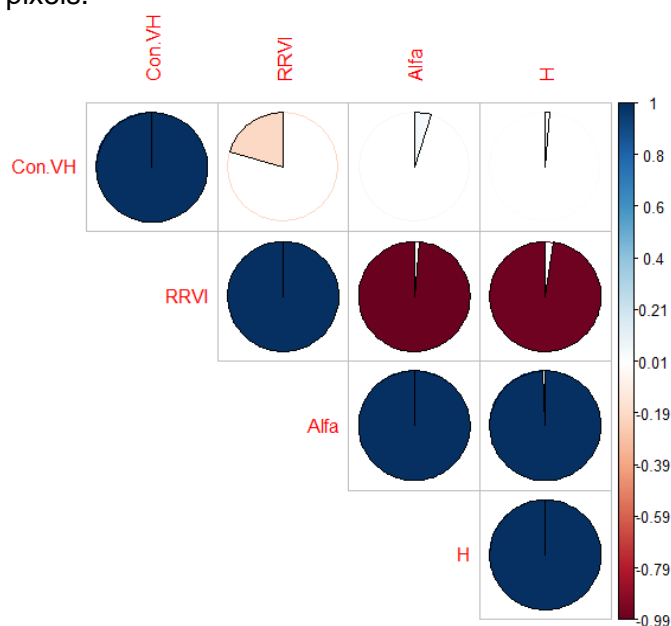
Figura 4.54: Correlação entre os atributos S1A e UPA 2017 pela abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



Com relação à UPA 2018, os atributos que foram capazes de detectar perdas de volume florestal associados à degradação por corte seletivo foram o Con-VH, RRVI, α -S1 e H-S1. Na Figura 4.55, é possível observar a forte e positiva correlação entre os atributos α -S1 e H-S1, indicando que eles são diretamente proporcionais. Por sua vez, RRVI, ao ser relacionado com α -S1 e H-S1, também demonstrou estar fortemente correlacionado com ambos os atributos polarimétricos, entretanto, a associação com eles é na direção oposta. Destaca-se a contribuição do Con-VH, no qual demonstrou uma fraca associação com RRVI, α -S1 e H-S1, exibindo valores de r_s abaixo de -0,22 (Figura 4.55).

Os atributos investigados pelo teste de correlação, a partir da abordagem por *grid*, foram os mesmos testados na abordagem pixel a pixel. Os resultados de correlação encontrados em ambas as metodologias apresentaram desempenhos muito similares. Por sua vez, na abordagem por polígono para a UPA 2018, além dos atributos investigados (Con-VH, RRVI, α -S1 e H-S1) nas metodologias por pixel a pixel e *grid*, o Ener-VH também foi testado. Entretanto, os resultados de correlação por polígono mostraram desempenhos muito similares aqueles encontrados nas metodologias por pixel e *grid*.

Figura 4.55: Correlação entre os atributos S1A e UPA 208 pela abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



De modo geral, observou-se que, nas três abordagens testadas, os resultados de correlação apresentaram resultados similares quando associados a cada conjunto de dados. Os testes de correlação aplicados aos dados da UPA 2017, nas três abordagens, indicaram que os atributos Ener-VH e Max-VH, são inversamente proporcionais. Neste sentido, mantê-los nas análises de detecção pode ser interessante, pois possibilita um maior contraste entre as respostas de Ener-VH e Max-VH quando associados.

Os testes de correlação obtidos para os dados da UPA 2018 e testados pelas três abordagens indicaram que o Con-VH exibiu uma fraca correlação com os demais atributos, exceto com Ener-VH na abordagem por polígono (Figura 4.53). Como ambos os atributos são diretamente correlacionados, optou-se em manter apenas o Con-VH que exibiu uma maior diferenciação e separabilidade entre as amostras. Os atributos α -S1 e H-S1 também exibiram uma forte e positiva correlação entre si nas três abordagens. Optando-se em manter apenas o α -S1 que apresentou as maiores diferenças de média entre os valores das distribuições das amostras de corte seletivo, quando comparado com os valores obtidos por H-S1. Já o RRVI exibiu uma forte e negativa correlação com α -S1. Neste sentido, preferiu-se mantê-los ao conjunto de dados, pois possibilita obter um maior contraste entre as respostas de RRVI e α -S1, quando associados.

Assim, conclui-se que os atributos S1A associados à UPA 2018, no qual apresentaram as maiores sensibilidades em detectar perdas de volume florestal por processos de corte seletivo e que não estão diretamente correlacionados são o RRVI, Con-VH e α -S1.

Na Tabela 4.38 são apresentados os atributos S1A selecionados após os testes de correlação como sendo aqueles com potenciais em detectar as perdas de volume florestal devido a extração seletiva de madeira em cada área de estudo. Observa-se que os mesmos atributos de cada UPA apresentaram desempenhos similares nas três abordagens.

Tabela 4.38: Potenciais atributos S1A sensíveis as perdas de volume em cada UPA, nas três abordagens testadas.

	UPA 2015	UPA 2016	UPA 2017	UPA 2018
Pixel a pixel			Ener-VH	RRVI,
Polígono	σ° VH	RRVI	e	Con-VH e
Grid			Max-VH	α -S1

5. DISCUSSÃO

5.1 Potenciais atributos derivados do ALOS2 na detecção de perdas de volume florestal

Embora alguns atributos SAR, sensíveis à detecção de perdas de volume de madeira por distúrbios ocasionados pelo corte seletivo tenham apresentado uma alta correlação entre si, nesta Secção, de modo geral, serão discutidos o potencial de cada um deles.

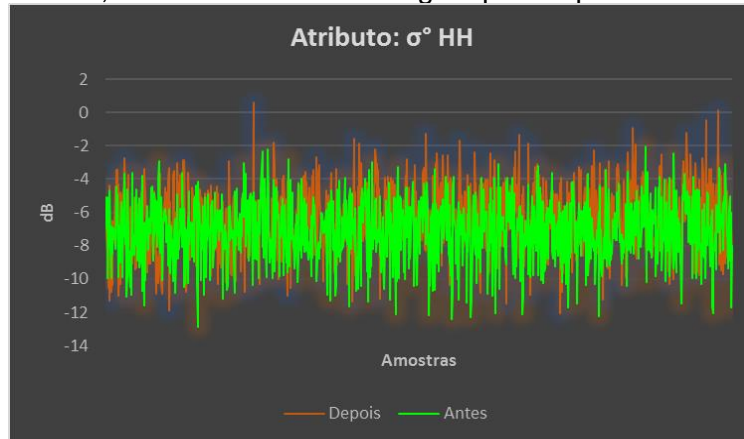
O atributo $\sigma^{\circ}\text{HH}$ extraído dos dados do ALOS2 não exibiu sensibilidade na detecção de perdas de volume florestal na UPA 2015 em nenhuma das metodologias testadas. De acordo com os resultados do teste de Wilcoxon, não houve diferenças estatisticamente significativas entre as distribuições das amostras quando observadas antes e após os cortes, denotando assim, uma baixa variação entre as respostas radiométricas das amostras investigadas nos dois momentos.

A densa cobertura florestal na UPA 2015 pode ter reduzido a penetração da radiação eletromagnética no dossel. As copas das árvores próximas das áreas seletivamente exploradas e/ou a vegetação remanescente de sub-bosque também podem ter influenciado para que pouca energia chegasse até o solo, mesmo em sensores operando em comprimentos de onda mais longos, como é o caso do satélite ALOS/PALSAR-2, dificultando o aumento do retroespalhamento na polarização HH e limitando a detecção da degradação florestal (HOEKMAN et al., 2020).

Por sua vez, na área da UPA 2016, esse mesmo atributo ($\sigma^{\circ}\text{HH}$) apresentou potencial em detectar diferenças no volume do dossel florestal, considerando todas as abordagens metodológicas testadas. Na Figura 5.1 estão representados os valores dos pixels das amostras de corte seletivo, considerando o atributo $\sigma^{\circ}\text{HH}$, derivado das imagens ALOS2, correspondendo ao período anterior e posterior à exploração seletiva. O comportamento esperado para $\sigma^{\circ}\text{HH}$ é o aumento da intensidade dos valores dos pixels após os distúrbios. A Figura 5.1 mostra que os pixels se comportaram de maneira

esperada, já que, de modo geral, pode-se observar aumento do retroespalhamento $\sigma^{\circ}HH$.

Figura 5.1: Variação do atributo $\sigma^{\circ}HH$ nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.



As lacunas que se formaram no dossel florestal e/ou a pouca ou nenhuma presença da vegetação arbórea, possibilitaram uma maior penetração da radiação incidente. Até mesmo troncos de árvores caídas, ramos e/ou restos de infraestruturas dispostos horizontalmente propiciam uma maior contribuição do mecanismo de espalhamento na polarização HH, que é sensível ao espalhamento superficial. De acordo com Watanabe et al. (2018), a polarização HH do satélite ALOS2 apresenta sensibilidade aos estágios iniciais de desmatamento devido à dispersão única das árvores removidas.

Já para a UPA 2017, o atributo $\sigma^{\circ}HH$ não chegou a ser testado com as amostras de campo, uma vez que o teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras do grupo de controle foram estatisticamente diferentes.

Por sua vez, o atributo $\sigma^{\circ}HV$ demonstrou sensibilidade para detectar os distúrbios florestais decorrente de cortes seletivos nas áreas das UPAs 2015 e 2016 em todas as abordagens metodológicas testadas, exceto no *grid* de 3x3 pixels. De modo geral, observou-se um leve decaimento do sinal de radar na polarização HV após os cortes seletivos. Esse tipo de resposta já era esperado, pois o retroespalhamento na polarização HV é mais sensível ao espalhamento volumétrico (NARVAES, 2010), principalmente para detectar mudanças na cobertura florestal. As áreas de estudo são representadas pelas densas florestas

maduras que apresentam um maior número de estratos com estruturas mais complexas que possibilitam a ocorrência do espalhamento volumétrico.

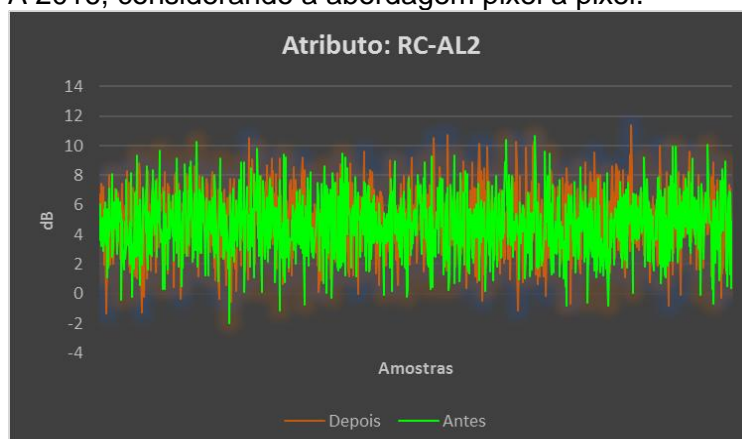
Para a UPA 2017, o atributo $\sigma^{\circ}\text{HV}$ não chegou a ser testado pelas abordagens propostas, pois, no grupo de controle, os resultados do teste de comparação de Wilcoxon indicaram que as distribuições das amostras, antes e após os cortes, eram significativamente diferentes, denotando uma variação da resposta radiométrica entre as amostras observadas antes e após a simulação do evento.

Tanto o $\sigma^{\circ}\text{HH}$ quanto o $\sigma^{\circ}\text{HV}$ não foram testados nas abordagens adotadas, considerando o conjunto de dados da UPA 2017. Esse resultado obtido por ambos os atributos para a área da UPA 2017 difere dos resultados obtidos para as UPAs 2015 e 2016. No dia da aquisição da imagem ALOS2 (13/05/2018), utilizada no conjunto de dados da UPA 2017, bem como nos três dias anteriores, houve eventos de chuva na região. No dia anterior à aquisição da imagem, a taxa média acumulada foi de 20,74 mm (Tabela D.1 e Tabela 4.27).

As precipitações pluviométricas que ocorreram diariamente entre 10/05 e 13/05/2018 na área de estudo aumentaram a umidade do substrato florestal e da atmosfera. Nesse sentido, a profundidade de penetração da radiação EM decaiu com o aumento de umidade do alvo (WOODHOUSE, 2006), podendo ter influenciado nas respostas de $\sigma^{\circ}\text{HH}$ e $\sigma^{\circ}\text{HV}$. Segundo Lewis et al. (1998), a quantidade de umidade nas propriedades dielétricas dos materiais e no seu retroespalhamento podem influenciar diretamente na interação entre a radiação eletromagnética e os alvos, conseqüentemente, nos valores de retroespalhamento registrados pelos sensores de radar.

O atributo RC-AL2 demonstrou sensibilidade em detectar diferenças significativas no volume do dossel florestal em todas as abordagens testadas, considerando as UPAs 2015 e 2016, exceto na abordagem por *grid* de 2x2 pixels na UPA 2015. A Figura 5.2 representa os valores dos pixels das amostras no atributo RC-AL2 antes e após os cortes. Pode-se observar um aumento da intensidade dos valores dos pixels após a extração seletiva, denotando um aumento do retroespalhamento em RC-AL2.

Figura 5.2: Variação do atributo RC-AL2 nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.



Esse aumento pode estar associado com a predominância do espalhamento do tipo *double bounce*. As remoções das árvores possivelmente formaram lacunas no dossel e possibilitaram uma maior penetração e interação da radiação EM com duas superfícies perpendiculares (KUCK et al., 2021). Essa interação pode ter ocorrido com os troncos caídos, ramos e/ou restos de infraestruturas orientados no plano horizontal e, sequencialmente, com os troncos das árvores dispostos verticalmente.

Os resultados supracitados estão em consonância com os obtidos por Santos e Gonçalves (2009) que utilizaram dados do sensor aerotransportado R99B, banda L, para investigar a interação das respostas SAR com o ambiente florestal sob exploração seletiva, em uma porção da FNT. Segundo esses autores, houve uma maior resposta do espalhamento do tipo *double bounce* após a exploração seletiva. De acordo com esses mesmos autores, em florestas maduras, como eram as da área sob investigação, a estrutura vertical do dossel é bem definida, o que pode ter contribuído para o aumento do espalhamento *double bounce*.

Os resultados obtidos pelo atributo RC-AL2 da UPA 2017, indicaram que as amostras antes e após a exploração seguiram as mesmas distribuições em todas as abordagens testadas. Em outras palavras, esse atributo não conseguiu detectar uma variação significativa no volume do dossel florestal. Essa falta de sensibilidade do RC-AL2 pode estar relacionada com o intervalo de tempo entre a aquisição da imagem ALOS2 e o período em que ocorreu os cortes seletivos. A imagem ALOS2 utilizada como referência para o pós-corte é de 13/05/2018, já

o período em que ocorreu a exploração foi entre novembro e dezembro de 2017 (Tabela 4.27), ou seja, um intervalo de aproximadamente cinco meses. Esse maior intervalo de tempo, quando comparado com as UPAs de 2015 e 2016, pode ter sido suficiente para influenciar na resposta do retroespalhamento de RC-AL2 na UPA 2017. Segundo um estudo conduzido por Hirschmugl et al. (2014), baseado em dados ópticos do satélite Landsat, as sutis diferenças no sinal devido à degradação não são fáceis de serem detectadas e são rapidamente perdidas ao longo do tempo devido à rápida rebrota da vegetação.

O RNDVI exibiu capacidades de detectar perdas de volume florestal em todas as abordagens testadas, considerando as UPAs 2015 e 2016, com exceção da abordagem *grid* de 2x2 pixels na UPA 2015. Após a exploração seletiva, percebeu-se um sutil decaimento do sinal de radar no RNDVI. Este resultado já era esperado, pois o RNDVI é um índice biofísico sensível à presença da vegetação (CHEN et al., 2017). Neste sentido, o decaimento do retroespalhamento denota pouca ou nenhuma presença da vegetação arbórea nas células de resolução do terreno investigadas, após os desbastes por processos de corte seletivo.

Em relação à UPA 2017, o RNDVI apresentou sensibilidade em detectar as variações no volume florestal a partir da abordagem pixel a pixel. Assim como constatado para as UPAs 2015 e 2016, nos resultados de detecção obtidos para a UPA 2017 também foi observado um sutil decaimento do sinal de radar após os cortes, indicando remoções da cobertura vegetal arbórea. Já nas abordagens por polígono de 16,48 m e os *grids* de 2x2 e 3x3 pixels, os resultados obtidos indicaram que as amostras seguiram as mesmas distribuições nos dois períodos investigados, demonstrando uma baixa sensibilidade desse atributo, considerando as abordagens supracitadas.

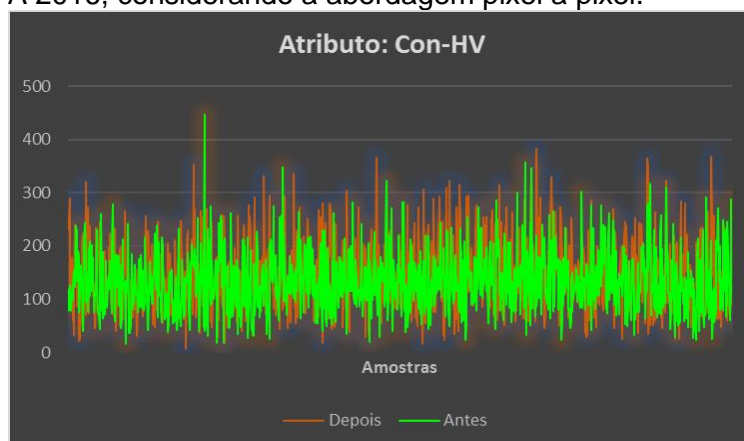
As diferenças detectadas no volume florestal pelo RNDVI na UPA 2017, observadas apenas na abordagem pixel a pixel, podem ter ocorrido devido ao menor tamanho da área total considerada, quando comparado com as demais abordagens supracitadas. Na abordagem pixel a pixel, o tamanho da célula de resolução foi de 8,24 m, o que equivale a uma área total de 67,90 m²; no polígono

de 16,48 m, a área total é de 838,88 m²; já no polígono de 24,72 m, a área total é de 1887,50 m². Por sua vez, no *grid* de 2x2 pixels, a área total considerada é de 271,60 m² e no *grid* de 3x3 pixels, a área total é de 611,10 m². Portanto, os maiores tamanhos de área total sob influência dos processos de degradação devido à exploração seletiva podem ter sido mascarados quando a potencialidade de RNDVI foi testada.

Segundo os resultados de detecção, os atributos texturais extraídos da matriz GLCM na polarização HH não demonstraram potencial em detectar perdas de volume florestal. Nessa polarização, as maiores contribuições dos mecanismos de espalhamento estão associadas ao do tipo superficial. As diferenças na rugosidade da floresta devido aos distúrbios por cortes seletivos não foram perceptíveis quando analisadas por esses atributos na polarização HH. Por sua vez, ao considerar esses mesmos atributos na polarização cruzada HV, houve indicação de bom potencial. Essa resposta também era esperada porque a contribuição do retroespalhamento na polarização HV mostra-se mais sensível ao espalhamento volumétrico, principalmente em áreas de densa cobertura florestal, constituída por um maior número de estratos, como as das áreas de estudo (HENDERSON; LEWIS, 1998).

No que concerne o conjunto de dados da UPA 2016, o atributo Con-HV apresentou sensibilidade em todas as abordagens empregadas. Observou-se um aumento da intensidade dos valores dos pixels das amostras no atributo Con-HV após a exploração seletiva (Figura 5.3). Esse aumento é associado a maiores diferenças de tons de cinza entre os pares de pixels.

Figura 5.3: Variação do atributo Con-HV nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.



A medida de textura Con-HV, associada ao conjunto de dados de 2017, também apresentou sensibilidade em detectar diferenças no volume florestal nas abordagens pixel a pixel e *grids* de 2x2 e 3x3 pixels. O aumento do sinal radar no atributo Con-HV após a remoção das árvores também indicou um maior contraste entre as respostas radiométricas das amostras de vegetação. Segundo Hethcoat et al. (2021), os valores altos na medida de Contraste obtidos após os distúrbios de corte seletivo podem estar associados a bordas visuais das áreas exploradas seletivamente.

Em relação aos atributos Ener-HV e Max-HV, os resultados obtidos para o conjunto de dados da UPA 2015 indicaram que, em todas as abordagens testadas, ambos os atributos exibiram capacidades em detectar as diferenças no volume florestal oriundos da degradação por processos de corte seletivo. Observou-se um leve aumento do retroespalhamento nos atributos Ener-HV e Max-HV após a exploração seletiva, indicando um aumento da variação de intensidade dos níveis de cinza, consequentemente, uma menor uniformidade da textura na imagem, denotando uma maior heterogeneidade na estrutura do dossel florestal após os distúrbios.

Por sua vez, os atributos Ener-HV e Max-HV, quando associados ao conjunto de dados da UPA 2016, não apresentaram sensibilidade em detectar perdas de volume florestal em nenhuma das abordagens metodológicas empregadas. Os resultados indicaram que as amostras seguiram as mesmas distribuições, antes

e após os cortes, isto é, não foram detectadas variações significativas entre as respostas radiométricas das amostras.

Considerando o conjunto de dados da UPA 2017, o atributo Ener-HV demonstrou potencial em detectar diferenças no volume da floresta em todas as abordagens testadas, exceto na abordagem pixel a pixel. Já o Max-HV demonstrou sensibilidade quando apenas a abordagem por polígono de 24,72 m é considerado. Nas demais abordagens, os testes estatísticos de comparação indicaram que as distribuições das amostras eram as mesmas antes e após o corte, isto é, uma resposta radiométrica similar, denotando o baixo potencial desse atributo.

O atributo Ener-HV apresentou um discreto decaimento do valor de retroespalhamento, indicando uma redução na variação dos níveis de cinza, obtendo-se, uma maior uniformidade da textura da imagem. Esses resultados sugerem uma homogeneidade estrutural do dossel. Os resultados obtidos pelo atributo Ener-HV exibiram diferentes desempenhos de detecção ao serem associados com as três UPAs estudadas.

Para a UPA 2015, o aumento do sinal de radar nos atributos Ener-HV e Max-HV pode estar associado ao curto intervalo de tempo entre a aquisição da imagem ALOS2, utilizada como referência para o período pós-corte, obtida em 18/10/2015, e o período em que foi realizada a exploração seletiva, que ocorreu entre os dias 05 e 16/10/2015 (Tabela 4.27). Ou seja, as perdas de volume do dossel florestal no atributo Ener-HV foram detectadas logo após a exploração seletiva, indicando uma heterogeneidade da estrutura do dossel florestal.

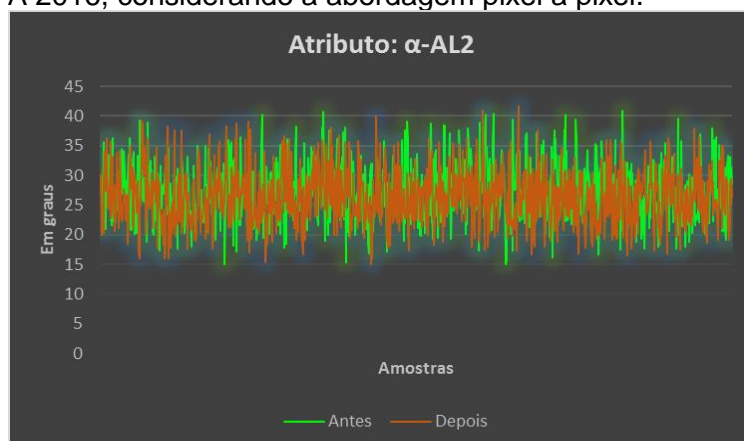
Já em relação à UPA 2016, os resultados de detecção indicaram que o valor de média das distribuições das amostras foi o mesmo, quando observadas nos dois períodos. Neste sentido, a aquisição da imagem SAR utilizada como referência para o pós-corte foi de 05/02/2017, enquanto o período de exploração foi de 28/12/2016 a 30/01/2017 (Tabela 4.27), observando-se assim, um maior intervalo de tempo, quando comparado com o conjunto de dados da UPA 2015. Nesse intervalo de tempo, pode-se ter iniciado o processo de regeneração da

vegetação, denotando uma perda de sensibilidade do Ener-HV em detectar as diferenças no dossel em regeneração.

No que concerne à UPA 2017, o decaimento do sinal de radar no atributo Ener-HV também pode estar associado ao maior intervalo de tempo entre a aquisição de imagem e a exploração seletiva, que foi de aproximadamente cinco meses (Tabela 4.27). Nesse intervalo de tempo, pode ter ocorrido a rebrota da vegetação, indicando, na medida de textura do Ener-HV, uma maior uniformidade/homogeneidade da estrutura do dossel florestal. Neste sentido, Hoekman et al. (2020) sugeriram que a regeneração inicial da vegetação pode limitar a detecção de distúrbios.

O atributo α -AL2, quando associado aos conjuntos de dados das UPAs 2015 e 2016, apresentou potencial em detectar as perdas de volume florestal em todas as abordagens metodológicas utilizadas, exceto no *grid* de 2x2 pixels para a UPA 2015. A Figura 5.4 representa os valores dos pixels das amostras de corte seletivo em α -AL2 antes e após a exploração seletiva de madeira. Houve um decaimento da intensidade dos pixels das amostras após os cortes, denotando um decaimento do sinal de radar devido às remoções das árvores, com um valor de α -AL2 próximo de 26°, indicando uma maior contribuição do espalhamento do tipo superficial. Esse resultado também já era esperado, pois a retirada das árvores propicia uma maior interação das ondas eletromagnéticas com a superfície do solo (KHATI et al., 2018).

Figura 5.4: Variação do atributo α -AL2 nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem pixel a pixel.



Por sua vez, o α -AL2, ao ser associado ao conjunto de dados da UPA 2017, não exibiu sensibilidade em detectar diferenças no volume do dossel florestal em nenhuma das abordagens testadas. Os resultados do teste de comparação de Wilcoxon indicaram que as distribuições das amostras foram as mesmas antes e após a extração seletiva. Esse resultado pode estar associado ao intervalo entre a aquisição da imagem pós-corte e o período de exploração, que foi de aproximadamente cinco meses (Tabela 4.27). Nesse período, pode ter se iniciado o processo de regeneração da vegetação e/ou as copas das árvores adjacentes às exploradas seletivamente podem ter influenciado nos valores de retroespalhamento de α -AL2.

Por fim, o atributo polarimétrico H-AL2 demonstrou ter sensibilidades em detectar as perdas de volume florestal, quando considerado o conjunto de dados da UPA 2015 e 2016 em todas as abordagens testadas. Houve um discreto decaimento do sinal de radar após a exploração seletiva. Segundo Khati et al. (2018), esse resultado era esperado, pois, com as remoções das árvores, há uma ausência e/ou uma redução do volume estrutural da vegetação arbórea, conseqüentemente, há menos mecanismos de espalhamento (folhas, ramos, caules, troncos) interagindo para a despolarização das ondas eletromagnéticas obtendo-se uma menor intensidade do retroespalhamento em H.

Já o atributo H-AL2, quando associado ao conjunto de dados da UPA 2017, não exibiu capacidade em detectar as perdas de volume florestal em nenhuma das abordagens empregadas. O teste de Wilcoxon indicou que as distribuições das amostras foram as mesmas, antes e após os cortes. Assim como observado em α -AL2, o maior intervalo de tempo entre a aquisição da imagem ALOS2 e a exploração seletiva (Tabela 4.27) pode ter influenciado nos resultados. A regeneração inicial da vegetação nas áreas que anteriormente foram seletivamente exploradas pode ter influenciado no aumento do sinal de retroespalhamento no atributo H-AL2. Esses resultados indicaram ainda que, a curto prazo, H-AL2 e α -AL2, embora correlacionados, são capazes de detectar variações de volume no dossel florestal. Entretanto, em um período mais longo,

neste caso, de cinco meses após a exploração seletiva, esses mesmos atributos não demonstraram potencialidades.

De modo geral, observou-se que os atributos $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Ener-HV, Max-HV, α -AL2 e H-AL2 apresentaram sensibilidades em detectar as diferenças no dossel florestal quando um pequeno intervalo de tempo entre a aquisição da imagem e a exploração é considerado. No presente estudo, o intervalo foi de aproximadamente 15 dias ou menos (Tabela 5.1). Apenas $\sigma^{\circ}\text{HH}$, Con-HV e as medidas de texturas na polarização HH (Con-HH, Ener-HH e Max-HH), não apresentaram capacidade de detectar perdas de volume por processos de corte seletivo.

Já quando se considera intervalo de tempo um pouco maior, de aproximadamente um mês, $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HV, α -AL2 e H-AL2 exibiram capacidades em detectar as diferenças no volume florestal devido à exploração seletiva (Tabela 5.1). Os atributos Ener-HV, Max-HV, Con-HH, Ener-HH e Max-HH não demonstraram potencialidades.

Por sua vez, considerando um intervalo de tempo ainda maior, de aproximadamente 5 meses entre a aquisição da imagem e a exploração seletiva, dentre os atributos empregados, Ener-HV apresentou capacidade em detectar perdas de volume por cortes seletivos em todas as abordagens metodológicas testadas. Quando se considera uma menor área total de abrangência, i.e., abordagem pixel a pixel, o RNDVI demonstrou potencial em detectar as perdas de volume florestal (Tabela 5.1).

Segundo Bouvet et al. (2018), há um decaimento do retroespalhamento nas áreas sob exploração seletiva. Entretanto, após os distúrbios, há um aumento gradual do retroespalhamento para o seu nível original em aproximadamente seis meses. Ainda segundo esses autores, isso acontece provavelmente devido à rebrota da vegetação, com variações adicionais causadas por variações de umidade do solo.

Tabela 5.1: Potencialidade dos atributos ALOS2 em detectar perdas de volume florestal considerando diferentes intervalos de tempo.

	~ 15 dias	~ 30 dias	~ 120 dias
$\sigma^{\circ}\text{HH}$	X	✓	**
$\sigma^{\circ}\text{HV}$	✓	✓	**
RC-AL2	✓	✓	X
RNDVI	✓	✓	* ✓
Con-HV	X	✓	✓
Ener-HV	✓	X	✓
Max-HV	✓	X	X
$\alpha\text{-AL2}$	✓	✓	X
H-AL2	✓	✓	X

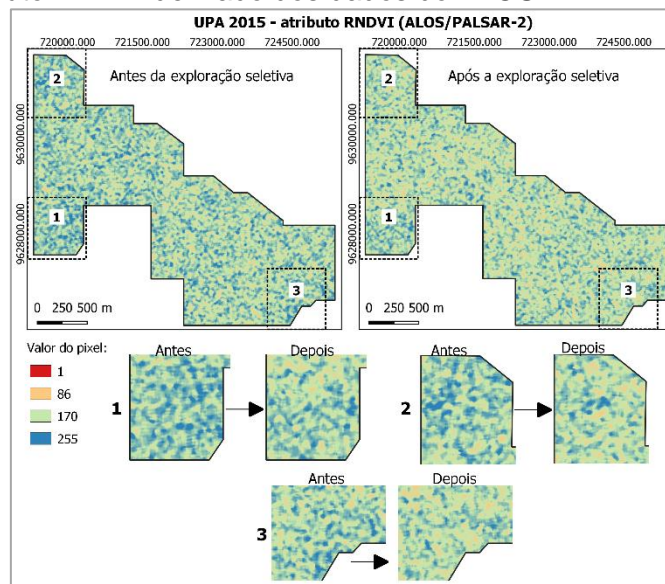
✓ Apresenta potencial
 X Não apresenta potencial
 ** Inconclusivo

* Em RNDVI: Quando considerado apenas a abordagem metodológica pixel a pixel.

Dentre todos os atributos, destaca-se o RNDVI na abordagem pixel a pixel, que foi o único que demonstrou potencial em detectar as perdas de volume florestal, considerando os três intervalos de tempo supracitados. Nas Figura 5.5 a Figura 5.7, são apresentados os resultados de detecção para as três UPAs de 2015, 2016 e 2017, considerando o atributo RNDVI na abordagem pixel a pixel. Os maiores valores dos pixels de RNDVI estão associados às áreas com presença da vegetação arbórea não perturbada e/ou em estágio avançado de regeneração e os menores valores dos pixels estão associados às áreas onde as árvores foram removidas, bem como as perturbações causadas pelas atividades madeireiras.

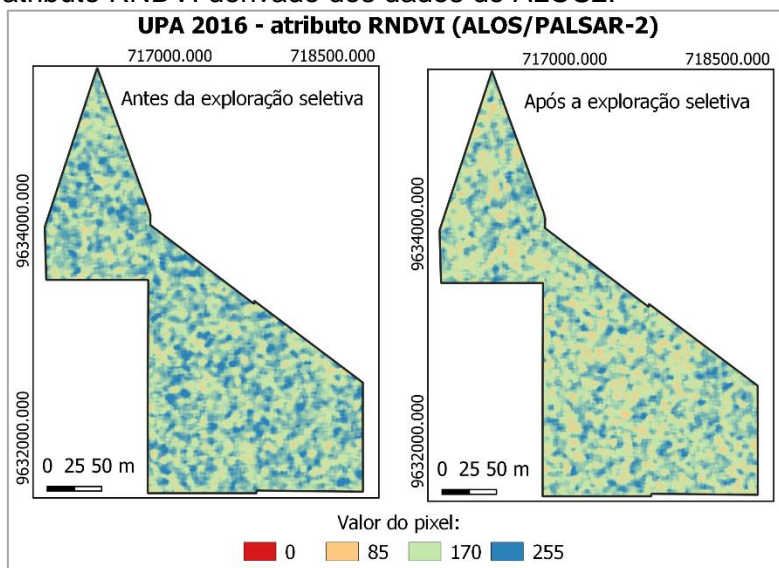
É interessante ressaltar que os testes de comparação de Wilcoxon indicaram diferenças significativas entre os valores das distribuições das amostras em RNDVI, quando observadas antes e após os cortes. Entretanto, observou-se que houve uma discreta diferença entre os valores. Destaca-se o atributo Con-HV associado aos dados das UPAs 2016 e 2017 e $\alpha\text{-AL2}$ associado aos dados das UPAs 2015 e 2016, no qual exibiram as maiores diferenças entre os valores das distribuições das mesmas amostras, observadas nos dois períodos considerados.

Figura 5.5: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2015, considerando o atributo RNDVI derivado dos dados do ALOS2.



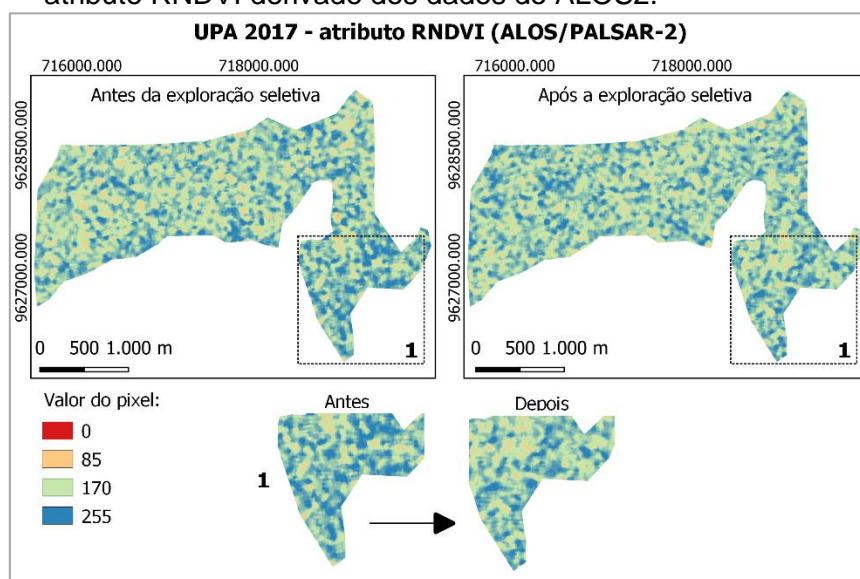
Atributo RNDVI em composição falsa-cor.

Figura 5.6: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2016, considerando o atributo RNDVI derivado dos dados do ALOS2.



Atributo RNDVI em composição falsa-cor.

Figura 5.7: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2017, considerando o atributo RNDVI derivado dos dados do ALOS2.



Atributo RNDVI em composição falsa-cor.

5.8 Potenciais atributos S1A na detecção de perdas de volume florestal

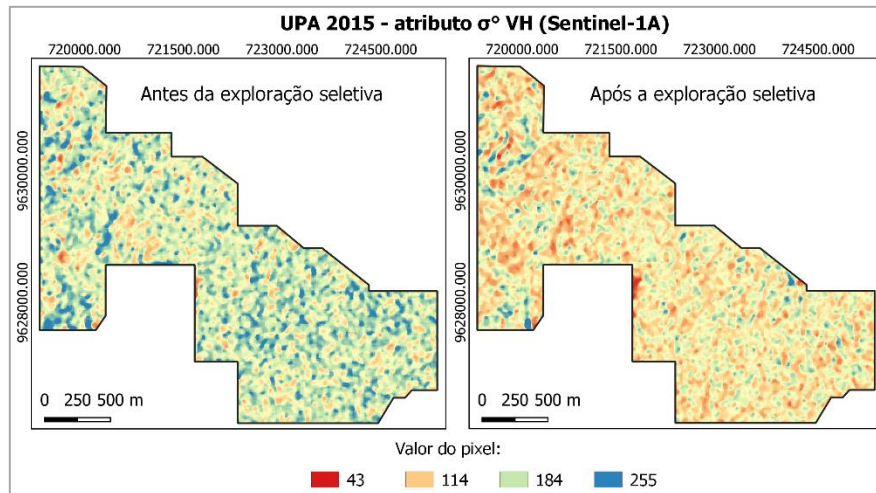
Os atributos $\sigma^{\circ}VV$, SUM-S1, DIF-S1 e MEANS-S1 não exibiram sensibilidade em detectar as perdas de volume florestal nas das UPAs 2015, 2016, 2017 e 2018 em nenhuma das abordagens metodológicas testadas. De acordo com os resultados do teste de Wilcoxon (IC = 95%), houve diferenças significativas entre as distribuições das amostras do grupo de controle, quando observadas antes e após os cortes seletivos, denotando uma variação entre as respostas radiométricas das amostras do grupo de controle.

Os resultados obtidos não foram os esperados, pois hipoteticamente as áreas florestais selecionadas para extrair as amostras do grupo de controle eram formadas por florestas tropicais não perturbadas ou degradadas, conseqüentemente, não indicando alterações/mudanças na estrutura florestal dentro do período de 1982 a 2020. Assim, não se esperava ter mudanças nos valores de retroespalhamento do S1A das amostras antes e após os cortes.

De acordo com os resultados de detecção associado ao atributo $\sigma^{\circ}VH$, este atributo apresentou potencialidade apenas quando relacionado ao conjunto de dados da UPA 2015 (Figura 5.8). Os seus menores valores dos pixels estão

associados às áreas perturbadas devido à exploração seletiva. Já os maiores valores estão associados às áreas florestais não degradadas.

Figura 5.8: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2015, considerando o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ derivado dos dados do S1A.



Atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ em composição falsa-cor.

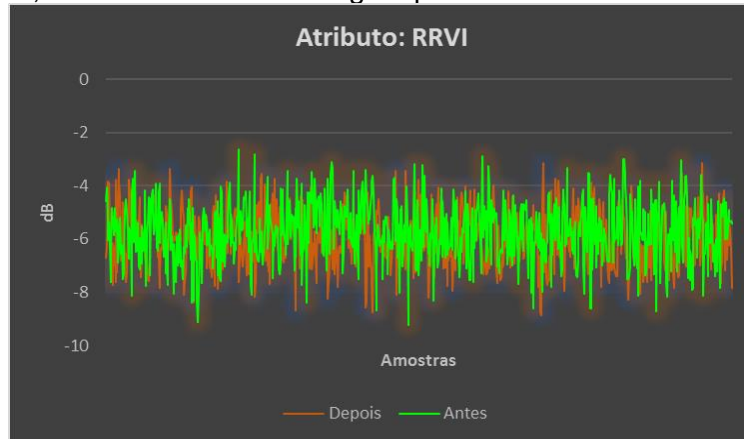
Observou-se um discreto decaimento do sinal de retroespalhamento em $\sigma^{\circ}\text{VH}$ após a exploração seletiva de madeira. Esse resultado era esperado, pois, com as remoções das árvores, há uma redução da estrutura do dossel (JOSHI et al., 2015). Conseqüentemente, há um menor número de elementos dispersores (folhas, galhos, ramos, caules, troncos) que interage com as ondas eletromagnéticas, produzindo um retroespalhamento em $\sigma^{\circ}\text{VH}$ de menor intensidade. De acordo com Reiche et al. (2018), a polarização cruzada VH mostra maior sensibilidade em detectar mudanças na cobertura do dossel florestal.

Para os conjuntos de dados das UPAs 2016, 2017 e 2018, o atributo $\sigma^{\circ}\text{VH}$ não foi testado, pois, de acordo com o teste de Wilcoxon aplicado ao grupo de controle, as distribuições das amostras foram diferentes, indicando uma alta variação radiométrica entre as amostras observadas nos dois períodos simulados.

O atributo RRVI exibiu sensibilidade em detectar as perdas de volume florestal quando associado aos conjuntos de dados das UPAs 2016 e 2018 nas três abordagens testadas. Na Figura 5.9, é possível observar uma diminuição dos

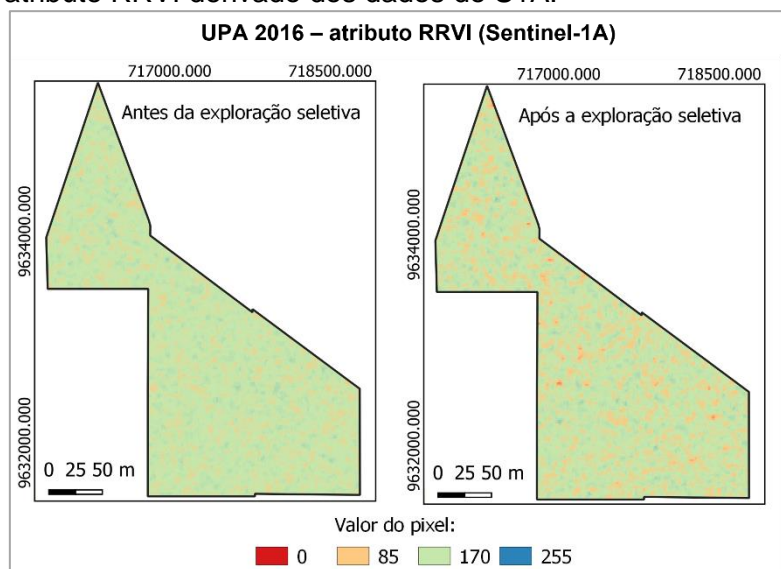
valores médios dos pixels após a exploração seletiva, denotando um decaimento do sinal de retroespalhamento em RRVI.

Figura 5.9: Variação do atributo RRVI nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2016, considerando a abordagem por buffer.



Os resultados obtidos estão de acordo com o esperado, uma vez que o RRVI é um índice biofísico sensível à presença da vegetação, indicando que o decaimento do sinal em RRVI está diretamente relacionado com uma menor presença da vegetação nas células de resolução investigadas (Figura 5.10).

Figura 5.10: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2016, considerando o atributo RRVI derivado dos dados do S1A.

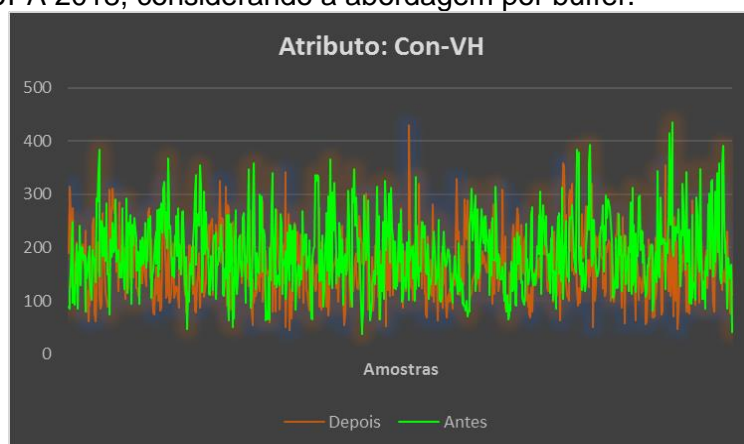


Atributo RRVI em composição falsa-cor.

Por sua vez, o RRVI, ao ser associado com o conjunto de dados da UPA 2017, não demonstrou potencialidade em detectar as diferenças no volume florestal devido aos cortes seletivos.

O atributo Con-VH demonstrou sensibilidade em detectar diferenças significativas no volume do dossel florestal quando associado à UPA 2018 em todas as abordagens testadas. Observou-se um menor valor médio da intensidade dos pixels das amostras após os cortes, indicando um decaimento do sinal de retroespalhamento em Con-VH após a exploração seletiva (Figura 5.11).

Figura 5.11: Variação do atributo Con-VH nas amostras de corte seletivo localizadas na UPA 2018, considerando a abordagem por buffer.

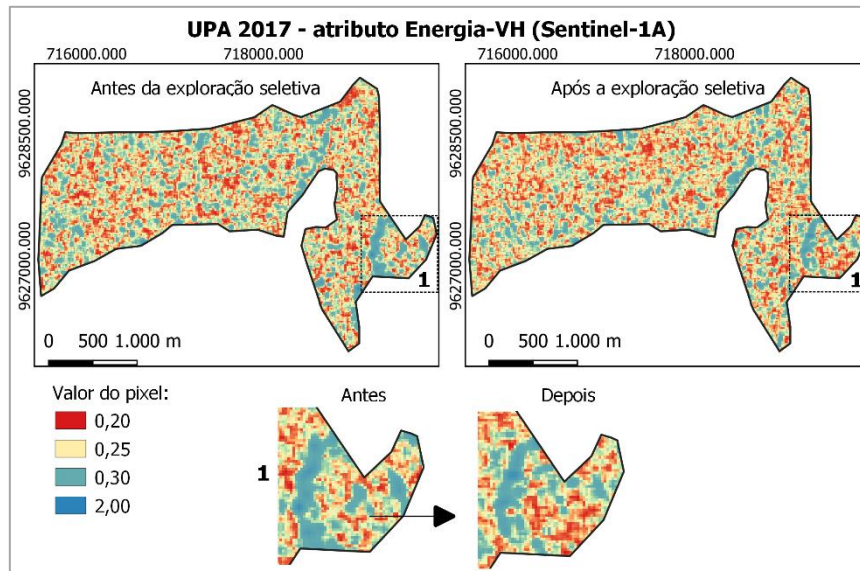


Esse resultado difere do esperado, uma vez que, após a remoção das árvores, esperava-se obter um aumento do sinal de radar no atributo Con-VH, com maiores diferenças de tons de cinza entre os pares de pixels. De acordo com Hethcoat et al. (2021), o entendimento das mudanças na estrutura da floresta associado aos valores crescentes e decrescentes das medidas de textura, incluindo o Contraste, permanece desconhecido. Os autores sugerem a realização de mais trabalhos para compreender a interpretação das medidas de texturas na detecção de extração seletiva. Esse mesmo atributo não foi testado nos conjuntos de dados das UPAs 2015, 2016 e 2017 porque, de acordo com o teste estatístico de comparação aplicado ao grupo de controle, as distribuições das amostras são diferentes.

Com relação aos atributos Ener-VH e Max-VH, ambos apresentaram sensibilidade quando associados ao conjunto de dados da UPA 2017 em todas

as abordagens testadas. Na Figura 5.12, é representado o potencial do atributo Ener-VH em detectar a perda de volume florestal por processos de corte seletivo.

Figura 5.12: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2017, considerando o atributo Ener-VH derivado dos dados do S1A.



Atributo RRVI em composição falsa-cor.

Para ambos os atributos, houve um discreto decaimento do sinal de retroespalhamento após os cortes seletivos. Esperava-se obter um aumento do sinal de radar em Ener-VH e Max-VH devido a uma maior heterogeneidade estrutural do dossel florestal após as remoções das árvores. Esses mesmos atributos não apresentaram potencialidades em detectar as diferenças no dossel florestal, ao serem associados ao conjunto de dados da UPA 2018, exceto na abordagem por polígono de tamanho 31,76 m.

Já os atributos α -S1 e H-S1 demonstraram sensibilidade em detectar as diferenças de volume no dossel florestal quando relacionados ao conjunto de dados da UPA 2018 nas três abordagens metodológicas testadas. Obteve-se uma diferença de 0,02 entre os valores de média das distribuições em H-S1 após a exploração seletiva, e uma diferença de $\sim 0,60$ - $0,61^\circ$ entre os valores de média das distribuições das amostras em α -S1. Neste sentido, a Figura 5.13 mostra uma redução do valor médio da intensidade dos pixels das amostras em α -S1 após os desbastes por corte seletivo. As remoções das árvores possibilitaram uma maior abertura do dossel florestal, i.e., formação de lacunas no dossel,

obtendo-se uma maior contribuição do espalhamento do tipo superficial (Figura 5.14).

Figura 5.13: Variação do atributo α -S1 antes e depois da extração localizadas na UPA 2018, considerando a abordagem por *grid*.

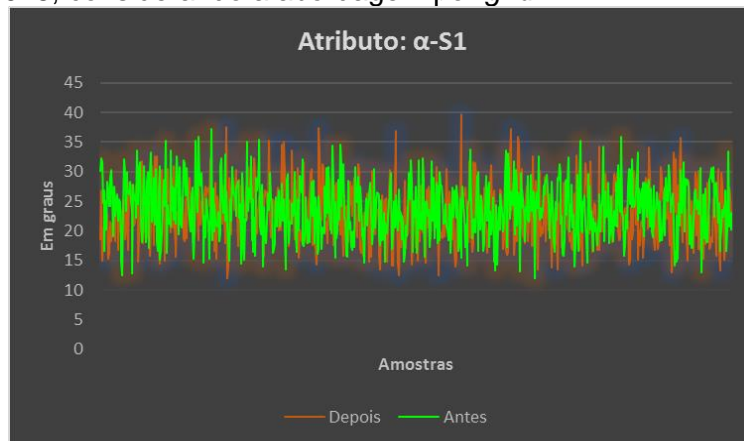
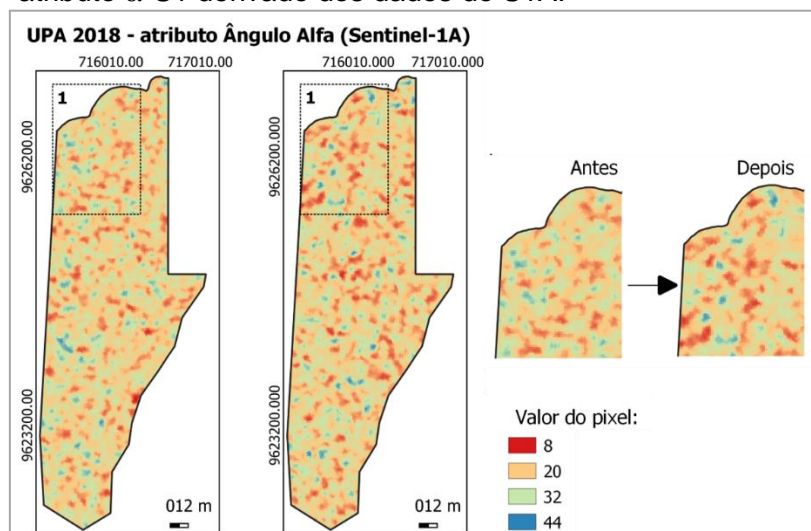


Figura 5.14: Detecção de perdas de volume florestal na UPA 2018, considerando o atributo α -S1 derivado dos dados do S1A.



Atributo RRVI em composição falsa-cor.

Já para o atributo H-S1 aplicado ao conjunto de dados da UPA 2018, observou-se um decaimento do sinal de radar após a exploração seletiva. No ambiente florestal, possivelmente houve uma redução dos elementos dispersores que possibilitou uma menor interação da radiação EM que, por sua vez, produziu um retroespalhamento de menor intensidade em H-S1. Esses mesmos atributos (α -S1 e H-S1) não apresentaram potenciais em detectar perdas de volume florestal quando associadas aos conjuntos de dados das demais UPAs analisadas (UPAs 2015, 2016 e 2017). Segundo o teste estatístico de Wilcoxon as amostras

seguiram as mesmas distribuições, quando observadas nos dois períodos, denotando, uma similaridade radiométrica entre as amostras.

Considerando os resultados obtidos para a UPA 2018, destacam-se os atributos RRVI, Con-VH e α -S1 com as maiores diferenças entre os valores das distribuições das amostras. Segundo Hoekman et al. (2020), o sinal de radar do Sentinel-1 é fraco, quando associado a pequenas lacunas formadas no dossel, em virtude da degradação por processos de corte seletivo. Esses autores afirmaram ainda que, em apenas alguns pixels, podem ser observadas as sutis diferenças de decaimento ou aumento do retroespalhamento. Esses valores estão aproximadamente no mesmo nível que o desvio-padrão do *speckle* do radar.

De forma geral, não foi constatado um potencial atributo capaz de detectar diferenças no volume florestal devido aos cortes seletivos, ao considerar diferentes conjuntos amostrais, isto é, diferentes imagens S1A, de diferentes áreas densamente florestadas e diferentes grupos amostrais. Para cada UPA foi obtido um potencial atributo, entretanto, quando esse mesmo atributo foi associado à outra área, não demonstrou sensibilidade. Em outras palavras, não houve uma linearidade e/ou coerência entre os resultados obtidos por eles nos diferentes conjuntos de dados utilizados.

Os resultados supracitados vão ao encontro com os obtidos por Hethcoat et al. (2021). Segundo esses autores, a detecção de corte seletivo na floresta Amazônica, a partir de medidas texturais de Contraste, Dissimilaridade, Homogeneidade, Entropia, Segundo Momento Angular, Média, e a razão entre as bandas VV e VH, extraídos de um par de imagens S1A e classificados pelo algoritmo Random Forest, indicou que não houve diferenças consistentes entre os valores dos pixels das áreas exploradas seletivamente das áreas não exploradas.

5.' Potenciais abordagens para detecção de perdas de volume florestal

As cinco abordagens metodológicas testadas para os atributos do ALOS2 (pixel a pixel, polígonos de tamanho de 16,48 m e 24,72 m e *grids* de tamanhos 2x2 e 3x3 pixels), apresentaram resultados muito similares. Entretanto, o tamanho da

área total de abrangência considerada em cada abordagem pode ter influenciado diretamente nos resultados obtidos de detecção de perdas de volume florestal. Associado ao tamanho da área total, o intervalo de tempo entre a aquisição das imagens ALOS2 e o período de exploração seletiva também pode ter influenciado nos resultados de detecção das diferentes abordagens.

Pode-se observar, por exemplo, nos resultados obtidos para o conjunto de dados da UPA 2017, onde as abordagens por polígonos com distâncias de 16,48 m e 24,72 m representaram os maiores tamanhos de área total: 838,88 m² e 1887,50 m², respectivamente. Em ambas as abordagens, um maior número de atributos não foi testado, quando comparado com as abordagens pixel a pixel e *grids* de 2x2 e 3x3 pixels. Neste contexto, essas áreas de maiores abrangências podem também ter sido formadas por pixels contaminados, i. e., pixels associados a outras classes temáticas que, por sua vez, podem ter influenciado na alta variação das respostas radiométricas das amostras do grupo de controle. Indicando no teste de comparação de Wilcoxon, distribuições significativamente diferentes, quando observadas nos dois períodos, antes e após as simulações dos cortes (Tabela 4.19 e Tabela 4.20).

O maior intervalo de tempo, de aproximadamente cinco meses, entre a aquisição da imagem ALOS2 e a exploração seletiva, pode ter contribuído para o menor desempenho dos atributos do ALOS2 em todas as abordagens testadas no conjunto de dados da UPA 2017, principalmente nas abordagens por polígonos de 16,48 m e 24,72 m.

Já nos resultados de detecção de perdas de volume florestal associado ao conjunto de dados da UPA 2016, os atributos do ALOS2 exibiram desempenhos similares em todas as abordagens metodológicas testadas. As diferenças significativas detectadas entre os valores das distribuições das amostras de campo foram observadas pelos mesmos atributos e em todas as abordagens, independentemente da área total de abrangência. Nesse sentido, o intervalo de tempo entre a aquisição das imagens ALOS2 e a exploração seletiva de madeira na UPA 2016, de aproximadamente um mês, possivelmente influenciou nos resultados de detecção obtidos pelas abordagens testadas.

Dentre os resultados de detecção de perdas de volume florestal obtidos pelas cinco abordagens testadas pelos atributos do ALOS2, destacam-se os resultados obtidos pela abordagem pixel a pixel. A resolução espacial final das imagens do ALOS2, após processamento, foi de 8,24 m, o que equivale a uma área total de detecção de 67,90 m², considerada com a de menor tamanho, quando comparada com as áreas de abrangência das demais abordagens supracitadas.

Nesse contexto, os atributos do ALOS2, quando analisados sob a menor área total de abrangência, considerando todos os conjuntos de dados (UPAs 2015, 2016 e 2017) exibiram os melhores desempenhos de detecção. Esse resultado era esperado porque as UPAs são compostas por pequenas áreas, onde foram efetivamente realizadas as explorações seletivas de madeira de alta intensidade, atestando assim, os melhores desempenhos dos atributos em detectar as perdas de volume florestal quando empregados sob menores áreas.

Hethcoat et al. (2021) investigaram a sensibilidade de atributos derivados dos dados ALOS2 (banda L), S1A (banda C) e RADARSAT-2 (banda C) em detectar extração seletiva de madeira na Amazônia, a partir de classificações supervisionadas pixel a pixel. Os melhores desempenhos foram obtidos pelos dados dos ALOS2, entretanto, para esses autores, ainda não está claro se a utilização de conjuntos amostrais considerando intensidades de corte mais altas (> 12 m³ ha⁻¹) melhorariam o desempenho da classificação por esse sensor. Nesse sentido, nessa presente pesquisa, os resultados obtidos pelo ALOS2 demonstraram um desempenho superior em comparação com os dados do S1A, considerando diferentes conjuntos amostrais com alta intensidade de corte.

No que concerne aos resultados obtidos pelos dados do S1A, os atributos apresentaram desempenhos similares nas três abordagens metodológicas testadas (pixel a pixel, polígono de 31,76 m e *grid* de 2x2 pixels), independentemente do tamanho da área total considerada. Observou-se, na abordagem por polígono com distância de 31,76 m, associada ao conjunto de dados da UPA 2018, que os atributos do S1A apresentaram desempenho

levemente superior, quando comparados com as demais abordagens. Entretanto, não houve diferenças significativas entre as abordagens testadas.

Ainda segundo os resultados obtidos por Hethcoat et al. (2021), os dados do S1A apresentaram uma baixa capacidade em distinguir as áreas seletivamente exploradas, daquelas que não foram exploradas em ambos os pares de imagens utilizados. De modo geral, as taxas de detecção e falso alarme foram insuficientes para uma classificação confiável, considerando a intensidade de corte de 6-25 m³ ha⁻¹ para os dados do Sentinel-1.

A abordagem metodológica adotada nesta presente pesquisa, considerando as diferenças entre os valores dos pixels de apenas duas imagens S1A não apresentou potencial de detecção, não sendo possível compreender o comportamento do retroespalhamento nos dois períodos analisados. Segundo Hethcoat et al. (2021; 2022), métodos de séries temporais aplicados ao monitoramento de mudanças nos valores dos pixels possibilitam o reconhecimento de tendências sazonais ou de longo prazo nos valores dos pixels, reduzindo as susceptibilidades a alterações de caracterização errônea.

Nesse contexto, a aquisição regular das imagens S1A a cada 12 dias no território brasileiro ocorreu no final de 2016, conseqüentemente, uma avaliação de série temporal só seria possível para os conjuntos de dados da UPA 2017 e 2018. O período da estação chuvosa na Amazônia, entre dezembro e maio, impossibilitou uma aquisição contínua das imagens S1A associadas à UPA 2017. Segundo os dados do TRMM para os recortes da área da UPA 2017, as imagens posteriores aos cortes seletivos (após 15/12/2017; Tabela 4.33), exibiram uma taxa de precipitação pluviométrica média acumulada superior a 50 mm em 24h. Possivelmente as mudanças nos valores de retroespalhamento estariam associados à umidade da vegetação e não devido aos distúrbios florestais, conseqüentemente produzindo falsas detecções (KUCK et al., 2021). De acordo com Hoekman et al. (2020), as altas taxas de precipitação pluviométrica podem resultar na diminuição dos valores de retroespalhamento, podendo ser superior a 3 dB, nos dados de banda C do Sentinel-1.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos pelos atributos extraídos das imagens de dupla polarização dos satélites ALOS/PALSAR-2 e Sentinel-1A demonstraram diferentes desempenhos e capacidades de detecção de perdas de volume florestal devido à exploração seletiva de madeira de alta intensidade ($\sim 27\text{-}29\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$). Os resultados obtidos pelos dados do ALOS2 demonstraram um desempenho superior aos dos Sentinel-1A.

As maiores diferenças entre os diferentes atributos obtidos antes e depois dos cortes seletivos foram obtidos com as imagens do ALOS2, sobretudo pela medida de textura de Contraste na polarização HV, na qual foi derivada da matriz GLCM e pelo atributo polarimétrico ângulo alfa (α). Dentre os 12 atributos derivados do ALOS2, destaca-se o RNDVI na abordagem pixel a pixel, que exibiu sensibilidade para detectar as perdas de volume florestal decorrente dos processos de corte seletivo, quando aplicado ao conjunto de dados envolvendo as três UPAs estudadas.

Os atributos derivados do satélite Sentinel-1A apresentaram uma discreta diferença entre os valores de retroespalhamento, mesmo considerando a alta intensidade de corte seletivo nas quatro áreas de estudo. Indicando assim, que o método de detecção utilizado, considerando apenas um par de imagens bitemporais, não se mostrou adequado para detectar perdas de volume florestal em regiões tropicais devido ao corte seletivo. Na presente pesquisa, não ficou claro o real potencial que os dados do Sentinel-1 possuem para detectar perdas de volume florestal devido à exploração seletiva de madeira de alta intensidade.

Quando a variação temporal e espacial do conjunto de dados utilizados nesta pesquisa por ambos os sistemas sensores são considerados, foi constatada uma maior coerência entre os resultados obtidos pelos atributos do ALOS2. Já era esperada uma maior sensibilidade do ALOS2, pois já é comprovado que o retroespalhamento na banda L é mais sensível às mudanças nos estoques de carbono das florestas. Além da sua operação em comprimento de onda maior as imagens ALOS2 apresentam uma maior resolução espacial (8,24 m), quando comparadas com as imagens do Sentinel-1, que possuem uma resolução

espacial de 15,88 m. O comprimento de onda mais curto do satélite S1, o torna menos sensível à estrutura florestal, pois o sinal de radar interage sobretudo com estrato superior da cobertura florestal.

No entanto, a baixa resolução temporal e a fragmentação espacial dos dados do ALOS2, além do alto custo de aquisição, inviabilizam o seu uso para o monitoramento florestal sistemático. Nesse sentido, os dados do Sentinel-1 tornam-se muito atraentes, pois apresentam uma alta e contínua resolução temporal, com cobertura global e estão disponibilizados gratuitamente para toda a comunidade de usuários. No entanto, são necessários mais estudos com esses dados, os quais devem envolver a exploração de técnicas de polarimetria, interferometria, dados de maior resolução espacial (modo de imageamento em *StripMap*) e séries temporais, além de novos algoritmos computacionais que podem contribuir para um maior conhecimento das potencialidades desses dados para detecção de degradação florestal por processos de extração seletiva de madeira.

Apesar dos avanços tecnológicos na detecção e monitoramento da extração seletiva em larga escala ainda existem muitas incertezas na avaliação do impacto da extração seletiva no balanço do carbono, bem como do impacto no ambiente florestal. Mais estudos envolvendo diferentes sistemas sensores e/ou suas combinações, algoritmos e métodos, são necessários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBA, M.; ESSAHLAOUI, A.; ELKHARKI, O.; MECHBOUH, J. The use of interferometric coherence of Sentinel-1A images to study silting in south-east Morocco. **Annals of Ecology and Environmental Science**, v.3, n.2, p.37-49, 2019.
- ALAMGIR, M.; CAMPBELL, M. J.; TURTON, S. M.; PERT, P. L.; EDWARDS, W.; LAURANCE, W. F. Degraded tropical rain forests possess valuable carbon storage opportunities in a complex, forested landscape. **Scientific Reports**, v.6, p.1-10, 2016.
- ALTUNEL, A. O.; AKTURK, E.; ALTUNEL, T. Examining the PALSAR-2 global forest/non-forest maps through Turkish afforestation practices. **International Journal of Remote Sensing**, v.411, n.16, 2020.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of fit. **Journal of the American Statistical Association**, v.49, n.268, p.765-769, 1954.
- ANDRADE, D. F.C. et al. Post-fire recovery of a dense ombrophylous forest in Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.91, n.2, p.1-11, 2019.
- ASAMOAHA, D.; OPPONG, E. O.; OPPONG, S. O.; DANSO, J. Measuring the performance of image contrast enhancement technique. **International Journal of Computer Applications**, v.181, n.22, 2018.
- ASSIS, T. O. et al. CO₂ emissions from forest degradation in Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v.15, n.10, 2020.
- BACCINI, A.; WALKER, W.; CARVALHO, L.; FARINA, M.; SULLA-MENASHE, D.; HOUGHTON, R. A. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. **Science**, v.358, n.6360, p.230-234, 2017.
- BARLOW, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v.535, p.144-147, 2016.
- BARROS, A. V.; VERISSIMO, A. **A expansão madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará**. 2.ed. Belém: Imazon, 2002.166p.
- BEBBER, D. P. The Brazilian Amazon protected area network was largely unaffected by recent satellite-detectable fires. **BioRxiv - the preprint server for biology**, n.6, p.1-7, 2019.
- BERA, C. M.; JARQUE, A. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. **Economics Letters**, v.6, n.3, p.255-259, 1980.

BERENGUER, E. et al. Tree growth and stem carbon accumulation in human-modified Amazonian forests following drought and fire. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v.373, 20170308, 2018.

BOERNER, W. M. et al. Polarimetry in radar remote sensing: basic and applied concepts. In: LEWIS, A. J.; HENDERSON, F. M.; RYERSON, R. A. (Ed.). **Principles and applications of imaging radar: manual of remote sensing**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. v.2, cap.5, p.271-356.

BOUVET, A.; MERMOZ, S.; BALLERE, M.; KOLECK, T.; LE TOAN, T. Use of the SAR shadowing effect for deforestation detection with Sentinel-1 time series. **Remote Sensing**, v.10, n.8, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano de manejo da Floresta Nacional do Tapajós**. 2004. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-conservacao/FNT_tapajos.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Instrução normativa nº 5 de 11/12/2006: dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável**. Brasília: MMA, 2006.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei federal no 12.678, de 25 de junho de 2012**. 2012a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12678.htm. Acesso em: 18 jun. 2019.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei federal no 12.651, de 25 de maio de 2012**. 2012b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 09 jul. 2019.

CABALLERO, G. R. et al. Assessment of multi-date Sentinel-1 polarizations and GLCM texture features capacity for onion and sunflower classification in an irrigated valley: an object level approach. **Agronomy**, v.10, n.6, 2020.

CAZCARRA-BES, V.; TELLO-ALONSO, M.; FISCHER, R.; HEYM, M.; PAPATHANASSIOU, K. Monitoring of forest structure dynamics by means of L-band SAR tomography. **Remote Sensing**, v.9, n.12, p.1-22, 2017.

CHAMPION, I.; GERMAIN, C.; COSTA, J. P.; ALBORINI, A.; DUBOIS-FERNANDEZ, P. Retrieval of forest stand age from SAR image texture for varying distance and orientation values of the gray level co-occurrence matrix. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.11, n.1, p.5-9, 2014.

CHEN, W.; YIN, H.; MORIYA, K.; SAKAI, T.; CAO, C. Retrieval and comparison of forest leaf area index based on remote sensing data from AVNIR-2, Landsat-5 TM, MODIS, and PALSAR sensors. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v.6, n.179, 2017.

CLOUDE, S. R.; POTTIER, E. A review of target decomposition theorems in radar Polarimetry. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.34, n.2, 1996, p.498-518.

CORREIA, A. H. **Método automático para calibração polarimétrica de imagens SAR**. 2009. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009, 309p. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/35DKDSP>>. Acesso em: 14 maio 2020.

CURTIS, P. G.; SLAY, C. M.; HARRIS, N. L.; TYUKAVINA, A.; HANSEN, M. Classifying drivers of global forest loss. **Science**, v.361, n.6407, p.1108-1111, 2018.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para windows**. Porto Alegre, Artmed, 2006. 608p.

DANKLMAYER, A.; DÖRING, J.; SCHWERDT, M.; CHANDRA, M. Assessment of Atmospheric Propagation Effects in SAR Images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.47, n.10, 2009, p.3507-3518.

DASARI, K.; ANJANEYULU, L.; JAYASRI, P. V.; PRASAD, A. V. V. Importance of speckle filtering in image classification of SAR data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROWAVE, OPTICAL AND COMMUNICATION ENGINEERING, 2015, Bhubaneswar, India. **Proceedings...** 2015, p.349-352.

DIELE-VIEGAS, L.; ROCHA, C. F. D. Why releasing mining on Amazonian indigenous lands and the advance of agrobusiness is extremely harmful for the mitigation of world's climate change? **Environmental Science and Policy**, v.103, p.30-31, 2020.

DINIZ, C. G. et al. DETER-B: The new Amazon near real-time deforestation detection system. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v.8, n.7, 2015, p.3619-3628.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Sentinel-1 SAR technical guide**. 2019a. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar>. Acesso em: 20 jun. 2019.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Calibration e validation**. 2019b. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/cal-val-activities>. Acesso em: 20 jun. 2019.

FIGUEIRA, A. M. E. S. et al. Effects of selective logging on tropical forest tree growth. **Journal of Geophysical Research**, v.113, p.1-11, 2009.

FILIPPONI, F. Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. **Proceedings**, v.18, n.11, 2019.

FROLKING, S. et al. Forest disturbance and recovery: A general review in the context of spaceborne remote sensing of impacts on aboveground biomass and canopy structure. **Journal of Geophysical Research – Biogeosciences**, v.114, p.1-27, 2009.

GAMA, F. F.; WIEDERKEHR, N. C.; BISPO, P. C. Removal of ionospheric effects from sigma naught images of the ALOS/PALSAR-2 satellite. **Remote Sensing**, v.14, n.4, 2022.

GARKUSHA, I. N.; HNATUSHENKO, V. V.; VASYLIEV, V. V. Research of Influence of Atmosphere and Humidity on the Data of Radar Imaging by Sentinel-1. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY, 37., 2017. **Proceedings...** 2017. p.405-408.

GAUI, T. D. et al. Long-term effect of selective logging on floristic composition: a 25 year experiment in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v.440, p.258-266, 2019.

GHAZOUL, J.; BURIVALOVA, Z.; GARCIA-ULLOA, J.; KING, L. A. Conceptualizing forest degradation. **Trends in Ecology & Evolution**, v.30, n.10, p.622-632, 2015.

GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. R.; TREAUHAFT, R. N. Stem volume of tropical forests from polarimetric radar. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, n.2, p.503-522, 2011.

GRAÇA, P. M. L. A.; MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; SOARES, J. V. Detecção de sorte seletivo de madeira por técnica de rotação radiométrica na floresta amazônica. **Ambiência**, v.4, p.97-106, 2008.

HARALICK, R.M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural features for image classification. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.3, n.6, p.610-622, 1973.

HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. **Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radar**. 3.ed. New York, USA: John Wiley Sons, 1998. 896p.

HETHCOAT, M. G.; CARREIRAS, J. M. B.; BRYANT, R. G.; QUEGAN, S.; EDWARDS, D. Combining Sentinel-1 and Landsat 8 does not improve classification accuracy of tropical selective logging. **Remote Sensing**, v.14, n.179, 2022.

HETHCOAT, M. G.; CARREIRAS, J. M. B.; EDWARDS, D.; BRYANT, R. G.; QUEGAN, S. Detecting tropical selective logging with C-band SAR data may require a time series approach. **Remote Sensing of Environment**, v.259, n.15, 2021.

HIRSCHMUGL, M.; STEINEGGER, M.; GALLAUN, H.; SCHARDT, M. Mapping forest degradation due to selective logging by means of time series analysis: case studies in central Africa. **Remote Sensing**, v.6, p.756-775, 2014.

HOEKMAN, D. et al. Wide-area near-real-time monitoring of tropical forest degradation and deforestation using Sentinel-1. **Remote Sensing**, v.12, n.19, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Amazônia Legal**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 08 jul. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Chuva acumulada 24h**. 2019. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php. Acesso em: 21 jul. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. **Programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas: desmatamento - Amazônia Legal**. 2022a. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Amazônia Brasileira: emissões brutas por desmatamento corte raso**. 2022b. Disponível em: <http://inpe-em.ccst.inpe.br/emissoes-brutas-amz/>. Acesso em: 15 maio 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Banco de dados de queimadas**. 2022c. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 10 jan. 2022.

JOSHI, N. et al. Mapping dynamics of deforestation and forest degradation in tropical forests using radar satellite data. **Environmental Research Letters**, v.10, 2015.

KHATI, U. et al. Identification of forest cutting in managed forest of Haldwani, India using ALOS-2/PALSAR-2 data. **Journal of Environmental Management**, v.213, p.503-512, 2018.

KUCK, T. N.; SILVA FILHO, P. F. F.; SANO, E. E.; BISPO, P. C.; SHIGUEMORI, E. H.; DALAGNOL, R. Change detection of selective logging in

the brazilian Amazon using X-band SAR data and pre-trained convolutional neural networks. **Remote Sensing**, v.13, n.4944, 2021.

LAUFER, J. **Efeitos do corte seletivo sobre a fauna em florestas tropicais**. 2015. 153p. Tese (Doutorado em Biodiversidade Tropical) - Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2015. Disponível em: https://www2.unifap.br/ppgbio/files/2012/02/JulianaLaufer_tese_2015.pdf. Acesso em: 20 jan. 2021.

LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W. Responses of five arboreal marsupials to recent selective logging in tropical Australia. **Biotropica**, v.28, n.3, p.310-322, 1996.

LECKIE, D. G.; RANSON, K. J. Forestry applications of imaging radar. In: HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (Ed.). **Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radar**. New York: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1998. p.435 - 511.

LEE, J.; POTTIER, E. **Polarimetric radar imaging from basics to applications**. New York: CRC Press, 2009. 398p.

LEI, Y.; TREUHAFTA, R.; KELLER, M. Quantification of selective logging in tropical forest with spaceborne SAR interferometry. **Remote Sensing of Environment**, v.211, p.167-183, 2018.

LEWIS, A. J.; HENDERSON, F. M.; HOLCOMB, D. W. Radar fundamentals: the geoscience perspective. In: HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (Ed.). **Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radars**. 3. ed. New York, NY: John Wiley & Sons, 1998.

LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, n.349, p.827-831, 2021.

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. **Journal of the American Statistical Association**, v.62, n.318, p.399-402, 1967.

MARTINS, F. S. R. V. et al. Sensitivity of ALOS/PALSAR imagery to forest degradation by fire in northern Amazon. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, p.163-174, 2016.

MASCOLO, L.; CLOUDE, S.R.; LOPEZ-SANCHEZ, J.M. Model-based decomposition of dual-pol SAR data: application to Sentinel-1. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 2021.

MATRICARDI, E. A. T. et al. Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, v.369, p.1378-82, 2020.

MENDONÇA, M. A. M.; MONICO, J. F. G.; MOTOKI, G. M. Efeitos da cintilação ionosférica na agricultura de precisão: Um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA E V COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 2012, Presidente Prudente, Brasil. **Anais...** 2012. p.262-267.

MEYER, F. J.; CHOTOO, K.; CHOTOO, S. D.; HUXTABLE, B. D.; CARRANO, C. S. The influence of equatorial scintillation on L-Band SAR image quality and phase. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.54, n.2, p.869-880, 2016.

MITCHARD, E. T. A. et al. Using satellite radar backscatter to predict above-ground woody biomass: a consistent relationship across four different African landscapes. **Geophysical Research Letters**, v.36, L23401, 2009.

MITCHARD, E. T. A. The tropical forest carbon cycle and climate change. **Nature**, v.559, p.527-534, 2018.

NARVAES, I. S. **Avaliação de dados SAR polarimétricos para estimativa de biomassa em diferentes fitofisionomias de florestas tropicais**. 2010. 190p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

NEPSTAD, D. et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, n.398, p.505-508, 1999.

NORMAN G.; STREINER D. **Biostatistics: the bare essentials**. 3.ed. Hamilton: B.C. Decker, 2014. p.408.

NUMATA, I. M. A. et al. Biomass collapse and carbon emissions from forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Journal of Geophysical Research**, v.115, G03027, 2010.

NUMBISI, F. N.; VAN COILLIE, F. M. B.; DE WULF, R. Delineation of cocoa agroforests using multiseason Sentinel-1 SAR images: a low grey level range reduces uncertainties in GLCM texture-based mapping. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v.8, n.4, 2019.

PACHECO-PASCAGAZA, A. M. et al. The use of multifrequency SAR data for assessing levels of forest disturbance in Bajo Calima Colombia. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2018. **Proceedings...** 2018. p.7015-7018.

PAULINO, I.; MEDEIROS, A. F.; BURITI, R. A.; TAKAHASHI, H.; SOBRAL, J. H. A.; GOBBI, D. Plasma bubble zonal drift characteristics observed by airglow images over Brazilian tropical region. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.29, p.239-246, 2011.

PAVANELLI, J. A. P. et al. PALSAR-2/ALOS-2 and OLI/LANDSAT-8 data integration for land use and land cover mapping in northern Brazilian Amazonia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.24, n.2, 2018, p.250-269.

PEARSON, T. R. H.; BROWN, S.; MURRAY, L.; SIDMAN, G. Greenhouse gas emissions from tropical forest degradation: an underestimated source. **Carbon Balance and Management**, v.12, n.3, 2017.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; GUIMARÃES, M. V. J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2010. 124p.

PEREIRA, E. J. A. L.; RIBEIRO, L. C. S.; FREITAS, L. F. S.; PEREIRA, H. B. B. Brazilian policy and agribusiness damage the Amazon rainforest. **Land Use Policy**, v.92, 2020.

PINHEIRO, T. F.; ESCADA, M. I. S.; VALERIANO, D. M.; HOSTERT, P.; GOLLNOW, F.; MÜLLER, H. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: The BR-163 region in southwestern Pará, Brazil. **Earth Interaction**, v.20, p.1-26, 2016.

PLANO OPERACIONAL ANUAL (POA). 2016. **Relatório técnico Cooperativa Mista da Floresta Nacional do Tapajós**. Santarém: POA, 2016. 83p.

PÔSSA, E. M.; GAMA, F. F.; SANTOS, J. R.; MURA, J. C.; BISPO, P. C. Análise de uso da terra e cobertura florestal na Amazônia central, a partir de dado polarimétrico PALSAR/ALOS-1 e coerência interferométrica TanDEM-X. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, p.2094-2108, 2018.

QIN, Y. et al. Carbon loss from forest degradation exceeds that from deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Climate Change**, v.11, p.442-448, 2021.

RADAMBRASIL. **Folha AS.21- Santarém: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. 1976. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv24027.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2019.

RANEY, K. Radar fundamentals: technical perspective. In: HENDERSON, F.M.; LEWIS, A.J. (Ed.). **Principles and applications of imaging radar: manual of remote sensing**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1998, p.8-130.

RAPPAPORT, D. I.; MORTON, K. M.; LONGO, M.; DUBAYAH, R.; SANTOS, M. N. Quantifying long-term changes in carbon stocks and forest structure from Amazon forest degradation. **Environmental Research Letters**, v.13, n.6, 2018.

REICHE, J.; HAMUNYELA, E.; VERBESSELT, J.; HOEKMAN, D.; HEROLD, M. Improving near-real time deforestation monitoring in tropical dry forests by

combining dense Sentinel-1 time series with Landsat and ALOS-2 PALSAR-2. **Remote Sensing Environment**, v.204, p.147–161, 2018.

RICHARDS, J. A. **Remote sensing with imaging radar**. Berlin: Springer, 2009. 361p.

ROTH, A. P.; HUXTABLE, B. D.; CHOTOO, K.; CHOTOO, S. D.; CATON, R.G. Detection and mitigation of ionospheric stripes in PALSAR data. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2012, Munich, Germany. **Proceedings...** 2012. p.1621-1624.

SANTOS, J. R.; GONÇALVES, F. G. Polarimetric responses patterns and scattering mechanisms of forest targets from L-band radar. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.61, n.4, p.391-397, 2009.

SHAN, Z.; WANG, C.; ZHANG, H.; CHEN, J. H- α Decomposition and alternative parameters for dual polarization SAR data. **PIERS Proceedings**, 2011, p.1386-1390.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika**, v.52, n.3/4, 1965, p.591-611.

SHIMABUKURO, Y. E. et al. Assessment of forest degradation in Brazilian Amazon due to selective logging and fires using time series of fraction images derived from Landsat ETM+ images. **Remote Sensing Letters**, v.5, n.9, p.773-782, 2014.

SHIMADA, M.; TADONO, T.; WATANABE, M. Determination of polarimetric calibration parameters of L band SAR using uniform forest data. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2004. **Proceedings...** 2004. p.699-702.

SHIMADA, M. et al. PALSAR radiometric and geometric calibration. **IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing**, v.47, n.12, p.3915-3932, 2009.

SILVA JÚNIOR, C. H. L. et al. Amazonian forest degradation must be incorporated into the COP26 agenda. **Nature Geoscience**, v.14, p.634-635, 2021.

SINGH, N.; UMAMAHESWARI, O. Correlation coefficient based detection algorithm for removal of random valued impulse noise in images. **ICTACT Journal on Image and Video Processing**, v.8, n.2, 2017.

SLIK, J. W. F. et al. Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. **Global Ecology and Biogeography**, v.22, p.1261-1271, 2013.

SIMULA, M. **Towards defining forest degradation: comparative analysis of existing definitions**. Roma: FAO, 2009.

SOUZA JUNIOR, C. M. et al. Ten-year Landsat classification of deforestation and forest degradation in Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v.5, p.5493-5513, 2013.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Relatório de auditoria operacional, Unidade de Conservação Floresta Nacional do Tapajós**. 2008. Disponível em: <https://contas.tcu.gov.br/juris/>. Acesso em: 08 jul. 2020.

ULABY, F. T.; ELACHI, C. **Radar polarimetry for geoscience applications**. Norwood: Artech House, 1990. 364p.

VANCUTSEM, C.; PEKEL, F. A. J. F.; VIEILLEDENT, G.; GALLEGO, S. C. D. S.; ARAGÃO, L. E. O. C.; NASI, R. Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. **Science Advances**, v.7, n.10, 2021.

WANG, Z.; BOVIK, A. C.; SHEIKH, H. R.; SIMONCELLI, E. P. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. **IEEE Transactions on Image Processing**, v.13, n.4, 2004, p.600-612.

WATANABE, M. et al. Early-stage deforestation detection in the tropics with L-band SAR. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v.11, n.6, p.2127-2133, 2018.

WEST, T. A. P.; BÖRNER, J.; FEARNSIDE, P. M. Climatic benefits from the 2006 - 2017 avoided deforestation in Amazonian Brazil. **Frontiers in Forests and Global Change**, v.2, p.1-11, 2019.

WIEDERKEHR, N. C. et al. Analysis of the target decomposition technique attributes and polarimetric ratios to discriminate land use and land cover classes of the Tapajós Region. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.25, p.1-16, 2018.

WIEDERKEHR, N. C. et al. Discriminating forest successional stages, forest degradation, and land use in central Amazon using ALOS/PALSAR-2 full-polarimetric data. **Remote Sensing**, v.12, n.21, 2020.

WILCOXON, F. Individual comparisons by ranking methods. **Biometrics Bulletin**, v.1, n.6, p.80-83, 1945.

WINTER, J. C. F.; GOSLING, S. D.; POTTER, J. Comparing the pearson and spearman correlation coefficients across distributions and sample sizes: a tutorial using simulations and empirical data. **Psychological Methods**, v.21, n.3, p.273-290, 2016.

WOODHOUSE, I. H. **Introduction to microwave remote sensing**. Boca Raton: Taylor & Francis; CRC Press, 2006. 370p.

ZHANG, G.; GUO, F.; ZHANG, Q.; XU, K.; JIA, P.; HAO, X. Speckle reduction by directional coherent anisotropic diffusion. **Remote Sensing**, v.11, n.2768, 2019.

ANEXO A – GEORREFERENCIAMENTO DOS PONTOS DE CONTROLE DA UPA 2015

Abaixo são apresentados os parâmetros e seus respectivos valores processados durante o georreferenciamento das amostras de corte seletivo de todas as Unidades de Trabalho (UT) que constituem a Unidade de Produção Anual (UPA) de 2015.

Tabela A.1: Georreferenciamento da UT01 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 01 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
724230,193	9628222,11	0,36239	0,34392	0,00	0,29119

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	2740	-150	725222985	9628170544	-0,20425	-0,25164	0,32410
1	3154	-441	725372988	9628070514	-0,19621	0,04999	0,20248
2	3153	-586	725372988	9628020549	0,21197	0,05106	0,21803
3	256	-150	724322981	9628170537	-0,42857	0,10731	0,44180
4	394	-150	724372985	9628170537	-0,24185	0,07627	0,25359
5	532	-150	724422996	9628170544	0,43075	0,05260	0,43395
6	256	-2767	724322989	9627270541	-0,24277	-0,32339	0,40438
7	256	-2622	724323035	9627320568	0,35113	-0,25901	0,43632
8	670	-3057	724472992	9627170549	0,31594	0,16858	0,35810
9	3154	-3057	725373042	9627170549	0,15968	0,16417	0,22902
10	3015	-3058	725322969	9627170549	0,31156	0,05380	0,31617
11	2877	-3058	725272988	9627170534	0,26337	0,01784	0,26397
12	2739	-3058	725222992	9627170526	0,24607	0,05504	0,25215
13	3154	-731	725373042	9627970553	-0,30479	-0,00418	0,30481
14	2602	-150	725172997	9628170568	-0,19976	-0,00858	0,19995
15	2602	-3058	725172981	9627170526	-0,21576	0,01214	0,21610
16	808	-3058	724522980	9627170541	0,00949	0,01154	0,01494
17	256	-2476	724322989	9627370560	-0,06459	0,00876	0,06518
18	3154	-877	725373011	9627920577	-0,11629	-0,00597	0,11645
19	2464	-3058	725122970	9627170522	-0,05468	0,01088	0,05575
20	2464	-150	725122993	9628170525	-0,03045	0,01281	0,03303

Tabela A.2: Georreferenciamento da UT02 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 02 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
724223566	9627219193	0,36316	0,34395	0,00	0,30269

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	2477	-1595	725122974	9626670545	0,12371	0,00782	0,12396
1	2339	-1595	725072981	9626670537	0,20060	0,00821	0,20077
2	2201	-1595	725022981	9626670538	0,21690	0,00846	0,21707
3	2063	-1595	724972979	9626670537	0,22371	0,00332	0,22374
4	3165	-1305	725372985	9626770508	-0,25615	-0,01708	0,25672
5	3165	-1159	725372985	9626820541	-0,13507	-0,04952	0,14386
6	3166	-1014	725372985	9626870542	-0,47812	-0,01179	0,47827
7	3165	-868	725373000	9626920575	0,19447	0,08034	0,21041
8	3166	-723	725373000	9626970483	-0,39046	0,06196	0,39535
9	963	-141	724572984	9627170540	-0,49051	-0,03906	0,49207
10	1099	-141	724622982	9627170537	0,54986	-0,02634	0,55049
11	274	-3049	724322985	9626170524	-0,19520	0,03548	0,19840
12	274	-2613	724322981	9626320536	-0,25667	-0,01085	0,25690
13	274	-2467	724322981	9626370541	0,14915	-0,04308	0,15525
14	273	-2322	724322981	9626420538	0,55312	-0,04379	0,55485
15	2752	-141	725223002	9627170527	0,42260	0,00133	0,42260
16	2615	-141	725173001	9627170558	-0,16935	0,00773	0,16953
17	412	-3049	724372986	9626170569	-0,18432	-0,00360	0,18436
18	550	-3048	724423205	9626170693	-0,22523	0,00832	0,22539
19	687	-3049	724473051	9626170445	-0,19322	0,01728	0,19400
20	3165	-287	725372983	9627120533	0,07104	0,00313	0,07111
21	3165	-432	725372977	9627070540	0,07109	0,00270	0,07114
22	3165	-578	725372983	9627020540	0,14864	-0,00034	0,14864
23	3027	-141	725322972	9627170544	0,04943	-0,00062	0,04943

Tabela A.3: Georreferenciamento da UT03 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 03 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
724230199	9628222106	0,36238	0,34392	0,00	0,31066

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	2740	-150	725222985	9628170544	-0,16172	-0,25861	0,30501
1	3154	-295	725372988	9628120541	-0,53583	0,06427	0,53968
2	3154	-441	725372988	9628070514	-0,14491	0,04375	0,15137
3	3153	-586	725372988	9628020549	0,26327	0,04519	0,26712
4	256	-150	724322981	9628170537	-0,43874	0,10035	0,45007
5	394	-150	724372985	9628170537	-0,24909	0,06930	0,25855
6	532	-150	724422996	9628170544	0,42644	0,04563	0,42887
7	256	-2767	724322989	9627270541	-0,25294	-0,32380	0,41088
8	256	-2622	724323035	9627320568	0,34096	-0,25977	0,42864
9	670	-3057	724472992	9627170549	0,31456	0,16890	0,35703
10	3154	-3057	725373042	9627170549	0,21099	0,16449	0,26753
11	3015	-3058	725322969	9627170549	0,35994	0,05412	0,36398
12	2877	-3058	725272988	9627170534	0,30882	0,01816	0,30935
13	2739	-3058	725222992	9627170526	0,28859	0,05537	0,29385
14	3154	-731	725373042	9627970553	-0,25348	-0,00969	0,25366
15	2602	-150	725172997	9628170568	-0,16017	-0,01555	0,16092
16	2602	-3058	725172981	9627170526	-0,17617	0,01247	0,17661
17	808	-3058	724522980	9627170541	0,01103	0,01186	0,01620
18	256	-2476	724322989	9627370560	-0,07476	0,00762	0,07514
19	3154	-877	725373011	9627920577	-0,06499	-0,01111	0,06593
20	2464	-3058	725122970	9627170522	-0,01802	0,01120	0,02121
21	2464	-150	725122993	9628170525	0,00622	0,00584	0,00853

Tabela A.4: Georreferenciamento da UT04 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 04 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
723226866	9628220584	0,34399	0,34403	0,00	0,06517

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	3187	-145	724322991	9628170579	0,00704	0,00579	0,00911
1	3041	-145	724272964	9628170548	0,00904	0,00580	0,01074
2	2896	-145	724222968	9628170564	-0,02022	0,01284	0,02395
3	2750	-145	724172988	9628170533	0,00820	0,01577	0,01777
4	3187	-291	724322983	9628120545	0,01523	-0,03859	0,04149
5	3187	-436	724322991	9628070526	0,01217	-0,02680	0,02943
6	3187	-581	724323006	9628020592	0,00499	-0,03793	0,03826
7	279	-145	723322980	9628170533	0,01449	0,06200	0,06367
8	425	-145	723372984	9628170541	-0,01685	0,02714	0,03195
9	570	-145	723423007	9628170521	-0,03677	0,02530	0,04463
10	716	-146	723473002	9628170490	-0,03250	0,00511	0,03290
11	280	-291	723323077	9628120556	-0,05454	-0,02781	0,06122
12	279	-436	723322984	9628070529	-0,03651	-0,01544	0,03964
13	279	-581	723322984	9628020564	-0,01695	-0,01352	0,02168
14	279	-3052	723322984	9627170541	0,05257	-0,05265	0,07440
15	279	-2907	723322984	9627220545	0,04166	-0,07254	0,08365
16	279	-2762	723322999	9627270549	0,02223	-0,09570	0,09825
17	279	-2616	723322937	9627320699	0,00780	-0,14909	0,14930
18	425	-3052	723372964	9627170495	0,04552	-0,03891	0,05988
19	570	-3052	723422991	9627170541	0,00040	-0,00228	0,02276
20	715	-3052	723472979	9627170539	0,00065	-0,00071	0,00096
21	3187	-3052	724322973	9627170534	-0,02568	0,08840	0,09205
22	3187	-2907	724322981	9627220529	-0,01887	0,13716	0,13845
23	3187	-2761	724322981	9627270541	-0,01084	0,09994	0,10053
24	3187	-2616	724322997	9627320552	-0,00812	0,02529	0,02656
25	3041	-3052	724272939	9627170580	0,02872	0,04736	0,05539
26	2896	-3052	724223005	9627170549	0,00715	0,03456	0,03529
27	2751	-3052	724173009	9627170518	-6,81E-07	1,37E-06	1,53E-06

Tabela A.5: Georreferenciamento da UT05 da UPA 2015 e os correspondente pontos de controle.

UT: 05 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
722237902	9628220076	0,34399	0,34404	0,00	0,11803

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	3154	-144	723322957	9628170526	0,02987	0,10332	0,10755
1	3009	-144	723272987	9628170558	0,06760	0,05614	0,08787
2	2864	-144	723222985	9628170542	0,07389	0,00556	0,07409
3	2718	-144	723172984	9628170550	0,06922	-0,37372	0,07867
4	3155	-289	723323004	9628120564	-0,05846	0,03555	0,06842
5	3155	-435	723323004	9628070531	-0,12316	0,02339	0,12536
6	3155	-580	723322973	9628020561	-0,21052	-0,00686	0,21063
7	247	-144	722323007	9628170565	0,16597	-0,04885	0,17193
8	393	-144	722372993	9628170550	0,08993	-0,00652	0,09017
9	538	-144	722422979	9628170534	0,04279	-0,01080	0,04413
10	683	-144	722472996	9628170550	0,00341	0,02597	0,02619
11	247	-289	722322976	9628120533	-0,09915	-0,04107	0,10732
12	248	-435	722323007	9628070563	-0,16494	-0,04032	0,16980
13	248	-580	722322991	9628020530	-0,23243	-0,06948	0,24259
14	247	-3051	722322991	9627170553	0,15852	0,02080	0,15988
15	247	-2905	722322984	9627220539	0,06471	0,02953	0,07113
16	247	-2760	722322984	9627270540	-0,03806	0,01944	0,04273
17	247	-2615	722322980	9627320540	-0,14258	-0,01338	0,14321
18	393	-3051	722372968	9627170523	0,08437	0,01418	0,08556
19	538	-3051	722422985	9627170538	0,05420	0,00994	0,05510
20	683	-3051	722472971	9627170538	-9,84E-05	7,98E-05	0,00013
21	3154	-3051	723323010	9627170523	0,14723	0,00150	0,14723
22	3154	-2905	723323010	9627220524	0,04697	0,00013	0,04697
23	3154	-2760	723322979	9627270525	-0,05034	-0,01621	0,05288
24	3155	-2615	723323010	9627320527	-0,14224	-0,03898	0,14748
25	3009	-3051	723272946	9627170492	0,10104	-0,02054	0,10310
26	2864	-3051	723223038	9627170554	0,06762	0,00236	0,06766
27	2718	-3051	723172990	9627170523	-0,00535	-0,00147	0,00555

Tabela A.6: Georreferenciamento da UT06 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 06 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
723225141	9627223948	0,34398	0,34400	0,00	0,19043

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	3192	-155	724322991	9627170543	-0,01189	-0,16714	0,16756
1	3046	-155	724272985	9627170543	0,00102	-0,17867	0,17867
2	2901	-156	724222999	9627170512	-0,02683	-0,21356	0,21524
3	2755	-156	724172962	9627170512	0,00402	-0,22055	0,22059
4	3191	-301	724322950	9627120557	-0,00538	-0,12125	0,12137
5	3192	-446	724323032	9627070479	-0,01855	-0,11748	0,11893
6	3192	-591	724323032	9627020565	-0,01966	-0,07300	0,07560
7	284	-155	723322990	9627170512	0,00834	0,30630	0,30642
8	430	-155	723372986	9627170553	-0,00793	0,10454	0,10484
9	575	-155	723422982	9627170543	-0,04288	-0,03778	0,05715
10	721	-156	723472973	9627170522	-0,03541	-0,19058	0,19385
11	285	-300	723323006	9627120567	0,00203	0,45683	0,45683
12	285	-446	723323088	9627070406	-0,00029	0,30973	0,30973
13	284	-591	723322964	9627020534	-0,32296	0,23400	0,23622
14	284	-3062	723322980	9626170542	0,04452	-0,10818	0,11698
15	284	-2917	723322995	9626220553	0,03307	-0,10258	0,10778
16	284	-2772	723322949	9626270565	0,01387	-0,20270	0,20318
17	284	-2626	723322980	9626320545	-0,01484	-0,21718	0,21769
18	430	-3062	723372976	9626170496	0,02883	-0,08151	0,08646
19	575	-3062	723422972	9626170558	-0,00628	-0,06372	0,06403
20	720	-3062	723472968	9626170527	-0,00056	-0,04545	0,04545
21	3192	-3062	724323099	9626170558	-0,01394	0,18879	0,18930
22	3192	-2917	724322975	9626220553	0,02014	0,23457	0,23543
23	3192	-2771	724322991	9626270534	0,02357	0,08416	0,08740
24	3192	-2626	724322975	9626320530	0,01806	0,04195	0,04567
25	3046	-3062	724272979	9626170527	0,02700	0,11642	0,11951
26	2901	-3062	724222984	9626170527	0,01229	0,06404	0,06521
27	2756	-3062	724173003	9626170496	-6,38E-06	-5,20E-06	8,23E-06

Tabela A.7: Georreferenciamento UT07 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 07 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
721266370	9628992665	0,44884	0,43395	0,00	0,29318

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	2354	-973	722322973	9628570532	-0,20649	0,26931	0,33936
1	2242	-973	722272988	9628570532	0,27219	-0,06292	0,27937
2	2131	-973	722222994	9628570547	0,35506	-0,36592	0,50987
3	2354	-1088	722322972	9628520546	-0,23050	0,28838	0,36918
4	2354	-1203	722323003	9628470560	-0,21160	-0,01736	0,21232
5	906	-1203	721672946	9628470506	0,10520	0,29637	0,31449
6	906	-1319	721672992	9628420551	-0,17836	-0,24828	0,30571
7	906	-4314	721672992	9627120499	-0,08290	0,30682	0,30693
8	906	-4199	721673008	9627170547	-0,05010	0,40994	0,41299
9	906	-4084	721672992	9627220533	-0,12455	0,22607	0,25811
10	906	-3969	721673008	9627270581	-0,13343	-0,20450	0,24418
11	1017	-4314	721722994	9627120530	0,06871	0,17999	0,19266
12	1129	-4314	721773011	9627120546	0,11561	0,04580	0,12435
13	1240	-4314	721822981	9627120515	0,17838	-0,09608	0,20261
14	2020	-4315	722172991	9627120561	0,02915	-0,39979	0,40085
15	2354	-3969	722322979	9627270534	-0,03827	-0,37105	0,37302
16	2354	-3853	722322979	9627320540	-0,01647	-0,07712	0,07886
17	2354	-3738	722322981	9627370537	0,06017	-0,05960	0,08469
18	1908	-4314	722122980	9627120555	0,02208	0,00252	0,02222
19	2354	-1434	722322985	9628370528	-0,01014	-0,07310	0,07380
20	906	-1434	721673029	9628370497	0,00165	-0,04949	0,04952

Tabela A.8: Georreferenciamento da UT08 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 08 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
722273126	9629631070	0,34364	0,34381	0,00	0,12353

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	145	-1340	722323022	9629170523	0,04064	-0,01926	0,04498
1	291	-1340	722372981	9629170538	-0,00453	-0,01837	0,01892
2	436	-1339	722422983	9629170544	-0,02745	-0,01523	0,03139
3	582	-1339	722472984	9629170540	-0,02911	-0,00425	0,02941
4	727	-1339	722522978	9629170540	-0,04378	0,00680	0,04430
5	873	-1339	722572983	9629170533	-0,04289	0,02631	0,05032
6	1018	-1339	722622984	9629170540	-0,03012	0,02789	0,04105
7	1164	-1339	722672982	9629170537	-0,01591	0,00247	0,01610
8	1309	-1339	722722983	9629170544	-0,00622	0,02233	0,02318
9	1455	-1339	722772985	9629170537	-0,00571	0,02198	0,02271
10	1600	-1339	722822982	9629170540	0,00960	0,02298	0,02491
11	1746	-1339	722873007	9629170544	0,03143	0,03228	0,04505
12	1891	-1340	722923070	9629170513	0,04706	0,04106	0,06245
13	2037	-1340	722973010	9629170513	0,07689	0,01786	0,07894
14	145	-1485	722322929	9629120512	0,04437	-0,01960	0,04851
15	145	-1630	722322991	9629070542	0,04599	-0,02023	0,05024
16	145	-1776	722322991	9629020540	0,06367	0,00202	0,06370
17	145	-1921	722322976	9628970539	0,06148	0,00007	0,06148
18	145	-2067	722322991	9628920553	0,05748	0,01151	0,05862
19	145	-2212	722322982	9628870539	-0,02058	0,01005	0,02291
20	145	-4248	722322995	9628170560	-0,10524	-0,20743	0,23260
21	291	-4248	722372981	9628170529	-0,05305	-0,15627	0,16503
22	436	-4248	722422983	9628170545	-0,03504	-0,11343	0,11872
23	582	-4248	722472984	9628170537	-0,00201	-0,06623	0,06626
24	727	-4248	722522981	9628170537	0,01877	-0,03843	0,04277
25	873	-4248	722572983	9628170537	0,03364	-0,00393	0,03387
26	1018	-4248	722622976	9628170537	0,05381	0,02160	0,05799
27	1164	-4248	722672978	9628170541	0,06180	0,03025	0,06880
28	1309	-4248	722722971	9628170529	0,07990	0,03936	0,08907
29	1454	-4248	722772983	9628170539	0,09056	0,05236	0,10461
30	3055	-4248	723322977	9628170545	-0,28451	0,07597	0,29448
31	2910	-4248	723272983	9628170541	-0,14101	0,09552	0,17031
32	2764	-4248	723222978	9628170541	-0,07066	0,10658	0,12787
33	2619	-4248	723172988	9628170541	-0,00553	0,11711	0,11725

(continua)

Tabela A.8: Conclusão.

UT: 08 Parâmetros de transformação (Linear)

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
34	2473	-4248	723122979	9628170541	0,03220	0,13336	0,13720
35	2328	-4248	723072981	9628170538	0,04670	0,14243	0,14989
36	2182	-4248	723022984	9628170539	0,07161	0,14997	0,16619
37	2036	-4248	722972980	9628170538	0,07799	0,15142	0,17032
38	1891	-4248	722922981	9628170543	0,09361	0,12983	0,16006
39	145	-4103	722322949	9628220505	-0,12638	-0,23743	0,26897
40	145	-3957	722323011	9628270569	-0,10840	-0,21611	0,24177
41	145	-3812	722322980	9628320539	-0,07413	-0,17178	0,18709
42	145	-3666	722322972	9628370541	-0,04494	-0,14695	0,15367
43	145	-3521	722322988	9628420534	-0,03691	-0,11487	0,12066
44	145	-3376	722322980	9628470543	-0,01344	-0,09420	0,09515
45	1745	-4248	722872925	9628170589	0,09785	0,10473	0,14333
46	1600	-4248	722822978	9628170543	0,09049	0,06790	0,11313

Tabela A.9: Georreferenciamento da UT09 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 09 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
721266376	9628992697	0,44883	0,43396	0,00	0,31230

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	2354	-973	722322973	9628570532	-0,19067	0,32687	0,37842
1	2242	-973	722272988	9628570532	0,28667	-0,00536	0,28672
2	2131	-973	722222994	9628570547	0,36819	-0,30836	0,48026
3	2354	-1088	722322972	9628520546	-0,21468	0,34394	0,40544
4	2354	-1203	722323003	9628470560	-0,19578	0,03619	0,19910
5	2354	-1319	722322972	9628420528	-0,15219	-0,51510	0,53712
6	906	-1203	721672946	9628470506	0,10355	0,34992	0,36492
7	906	-1319	721672992	9628420551	-0,18001	-0,19673	0,26666
8	906	-4314	721672992	9627120499	-0,00994	0,30624	0,30640
9	906	-4199	721673008	9627170547	-0,05175	0,41137	0,41461
10	906	-4084	721672992	9627220533	-0,12619	0,22950	0,26191
11	906	-3969	721673008	9627270581	-0,13507	-0,19907	0,24056
12	1017	-4314	721722994	9627120530	0,06841	0,17941	0,19201
13	1129	-4314	721773011	9627120546	0,11665	0,04522	0,12511
14	1240	-4314	721822981	9627120515	0,18077	-0,09666	0,20499
15	2020	-4315	722172991	9627120561	0,04094	-0,40037	0,40246
16	2354	-3969	722322979	9627270534	-0,02245	-0,36561	0,36630
17	2354	-3853	722322979	9627320540	-0,00065	-0,06968	0,06968
18	2354	-3738	722322981	9627370537	0,07599	-0,05015	0,09105
19	1908	-4314	722122980	9627120555	0,03252	0,00195	0,03258
20	2354	-1434	722322985	9628370528	0,00568	-0,02356	0,02423
21	906	-1434	721673029	9628370497	1,67E-06	0,00005	0,00005

Tabela A.9: Georreferenciamento da UT10 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 10 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
720265662	9629616431	0,21999	0,22005	0,00	0,28404

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	4806	-209	721322981	9629570538	-0,28158	-0,23950	0,36966
1	4579	-209	721272981	9629570539	-0,19837	-0,16629	0,25885
2	4352	-209	721222981	9629570538	-0,09333	-0,07892	0,12223
3	4124	-209	721172981	9629570538	-0,00035	-0,00069	0,00077
4	4806	-436	721322980	9629520539	-0,10563	0,12452	0,16328
5	4806	-663	721322981	9629470538	-0,10566	0,22515	0,24871
6	4806	-890	721322974	9629420541	-0,10299	0,30777	0,32454
7	260	-208	720322969	9629570553	0,25099	0,17388	0,30533
8	487	-209	720372986	9629570546	0,46662	-0,05099	0,46939
9	260	-436	720322985	9629520544	0,58501	-0,16928	0,60901
10	260	-663	720322977	9629470551	0,24272	-0,09045	0,25903
11	261	-890	720322977	9629420534	-0,11290	-0,01913	0,11451
12	261	-4753	720323008	9628570510	-0,43144	0,07592	0,43806
13	261	-4526	720322977	9628620542	-0,34163	0,18431	0,38818
14	261	-4298	720322985	9628670544	-0,25476	0,11795	0,28074
15	261	-4071	720322981	9628720538	-0,17192	0,12151	0,21052
16	488	-4753	720372981	9628570537	-0,23992	0,02010	0,24076
17	715	-4753	720422978	9628570541	-0,07897	-0,03894	0,08805
18	942	-4753	720472983	9628570537	0,06335	-0,09633	0,11529
19	4806	-4753	721322988	9628570533	0,17913	-0,04825	0,18552
20	4806	-4526	721322980	9628620538	0,10181	0,00919	0,10223
21	4806	-4298	721322988	9628670543	0,23132	-0,00903	0,02483
22	4806	-4071	721322980	9628720545	0,00593	-0,00289	0,00659
23	4579	-4753	721273025	9628570517	0,24412	-0,08337	0,25796
24	4351	-4753	721222985	9628570541	0,21873	-0,14030	0,25986
25	4124	-4753	721172980	9628570537	0,13790	-0,12594	0,18676

Tabela A.10: Georreferenciamento da UT11 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 11 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
720262308	9630614588	0,21924	0,21995	0,00	0,29096

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	4838	-201	721322987	9630570539	-0,14650	-0,24859	0,28855
1	4610	-200	721272981	9630570538	0,14676	-0,03811	0,15163
2	4381	-200	721222982	9630570538	0,51374	0,14303	0,53328
3	4838	-428	721322981	9630520537	-0,37052	-0,04971	0,37384
4	277	-655	720322981	9630470538	-0,14489	0,09247	0,17188
5	277	-882	720322979	9630420535	-0,08168	0,05645	0,09928
6	276	-4747	720322971	9629570527	0,47788	0,14977	0,50080
7	277	-4519	720322980	9629620539	-0,13381	0,08210	0,15699
8	733	-4747	720422982	9629570537	0,29493	0,09389	0,30951
9	961	-4747	720472981	9629570535	-0,25386	0,04423	0,25768
10	4382	-4747	721222980	9629570536	0,12884	-0,03138	0,13261
11	4154	-4747	721172986	9629570528	-0,22844	0,00815	0,22858
12	4837	-4520	721322975	9629620545	0,48552	-0,22917	0,53689
13	4838	-4292	721322983	9629670538	-0,03857	-0,11756	0,12373
14	4838	-4065	721322987	9629720534	-0,44791	-0,05598	0,45139
15	277	-1110	720322981	9630370538	-0,08103	0,05302	0,09684
16	277	-1337	720322981	9630320538	-0,08100	0,04941	0,09488
17	1189	-4747	720522981	9629570538	-0,06263	-0,00388	0,06275
18	4838	-3837	721322980	9629770534	-0,00392	-0,00069	0,00398
19	4838	-882	721322983	9630420540	-0,00953	0,00920	0,01325
20	3926	-4747	721122988	9629570539	0,03659	-0,00665	0,03719

Tabela A.11: Georreferenciamento da UT12 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 12 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
719256295	9629613291	0,21984	0,22004	0,00	0,28973

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	303	-194	719322986	9629570550	0,23929	0,17442	0,29611
1	303	-421	719322981	9629520536	0,14554	0,19558	0,24379
2	303	-649	719322981	9629470538	0,14665	0,18958	0,23967
3	303	-876	719322980	9629420537	0,19185	0,19017	0,27013
4	304	-4739	719322992	9628570486	-0,15909	0,00152	0,15910
5	303	-4512	719322977	9628620534	-0,10835	0,00275	0,10839
6	303	-4284	719322984	9628670536	-0,00063	0,00045	0,00077
7	303	-4057	719322973	9628720545	-0,06916	-0,00388	0,06927
8	531	-4739	719372990	9628570525	-0,13809	0,00055	0,13809
9	758	-4739	719422979	9628570541	-0,15612	-0,01537	0,15688
10	4852	-4739	720322973	9628570541	0,41947	-0,11139	0,43401
11	4852	-4512	720322981	9628620542	0,30633	-0,08342	0,31748
12	4852	-4285	720322981	9628670536	0,15883	-0,06136	0,17027
13	4852	-4057	720322981	9628720537	-0,00110	-0,01333	0,01338
14	4397	-4739	720222982	9628570541	0,52093	0,09841	0,53015
15	4169	-4739	720172957	9628570514	0,41332	0,09338	0,42373
16	4852	-422	720322993	9629520540	-0,36448	-0,13329	0,38808
17	4852	-649	720322993	9629470554	-0,30525	-0,05205	0,30966
18	4852	-876	720322993	9629420522	-0,23449	0,09295	0,25224
19	4625	-194	720272929	9629570557	-0,49141	-0,10258	0,50200
20	4398	-194	720222990	9629570541	-0,31177	-0,14399	0,34342
21	4170	-195	720172989	9629570541	-0,09302	-0,23191	0,24987
22	303	-1103	719322981	9629370539	0,24367	0,18724	0,30731
23	304	-1331	719322983	9629320538	-0,40694	-0,08567	0,41586
24	4852	-1103	720322972	9629370600	0,02168	-0,03201	0,03866
25	3942	-194	720122982	9629570543	0,01684	-0,16896	0,16980
26	4852	-3830	720322980	9628770540	0,01197	0,01059	0,01598
27	3942	-4739	720122951	9628570512	0,00355	0,00162	0,00390

Tabela A.12: Georreferenciamento da UT13 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 13 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
719258502	9630617668	0,22012	0,22007	0,00	0,26166

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	293	-214	719322978	9630570544	-0,30861	0,03132	0,31020
1	520	-214	719372979	9630570537	-0,39179	-0,09162	0,40236
2	747	-214	719422973	9630570539	-0,24704	-0,18526	0,30879
3	975	-214	719472982	9630570537	-0,12434	-0,20423	0,23910
4	293	-441	719322982	9630520535	-0,19357	0,06692	0,20481
5	293	-668	719322978	9630470534	-0,07960	0,08455	0,11612
6	293	-896	719323017	9630420533	0,05429	0,07216	0,09030
7	293	-4758	719322978	9629570540	0,35097	0,03519	0,35273
8	293	-4531	719322982	9629620536	0,26025	0,01231	0,26055
9	293	-4304	719322973	9629670547	0,18690	0,10949	0,21661
10	293	-4076	719322973	9629720529	0,11994	0,17093	0,20881
11	520	-4758	719373004	9629570485	0,23949	0,04497	0,24368
12	747	-4758	719422985	9629570535	0,12851	0,08860	0,15609
13	974	-4758	719472977	9629570535	0,02062	0,12658	0,12825
14	4836	-4758	720323004	9629570535	0,23154	-0,17189	0,28837
15	4609	-4758	720272993	9629570535	0,13189	-0,12340	0,18062
16	4154	-4758	720172926	9629570550	0,07180	-0,04654	0,08557
17	4836	-4531	720322989	9629620531	0,05894	0,02316	0,06333
18	4836	-4304	720322982	9629670542	0,11895	-0,08402	0,14563
19	4836	-4077	720322982	9629720537	0,18375	-0,15637	0,24128
20	4836	-214	720323008	9630570546	-0,02390	0,53602	0,53655
21	4609	-214	720272982	9630570531	-0,15840	0,26404	0,30791
22	4836	-442	720322986	9630520535	-0,18049	-0,17004	0,24797
23	4382	-214	720222978	9630570576	-0,21026	0,04308	0,21463
24	4155	-214	720172982	9630570531	-0,26448	-0,18173	0,32090
25	4836	-669	720323001	9630470568	-0,06182	-0,15316	0,16516
26	4836	-896	720322941	9630420557	0,08647	-0,14104	0,16544

Tabela A.13: Georreferenciamento da UT14 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 14 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
7192245898	9628616379	0,22003	0,22028	0,00	0,29909

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	4895	-208	720322992	9628570554	0,05406	-0,12989	0,14069
1	4668	-208	720272982	9628570543	0,10444	-0,07832	0,13055
2	441	-208	720222973	9628570543	0,14239	-0,02457	0,14450
3	4213	-208	720172946	9628570577	0,18404	-0,02349	0,18553
4	3986	-208	720122989	9628570554	0,21142	-0,00210	0,21143
5	3759	-208	720072974	9628570531	0,20507	0,00953	0,20529
6	3532	-208	720022982	9628570543	0,20439	0,02388	0,20578
7	4895	-435	720322957	9628520574	0,35118	0,00021	0,35118
8	4895	-662	720322911	9628470501	0,25283	-0,02225	0,25380
9	4895	-889	720323003	9628420520	0,18930	-0,05233	0,19640
10	4895	-1116	720323003	9628370540	0,11664	-0,08427	0,14390
11	4895	-1343	720322980	9628320548	0,04527	-0,10650	0,11572
12	4895	-1570	720323003	9628270567	-0,02733	-0,12587	0,12880
13	351	-208	719323024	9628570496	-0,20902	0,42447	0,47315
14	578	-208	719372981	9628570537	-0,09443	0,33551	0,34855
15	805	-208	719422979	9628570528	-0,00876	0,23194	0,23211
16	1032	-208	719472982	9628570528	0,08966	0,16950	0,19175
17	1259	-208	719522986	9628570528	0,16650	0,11727	0,20365
18	1486	-208	719572989	9628570528	0,23539	0,11954	0,26400
19	1713	-208	719622982	9628570537	0,42641	0,08004	0,43386
20	1941	-208	719673003	9628570525	0,20424	-0,01263	0,20463
21	350	-435	719322977	9628520522	0,63716	-0,06992	0,64098
22	350	-662	719322989	9628470530	0,50367	-0,08905	0,51149
23	350	-889	719322989	9628420549	0,32004	-0,11089	0,34056
24	350	-1116	719322989	9628370534	0,17326	-0,13709	0,22094
25	350	-1343	719322989	9628320530	0,01260	-0,15124	0,15176
26	350	-1570	719322989	9628270550	-0,10492	-0,15774	0,18945
27	1487	-4748	719572984	9627570534	-0,68548	0,14009	0,69965
28	1715	-4747	719623080	9627570650	-0,61200	0,13185	0,62604
29	1941	-4747	719672829	9627570650	-0,52454	0,13696	0,54213
30	2169	-4748	719722948	9627570510	-0,45748	0,10304	0,46894
31	2396	-4748	719772975	9627570557	-0,40236	0,09391	0,41317
32	2623	-4748	719823002	9627570557	-0,34041	0,08823	0,35166
33	2850	-4748	719872982	9627570557	-0,27917	0,05874	0,28528

(continua)

Tabela A.14: Conclusão.

UT: 14 Parâmetros de transformação (Linear)

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
34	3077	-4748	719922963	9627570510	-0,21840	0,04377	0,22274
35	3305	-4748	719972990	9627570557	-0,16084	0,02399	0,16262
36	3532	-4748	720022970	9627570510	-0,11355	0,02194	0,11565
37	3759	-4747	720073043	9627570603	-0,06767	-0,01771	0,06995
38	3987	-4748	720123070	9627570603	0,00120	-0,08134	0,08135
39	4213	-4748	720173004	9627570510	0,08292	-0,14749	0,16920
40	4895	-1796	720322899	9628220674	-0,04565	-0,11085	0,11988
41	495	-2024	720322992	9628170531	-0,07697	-0,10898	0,13342
42	4895	-2251	720322983	9628120539	-0,10152	-0,10605	0,14681
43	4895	-2478	720323006	9628070506	-0,11248	-0,10519	0,15400
44	4895	-2705	720322983	9628020549	-0,10004	-0,09965	0,14121
45	4895	-2932	720322983	9627970537	-0,09344	-0,09955	0,13653
46	4895	-3159	720322983	9627920539	-0,08655	-0,06990	0,11125
47	4895	-3386	720322972	9627870529	-0,02874	-0,03830	0,04788
48	4895	-3613	720322983	9627820543	0,03573	0,00874	0,03678

Tabela A.15: Georreferenciamento da UT15 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 15 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
719230682	9631618499	0,22022	0,22020	0,00	0,17869

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	419	-218	719323009	9631570471	-0,05386	0,12780	0,13868
1	647	-217	719373128	9631570595	-0,10756	0,09275	0,14203
2	873	-217	719422959	9631570595	-0,13095	0,05771	0,14310
3	1101	-218	719473017	9631570533	-0,15846	0,01453	0,15912
4	1327	-218	719522972	9631570574	-0,17290	-0,04192	0,17791
5	1554	-218	719572968	9631570574	-0,19148	-0,06784	0,20314
6	1781	-218	719622922	9631570491	-0,20404	-0,12471	0,23913
7	2009	-217	719673001	9631570656	-0,20033	-0,10284	0,22518
8	2236	-218	719722997	9631570574	-0,20160	-0,09843	0,22435
9	2463	-218	719772992	9631570553	-0,19849	-0,12038	0,23214
10	2690	-218	719822988	9631570553	-0,20101	-0,11067	0,22946
11	2917	-218	719873005	9631570553	-0,20551	-0,04464	0,21031
12	3144	-218	719923001	9631570553	-0,21126	0,00240	0,21127
13	3371	-217	719972955	9631570595	-0,22373	0,12701	0,25727
14	419	-445	719323009	9631520516	-0,17658	0,13299	0,22106
15	419	-672	719322988	9631470541	-0,10722	0,10250	0,14833
16	419	-899	719322988	9631420545	-0,04187	0,04481	0,06133
17	419	-1126	719322988	9631370549	0,04680	0,01279	0,04852
18	419	-1353	719322988	9631320553	0,12664	-0,00972	0,12701
19	419	-1580	719322978	9631270547	0,23264	-0,03656	0,23550
20	419	-4759	719322985	9630570511	0,19210	-0,05810	0,20070
21	419	-4532	719322985	9630620542	0,19650	-0,06710	0,20764
22	419	-4305	719322985	9630670517	0,19119	-0,07275	0,20456
23	419	-4078	719322985	9630720540	0,20514	-0,06089	0,21398
24	419	-3851	719322985	9630770543	0,19946	-0,06466	0,20968
25	419	-3624	719322978	9630820539	0,21305	-0,07168	0,22479
26	646	-4759	719373001	9630570560	0,14962	0,00573	0,14973
27	873	-4759	719422983	9630570532	0,10981	0,05181	0,12142
28	1100	-4759	719472965	9630570560	0,06934	0,09057	0,11407
29	1328	-4757	719523126	9630570862	0,01572	0,19205	0,19269
30	419	-3396	719323033	9630870618	0,21638	-0,07226	0,22813
31	1555	-4758	719573177	9630570642	-0,05163	0,20390	0,21033
32	1782	-4759	719623008	9630570532	-0,09248	0,22394	0,24228
33	4960	-4759	720323006	9630570532	-0,04905	-0,18595	0,19231

(continua)

Tabela A.16: Conclusão.

UT: 15 Parâmetros de transformação (Linear)

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
34	4733	-4759	720272982	9630570560	-0,08336	-0,12162	0,14745
35	4506	-4759	720222986	9630570532	-0,09874	-0,06525	0,11835
36	4279	-4759	720172991	9630570511	-0,11169	-0,02546	0,11455
37	4052	-4759	720122940	9630570484	-0,11498	0,01689	0,11621
38	3825	-4759	720072999	9630570594	-0,11791	0,09279	0,15004
39	3599	-4760	720023278	9630570264	-0,23616	0,15145	0,28055
40	4960	-4532	720323006	9630620562	-0,00835	-0,15499	0,15521
41	4960	-4305	720322978	9630670531	0,04063	-0,11349	0,12054
42	4960	-4078	720322978	9630720540	0,08132	-0,08682	0,11895
43	4960	-3851	720322978	9630770540	0,12396	-0,05493	0,13559
44	4960	-3624	720322982	9630820539	0,13668	-0,03015	0,13996
45	4960	-3397	720322982	9630870538	0,15005	0,00346	0,15009
46	4960	-3170	720322983	9630920545	0,16428	0,02905	0,16682
47	4960	-2943	720322983	9630970541	0,17901	0,03015	0,18153
48	4960	-2715	720322980	9631020540	0,20445	0,02932	0,20655
49	4960	-2488	720322983	9631070539	0,16849	0,03270	0,17163
50	4960	-2261	720322980	9631120545	0,14226	0,03424	0,14633
51	4960	-2034	720323008	9631170555	0,09881	0,04744	0,10961
52	4960	-1807	720323008	9631220551	0,06363	0,04823	0,07985
53	4960	-1580	720323008	9631270547	0,03469	0,04064	0,05343
54	4960	-1353	720322994	9631320529	-0,00144	0,02418	0,02423
55	4960	-1126	720323063	9631370511	-1,22E-06	-1,18E-05	1,18E-05

Tabela A.17: Georreferenciamento da UT16 I da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 16 I Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
723248481	9629010602	0,22011	0,22017	0,00	0,20735

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	338	-863	723322988	9628820513	0,13740	0,04178	0,14361
1	339	-1090	723322988	9628770528	-0,00054	0,02565	0,02565
2	339	-1318	723322988	9628720526	-0,10325	0,00029	0,10325
3	339	-1545	723322988	9628670525	-0,21075	-0,02472	0,21219
4	339	-1772	723322988	9628620555	-0,26329	-0,04919	0,26784
5	338	-1999	723322926	9628570522	-0,26492	-0,09577	0,28170
6	339	-2226	723323050	9628520552	-0,26673	-0,09842	0,28431
7	565	-863	723372990	9628820591	0,25708	0,03310	0,25920
8	793	-863	723422991	9628820560	0,24241	-0,02846	0,24408
9	1020	-863	723472961	9628820529	0,23704	-0,01715	0,23766
10	1247	-863	723522994	9628820560	0,24205	0,06118	0,24966
11	1474	-863	723572964	9628820560	0,24679	0,08612	0,26138
12	1701	-863	723622965	9628820529	0,24917	0,15189	0,29181
13	338	-3816	723322988	9628170573	0,10897	-0,19262	0,22131
14	339	-3589	723322988	9628220543	-0,04067	-0,18873	0,19306
15	339	-3362	723322973	9628270529	-0,13038	-0,16286	0,20862
16	339	-3134	723322988	9628320546	-0,20770	-0,14449	0,25302
17	339	-2907	723322988	9628370540	-0,24109	-0,12446	0,27132
18	339	-2680	723322988	9628420518	-0,27130	-0,10016	0,28920
19	339	-2453	723323050	9628470644	-0,28827	-0,08448	0,30040
20	566	-3816	723373021	9628170573	0,11565	-0,16103	0,19825
21	793	-3816	723422991	9628170542	0,12315	-0,13073	0,17960
22	1020	-3816	723472992	9628170511	0,11445	-0,09156	0,14657
23	1247	-3816	723522994	9628170542	0,11905	-0,07752	0,14206
24	1474	-3816	723572964	9628170511	0,10549	-0,05055	0,11698
25	1701	-3816	723622997	9628170542	0,11161	-0,01656	0,11284
26	1929	-3816	723672982	9628170534	0,09686	0,01326	0,09776
27	4882	-3816	724322977	9628170534	-0,07234	0,01971	0,07498
28	4655	-3815	724272991	9628170534	-0,36216	0,06461	0,36787
29	4428	-3815	724222990	9628170550	-0,20040	0,09629	0,22233
30	4200	-3815	724172989	9628170565	-0,09337	0,14132	0,16938
31	3973	-3815	724122987	9628170534	-0,03091	0,17994	0,18257
32	3746	-3815	724072955	9628170565	0,00509	0,20755	0,20762
33	3519	-3815	724022984	9628170627	0,01331	0,16199	0,16253

(continua)

Tabela A.18: Conclusão.

UT: 16 | Parâmetros de transformação (Linear)

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
34	3292	-3816	723973014	9628170503	0,02330	0,13491	0,13691
35	4883	-3589	724323179	9628220473	0,03067	0,01455	0,03394
36	4884	-3362	724323428	9628270444	0,00128	0,00015	0,00129
37	3064	-3814	723922982	9628170752	0,07614	0,11407	0,13715
38	2837	-3815	723873011	9628170534	0,09297	0,09470	0,13271
39	2610	-3815	723822994	9628170550	0,09392	0,08105	0,12406
40	2383	-3815	723772993	9628170550	0,10197	0,06521	0,12104
41	2156	-3815	723722992	9628170550	0,10226	0,05014	0,11389

Tabela A.197: Georreferenciamento da UT16 II da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 16 II Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
721239620	9630423370	0,21940	0,22005	0,00	0,32048

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	836	-921	721423034	9630220564	-0,27839	0,49308	0,56624
1	1064	-921	721473030	9630220564	-0,12916	0,23066	0,26436
2	1292	-922	721522985	9630220537	-0,04386	0,05466	0,07009
3	1520	-922	721573036	9630220592	-0,00975	-0,10559	0,10604
4	1748	-922	721623087	9630220482	-0,01507	-0,24705	0,24751
5	1975	-922	721672973	9630220592	-0,01713	-0,35955	0,35996
6	2203	-922	721723023	9630220592	-0,03823	-0,39305	0,39490
7	2431	-922	721773019	9630220592	-0,07821	-0,37677	0,38480
8	380	-1603	721323001	9630070522	0,49420	0,03654	0,49555
9	380	-1831	721322994	9630020539	0,26885	0,15129	0,30849
10	380	-2058	721322994	9629970537	0,03326	0,26132	0,26342
11	380	-2285	721322984	9629920541	-0,21032	0,35973	0,41670
12	4938	-3876	722322991	9629570542	-0,11059	0,17843	0,20992
13	4710	-3876	722272982	9629570542	0,03696	0,06975	0,07894
14	4482	-3876	722223000	9629570542	0,24820	-0,03498	0,25065
15	4254	-3876	722172976	9629570528	0,34283	-0,09455	0,35563
16	4026	-3876	722122994	9629570528	0,34959	-0,15853	0,38385
17	3798	-3876	722072943	9629570542	0,29823	-0,16963	0,34310
18	3570	-3876	722023002	9629570542	0,20256	-0,19108	0,27846
19	4938	-3648	722322978	9629620565	-0,21745	0,18501	0,28550
20	4938	-3421	722322985	9629670534	-0,26540	0,19061	0,32675
21	4938	-3194	722322964	9629720550	-0,20690	0,19850	0,28672
22	4938	-2967	722322978	9629770532	-0,08725	0,18736	0,20668
23	4938	-2739	722322936	9629820549	0,14256	0,17880	0,22867
24	3342	-3877	721972800	9629570404	0,09628	-0,19155	0,21438
25	3115	-3876	721922969	9629570569	-0,02449	-0,15637	0,15827
26	2887	-3876	721873001	9629570514	-0,13608	-0,14814	0,20115
27	2659	-3876	721823032	9629570569	-0,25847	-0,09807	0,27645
28	2431	-3876	721772981	9629570542	-0,38676	-0,05081	0,39008

ANEXO B – CONVERSÃO DOS SISTEMAS DE COORDENADAS DA UPA 2016

Abaixo são apresentadas as etapas das conversões realizadas entre os sistemas de coordenadas dos limites das UTs selecionadas da UPA 2016.

Tabela B.1: Etapas de conversão entre os sistemas de coordenadas para o deslocamento das UTs e amostras da UPA 2016.

UT	Coord. Cartesianas limites das UTs (<i>shapefile</i>) - deslocadas		Coord. Geográficas (grau, min, seg) limites das UTs - POA/Datum: SIRGAS 2000		Coord. Geográfica (grau decimal) limites das UTs - POA/Datum: SIRGAS		Coord. UTM limites das UTs - POA/Datum: SIRGAS 2000	
	X	Y	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
9	1,7073001	1471,6131390	03° 18' 34,51"	55° 02' 55,68"	-3,3095861	-55,0488000	716801,9182	9633974,03
10	-9,8914174	492,1262646	03° 18' 49,77"	55° 03' 26,55"	-3,3138250	-55,0573750	715847,8474	9633507,091

UT	Δ	Coord. UTM limites das UTs - POA/Datum: SIRGAS 2000	Coord. Cartesianas limites das UTs (<i>shapefile</i>) - deslocadas	Distância em Coord.
9	ΔX	716801,9182	1,707300141	716800,2109
	ΔY	9633974,03	1471,613139	9632502,417
10	ΔX	715847,8474	-9,8914174	715857,7388
	ΔY	9633507,091	492,1262646	9633014,965

ANEXO C – GEORREFERENCIAMENTO POR PONTOS DE CONTROLE UPA 2018

A seguir, são apresentados os parâmetros e seus respectivos valores processados durante o georreferenciamento das amostras de corte seletivo de todas as Unidades de Trabalho (UT) que constituem a área total da Unidade de Produção Anual (UPA) de 2018.

Tabela C.1: Georreferenciamento da UT01 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 01 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
715157665	9627246321	0,15603	0,15601	0,00	0,16448

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	1553	-1579	715400000	9627000000	0,14355	-0,01986	0,14492
1	1553	-2861	715400000	9626800000	-0,03692	0,00094	0,03694
2	1553	-4143	715400000	9626600000	0,02710	0,00775	0,02818
3	1553	-5425	715400000	9626400000	0,20218	0,01005	0,20243
4	1553	-6707	715400000	9626200000	0,08703	0,02858	0,09161
5	1553	-7989	715400000	9626000000	-0,08530	0,04267	0,09538
6	1553	-9271	715400000	9625800000	0,26705	0,04957	0,27162
7	2835	-9271	715600000	9625800000	0,27404	-0,19919	0,33879
8	2835	-7989	715600000	9626000000	0,06553	0,10506	0,12382
9	2835	-6707	715600000	9626200000	-0,02226	-0,16135	0,16287
10	2835	-5425	715600000	9626400000	-0,02226	-0,03268	0,03954
11	2835	-4143	715600000	9626600000	0,06553	0,09599	0,11622
12	2835	-2861	715600000	9626800000	0,02164	0,09296	0,09545
13	2835	-1579	715600000	9627000000	0,02164	-0,04175	0,04703
14	4117	-1579	715800000	9627000000	-0,24666	0,00214	0,24667
15	4117	-2861	715800000	9626800000	-0,11497	-0,12652	0,17096
16	4117	-4143	715800000	9626600000	-0,13692	0,18378	0,22918
17	4117	-5425	715800000	9626400000	-0,15887	-0,12047	0,19938
18	4117	-6707	715800000	9626200000	-0,02718	-0,16135	0,16362
19	4117	-7989	715800000	9626000000	-0,09302	-0,18027	0,20286
20	4117	-9271	715800000	9625800000	0,01672	-0,02361	0,02893
21	5399	-1579	716000000	9627000000	-0,01006	-0,00979	0,01404
22	5399	-2861	716000000	9626800000	0,00474	-0,00333	0,00579
23	5399	-4143	716000000	9626600000	-0,16379	0,00819	0,16399

(continua)

Tabela C.1: Conclusão.

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
24	5399	-5425	71600000	962640000	-0,01704	-0,01239	0,02107
25	5399	-6707	71600000	962620000	-0,07599	-0,13940	0,15877
26	5399	-7989	71600000	962600000	-0,00211	-0,00333	0,00394
27	5399	-9271	71600000	962580000	-0,25158	-0,13335	0,28474
28	6680	-1579	71620000	962700000	-0,02717	-0,02663	0,03805
29	6681	-2861	71620000	962680000	-0,34429	-0,06068	0,34960
30	6680	-4143	71620000	962660000	-0,05271	-0,01163	0,05398
31	6680	-5425	71620000	962640000	-0,03557	-0,01024	0,03701
32	6680	-6707	71620000	962620000	-0,05024	0,00867	0,05099
33	6680	-7989	71620000	962600000	-0,01945	-0,00718	0,02073
34	6680	-9271	71620000	962580000	-0,04381	0,00634	0,04426
35	7962	-1579	71640000	962700000	-0,04053	0,00664	0,04107
36	7962	-2861	71640000	962680000	-0,05427	0,00079	0,05428
37	7962	-4143	71640000	962660000	-0,05960	-0,00874	0,06024
38	7962	-5425	71640000	962640000	-0,04683	-0,00425	0,04703
39	7962	-6707	71640000	962620000	0,22145	0,25567	0,33824
40	7962	-7989	71640000	962600000	-0,00880	0,01993	0,02178
41	7962	-9271	71640000	962580000	0,00898	0,08614	0,12440
42	9244	-1579	71660000	962700000	0,21653	0,06799	0,22695
43	9244	-2861	71660000	962680000	0,17263	-0,14847	0,22770
44	9244	-4143	71660000	962660000	0,08484	0,03014	0,09003
45	9244	-5425	71660000	962640000	0,00000	0,00000	0,00001
46	9244	-6707	71660000	962620000	-0,26634	0,21178	0,34027
47	9244	-7989	71660000	962600000	0,39212	-0,00468	0,39214
48	9244	-9271	71660000	962580000	0,12873	0,13003	0,18298
49	10526	-1579	71680000	962700000	0,12382	0,06799	0,14126
50	10526	-2861	71680000	962680000	-0,00684	0,01623	0,01761
51	10526	-4143	71680000	962660000	-0,09567	-0,01376	0,09665
52	10526	-5425	71680000	962640000	0,03602	0,01122	0,03773
53	10526	-6707	71680000	962620000	0,01407	0,08009	0,08131
54	10526	-7989	71680000	962600000	-0,02982	-0,04858	0,05700
55	10526	-9271	71680000	962580000	-0,02982	0,08614	0,09115

Tabela C.2: Georreferenciamento da UT02 da UPA 2015 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 02 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
715224319	9626053978	0,13889	0,13888	0,00	0,15493

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	1265	-1829	715400000	9625800000	0,00091	0,00685	0,00691
1	1265	-3269	715400000	9625600000	0,02222	-0,01338	0,02593
2	1265	-4709	715400000	9625400000	0,10100	0,13165	0,16593
3	1265	-6149	715400000	9625200000	0,03915	0,06153	0,07293
4	1265	-7589	715400000	9625000000	0,29526	-0,02203	0,29608
5	1265	-9029	715400000	9624800000	0,22670	-0,09983	0,24771
6	2705	-1829	715600000	9625800000	0,03239	0,15970	0,16295
7	2705	-3269	715600000	9625600000	-0,04775	-0,14211	0,14992
8	2705	-4709	715600000	9625400000	0,00708	-0,13497	0,13515
9	2705	-6149	715600000	9625200000	-0,15743	-0,07299	0,17353
10	2705	-7589	715600000	9625000000	-0,04775	-0,14810	0,15561
11	2705	-9029	715600000	9624800000	-0,21227	0,05098	0,21830
12	4145	-1829	715800000	9625800000	0,02578	-0,09442	0,09787
13	4145	-3269	715800000	9625600000	-0,08389	-0,05985	0,10306
14	4145	-4709	715800000	9625400000	0,02578	0,08438	0,08823
15	4145	-6149	715800000	9625200000	-0,08389	-0,10040	0,13084
16	4145	-7589	715800000	9625000000	-0,08389	0,20834	0,22460
17	4145	-9029	715800000	9624800000	-0,00164	-0,00386	0,00419
18	5585	-1829	716000000	9625800000	0,00400	-0,00955	0,01035
19	5585	-3269	716000000	9625600000	0,00215	0,00229	0,00314
20	5585	-4709	716000000	9625400000	-0,17487	0,16664	0,24155
21	5585	-6149	716000000	9625200000	-0,06519	-0,07299	0,09786
22	5585	-7589	716000000	9625000000	-0,06519	-0,20294	0,21315
23	5585	-9029	716000000	9624800000	-0,17487	-0,00386	0,17491
24	7025	-1829	716200000	9625800000	-0,00393	0,10478	0,10486
25	7025	-3269	716200000	9625600000	-0,00676	0,01710	0,01839
26	7025	-4709	716200000	9625400000	-0,00301	-0,00282	0,00413
27	7025	-6149	716200000	9625200000	-0,04650	-0,21008	0,21516
28	7025	-7589	716200000	9625000000	-0,01058	0,00590	0,01212
29	7025	-9029	716200000	9624800000	0,11802	0,21549	0,24569
30	8465	-1828	716400000	9625800000	-0,01123	0,22067	0,22096
31	8465	-3269	716400000	9625600000	0,10930	-0,08727	0,13987
32	8465	-4709	716400000	9625400000	0,10930	-0,05271	0,12134
33	8465	-6149	716400000	9625200000	0,05446	0,14636	0,15617

(continua)

Tabela C.2: Conclusão.

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
34	8465	-7589	716400000	962500000	-0,05522	0,18093	0,18916
35	8465	-9029	716400000	962480000	-0,05522	-0,00386	0,05535
36	9905	-1829	716600000	962580000	-0,04258	0,04785	0,06405
37	9905	-3269	716600000	962560000	0,10058	-0,14211	0,17410
38	9905	-4709	716600000	962540000	-0,06394	-0,10755	0,12512
39	9905	-6149	716600000	962520000	0,10058	-0,12782	0,16265
40	9905	-7589	716600000	962500000	-0,00504	-0,00180	0,00536
41	9905	-9029	716600000	962480000	0,12800	0,10581	0,16607

Tabela C.3: Georreferenciamento da UT03 da UPA 2018 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 03 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
715194456	9625369821	0,18202	0,18201	0,00	0,18540

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	1129	-933	715400000	9625200000	0,24933	0,27291	0,36965
1	1129	-2032	715400000	9625000000	0,04858	0,06830	0,08381
2	1129	-3131	715400000	9624800000	0,10621	0,03953	0,11332
3	1129	-4229	715400000	9624600000	0,16115	0,01295	0,16167
4	1129	-5328	715400000	9624400000	-0,06731	-0,00084	0,06731
5	1129	-6427	715400000	9624200000	-0,12547	-0,02747	0,12844
6	1129	-7526	715400000	9624000000	-0,11891	-0,04070	0,04240
7	1129	-8625	715400000	9623800000	0,21341	-0,06810	0,22401
8	2228	-8625	715600000	9623800000	-0,12923	0,11644	0,17395
9	3327	-8625	715800000	9623800000	-0,06320	0,11644	0,13248
10	4426	-8625	716000000	9623800000	-0,01998	-0,03351	0,03901
11	5524	-8625	716200000	9623800000	0,23152	-0,20887	0,31181
12	6623	-8625	716400000	9623800000	0,21623	-0,04622	0,22111
13	7722	-8625	716600000	9623800000	-0,20569	-0,04622	0,21081
14	8821	-8625	716800000	9623800000	0,01533	-0,02708	0,03111
15	9919	-8625	717000000	9623800000	0,02609	0,01509	0,03014
16	9919	-7526	717000000	9624000000	0,25168	-0,32808	0,41350
17	8821	-7526	716800000	9624000000	0,03415	-0,02986	0,04536
18	9919	-933	717000000	9625200000	-0,11118	0,23416	0,25922
19	8821	-933	716800000	9625200000	-0,05053	0,12646	0,13618
20	7722	-933	716600000	9625200000	-0,01222	0,17773	0,17815
21	6623	-933	716400000	9625200000	0,01890	0,07953	0,08175
22	5524	-933	716200000	9625200000	-0,03473	0,03963	0,05270
23	4426	-933	716000000	9625200000	-0,05508	-0,00255	0,05513
24	3327	-933	715800000	9625200000	-0,07481	-0,04656	0,08811
25	2228	-933	715600000	9625200000	-0,09315	-0,08525	0,12627
26	9919	-2032	717000000	9625000000	0,00270	-0,00707	0,00757
27	8821	-2032	716800000	9625000000	-0,26963	-0,04458	0,27329
28	7722	-2032	716600000	9625000000	-0,14403	0,00466	0,14411
29	6623	-2032	716400000	9625000000	0,20317	-0,04458	0,20800
30	5524	-2032	716200000	9625000000	0,23028	-0,24156	0,33374
31	4426	-2032	716000000	9625000000	-0,05128	-0,07121	0,08775
32	3327	-2032	715800000	9625000000	-0,25719	-0,14307	0,29431
33	2228	-2032	715600000	9625000000	-0,03311	-0,19232	0,19515

(continua)

Tabela C.3: Conclusão.

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
34	9919	-3131	717000000	9624800000	0,05448	-0,00136	0,05449
35	8821	-3131	716800000	9624800000	-0,24501	-0,21549	0,32629
36	7722	-3131	716600000	9624800000	0,04292	-0,00757	0,04358
37	6623	-3131	716400000	9624800000	0,10468	-0,21549	0,23957
38	5524	-3131	716200000	9624800000	-0,00003	0,00009	0,00010
39	4426	-3131	716000000	9624800000	-0,00124	-0,01749	0,01754
40	3327	-3131	715800000	9624800000	0,00525	-0,00428	0,00677
41	2228	-3131	715600000	9624800000	-0,03311	-0,16625	0,16951
42	9919	-4230	717000000	9624600000	0,00707	-0,06127	0,06168
43	8821	-4229	716800000	9624600000	0,05087	-0,02251	0,05563
44	7722	-4230	716600000	9624600000	0,02501	-0,02858	0,03798
45	6623	-4230	716400000	9624600000	-0,01212	-0,04612	0,04768
46	5524	-4230	716200000	9624600000	-0,03692	-0,04544	0,05854
47	4426	-4230	716000000	9624600000	-0,04669	-0,04181	0,06268
48	3327	-4230	715800000	9624600000	-0,02351	-0,05411	0,05900
49	2228	-4230	715600000	9624600000	-0,03574	-0,03643	0,05103
50	9919	-5328	717000000	9624400000	0,02528	-0,06252	0,06744
51	8821	-5328	716800000	9624400000	0,03003	-0,05352	0,06137
52	7722	-5328	716600000	9624400000	0,00390	-0,00670	0,00776
53	6623	-5328	716400000	9624400000	0,15392	0,14443	0,21107
54	5524	-5328	716200000	9624400000	0,40263	0,14443	0,42775
55	4426	-5328	716000000	9624400000	-0,03804	-0,03782	0,05364
56	3327	-5328	715800000	9624400000	-0,04531	-0,04669	0,06506
57	2228	-5328	715600000	9624400000	0,01614	0,31678	0,31719
58	9919	-6427	717000000	9624200000	0,01895	-0,02967	0,03521
59	8821	-6427	716800000	9624200000	-0,24501	0,19512	0,31321
60	7722	-6427	716600000	9624200000	-0,16866	0,24436	0,29691
61	6623	-6427	716400000	9624200000	0,00619	0,04739	0,04779
62	5524	-6427	716200000	9624200000	0,00904	0,00183	0,00922
63	4426	-6427	716000000	9624200000	0,00299	0,00277	0,00407
64	3327	-6427	715800000	9624200000	-0,26951	0,26899	0,38077
65	7722	-7526	716600000	9624000000	0,06526	-0,14815	0,16188
66	6623	-7526	716400000	9624000000	0,04312	0,29506	0,29819
67	5524	-7526	716200000	9624000000	0,24259	-0,07428	0,25370
68	4426	-7526	716000000	9624000000	0,01528	0,00684	0,01674
69	3327	-7526	715800000	9624000000	-0,25719	-0,03734	0,25989
70	2228	-7526	715600000	9624000000	-0,03766	0,00214	0,03772
71	2228	-6427	715600000	9624200000	-0,02887	0,22252	0,22439

Tabela C.4: Georreferenciamento da UT04 da UPA 2018 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 04 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
715115471	9624263548	0,14906	0,14908	0,00	0,19127

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	1909	-3109	715400000	9623800000	-0,09363	0,04085	0,10215
1	3251	-3109	715600000	9623800000	-0,09012	0,02979	0,09492
2	1909	-4451	715400000	9623600000	-0,12916	-0,04048	0,13536
3	1909	-5793	715400000	9623400000	-0,08383	0,00411	0,08393
4	1909	-7134	715400000	9623200000	-0,09808	-0,03381	0,10374
5	7276	-7134	716200000	9623200000	-0,06812	-0,00498	0,06830
6	5934	-7134	716000000	9623200000	-0,06463	-0,00577	0,06489
7	4592	-7134	715800000	9623200000	-0,06389	0,01724	0,06617
8	3251	-7134	715600000	9623200000	-0,05896	0,01102	0,05998
9	3251	-5793	715600000	9623400000	-0,05096	0,01624	0,05348
10	3251	-4451	715600000	9623600000	-0,04580	0,01363	0,04779
11	567	-1768	715200000	9624000000	-0,09772	0,01376	0,09868
12	1909	-1768	715400000	9624000000	-0,20339	0,10617	0,22944
13	3251	-1768	715600000	9624000000	-0,12578	0,14221	0,18985
14	4592	-1768	715800000	9624000000	-0,10422	0,08521	0,13462
15	5934	-1768	716000000	9624000000	-0,08102	0,03485	0,08820
16	7276	-1768	716200000	9624000000	-0,04160	-0,04894	0,06423
17	8618	-1768	716400000	9624000000	-0,08965	0,18384	0,20454
18	9959	-1768	716600000	9624000000	-0,06929	-0,05801	0,09036
19	567	-3110	715200000	9623800000	0,06578	-0,36706	0,37290
20	567	-4451	715200000	9623600000	0,15279	0,13664	0,20497
21	567	-5793	715200000	9623400000	0,08347	-0,20812	0,22424
22	567	-7134	715200000	9623200000	0,23648	0,06371	0,24491
23	567	-8476	715200000	9623000000	0,41565	-0,16346	0,44664
24	1909	-8476	715400000	9623000000	0,26618	0,21425	0,34169
25	3250	-8476	715600000	9623000000	0,33380	0,08572	0,34463
26	4592	-8476	715800000	9623000000	-0,00588	0,03222	0,03275
27	5934	-8476	716000000	9623000000	-0,12548	-0,12852	0,17961
28	7276	-8476	716200000	9623000000	0,00000	0,00000	0,00000
29	8617	-8476	716400000	9623000000	0,19982	-0,08497	0,21714
30	9959	-8476	716600000	9623000000	0,24913	0,24822	0,35168
31	9959	-7134	716600000	9623200000	0,33821	0,09296	0,35075
32	8618	-7134	716400000	9623200000	-0,02657	0,03933	0,04746
33	4592	-5793	715800000	9623400000	-0,01614	0,02790	0,03224

(continua)

Tabela C.4: Conclusão.

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
34	5934	-5793	71600000	9623400000	-0,03446	-0,01043	0,03601
35	7276	-5793	71620000	9623400000	-0,03692	0,00460	0,03720
36	8618	-5793	71640000	9623400000	-0,25862	-0,24740	0,35790
37	9959	-5793	71660000	9623400000	0,33134	-0,04113	0,33388
38	9959	-3110	71660000	9623800000	0,12823	-0,10231	0,16405
39	8618	-3110	71640000	9623800000	-0,05765	-0,03492	0,06740
40	7276	-3109	71620000	9623800000	-0,03063	-0,01127	0,03264
41	5934	-3109	71600000	9623800000	-0,14549	0,09294	0,17264
42	4592	-3110	71580000	9623800000	-0,05686	-0,05107	0,07643

Tabela C.5: Georreferenciamento da UT05 da UPA 2018 e os correspondentes pontos de controle.

UT: 05 Parâmetros de transformação (Linear)

Translação x	Translação y	Escala x	Escala y	Rotação [graus]	Erro médio [pixels]
715068520	9623138301	0,11844	0,11847	0,00	0,32531

ID	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Res X (pixels)	Res Y (pixels)	Res Total (pixels)
0	2799	-1167	715400000	9623000000	0,11949	0,03273	0,12390
1	2799	-2856	715400000	9622800000	-0,14712	-0,09553	0,17542
2	2799	-4544	715400000	9622600000	-0,16607	-0,10717	0,19765
3	2799	-6232	715400000	9622400000	-0,00300	-0,00228	0,00377
4	4488	-1167	715600000	9623000000	-0,01518	-0,00791	0,01712
5	6176	-1167	715800000	9623000000	-0,18546	0,48791	0,52197
6	7865	-1167	716000000	9623000000	-0,05423	0,40685	0,41045
7	9554	-1167	716200000	9623000000	-0,11632	0,31390	0,33475
8	7865	-2856	716000000	9622800000	-0,02369	-0,21035	0,21168
9	6176	-2856	715800000	9622800000	0,12859	-0,54672	0,56164
10	4487	-2856	715600000	9622800000	0,03974	-0,57809	0,57945
11	4487	-4544	715600000	9622600000	0,03921	-0,10171	0,10901
12	7865	-4544	716000000	9622600000	0,16770	-0,13740	0,21680
13	6176	-4544	715800000	9622600000	0,08960	-0,11954	0,14939
14	4487	-6232	715600000	9622400000	0,11252	0,30732	0,32727
15	6176	-6232	715800000	9622400000	0,02960	0,26703	0,26867
16	7865	-6232	716000000	9622400000	-0,03801	-0,28324	0,28577
17	4487	-7920	715600000	9622200000	0,03614	0,34673	0,34861
18	6176	-7920	715800000	9622200000	-0,01351	0,02747	0,03061

ANEXO D – TAXAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA ACUMULADA

Nas Tabela D.1 e Tabela D.2 podem ser observadas as taxas de precipitação pluviométrica acumulada em 24 horas em cada um dos três dias anteriores e no dia da aquisição das imagens ALOS/PALSAR-2 e Sentinel-1A, bem como a média da precipitação média acumulada em 24 horas nos três dias anteriores as passagens dos satélites.

Tabela D.1: Precipitação média acumulada nos três dias anteriores e no dia da aquisição das imagens ALOS/PALSAR-2.

Identificação das cenas	Data de aquisição	Precipitação média diária acumulada (mm)	Média da precipitação média diária acumulada em 4 dias (mm)
-	02/10/14	0,00	
-	03/10/14	0,00	
-	04/10/14	0,00	0,00
2019817120	05/10/14	0,00	
-	15/10/15	0,00	
-	16/10/15	0,00	
-	17/10/15	0,00	0,00
2075707120	18/10/15	0,00	
-	15/09/16	0,00	
-	16/09/16	0,00	
-	17/09/16	0,00	0,00
2125387120	18/09/16	0,00	
-	02/02/17	8,41	
-	03/02/17	12,67	
-	04/02/17	1,59	6,10
2092267120	05/02/17	1,74	
-	09/11/17	0,00	
-	10/11/17	0,00	
-	11/11/17	0,00	0,00
2187487120	12/11/17	0,00	
-	10/05/18	2,86	
-	11/05/18	8,37	
-	12/05/18	20,74	8,08
2214397120	13/05/18	0,36	

As identificações das cenas e datas de aquisição destacadas em negrito referem-se aos dias das aquisições das imagens ALOS/PALSAR-2.

Tabela D.2: Precipitação média acumulada nos três dias anteriores e no dia da aquisição das imagens Sentinel-1A.

Identificação das cenas	Data de aquisição	Precipitação média diária acumulada (mm)	Média da precipitação média diária acumulada em 4 dias (mm)
-	06/09/15	0,00	
-	07/09/15	0,00	0,00
-	08/09/15	0,00	
46EO	09/09/15	0,00	
-	16/01/16	0,00	
-	17/01/16	0,00	0,00
-	18/01/16	0,00	
FF27	19/01/16	0,00	
-	05/12/16	1,75	
-	06/12/16	0,00	1,94
-	07/12/16	3,88	
28CF	08/12/16	2,15	
-	27/02/17	0,00	
-	28/02/17	11,73	3,69
-	01/03/17	3,05	
DC59	02/03/17	0,00	
-	06/11/17	0,00	
-	07/11/17	0,00	0,00
-	08/11/17	0,00	
CAFC	09/11/17	0,00	
-	12/12/17	16,80	
-	13/12/17	1,41	5,95
-	14/12/17	50,53	
1BE4	15/12/17	0,87	
-	22/06/18	0,00	
-	23/06/18	1,64	0,63
-	24/06/18	0,00	
D673	25/06/18	0,87	
-	09/08/18	0,00	
-	10/08/18	0,00	0,00
-	11/08/18	0,00	
EFA0	12/08/18	0,00	

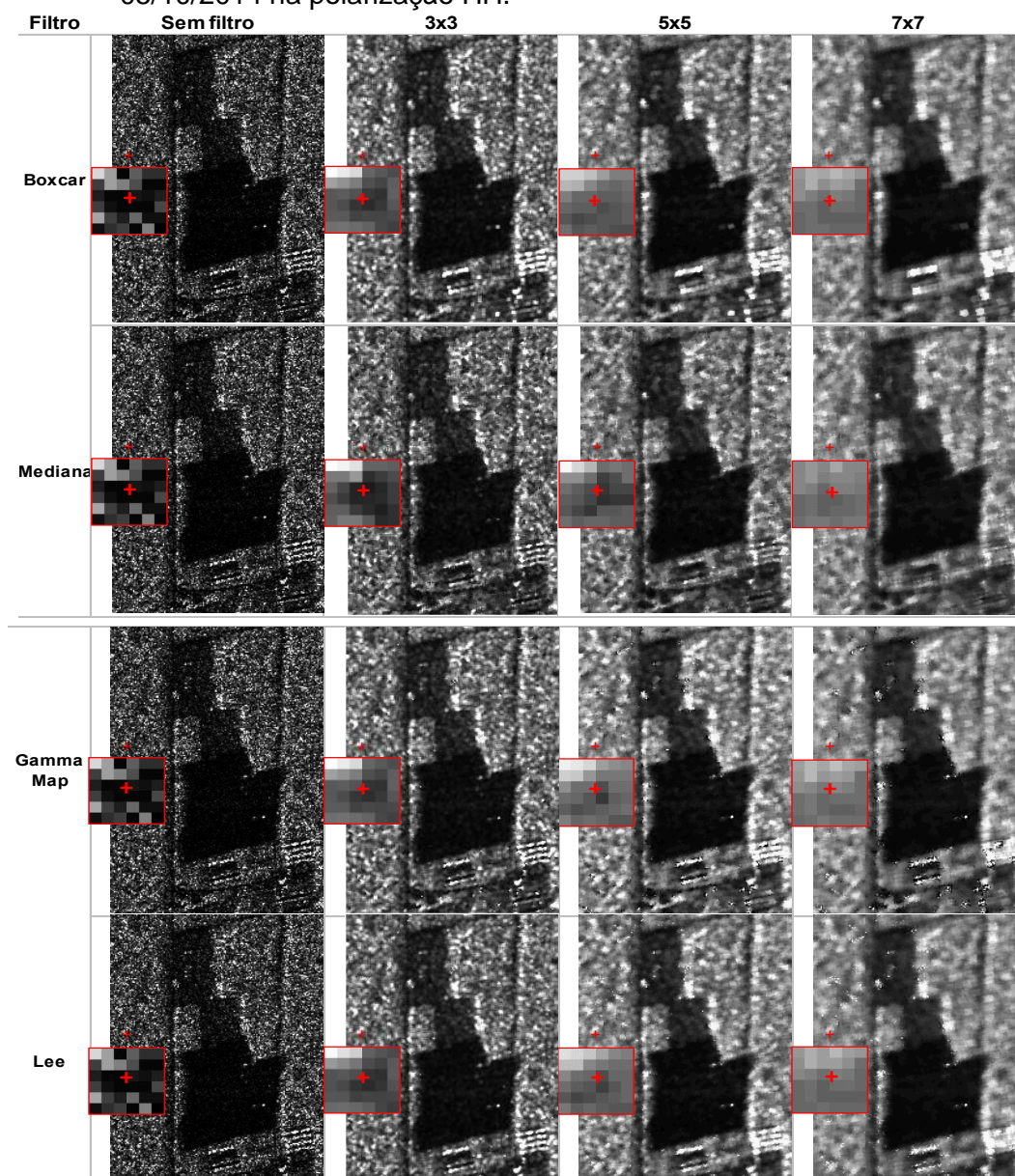
As identificações das cenas e datas de aquisição destacadas em negrito referem-se aos dias das aquisições das imagens do Sentinel-1A.

ANEXO E – ANÁLISE VISUAL DA PERFORMANCE DOS FILTROS TESTADOS

São apresentados abaixo os filtros com tamanhos de janelas 3x3, 5x5 e 7x7 pixels, aplicados nas imagens ALOS2 (polarizações HH e HV) e nas imagens S1A (polarizações VV e VH).

E.1 Análise visual dos filtros aplicados as imagens ALO2

Figura E.1: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 05/10/2014 na polarização HH.



(continua)

Figura E.1: Conclusão.

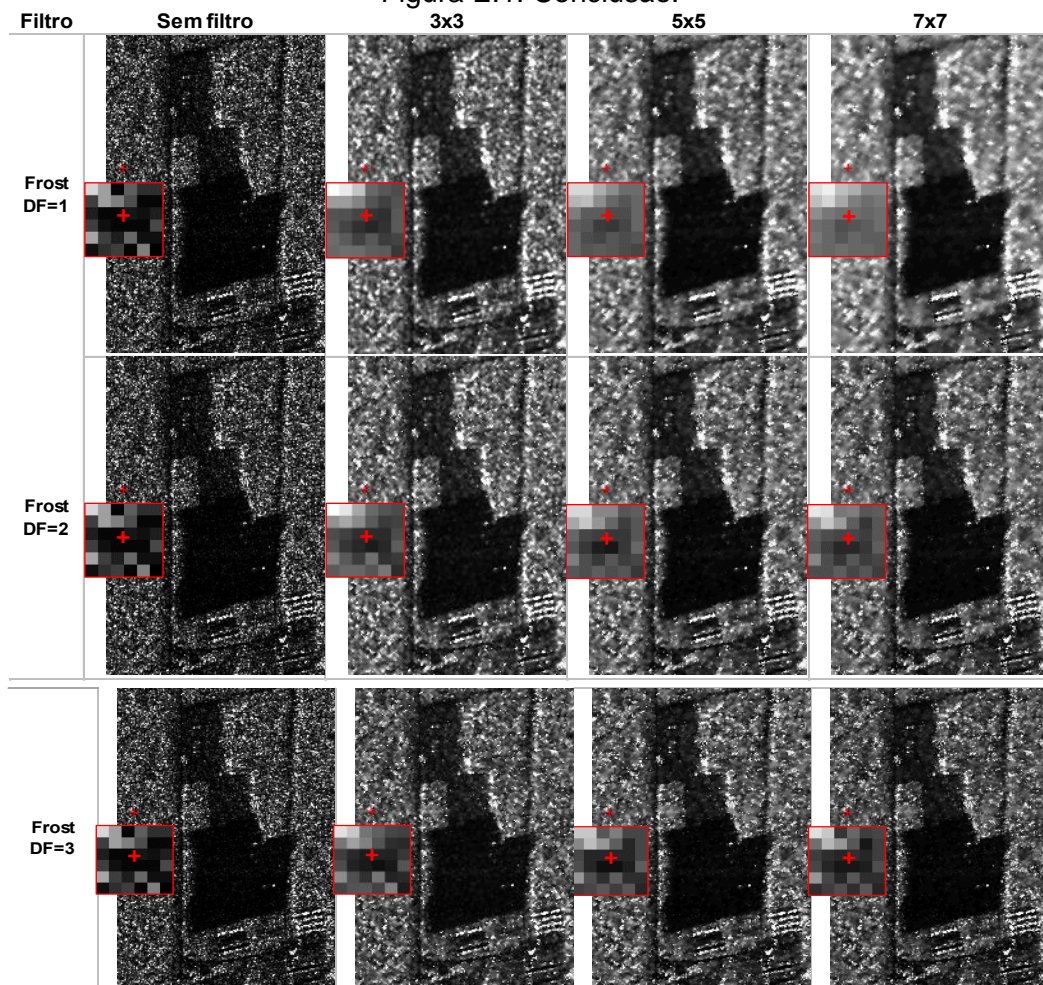
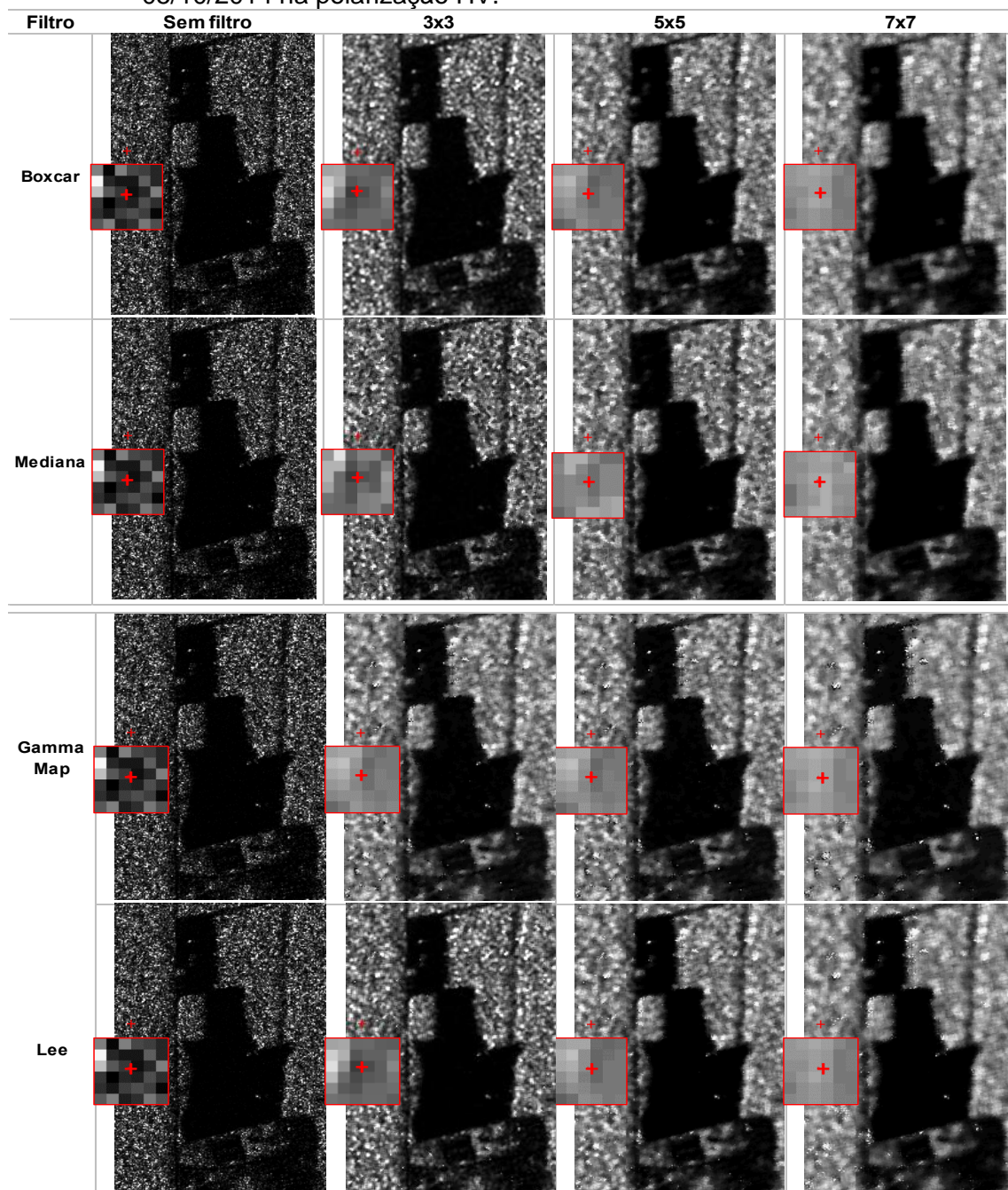


Figura E.2: Análise visual do desempenho dos filtros na imagem ALOS2 adquirida em 05/10/2014 na polarização HV.



(continua)

Figura E.2: Conclusão.

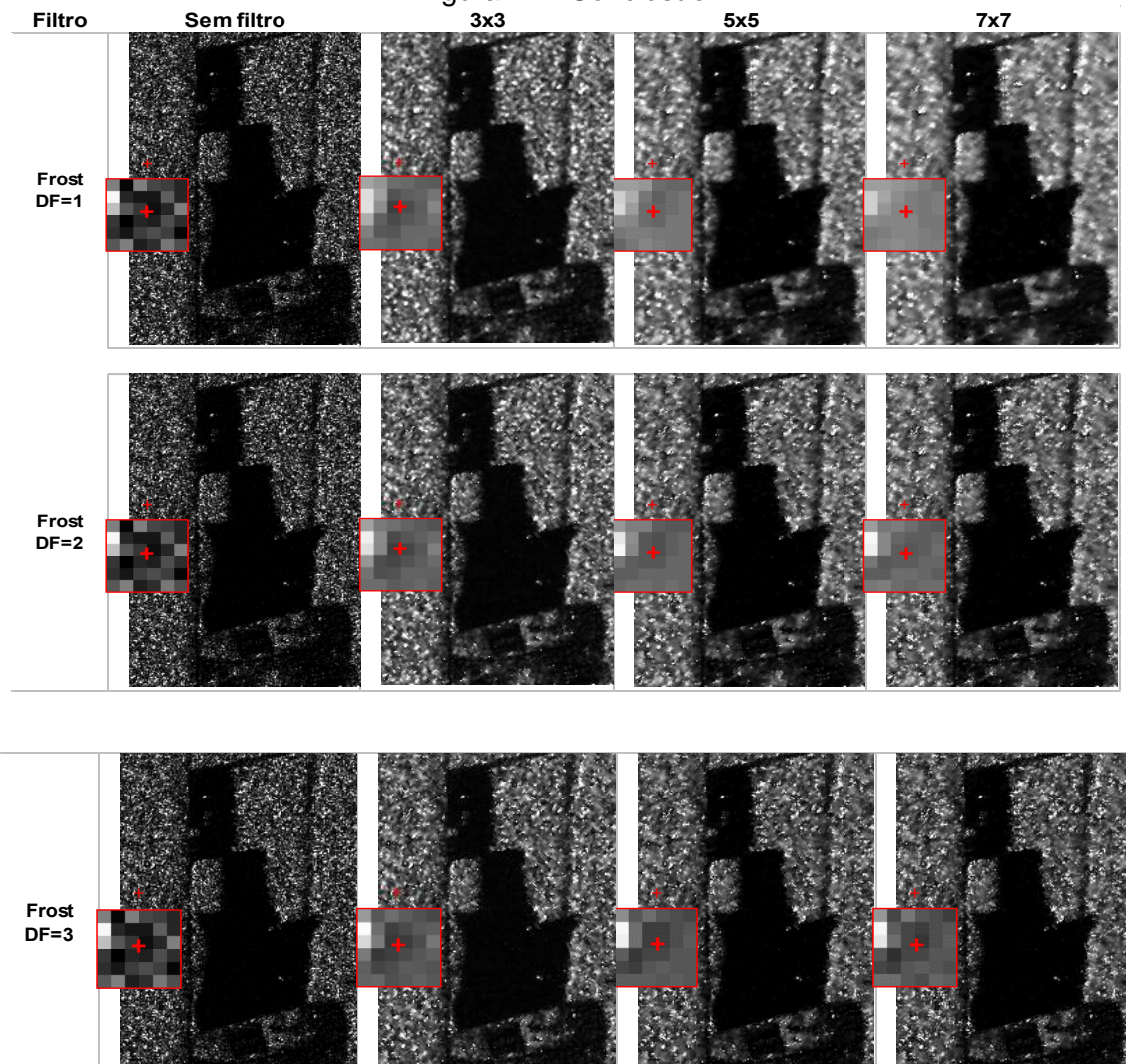
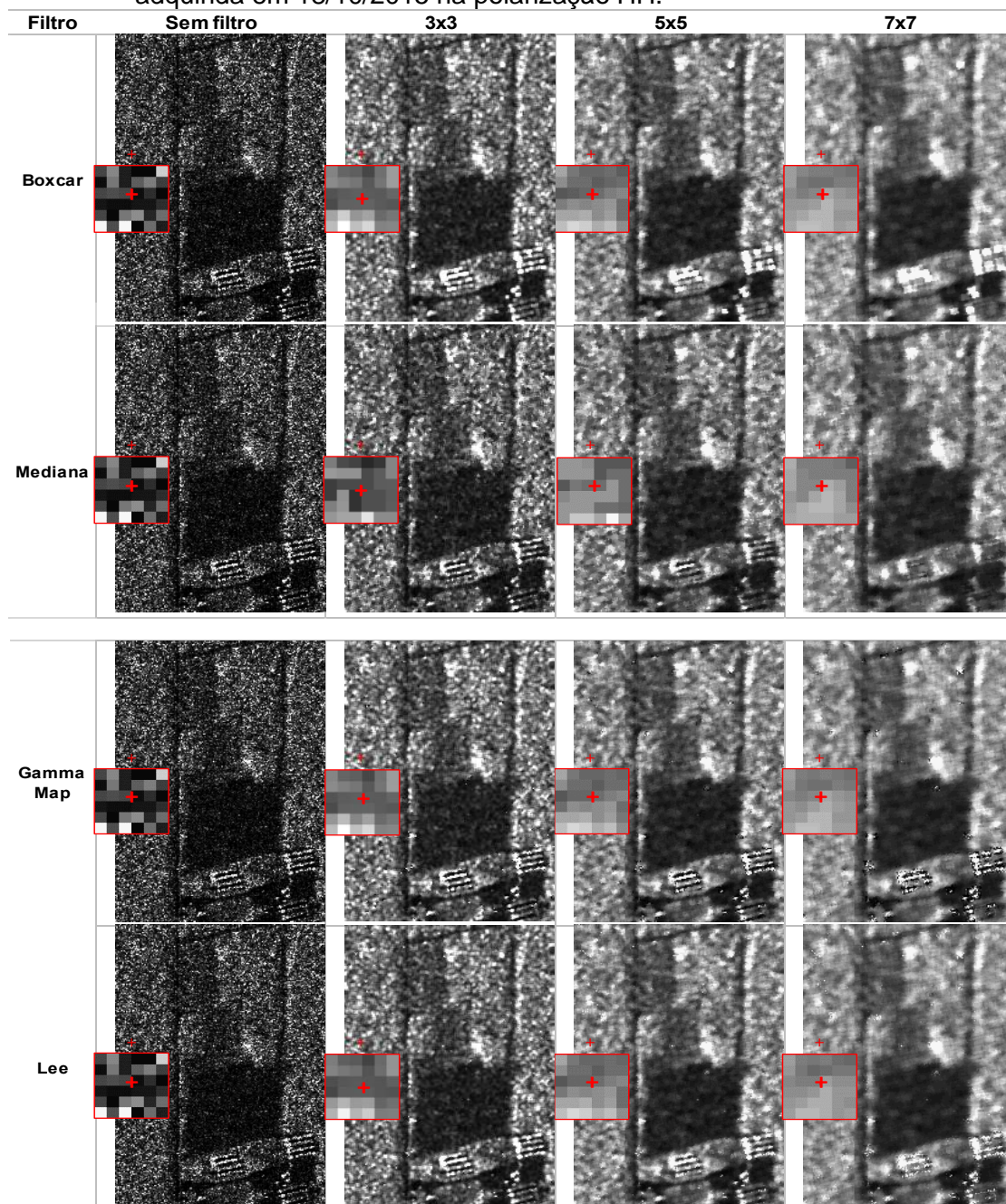


Figura E.3: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 18/10/2015 na polarização HH.



(continua)

Figura E.3: Conclusão.

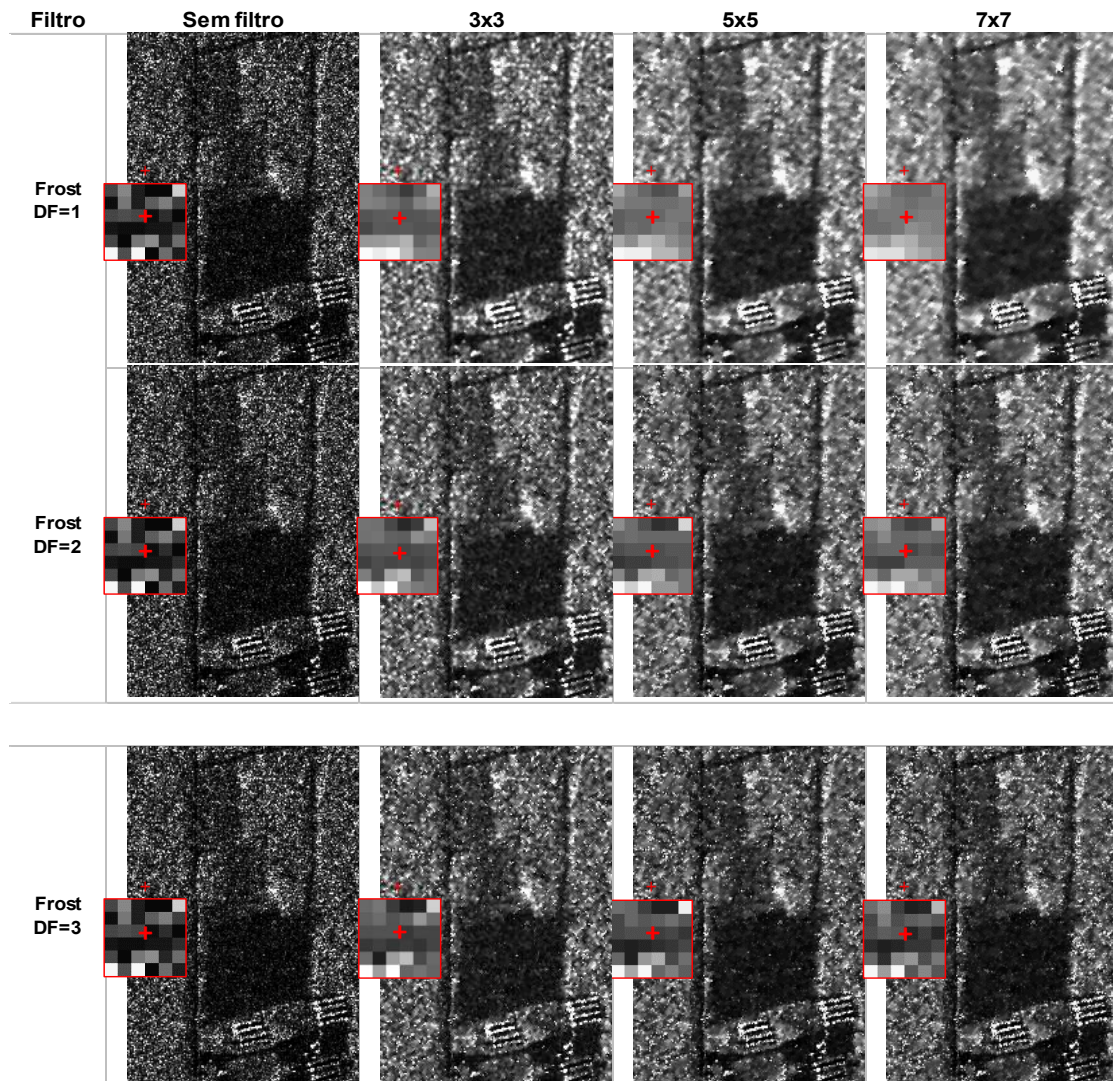
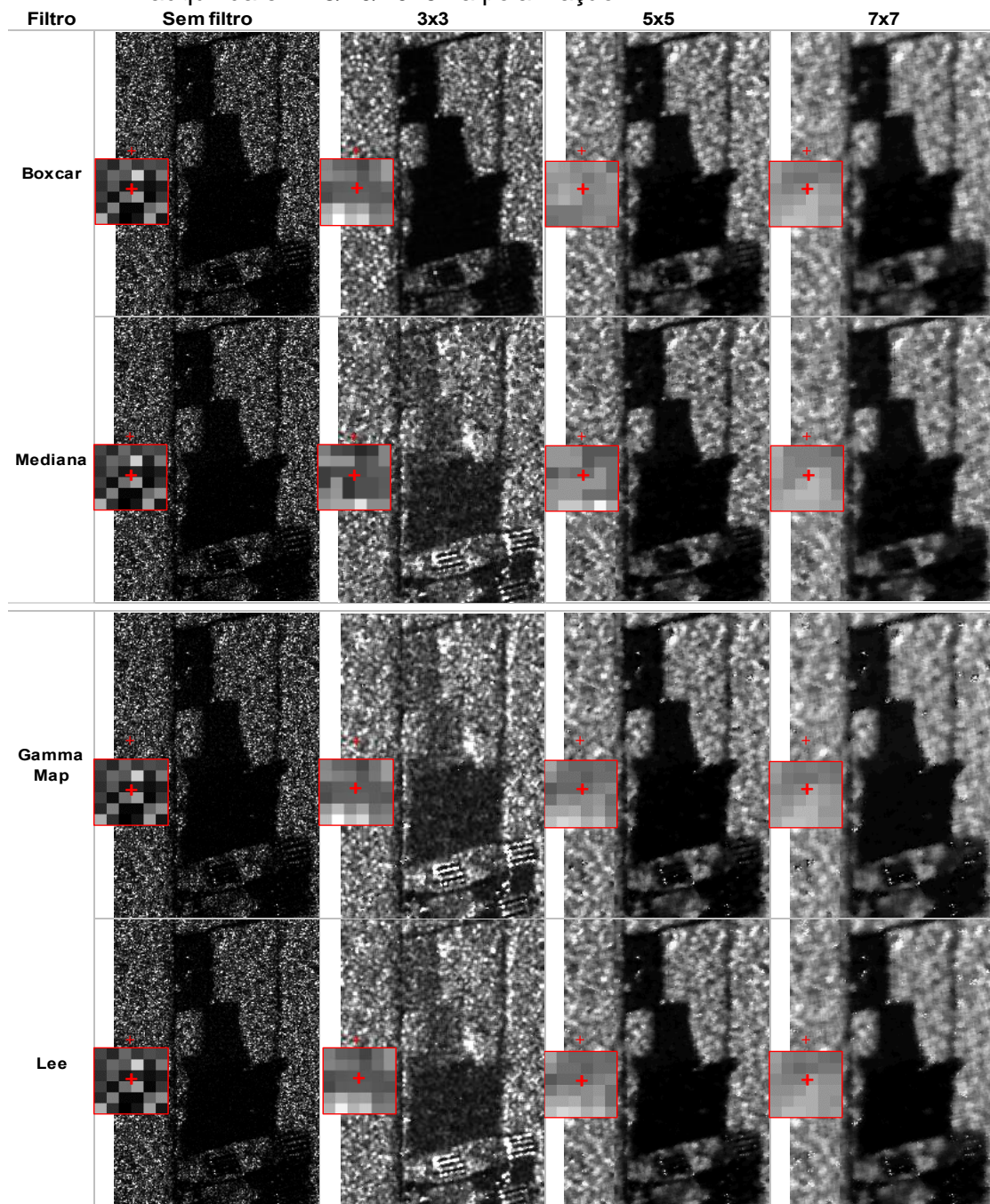


Figura E.4: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 18/10/2015 na polarização HV.



(continua)

Figura E.4: Conclusão.

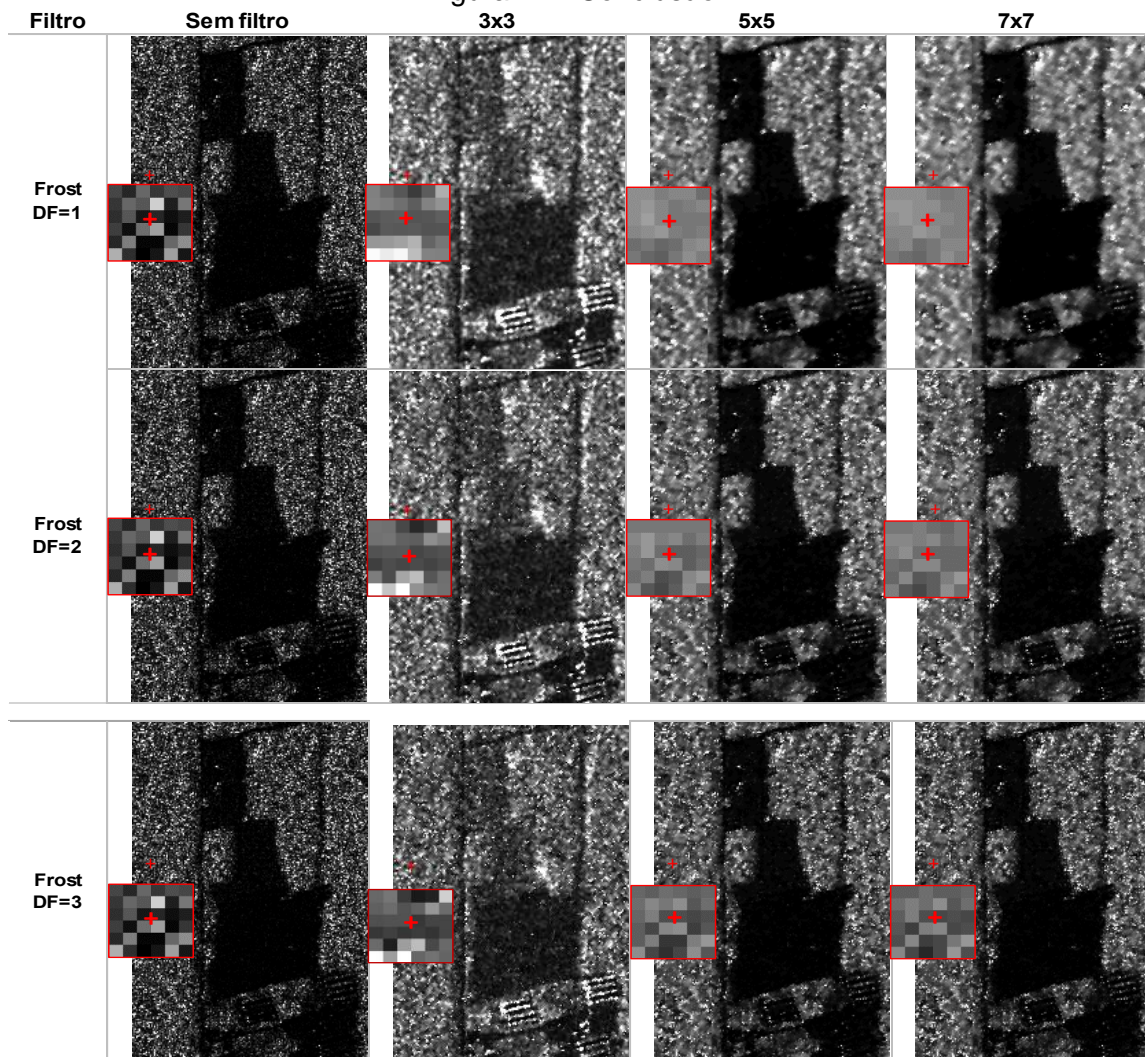
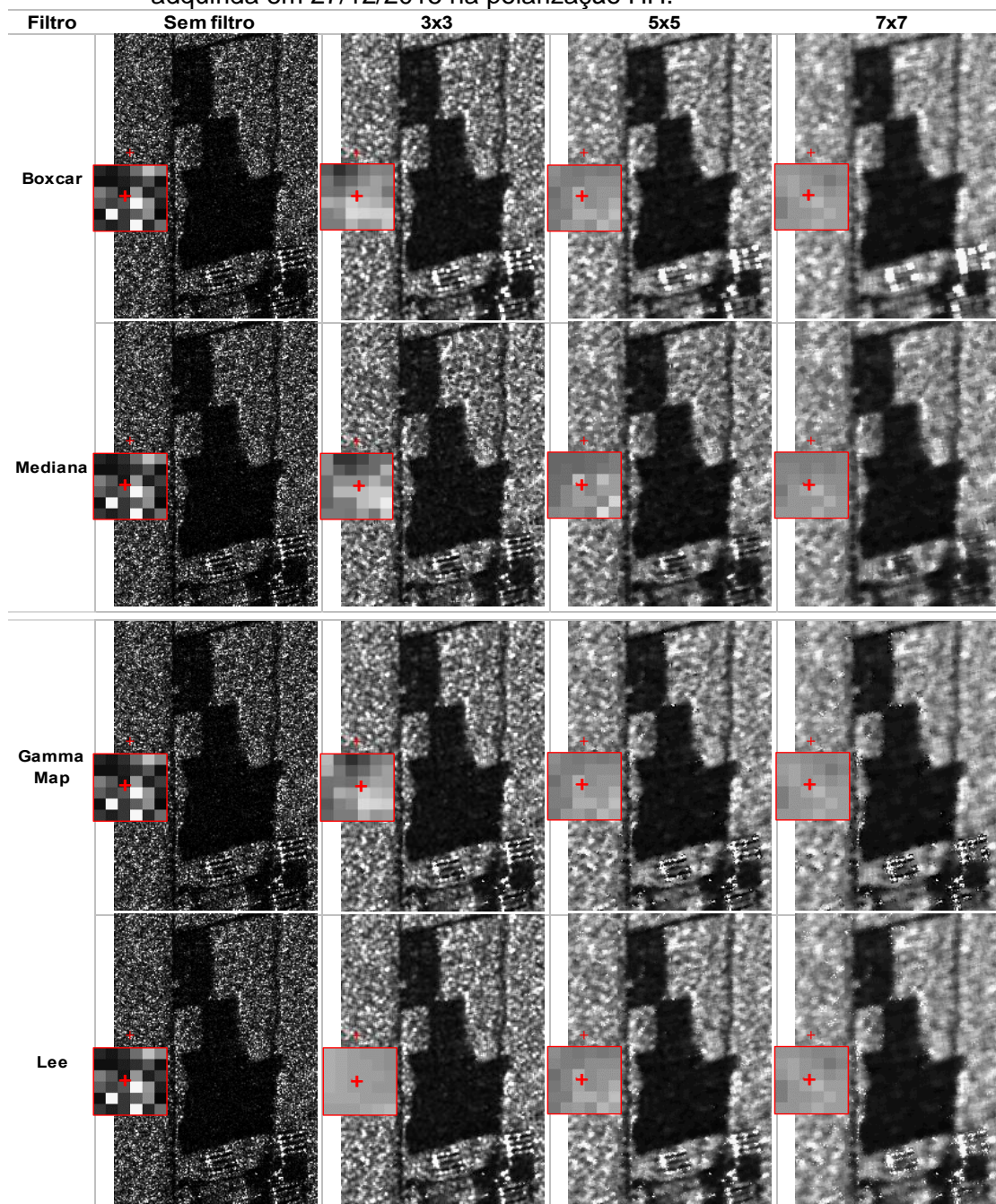


Figura E.5: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 27/12/2015 na polarização HH.



(continua)

Figura E.5: Conclusão.

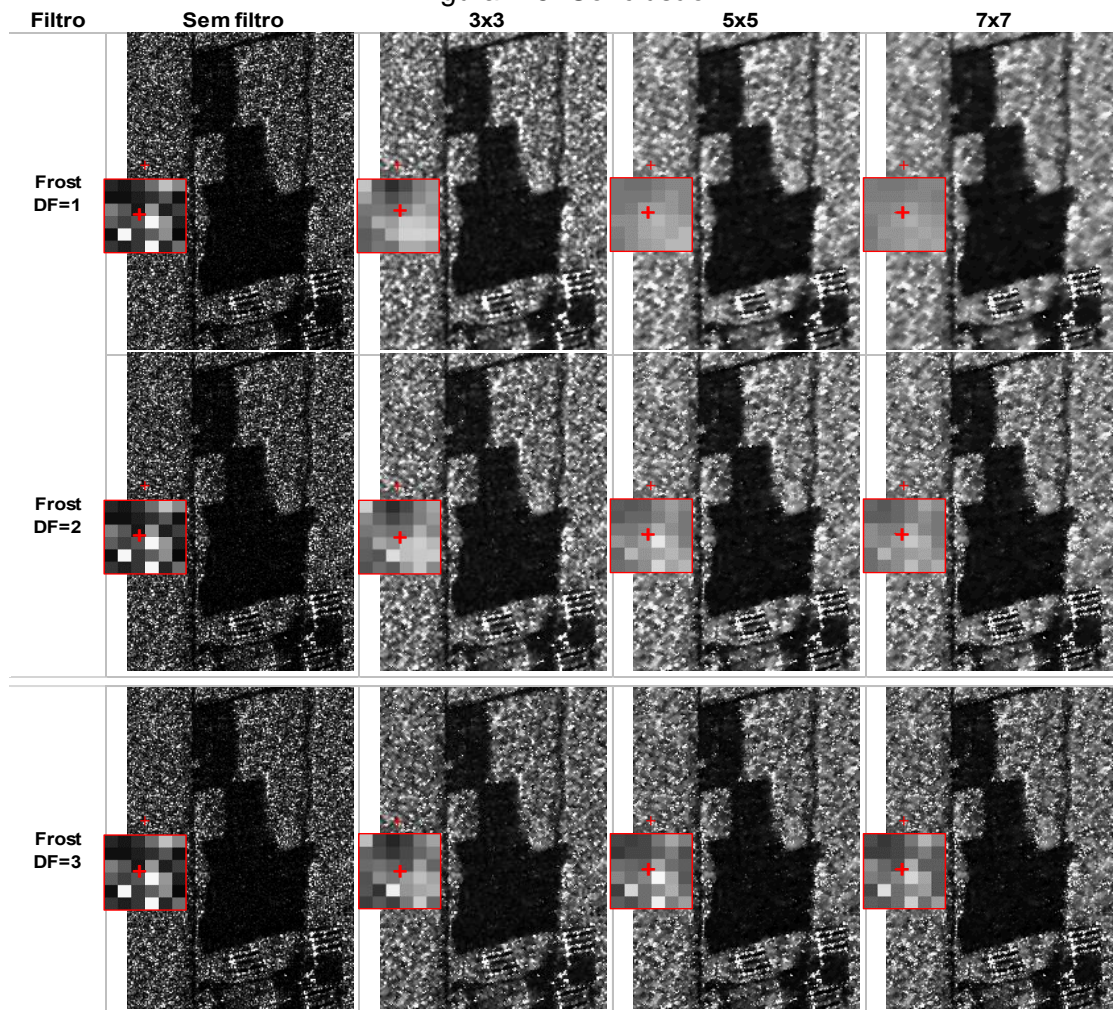
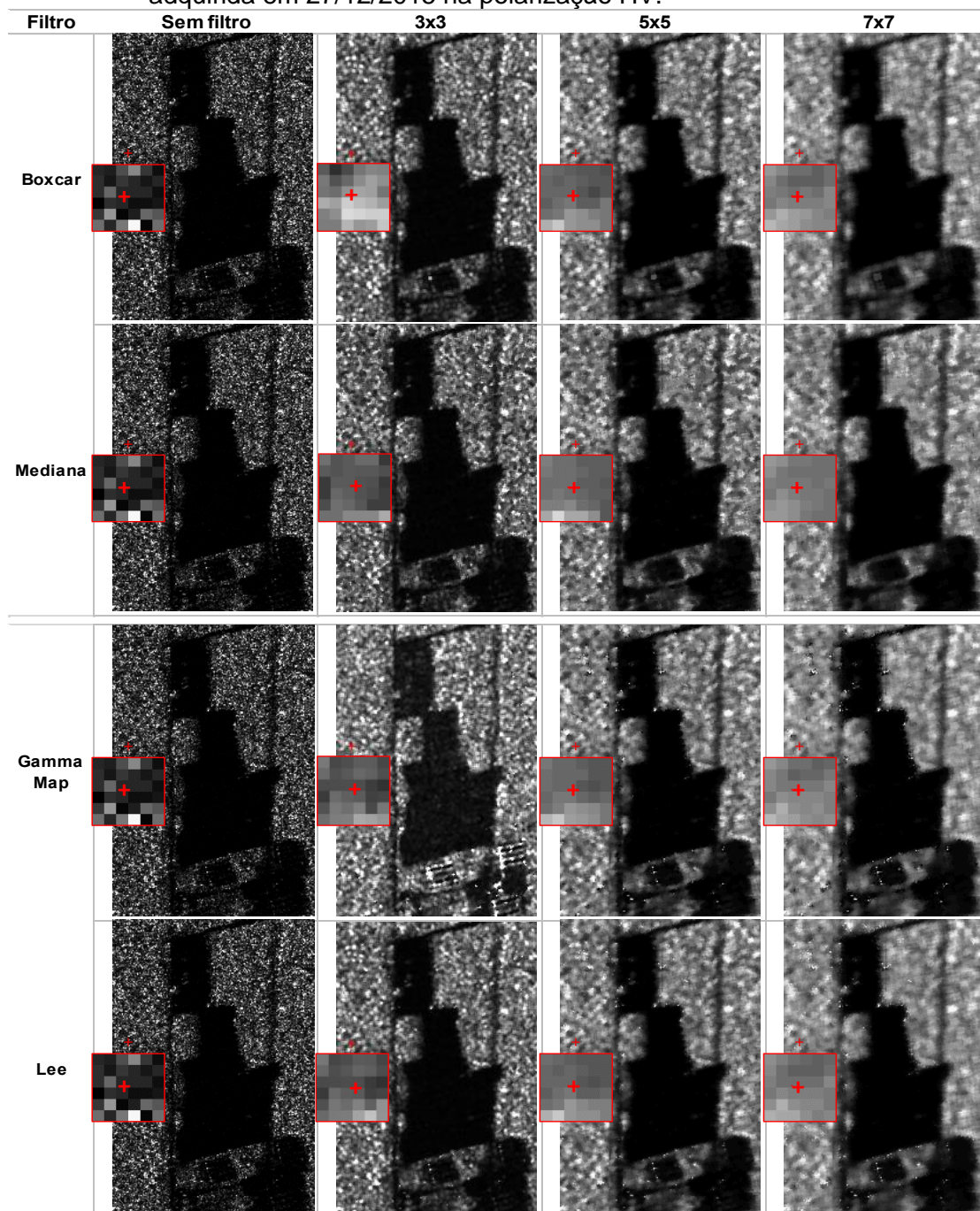


Figura E.62: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 27/12/2015 na polarização HV.



(continua)

Figura E.6: Conclusão.

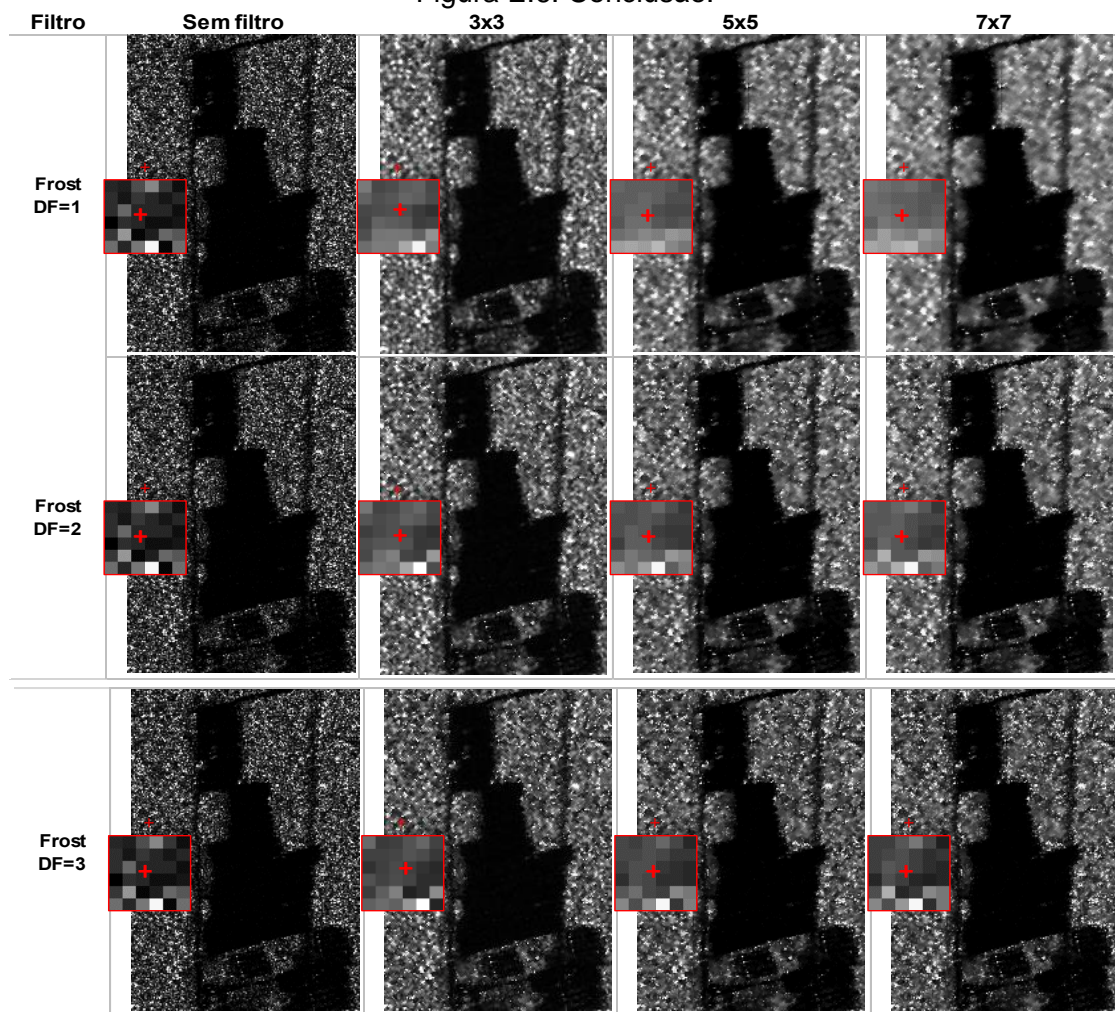
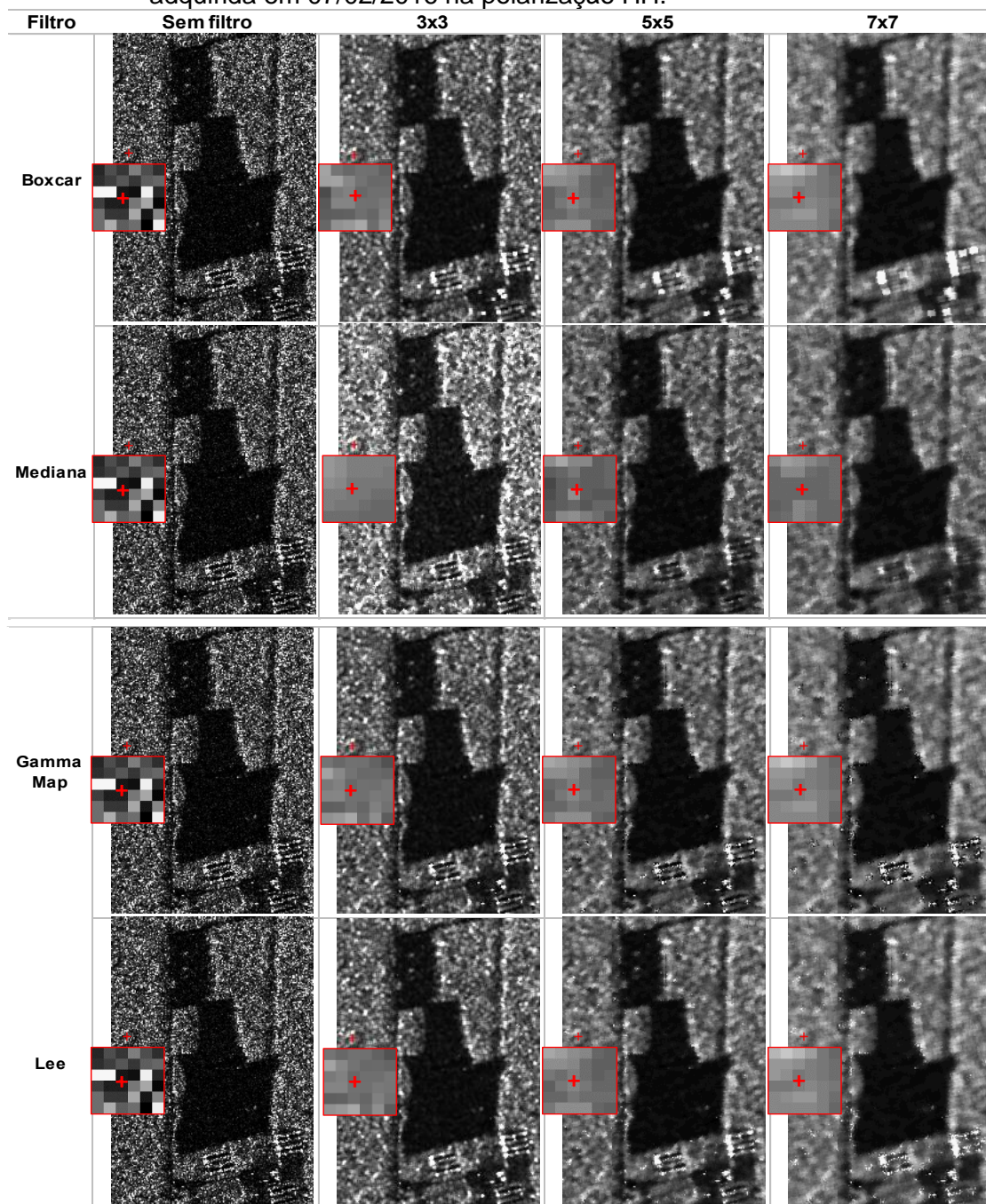


Figura E.7: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 07/02/2016 na polarização HH.



(continua)

Figura E.7: Conclusão.

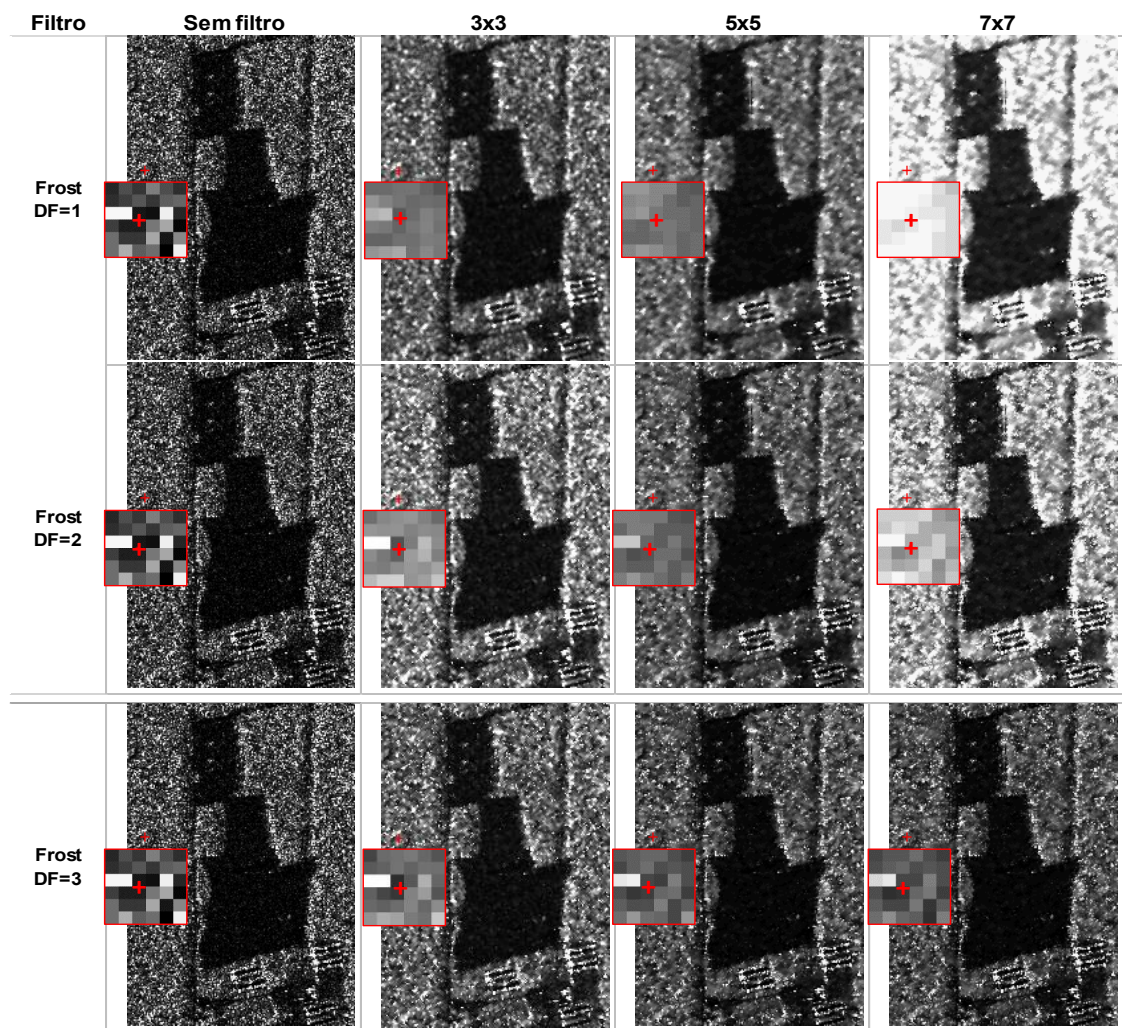
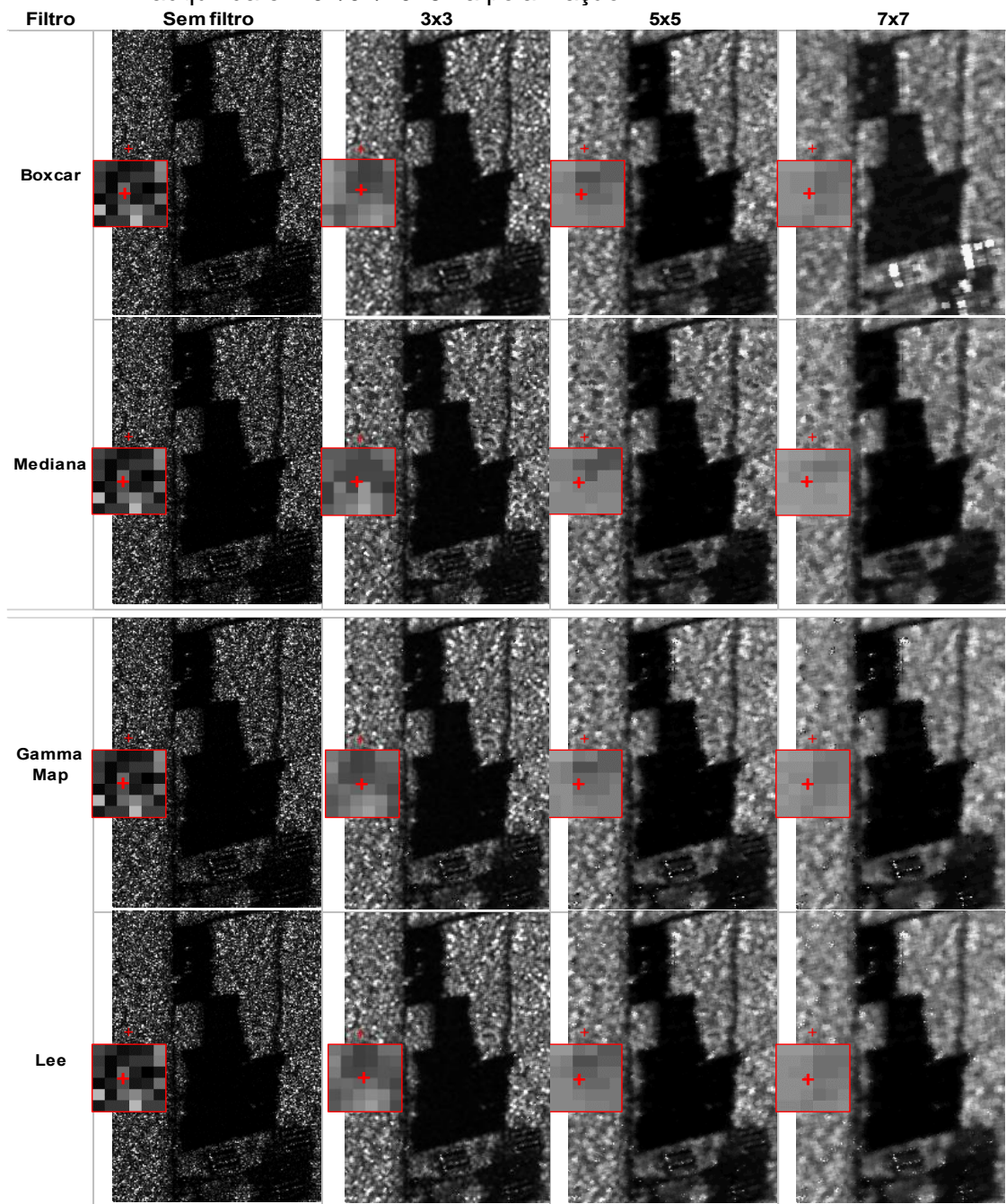
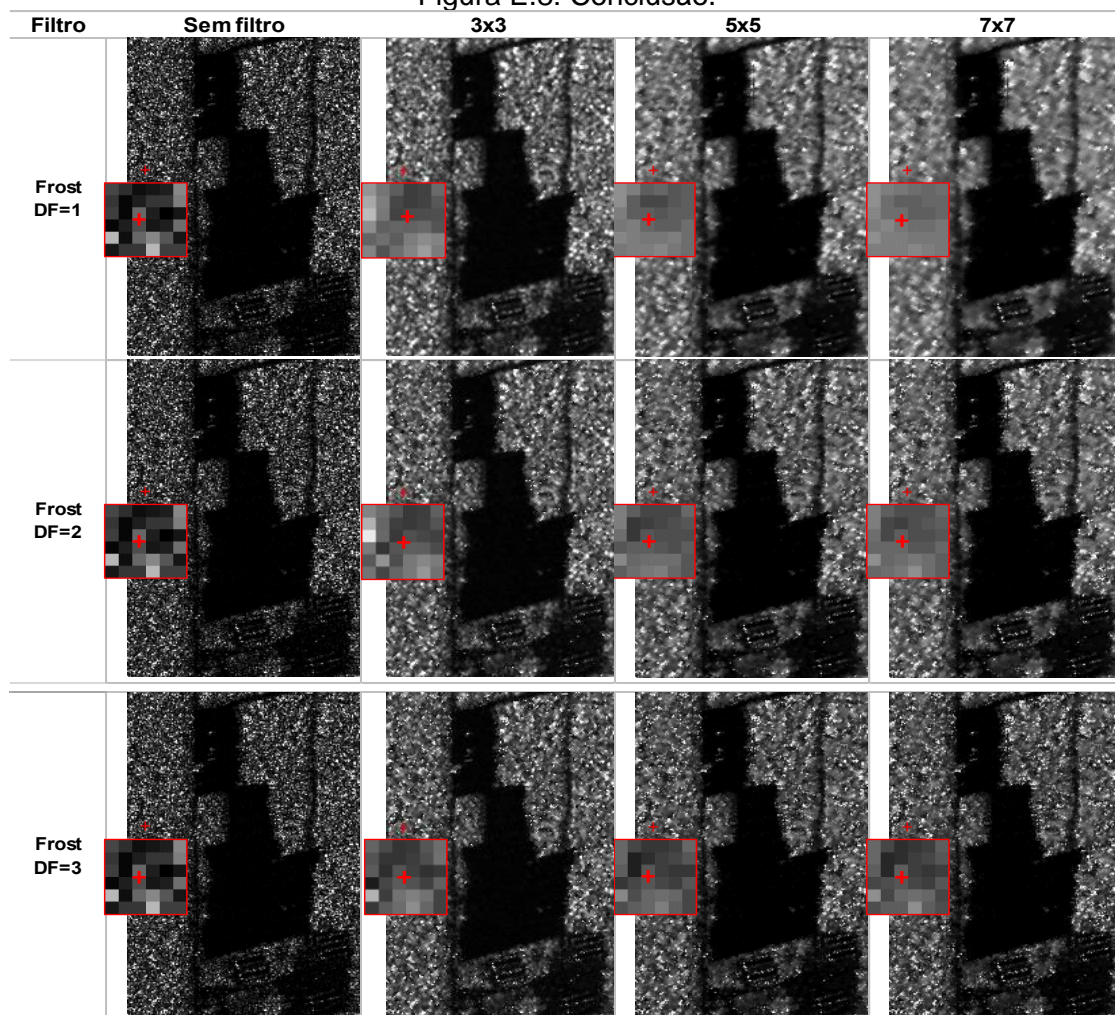


Figura E.8: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem ALOS2 adquirida em 07/02/2016 na polarização HV.



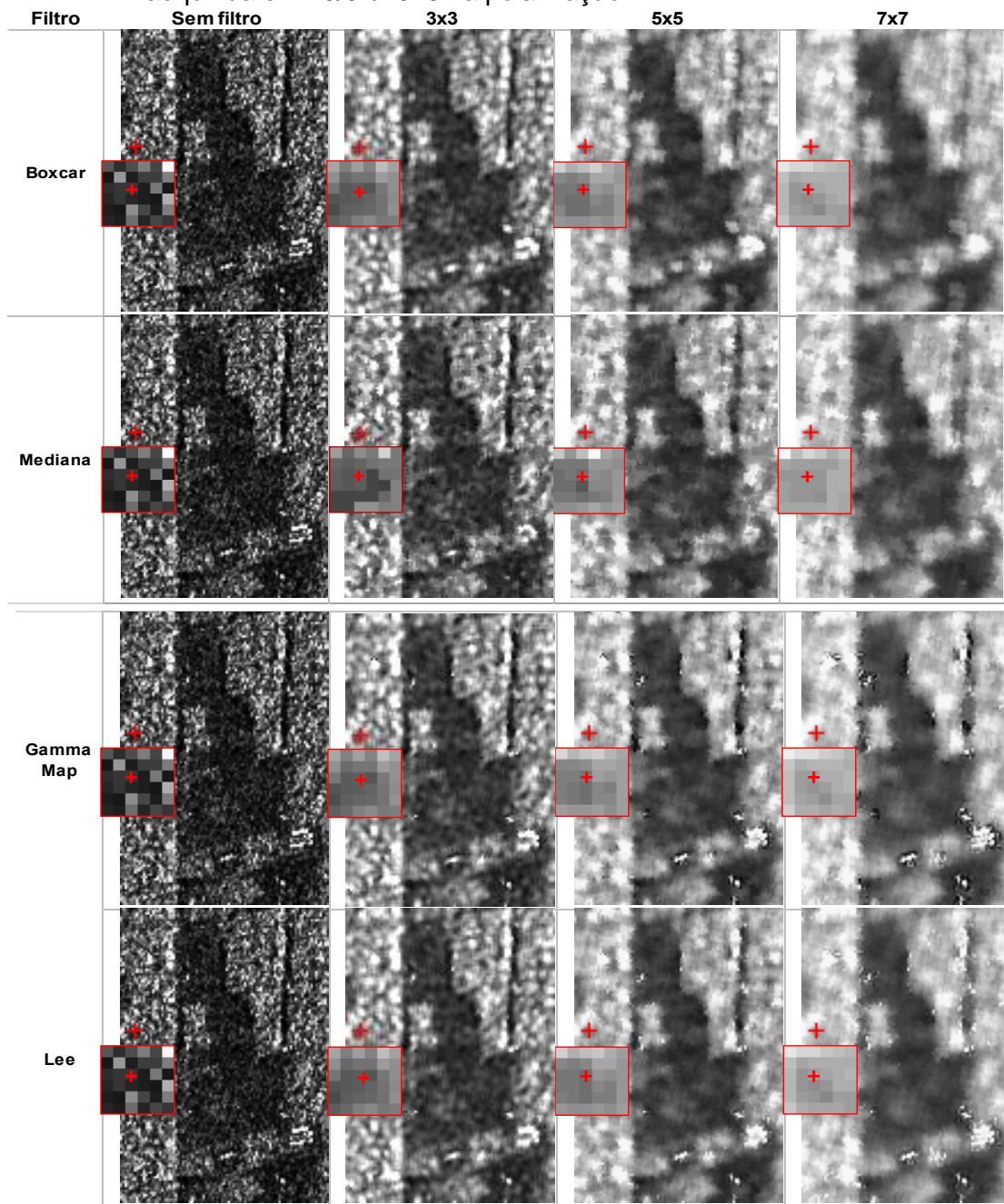
(continua)

Figura E.8: Conclusão.



E.2 Análise visual dos filtros aplicados nas imagens Sentinel-1A

Figura E.9: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 19/01/2016 na polarização VV.



(continua)

Figura E.9: Conclusão.

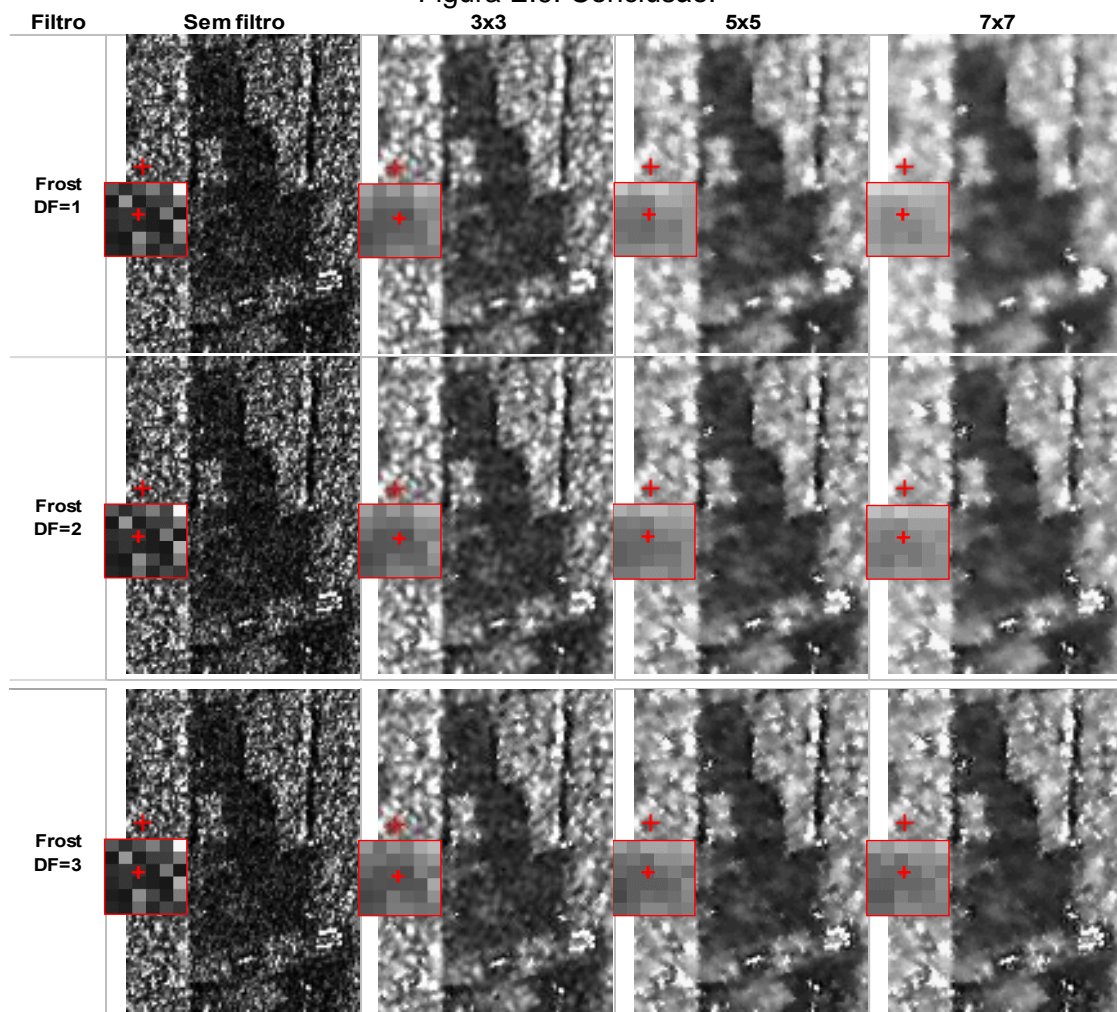
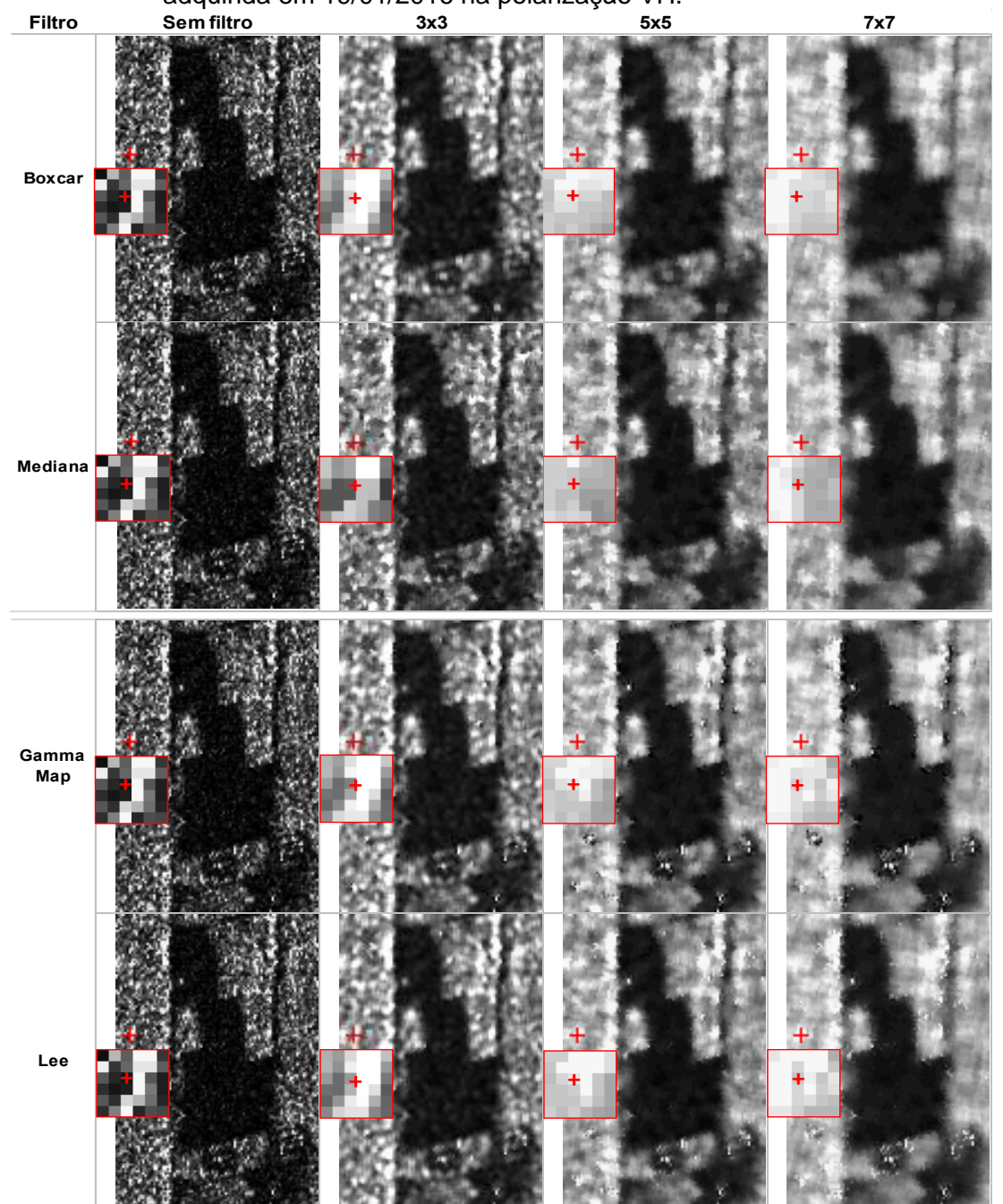


Figura E.3: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 19/01/2016 na polarização VH.



(continua)

Figura E.4: Conclusão.

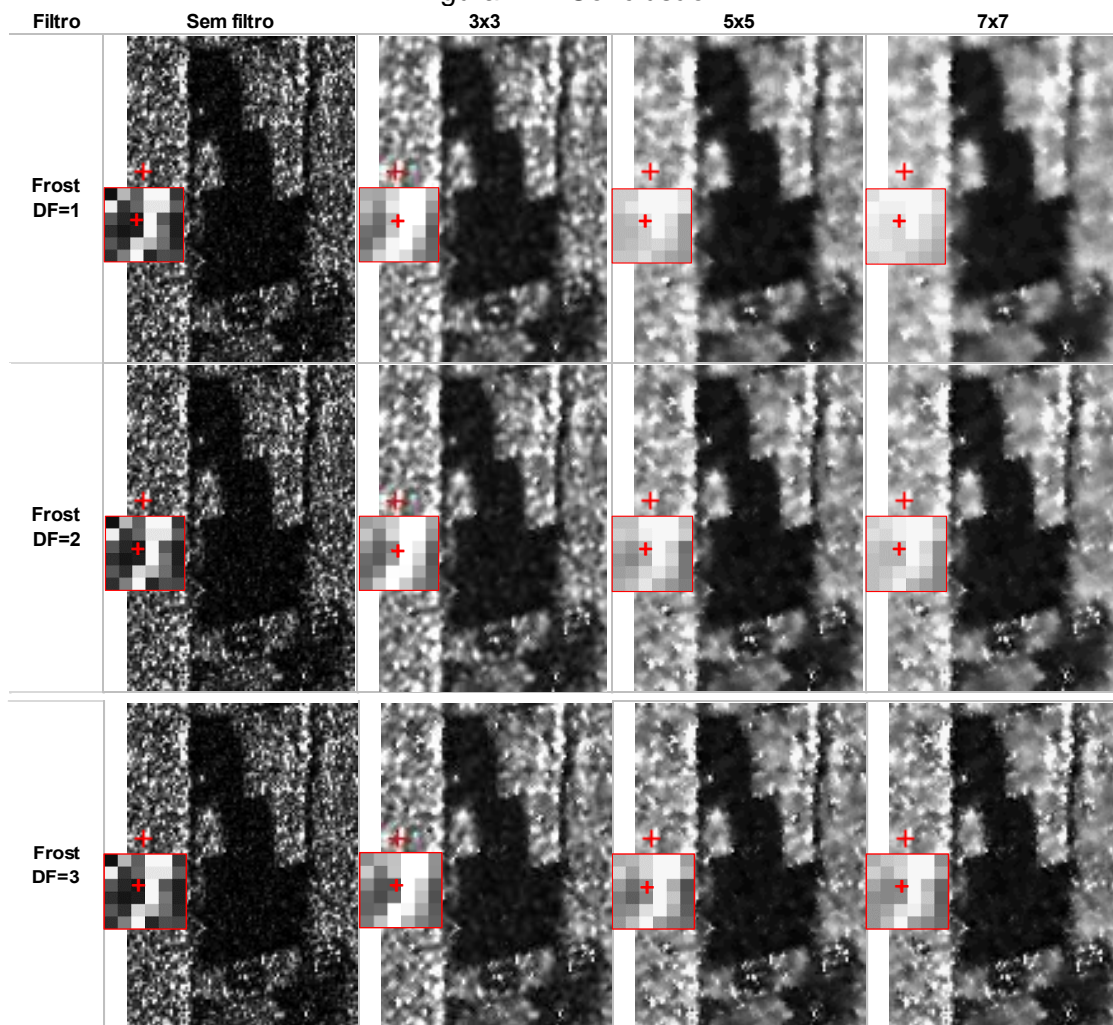
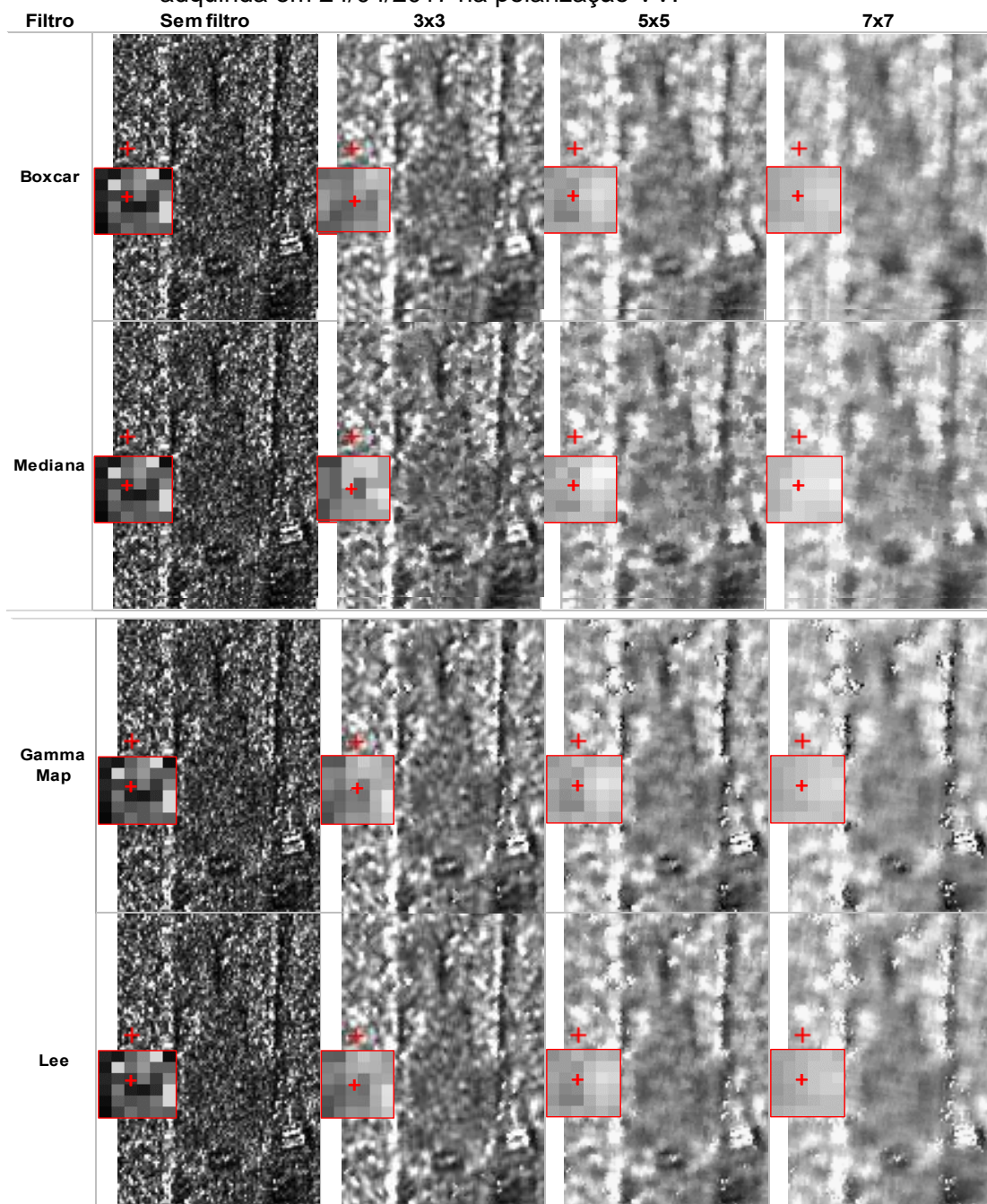


Figura E.5: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/04/2017 na polarização VV.



(continua)

Figura E.6: Conclusão.

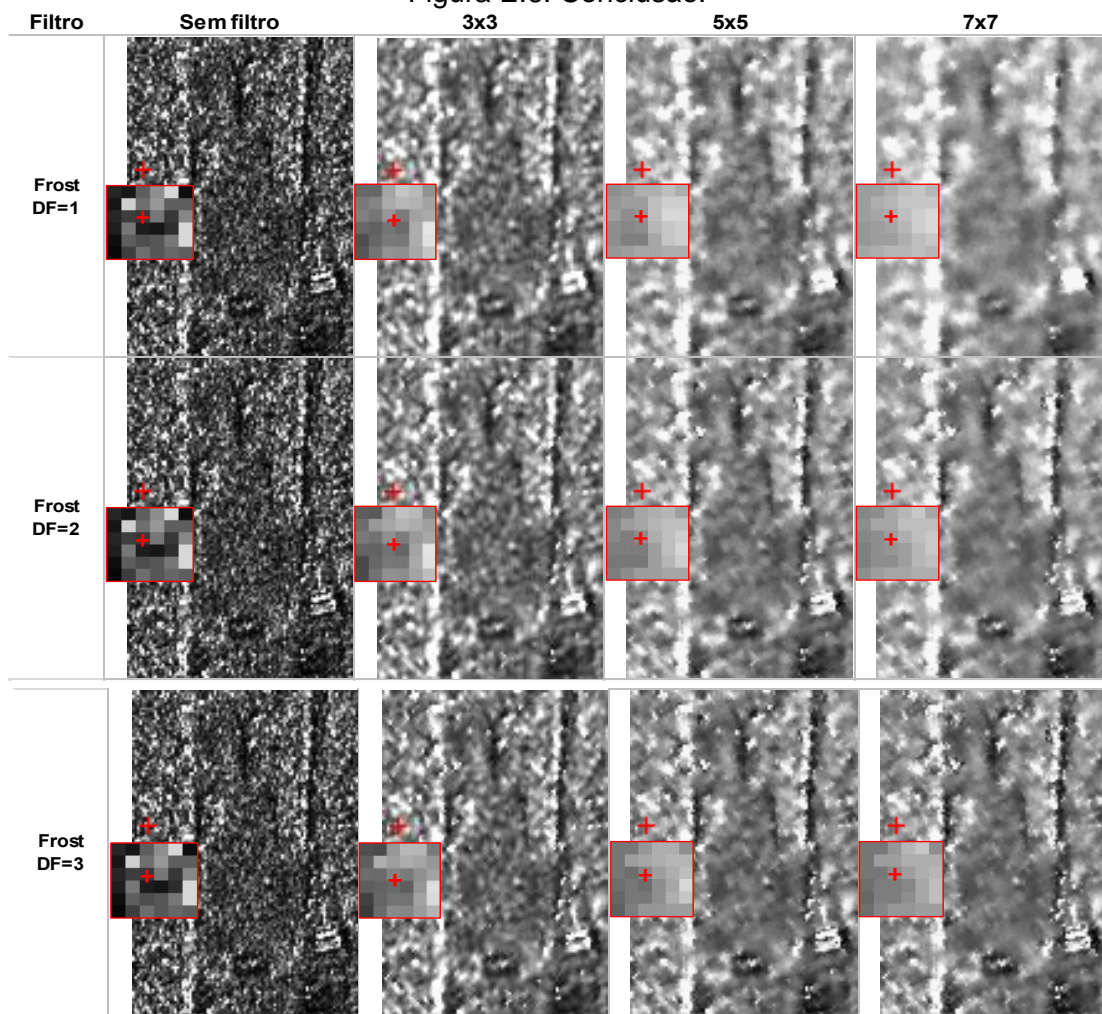
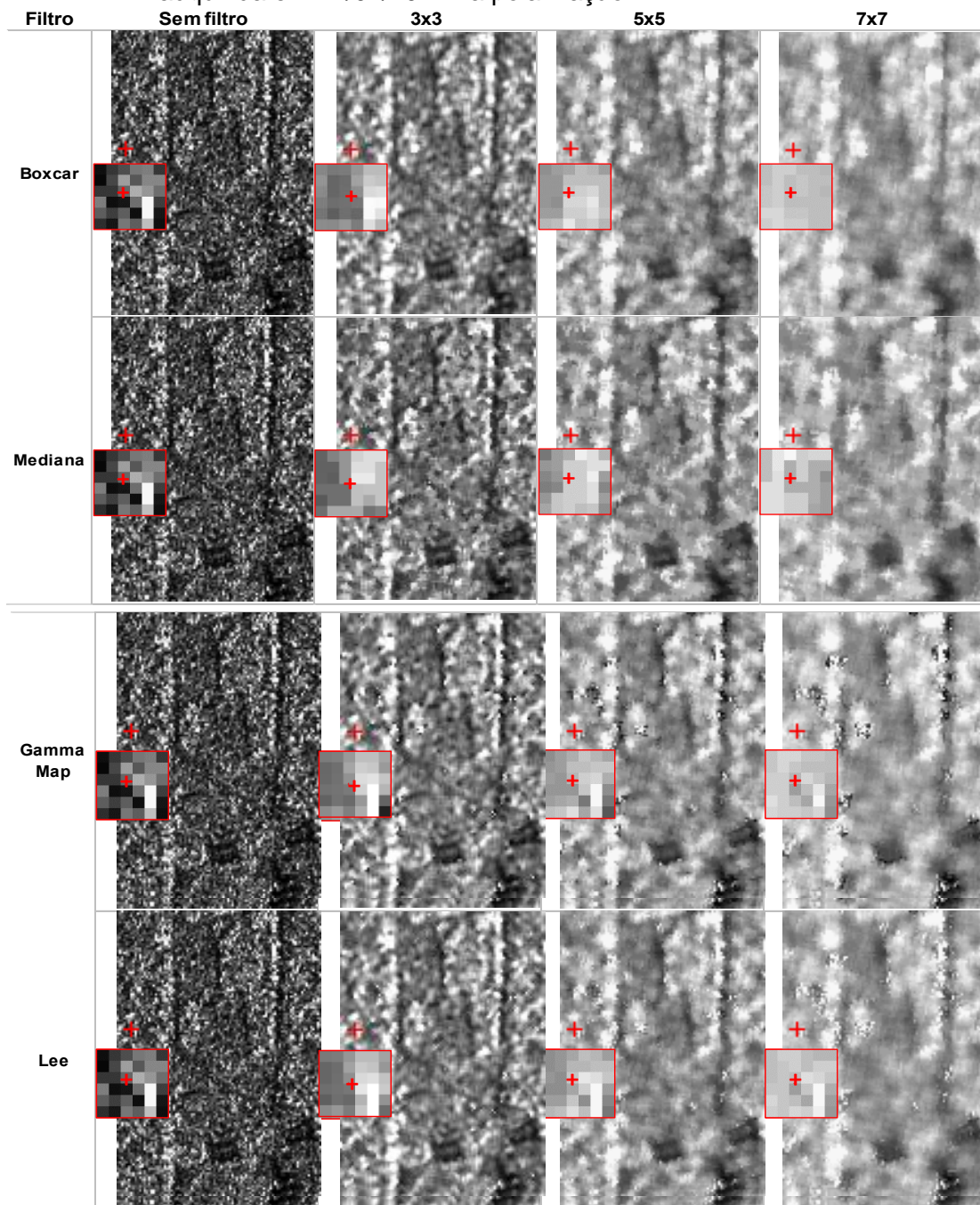


Figura E.17: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/04/2017 na polarização VH.



(continua)

Figura E.18: Conclusão.

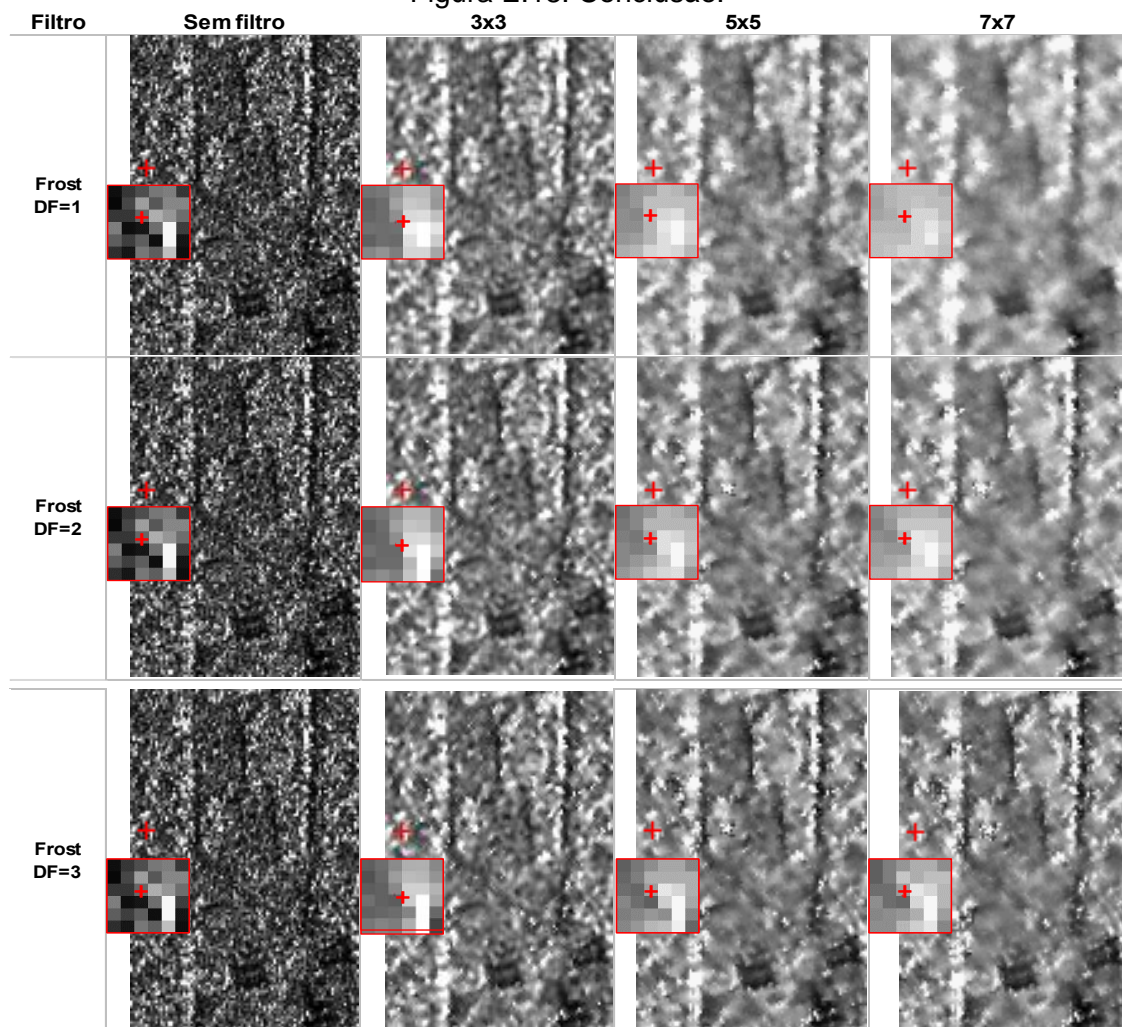
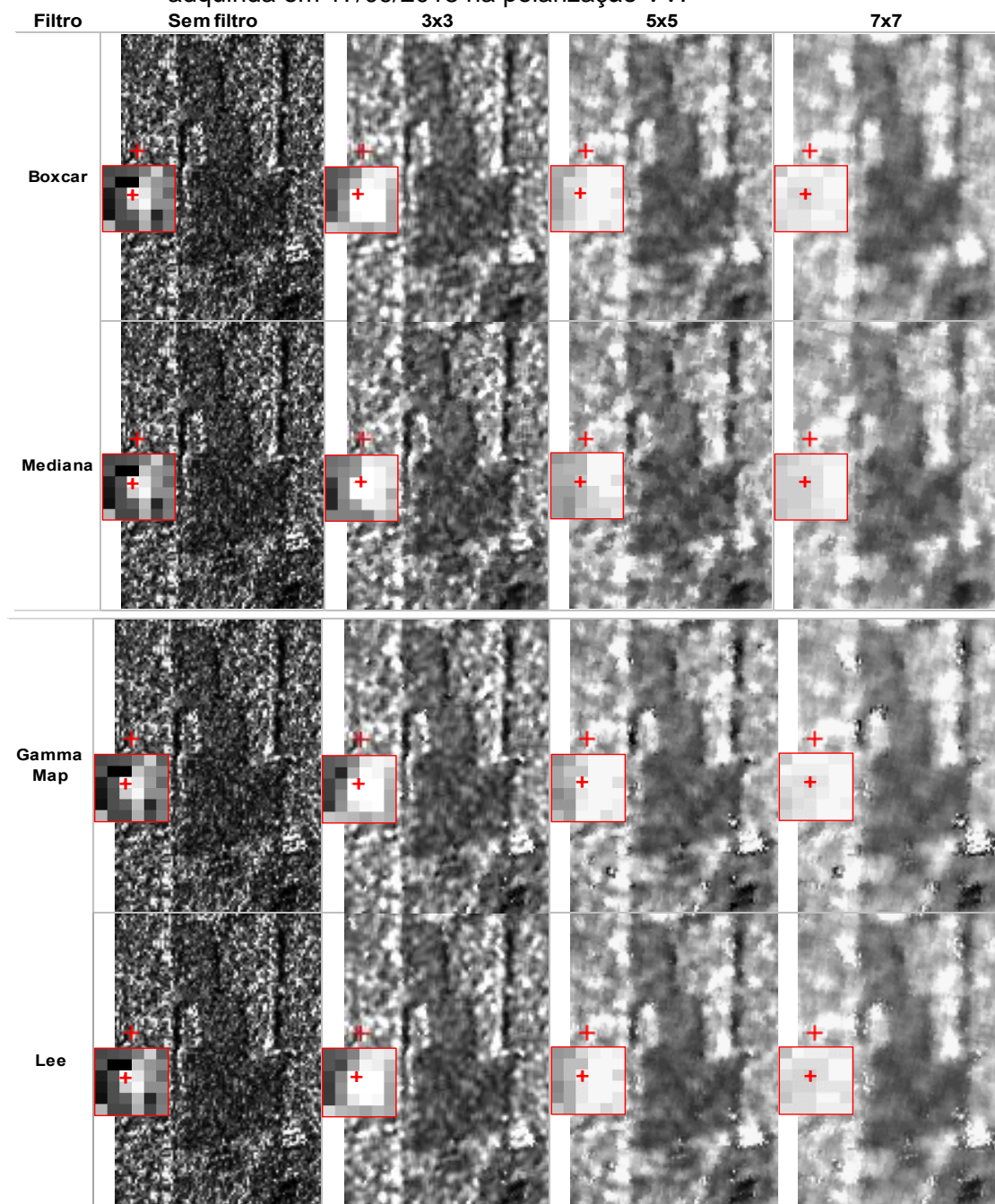


Figura E.13: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 17/09/2018 na polarização VV.



(continua)

Figura E.9: Conclusão.

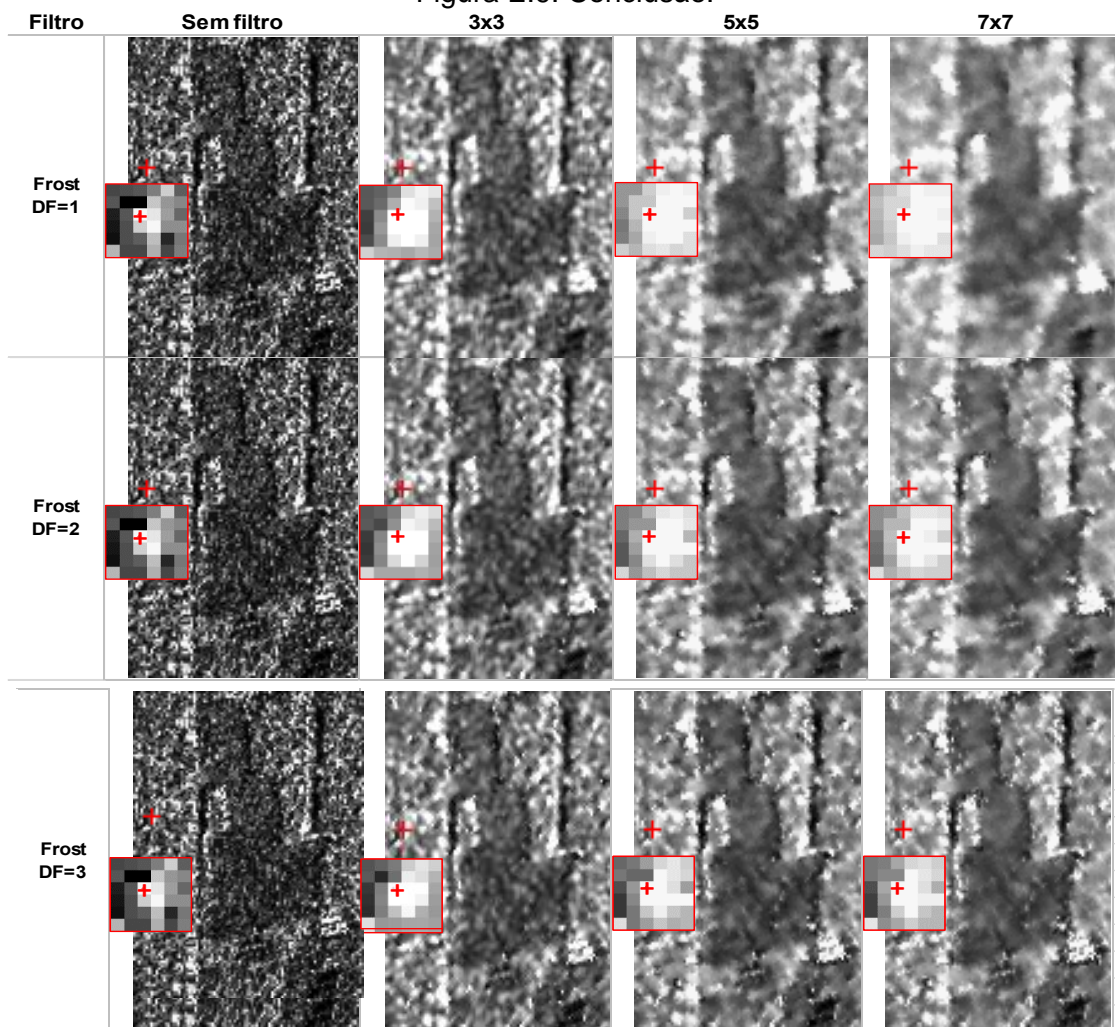
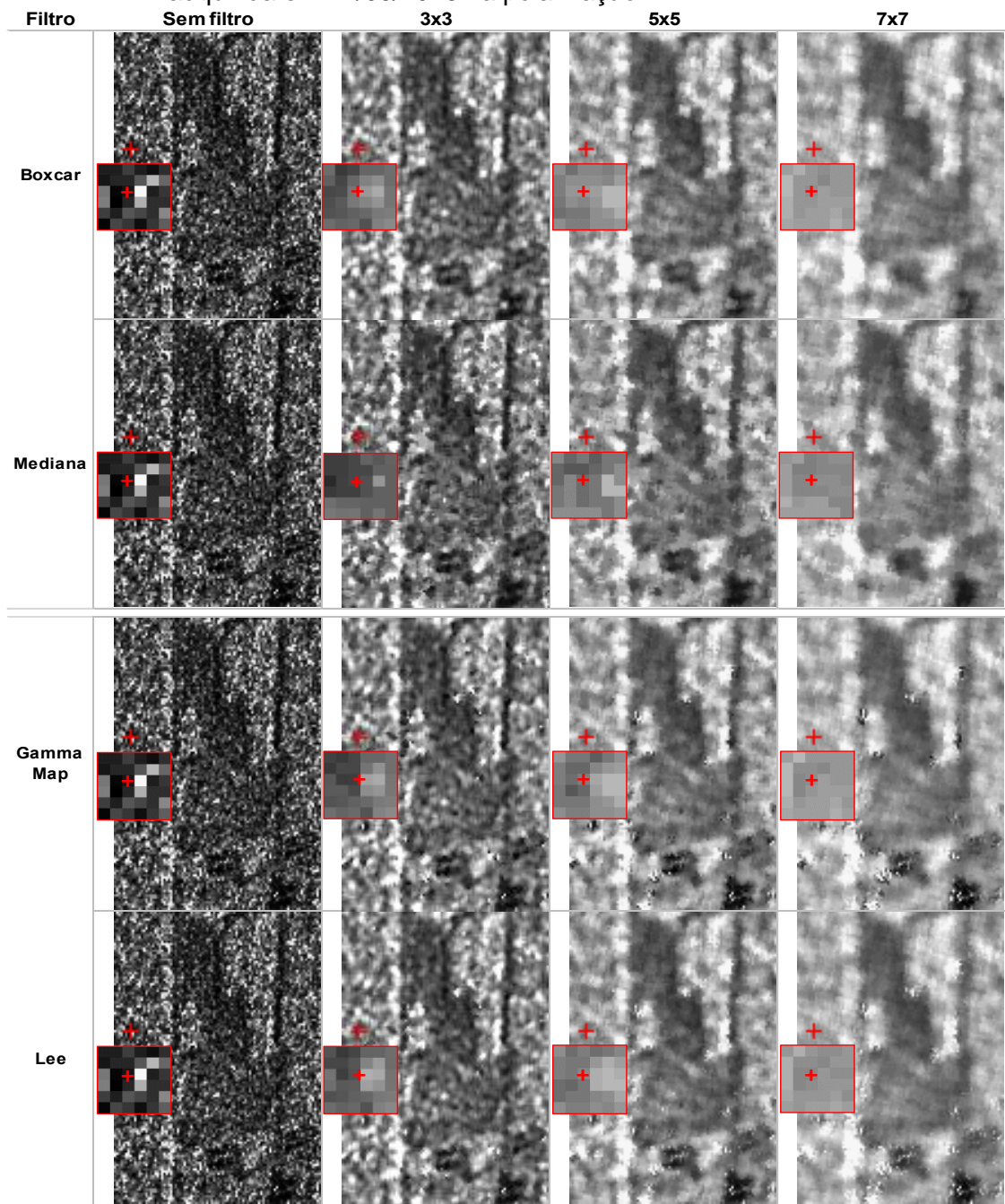


Figura E.14: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 17/09/2018 na polarização VH.



(continua)

Figura E.1410: Conclusão.

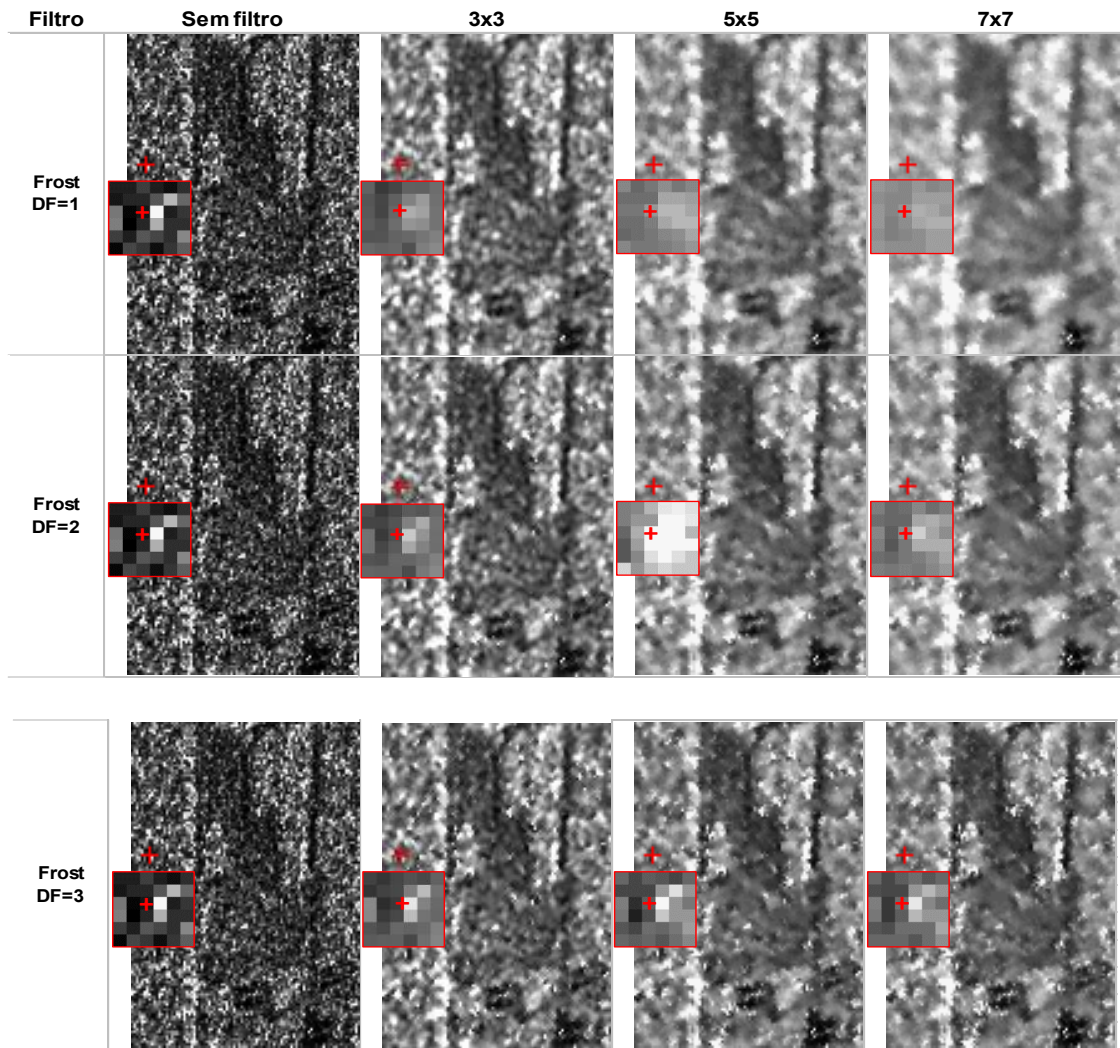
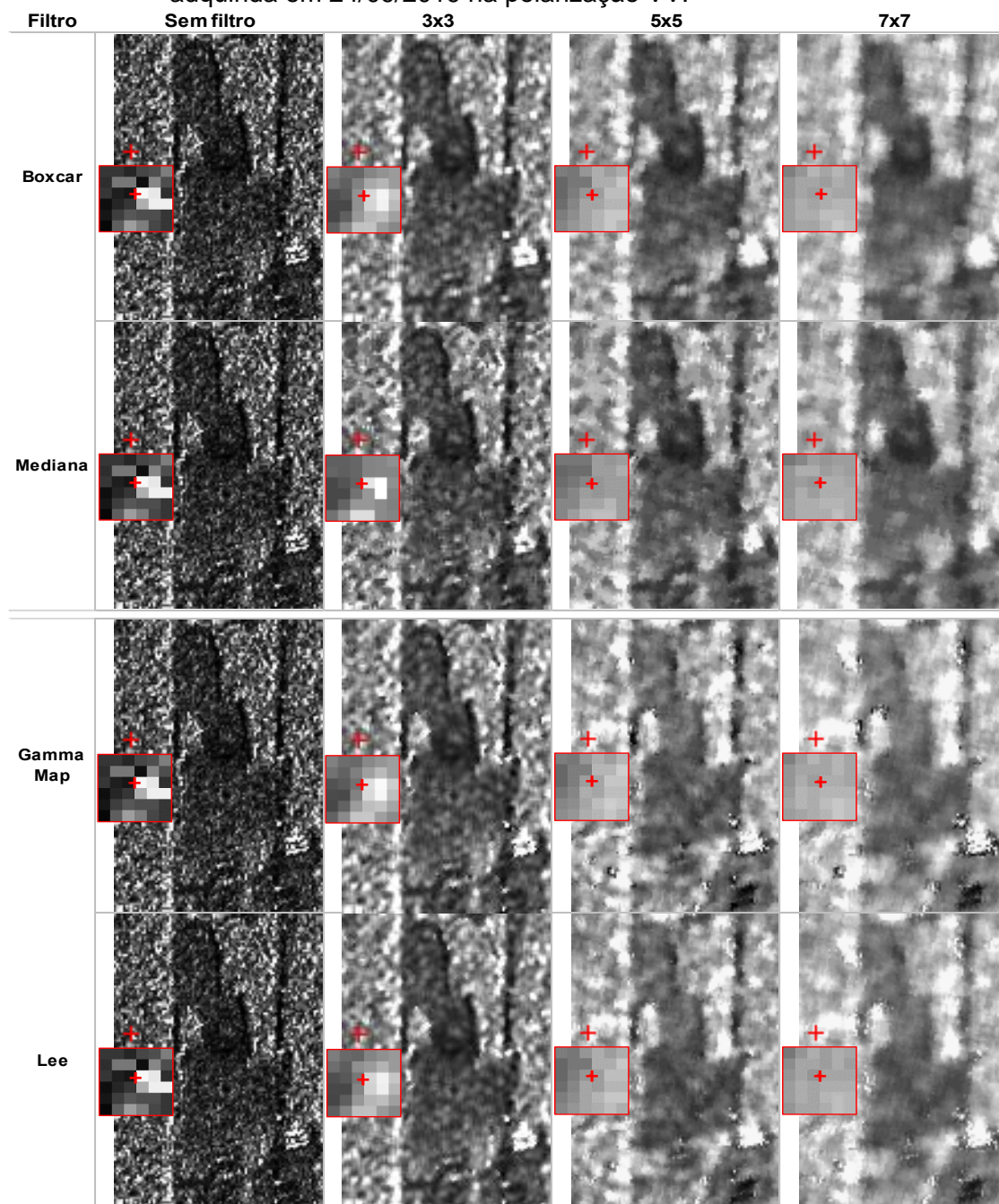


Figura E.15: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/09/2019 na polarização VV.



(continua)

Figura E.15: Conclusão.

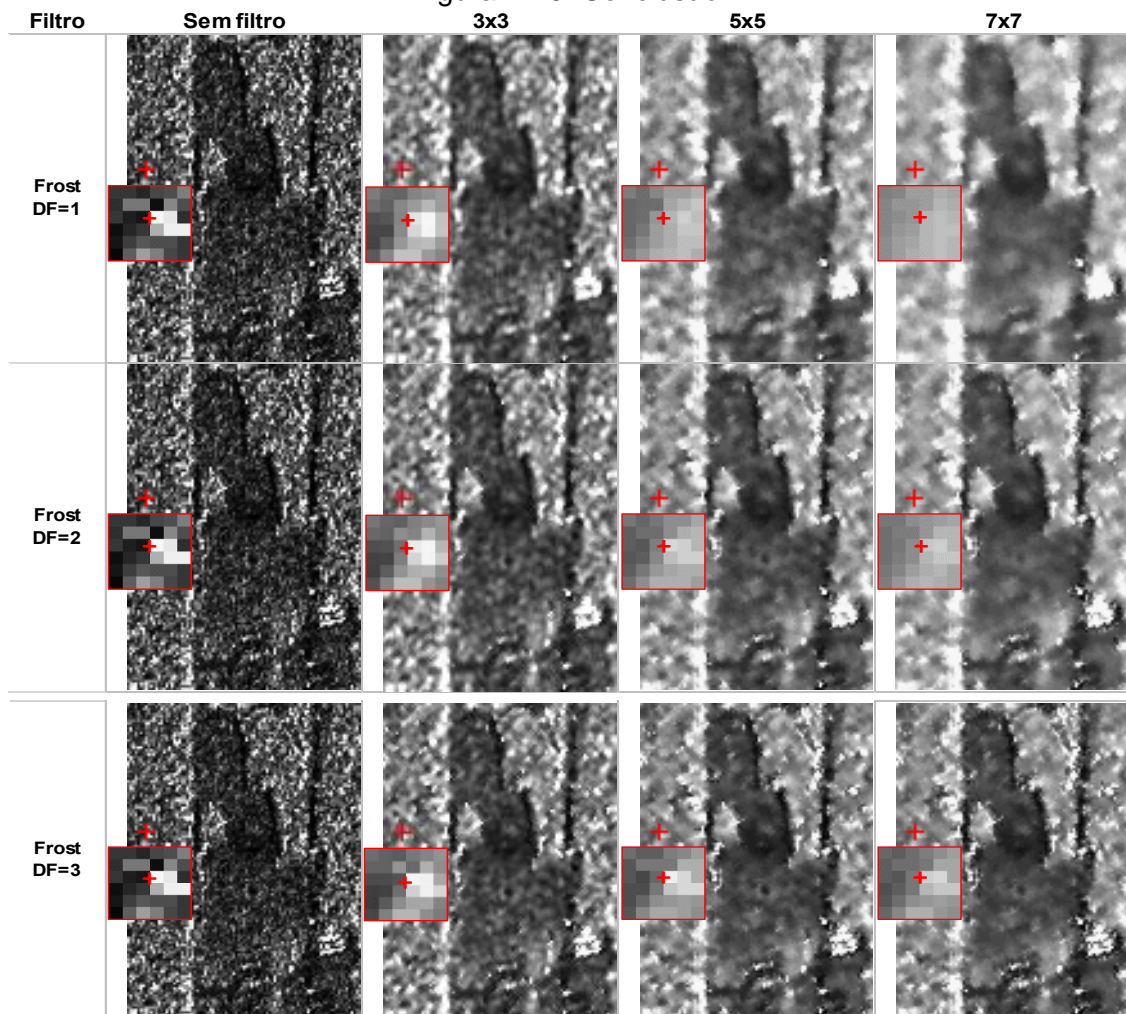
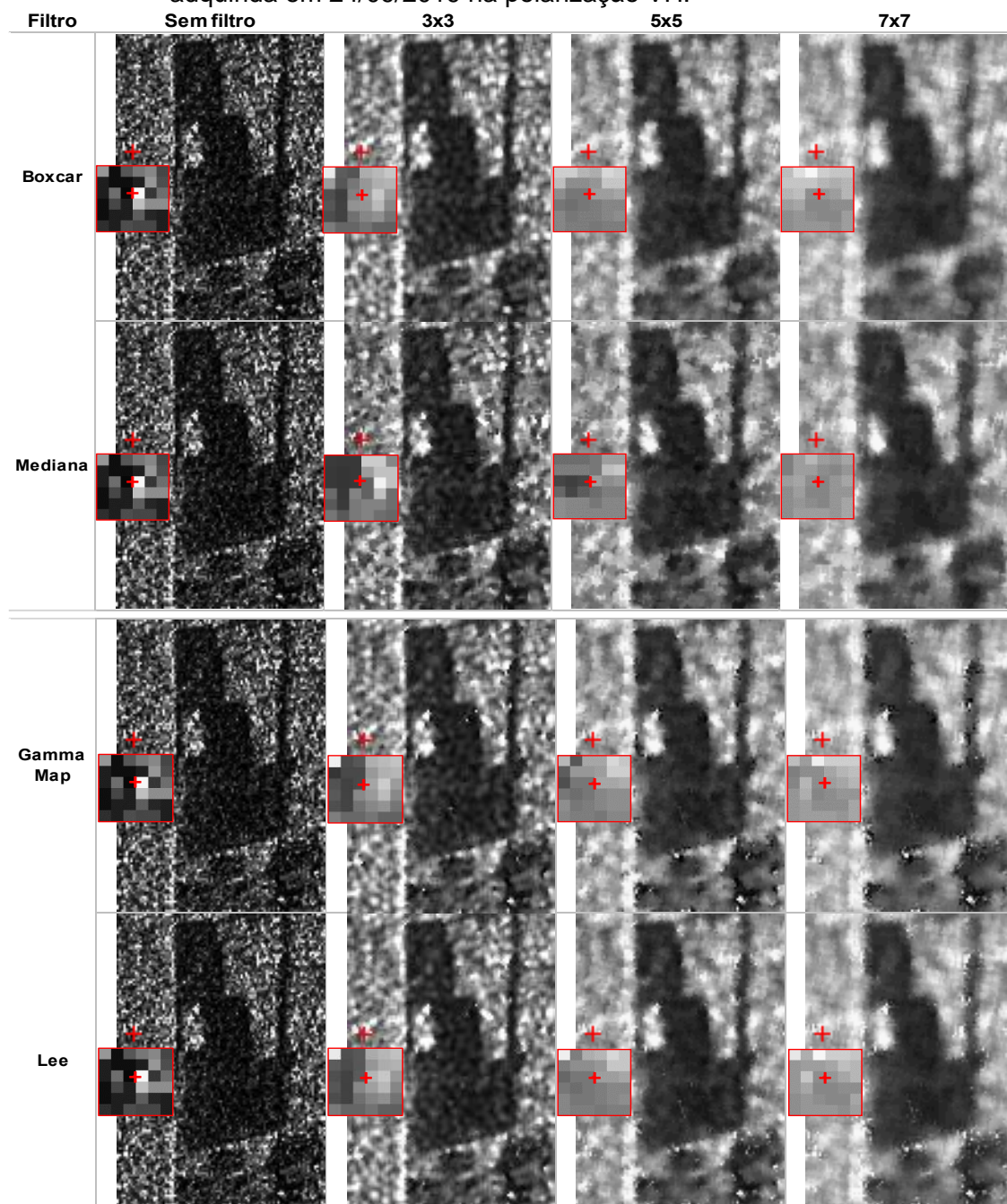
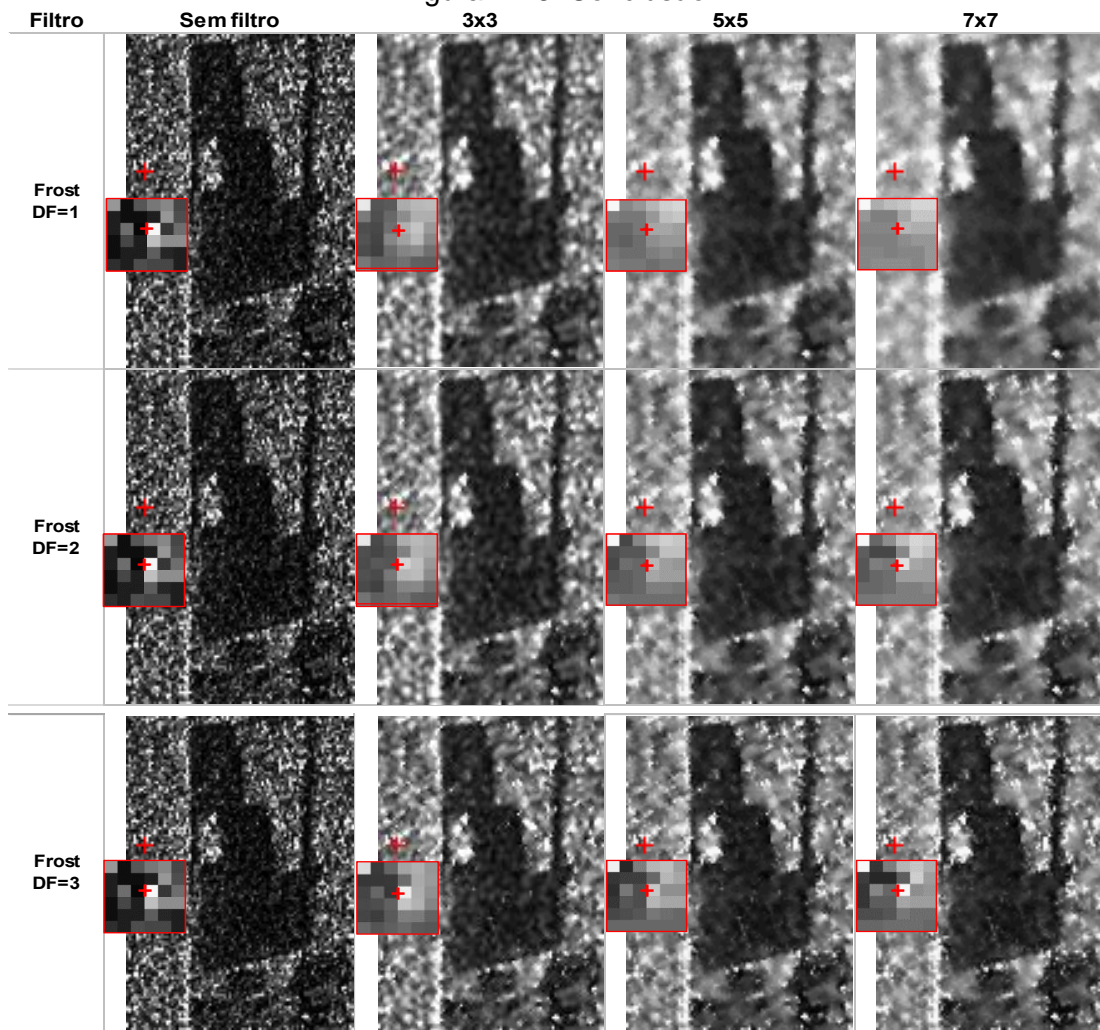


Figura E.16: Análise visual do desempenho dos filtros aplicados na imagem S1A adquirida em 24/09/2019 na polarização VH.



(continua)

Figura E.16: Conclusão.



ANEXO F - TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS AO GRUPO DE CONTROLE E AOS ATRIBUTOS EXTRAÍDOS DAS IMAGENS ALOS2 E S1A

Tabela F.1: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 05/10/2014 e 18/10/2015.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
05/10/2014	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,027	0,037	0,127	0,027
	H-AL2	0,000	0,011	0,015	0,001
	18/10/2015	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001
σ° HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RC-AL2		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RNDVI		0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Con-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Con-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
α -AL2		0,053	0,160	0,107	0,029
H-AL2		0,000	0,001	0,011	0,001

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela F.2: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 18/09/2016 e 05/02/2017.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
18/09/2016	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,000	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,001	0,023	0,029	0,015
	H-AL2	0,000	0,0001	0,001	0,005
	05/02/2017	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001
σ° HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RC-AL2		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RNDVI		0,0001	0,0001	0,006	0,0001
Con-HH		0,0001	0,0001	0,000	0,0001
Con-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
α -AL2		0,540	0,534	0,526	0,433
H-AL2		0,0001	0,001	0,032	0,000

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela F.3: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 12/11/2017 e 13/05/2018.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
12/11/2017	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,108	0,034	0,037	0,102
	H-AL2	0,0001	0,001	0,009	0,0001
13/05/2018	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,000	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,002	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,002	0,005	0,037	0,009
	H-AL2	0,002	0,069	0,347	0,008

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela F.4: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/09/2015 e 19/01/2016.

Data imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
09/09/2015	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,061	0,092	0,187	0,056
	H-S1	0,294	0,348	0,526	0,284
19/01/2016	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,021	0,045	0,058	0,041
	H-S1	0,004	0,003	0,033	0,024

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela F.5: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 08/12/2016 e 02/03/2017.

Data imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
08/12/2016	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,274	0,542	0,922	0,274
	H-S1	0,004	0,008	0,011	0,025
02/03/2017	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,244	0,331	0,426	0,176
	H-S1	0,054	0,039	0,098	0,059

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela F.6: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/11/2017 e 15/12/2017.

Data imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
09/11/2017	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,001	0,005	0,006	0,003
	H-S1	0,797	0,983	0,978	0,622
15/12/2017	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,013	0,041	0,044	0,033
	H-S1	0,001	0,003	0,045	0,005

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela F.7: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 25/06/2018 e 12/08/2018.

Data imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
25/06/2018	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,063	0,188	0,050	0,092
	H-S1	0,001	0,005	0,037	0,006
12/08/2018	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,0001	0,001	0,040	0,001
	H-S1	0,123	0,109	0,141	0,098

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

ANEXO G - TESTES DE NORMALIDADE APLICADOS ÀS AMOSTRAS DE CAMPO E AOS ATRIBUTOS EXTRAÍDOS DAS IMAGENS ALOS2 E S1A

Tabela G.1: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 05/10/2014 e 18/10/2015.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
05/10/2014	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	H-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	18/10/2015	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001
σ° HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RC-AL2		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RNDVI		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Con-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Con-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
α -AL2		0,0001	0,0001	0,003	0,0001
H-AL2		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela G.2: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 18/09/2016 e 05/02/2017.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
18/09/2016	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,000	0,001	0,136	0,001
	H-AL2	0,0001	0,001	0,072	0,000
	05/02/2017	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001
σ° HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RC-AL2		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
RNDVI		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Con-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Con-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Ener-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HH		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Max-HV		0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
α -AL2		0,0001	0,0001	0,003	0,0001
H-AL2		0,018	0,206	0,386	0,059

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p \geq 0,05).

Tabela G.3: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens ALOS2 adquiridas em 12/11/2017 e 13/05/2018.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
12/11/2017	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,096	0,386	0,487	0,124
	H-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
13/05/2018	σ° HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RC-AL2	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RNDVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-HV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -AL2	0,001	0,005	0,171	0,001
	H-AL2	0,0001	0,0001	0,017	0,0001

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela G.4: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/09/2015 e 19/01/2016.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
09/09/2015	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	H-S1	0,001	0,006	0,060	0,000
19/01/2016	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	H-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela G.5: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 08/12/2016 e 02/03/2017.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
08/12/2016	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,0001	0,000	0,047	0,0001
	H-S1	0,012	0,034	0,096	0,089
02/03/2017	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,136	0,327	0,147	0,162
	H-S1	0,0001	0,000	0,015	0,0001

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela G.6: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 09/11/2017 e 15/12/2017.

Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
09/11/2017	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,0001	0,0001	0,002	0,0001
	H-S1	0,059	0,068	0,156	0,112
15/12/2017	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,0001	0,0001	0,001	0,000
	H-S1	0,0001	0,000	0,002	0,000

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

Tabela G.7: Testes de normalidade ao nível de significância $\alpha = 0,05$ de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera aplicados ao grupo de controle nos atributos extraídos das imagens S1A adquiridas em 25/06/2018 e 12/08/2018.

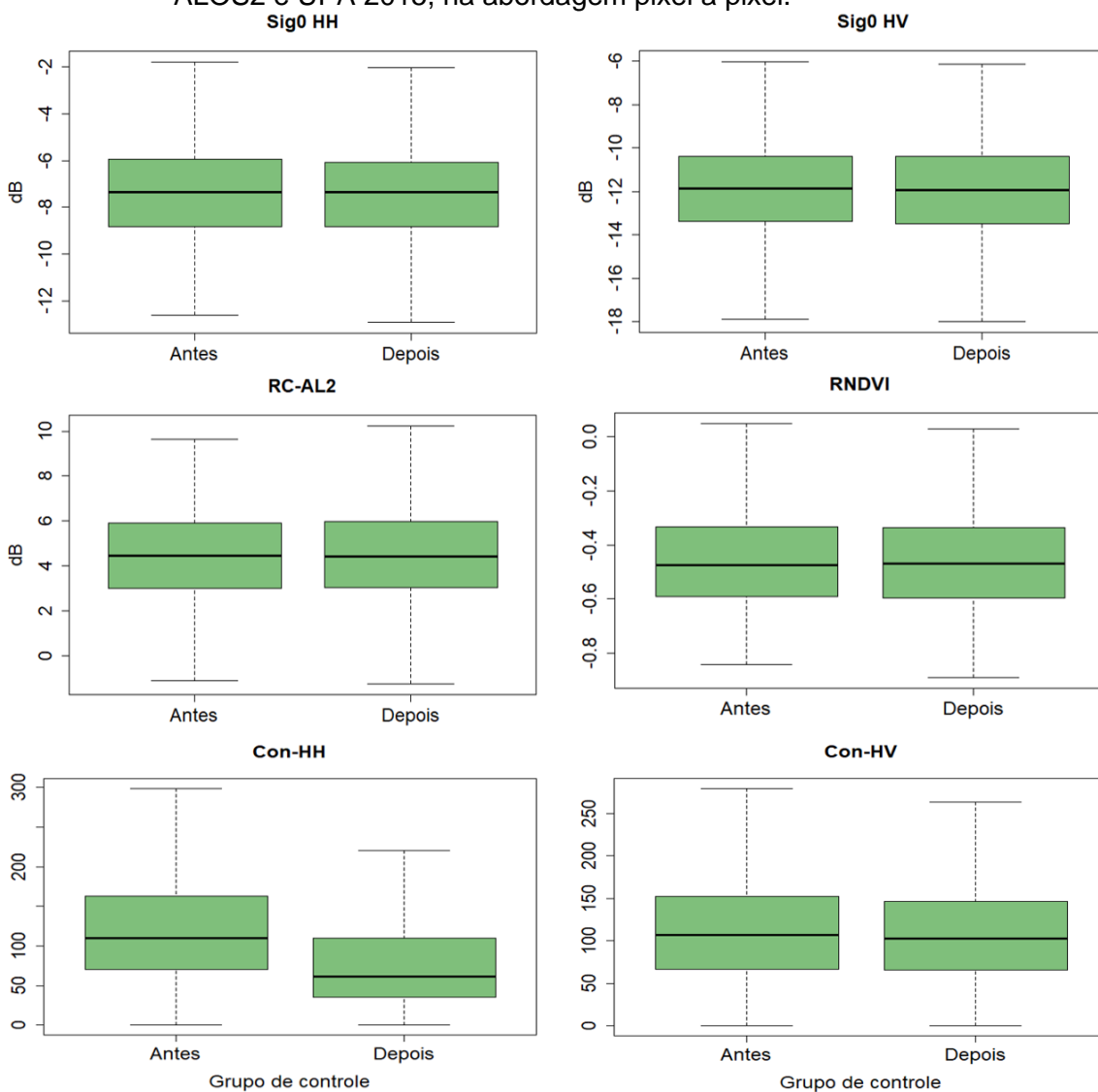
Data da imagem:	Atributo	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	Lilliefors	Jarque-Bera
25/06/2018	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,005	0,005	0,013	0,010
	H-S1	0,001	0,001	0,012	0,004
12/08/2018	σ° WV	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	σ° VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	SUM-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	DIF-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	MEAN-S1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	RRVI	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Con-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Ener-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	Max-VH	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	α -S1	0,004	0,305	0,727	0,066
	H-S1	0,189	0,634	0,564	0,143

Os resultados são representados em termos de valor-p. Os valores destacados em negrito indicam que as amostras possuem distribuição normal (valor-p $\geq 0,05$).

ANEXO H - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE FLORESTA PARA O GRUPO DE CONTROLE NAS IMAGENS ALOS2

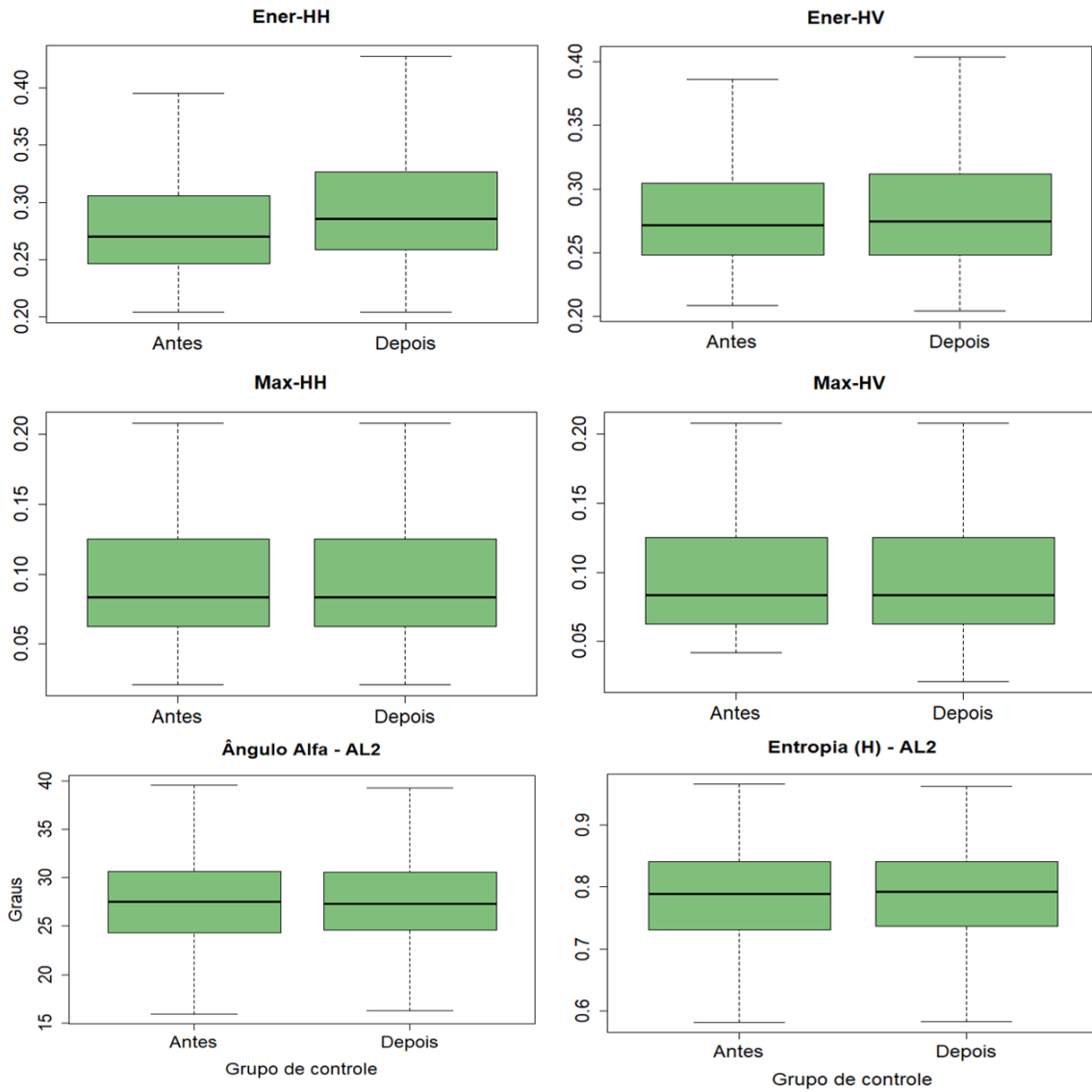
Abaixo são apresentados os gráficos boxplots representando as distribuições das amostras de floresta para o grupo de controle nas imagens ALOS/PALSAR-2, considerando as abordagens metodológicas pixel a pixel, por polígono de distância de 16,48 m e 24,72 m e grids de tamanhos 2x2 e 3x3 pixels.

Figura H.1: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.



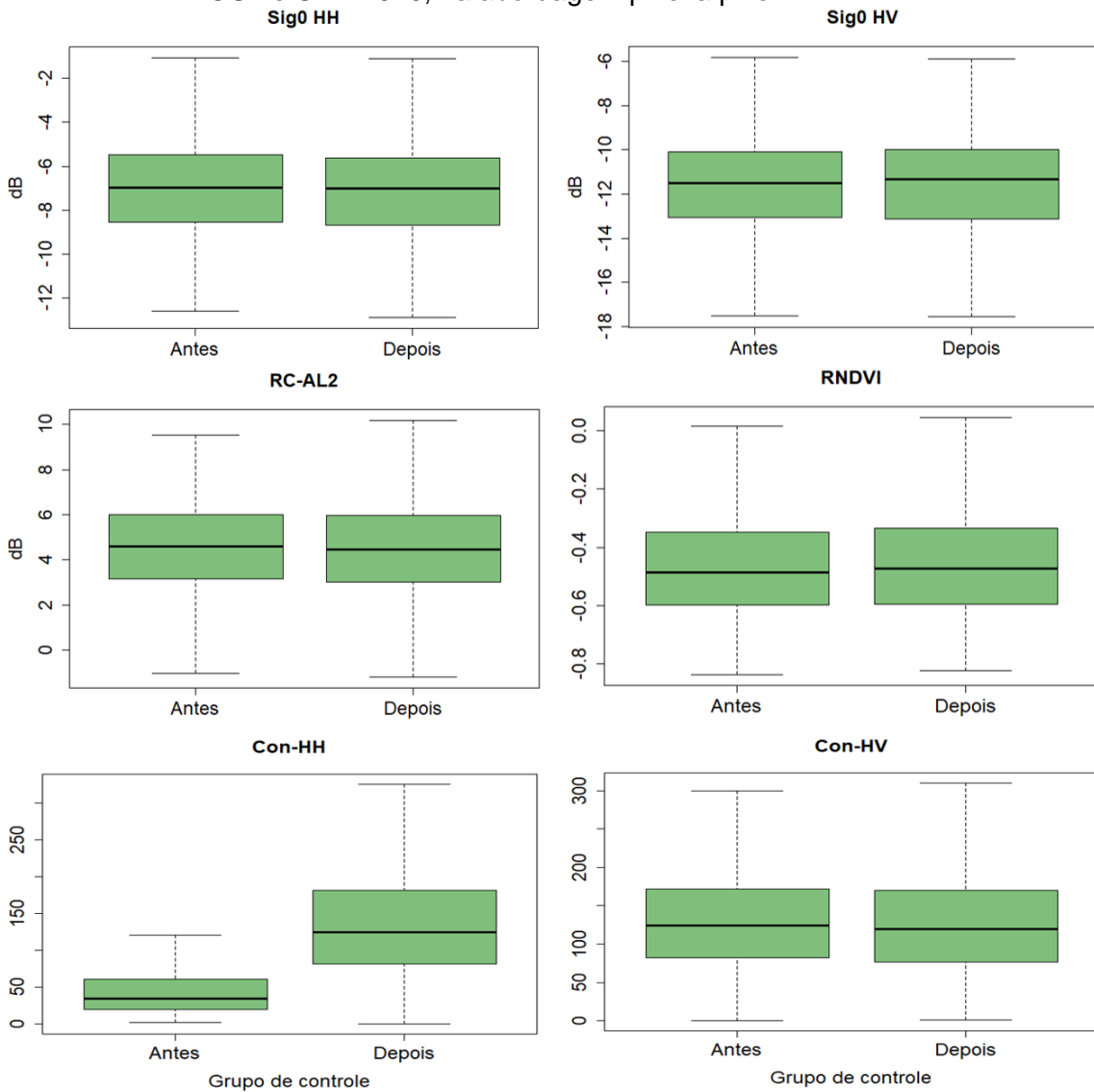
(continua)

Figura H.1: Conclusão.



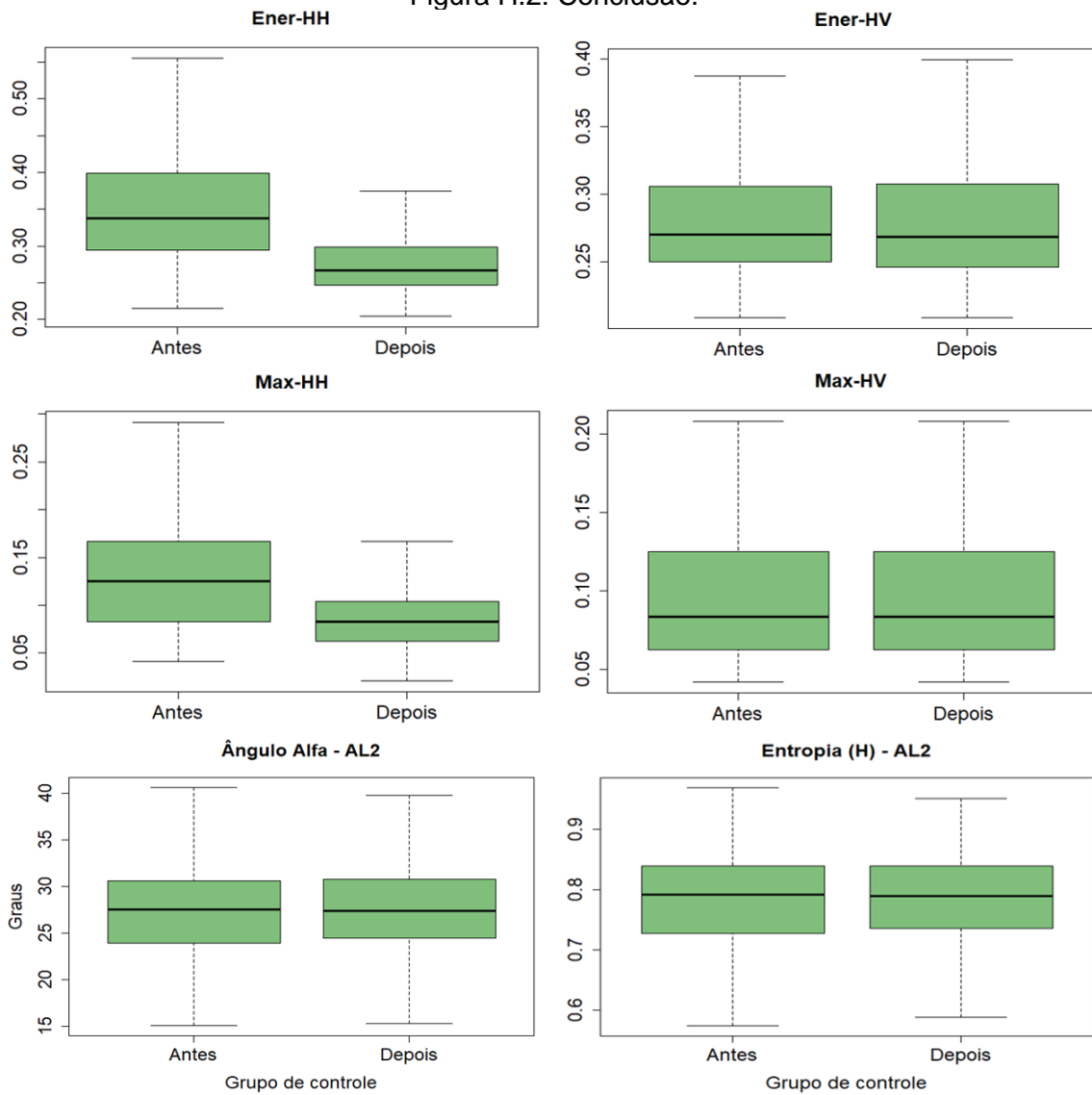
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015.

Figura H.2: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.



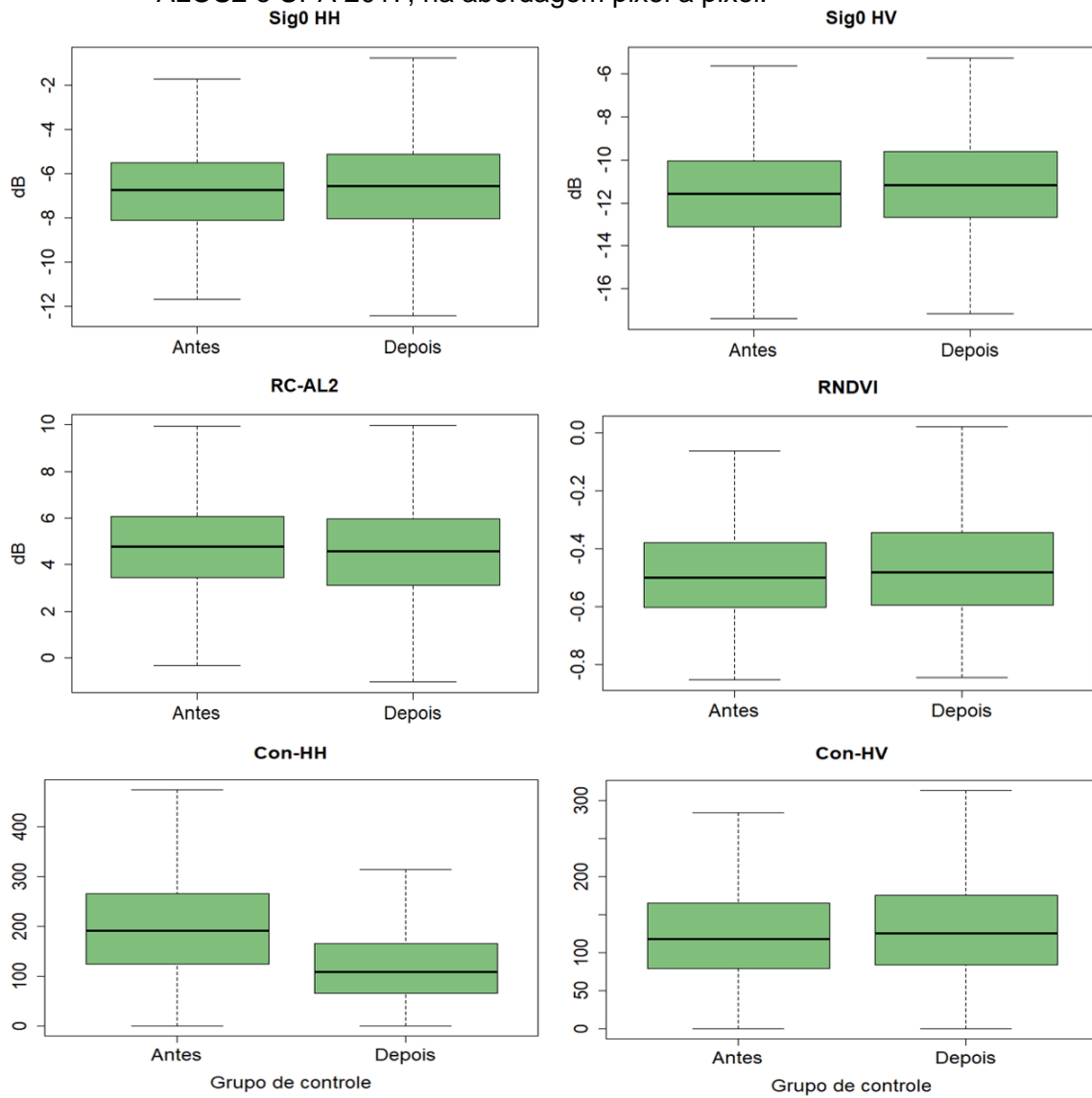
(continua)

Figura H.2: Conclusão.



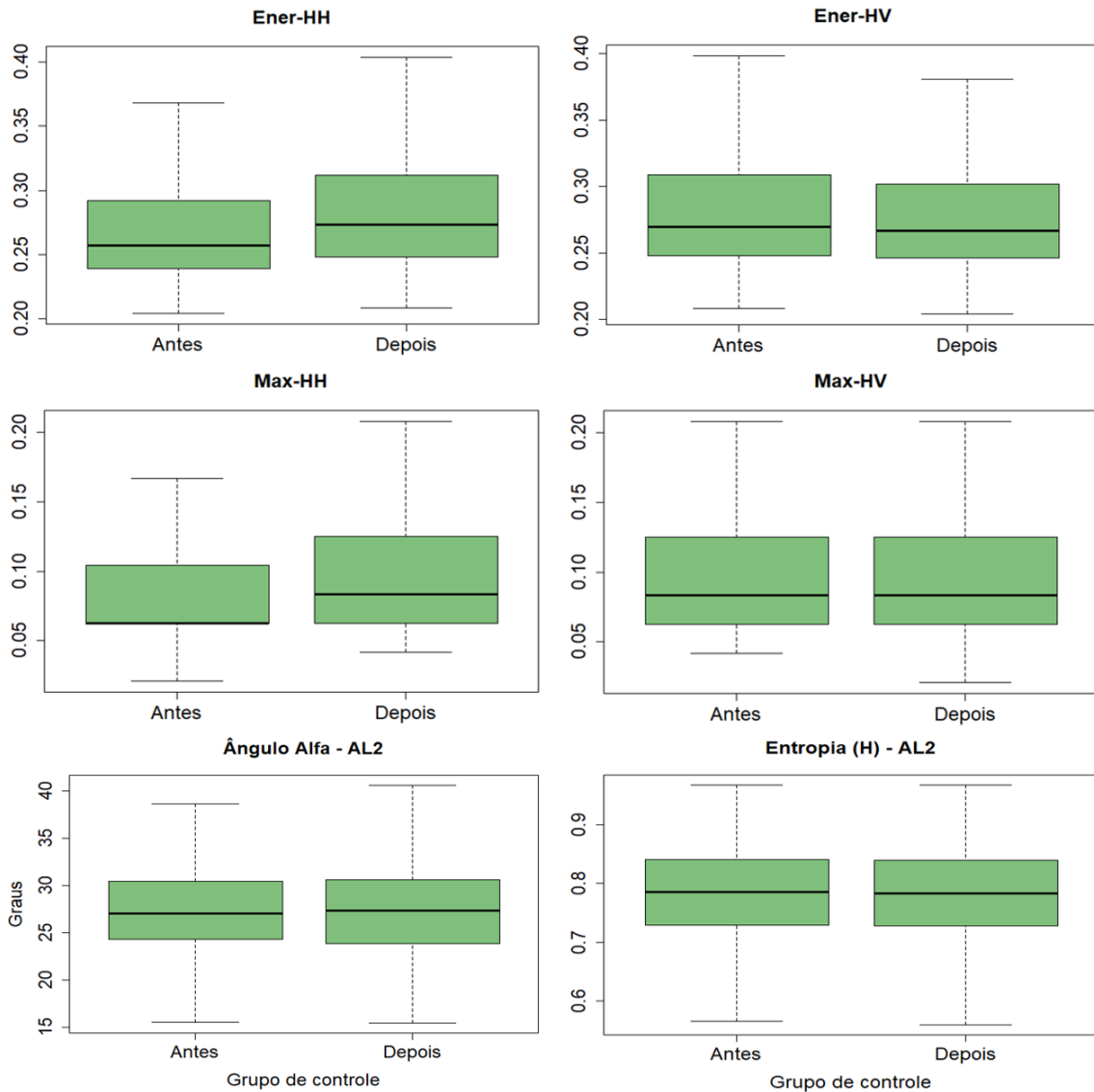
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2016.

Figura H.3: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.



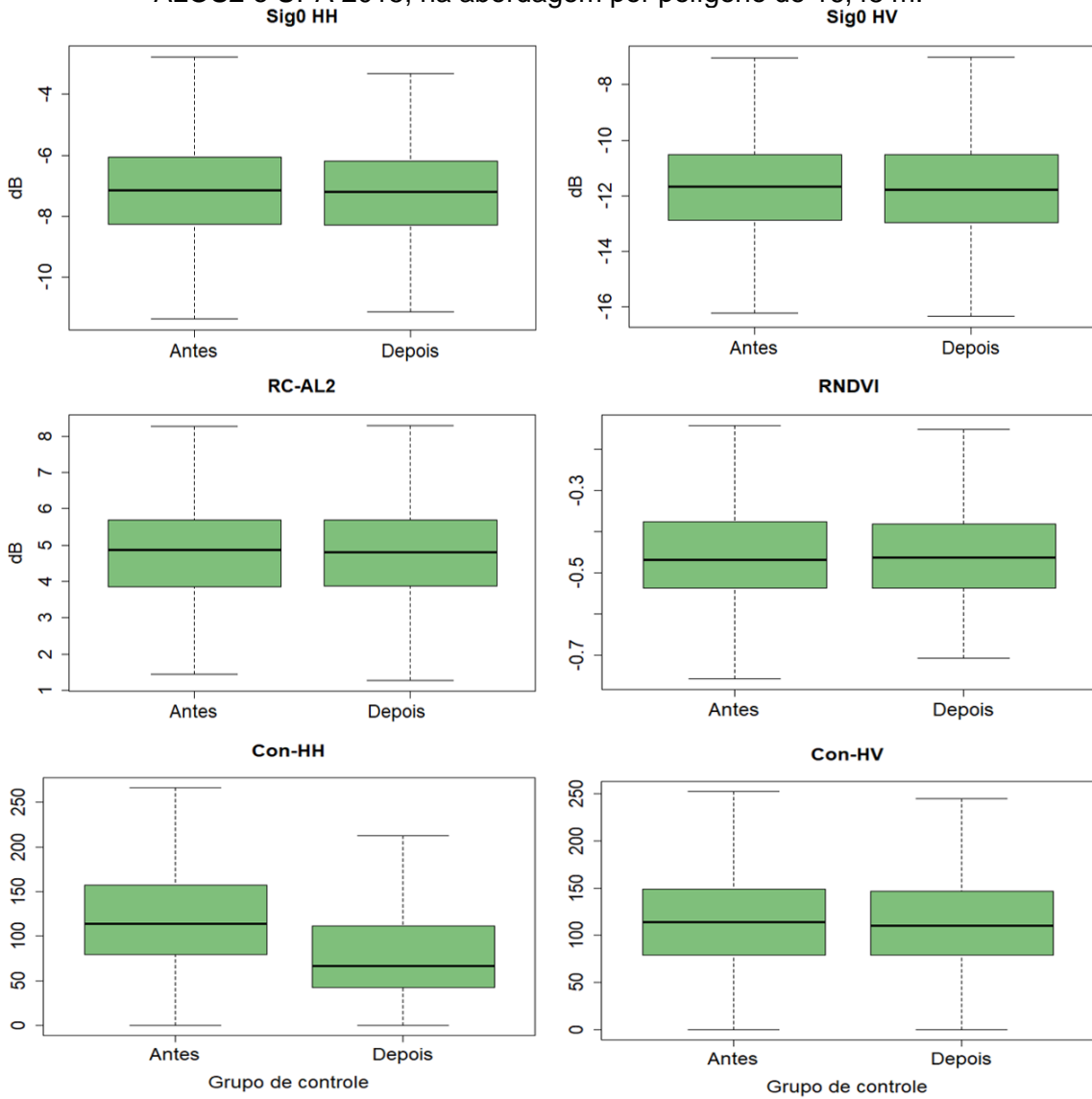
(continua)

Figura H.3: Conclusão.



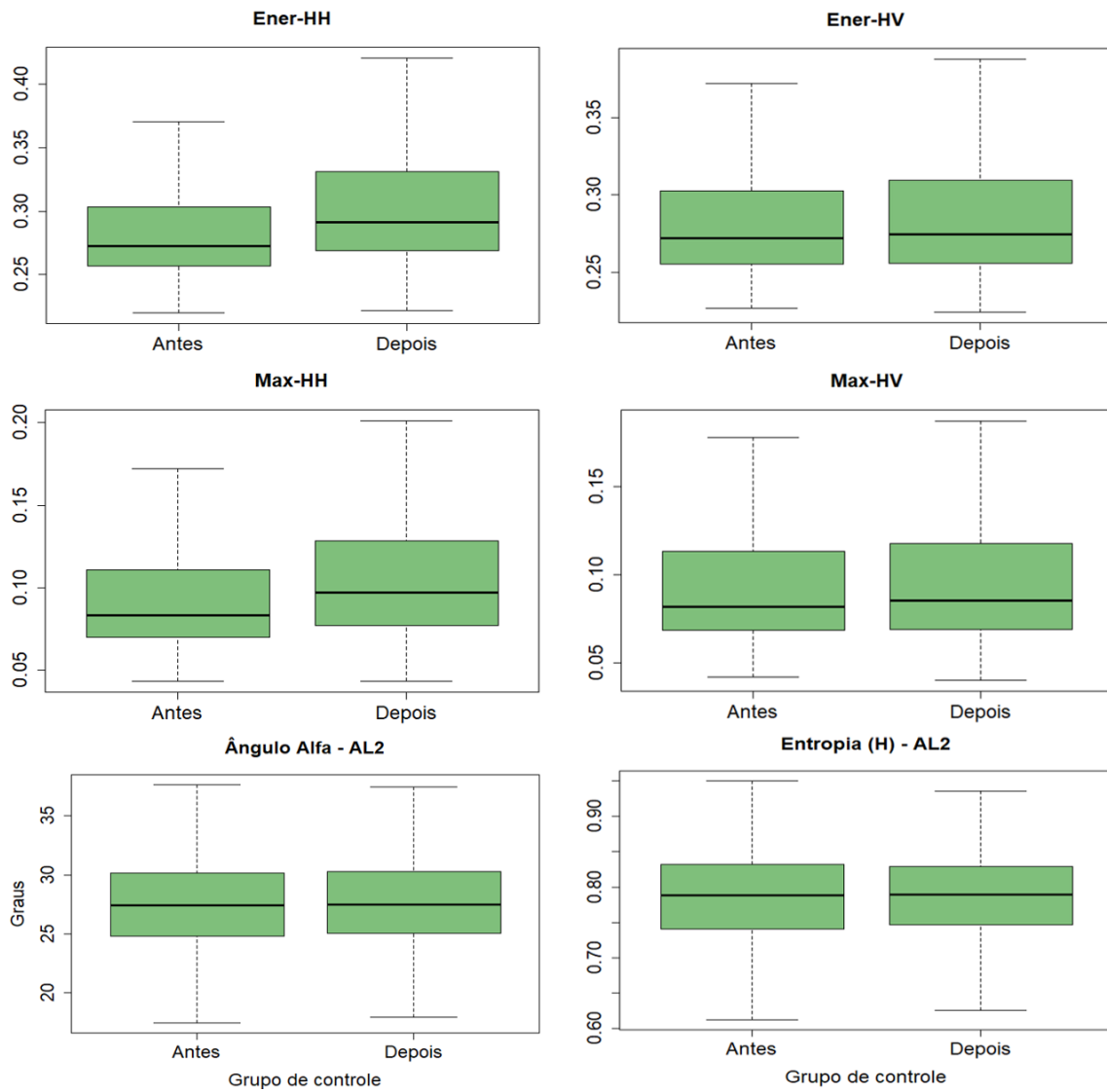
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas, segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2017.

Figura H.4: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 16,48 m.



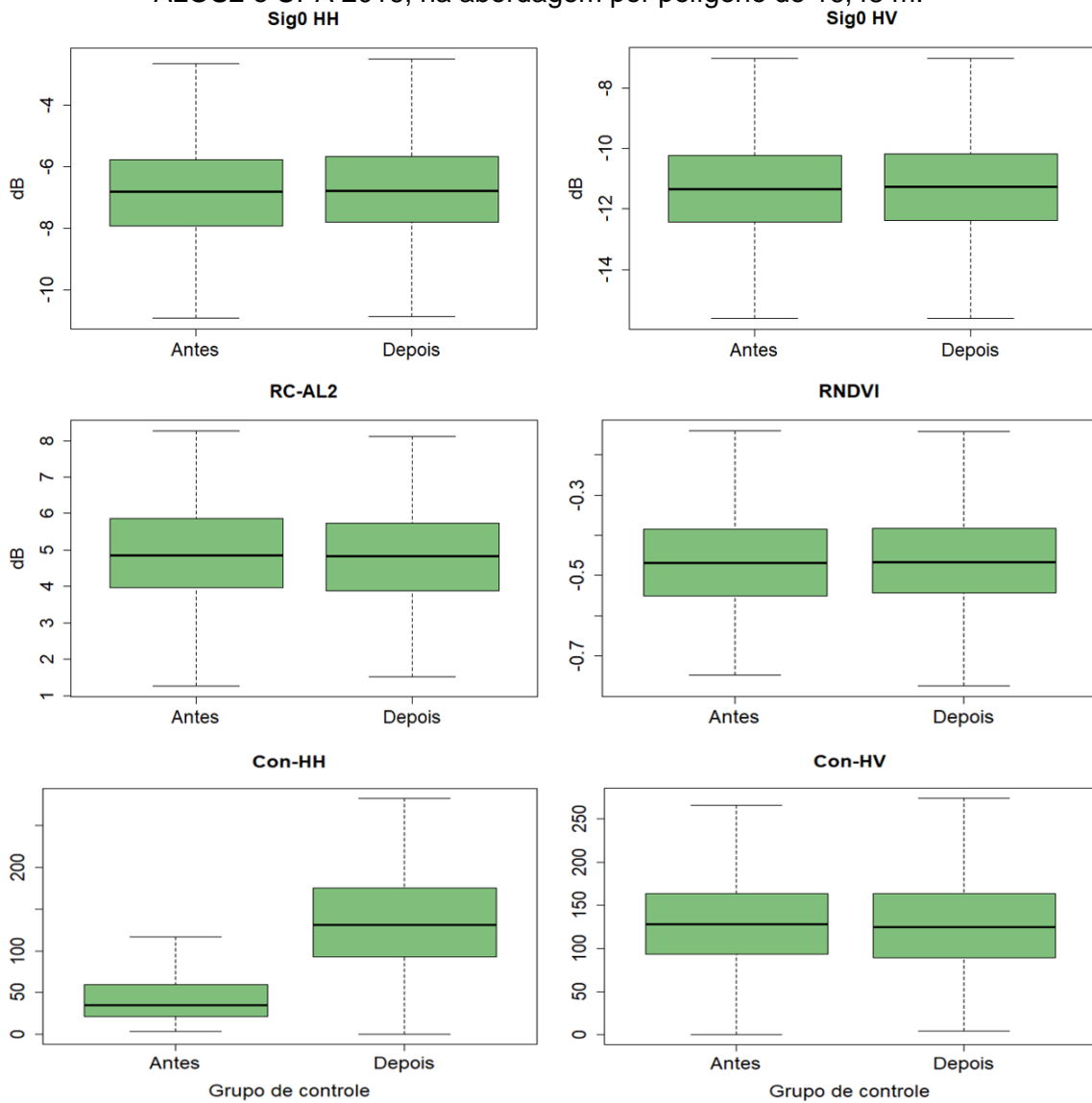
(continua)

Figura H.4: Conclusão.



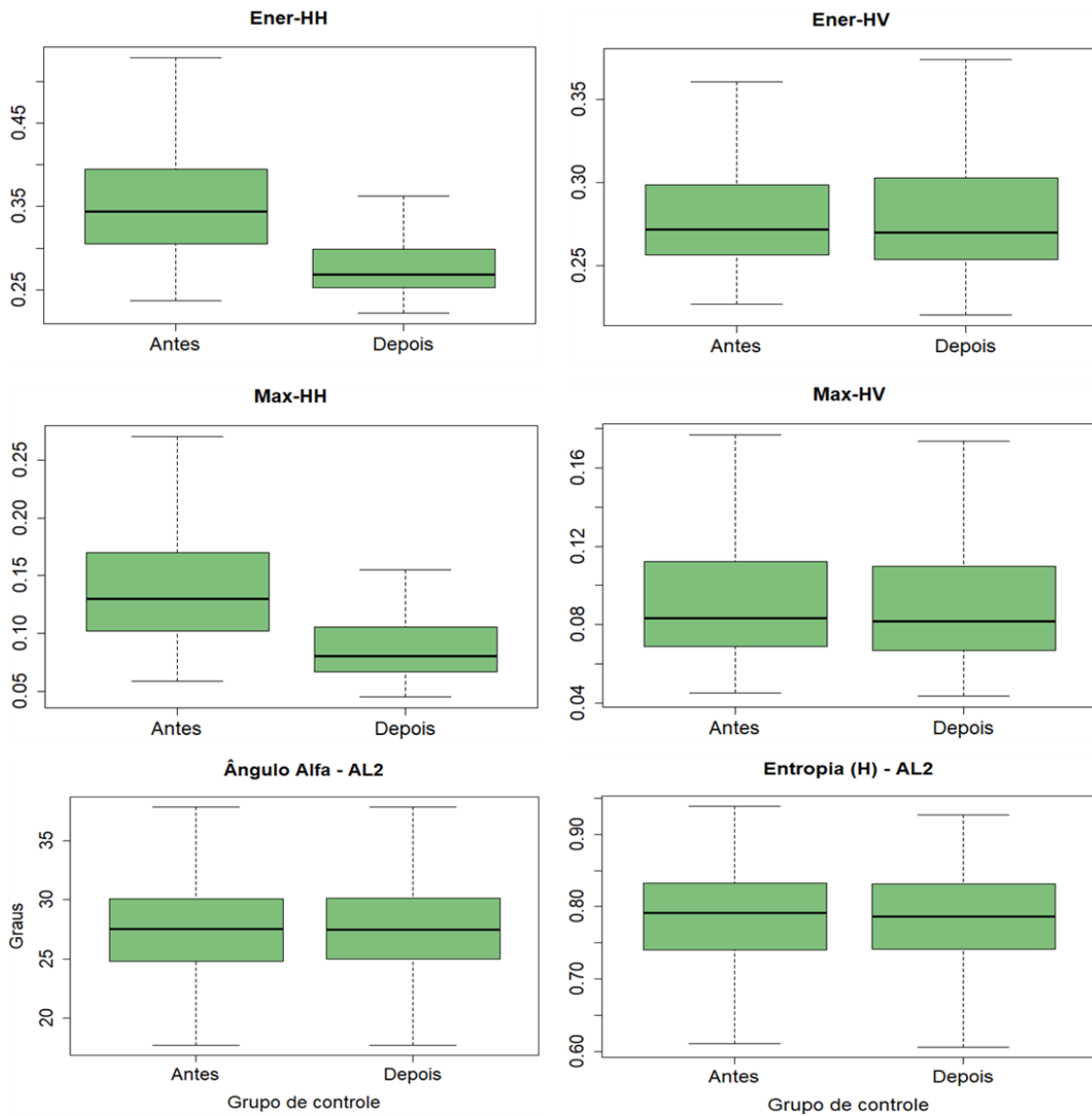
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015. Produção do autor.

Figura H.5: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 16,48 m.



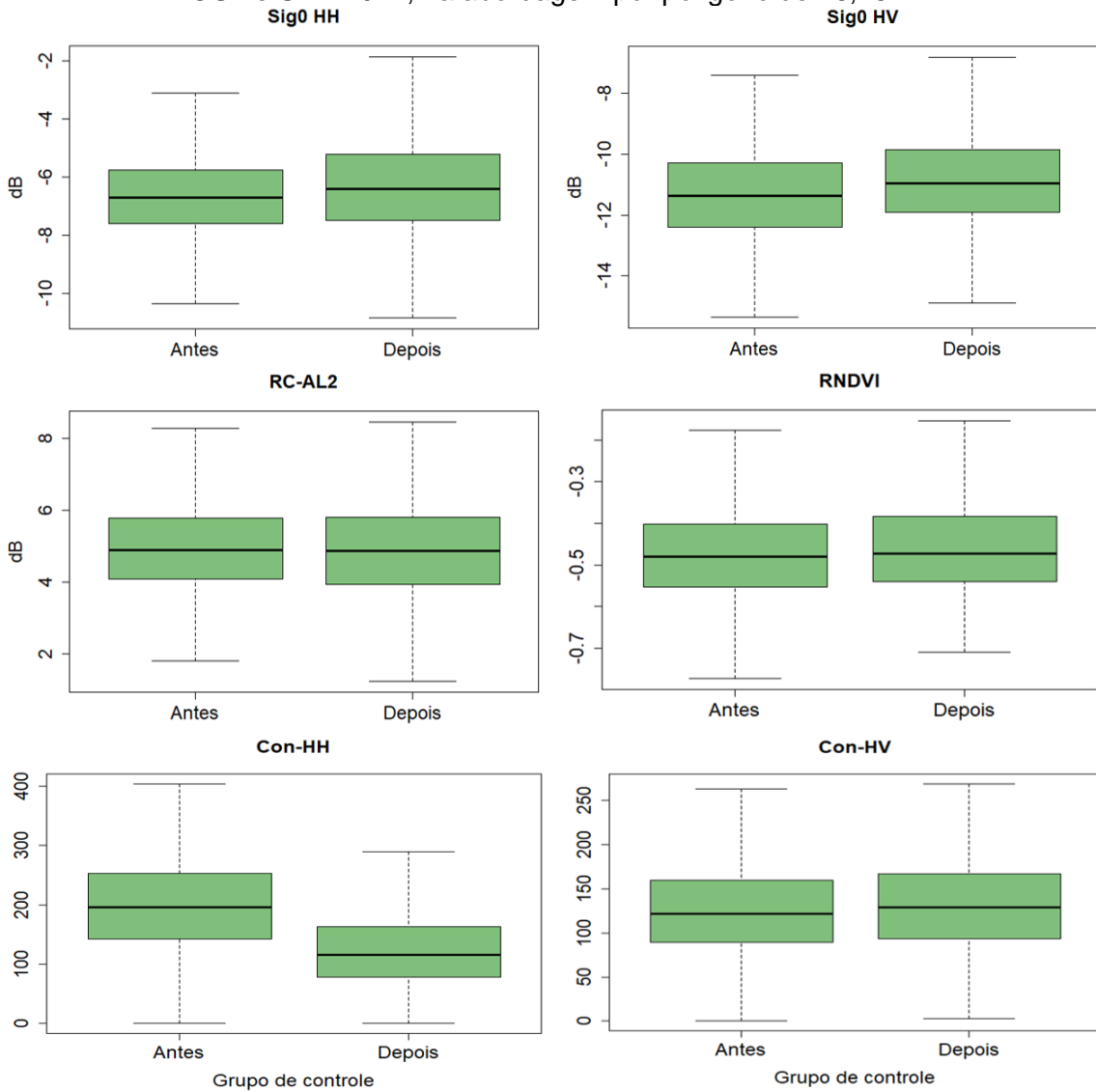
(continua)

Figura H.5: Conclusão.



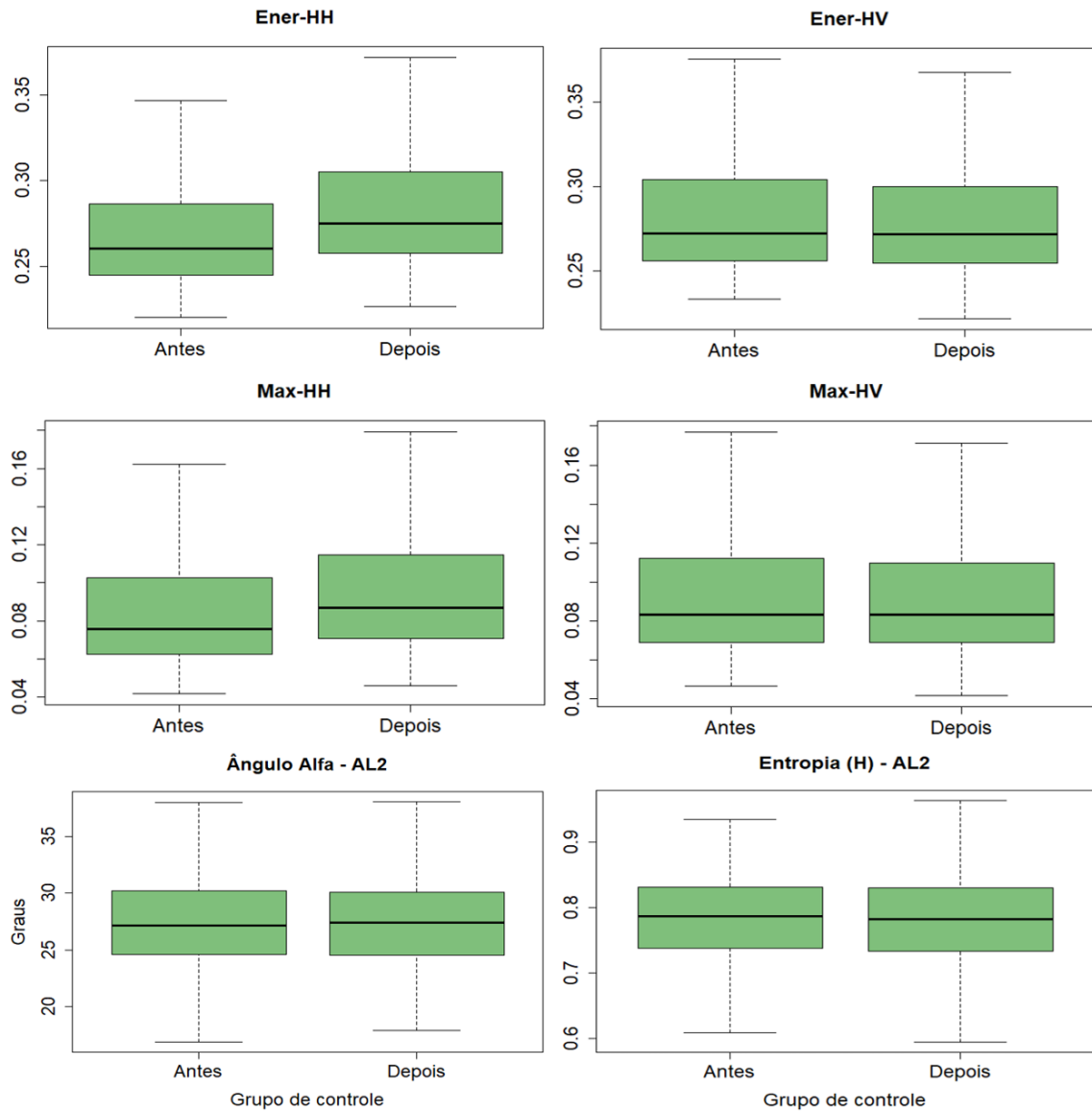
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2016.

Figura H.6: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 16,48 m.



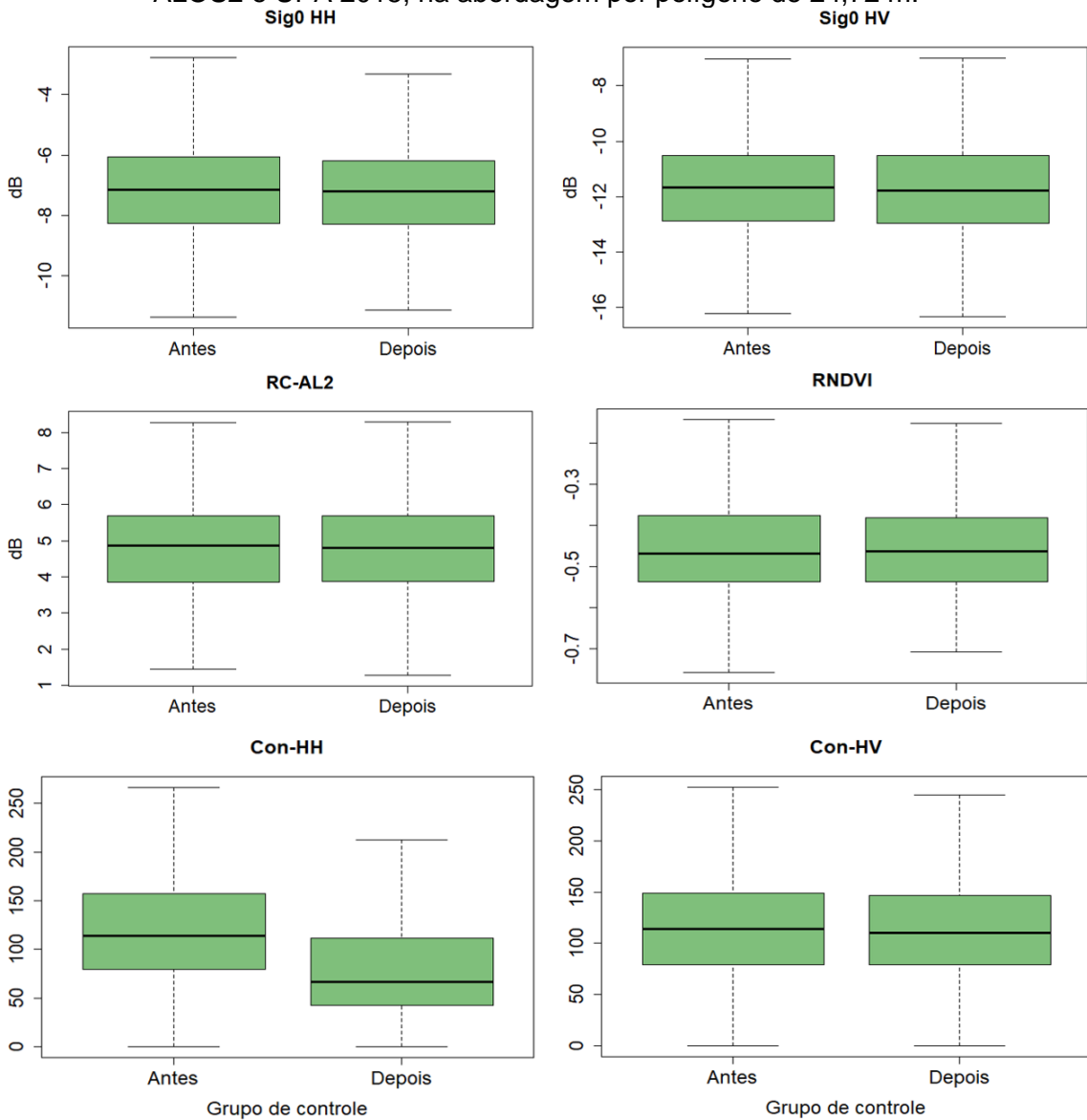
(continua)

Figura H.6: Conclusão.



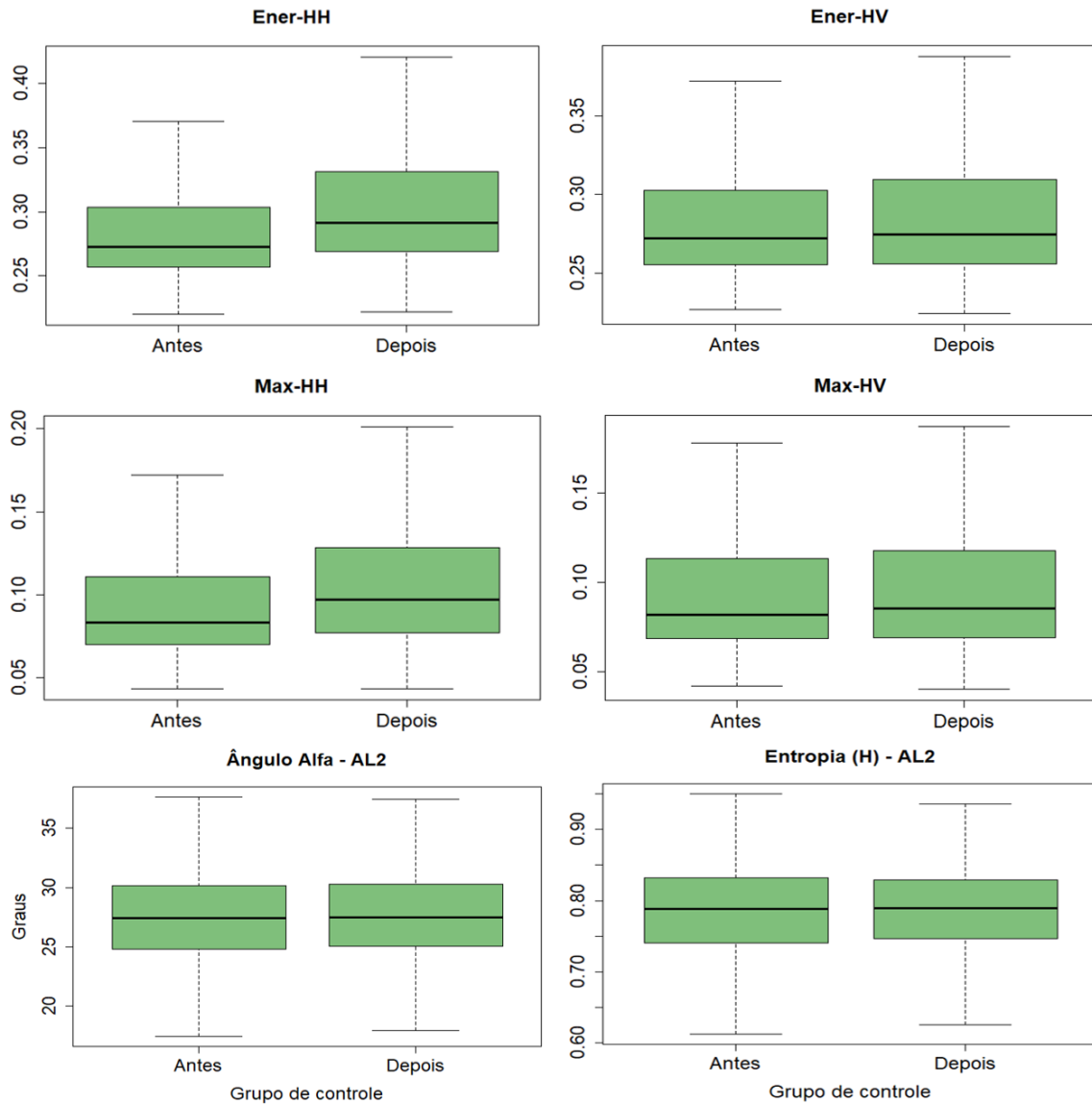
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2017.

Figura H.7: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por polígono de 24,72 m.



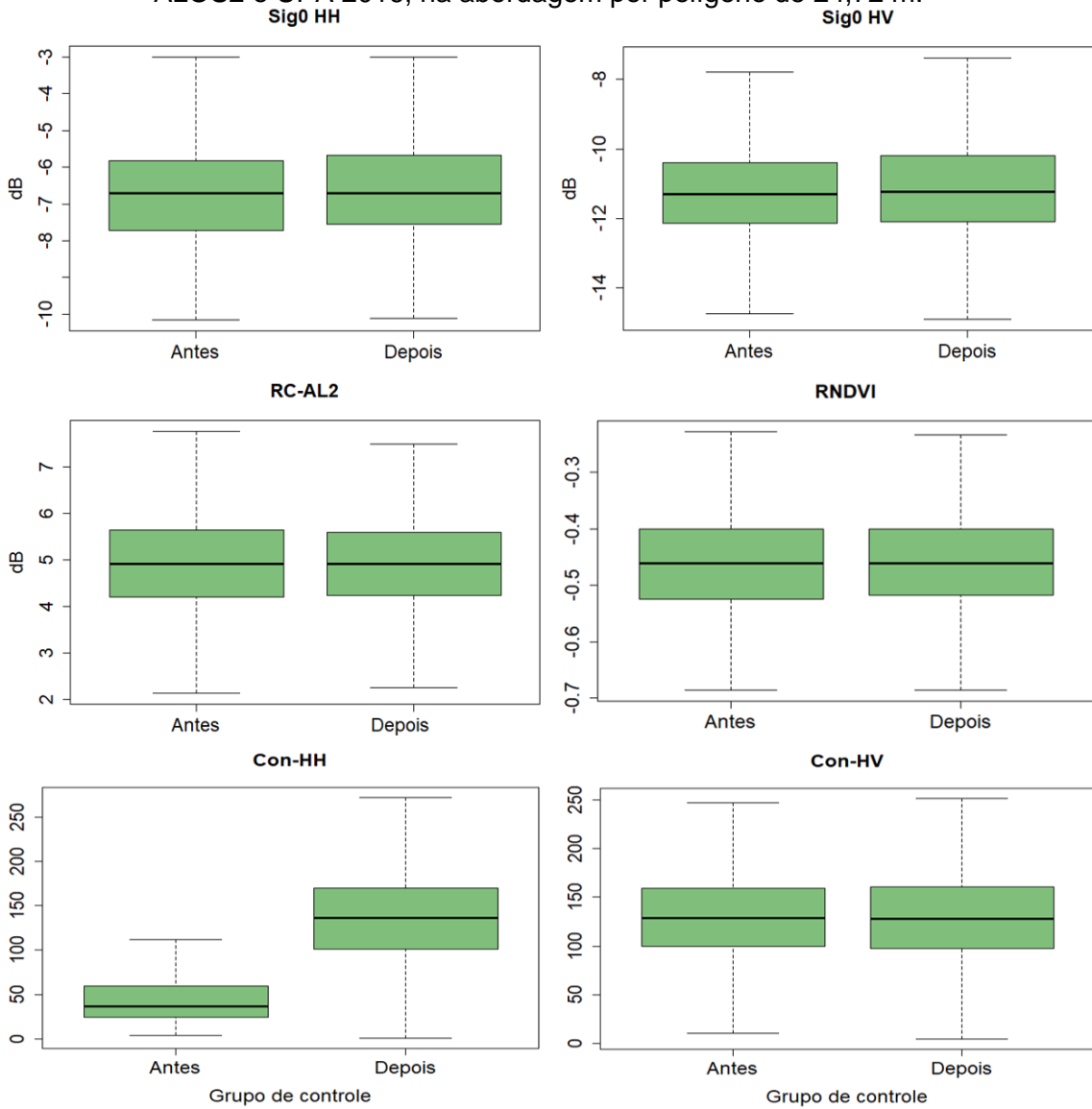
(continua)

Figura H.7: Conclusão.



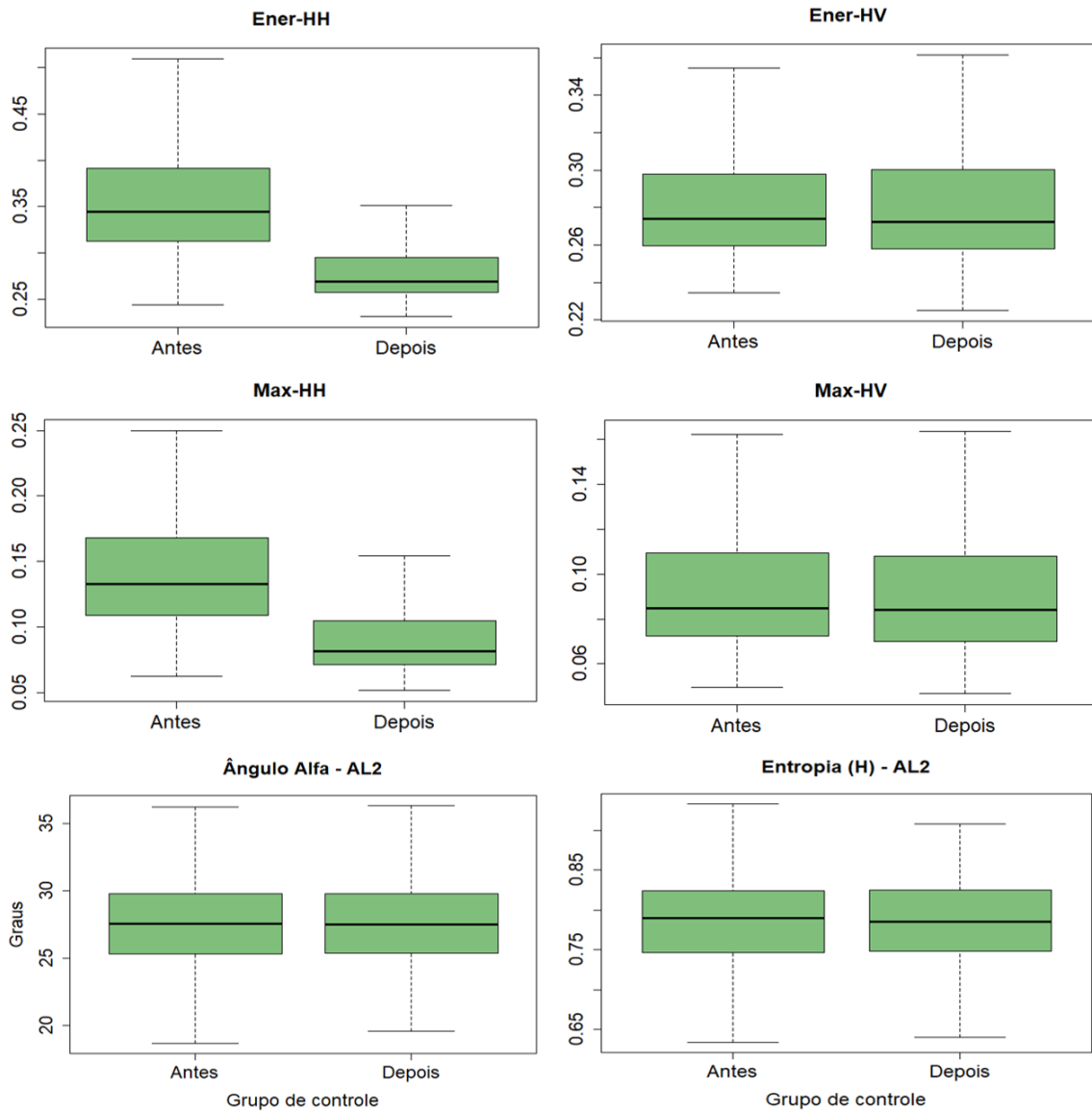
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015.

Figura H.8: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por polígono de 24,72 m.



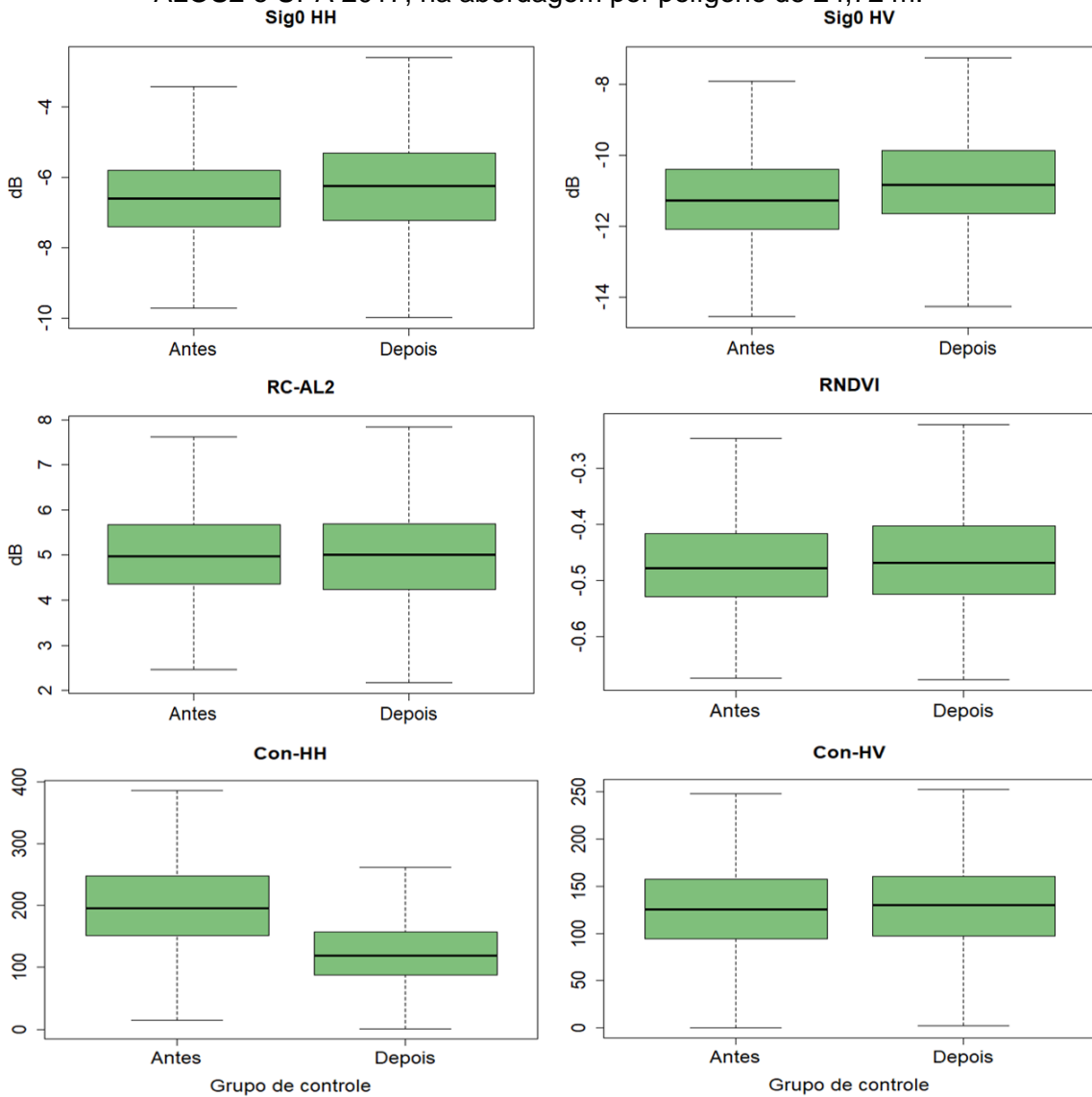
(continua)

Figura H.8: Conclusão.



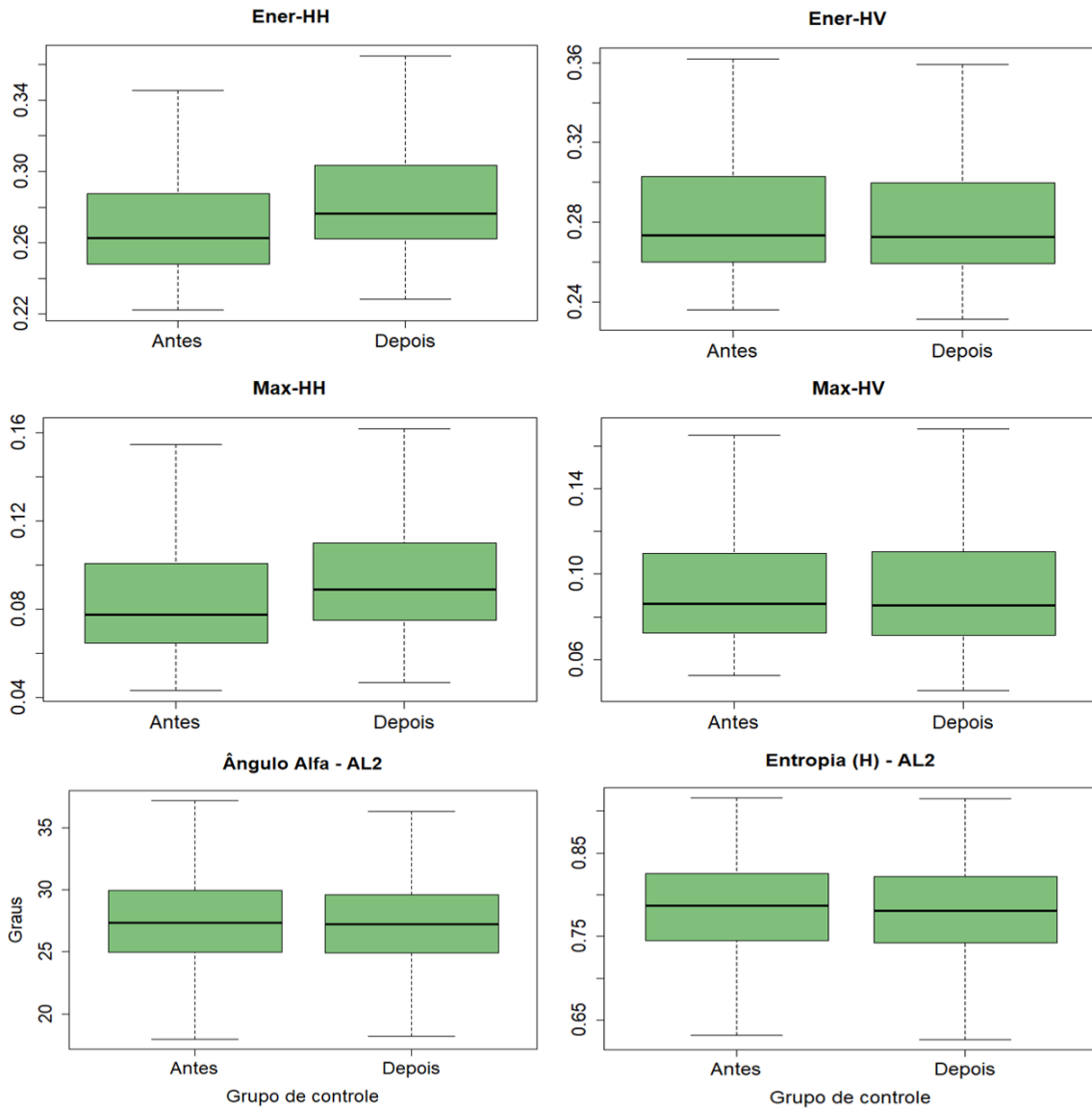
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2016.

Figura H.9: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por polígono de 24,72 m.



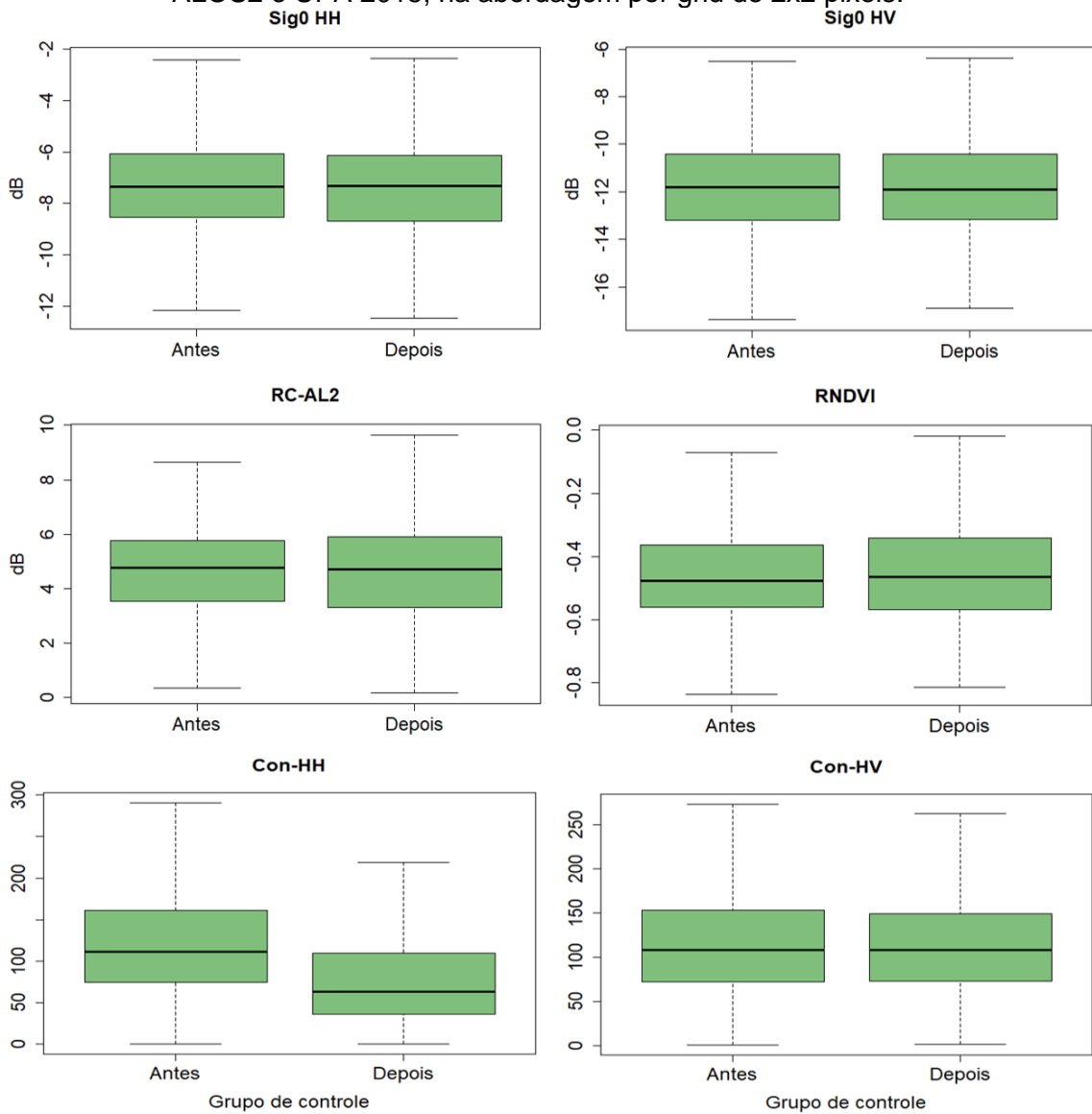
(continua)

Figura H.2: Conclusão.



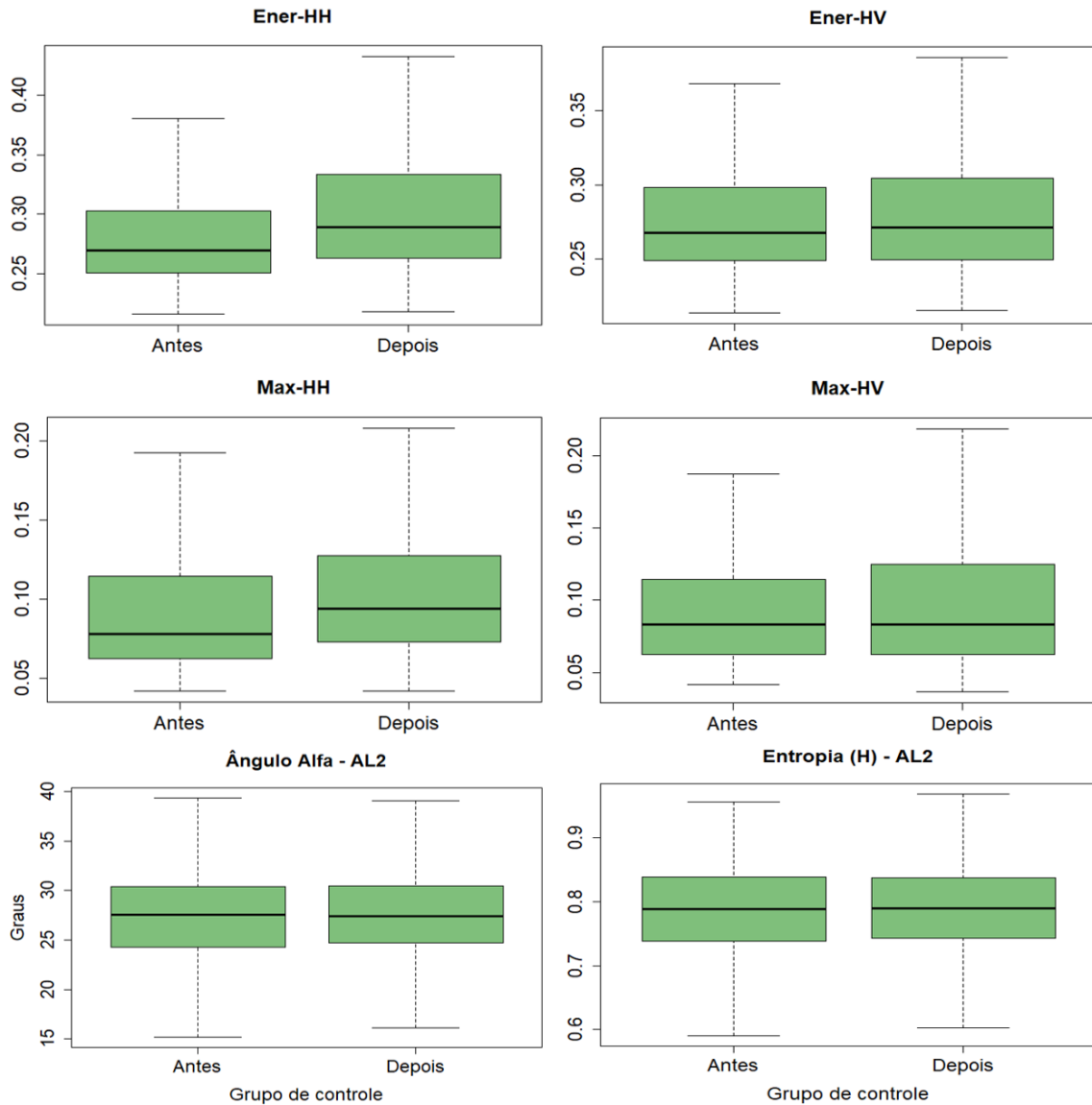
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2017.

Figura H.3: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por grid de 2x2 pixels.



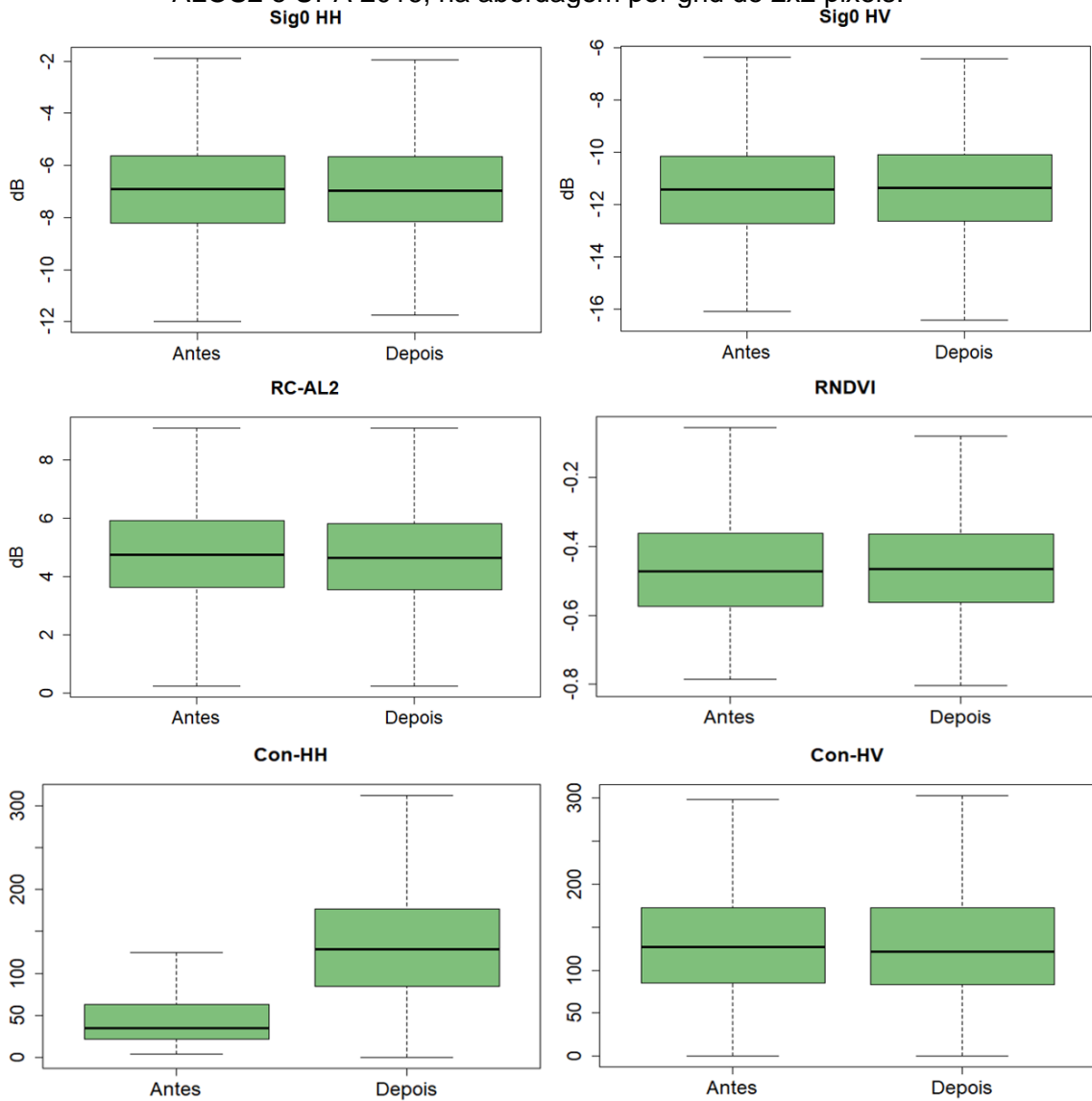
(continua)

Figura H.4: Conclusão.



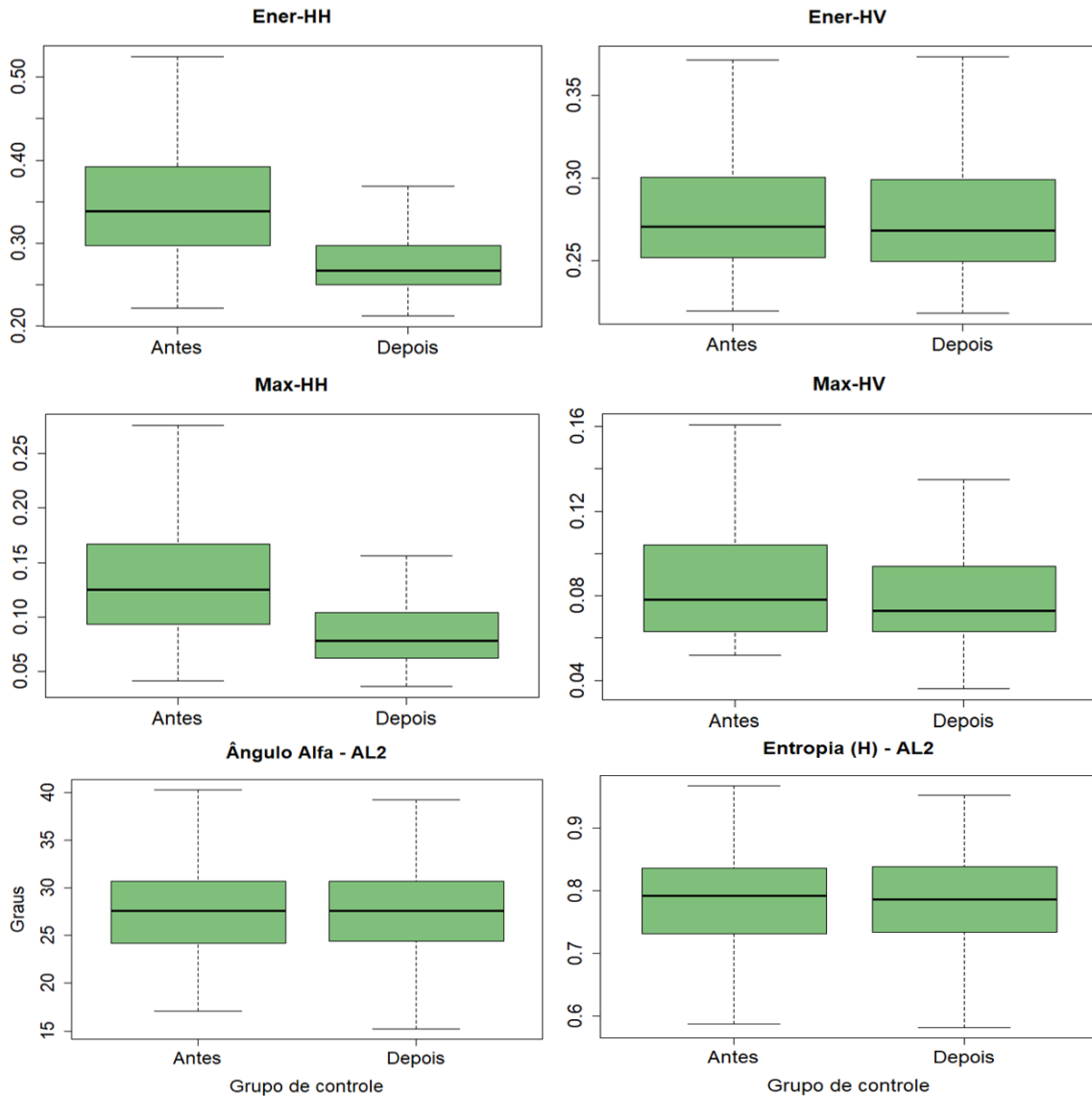
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015.

Figura H.5: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por grid de 2x2 pixels.



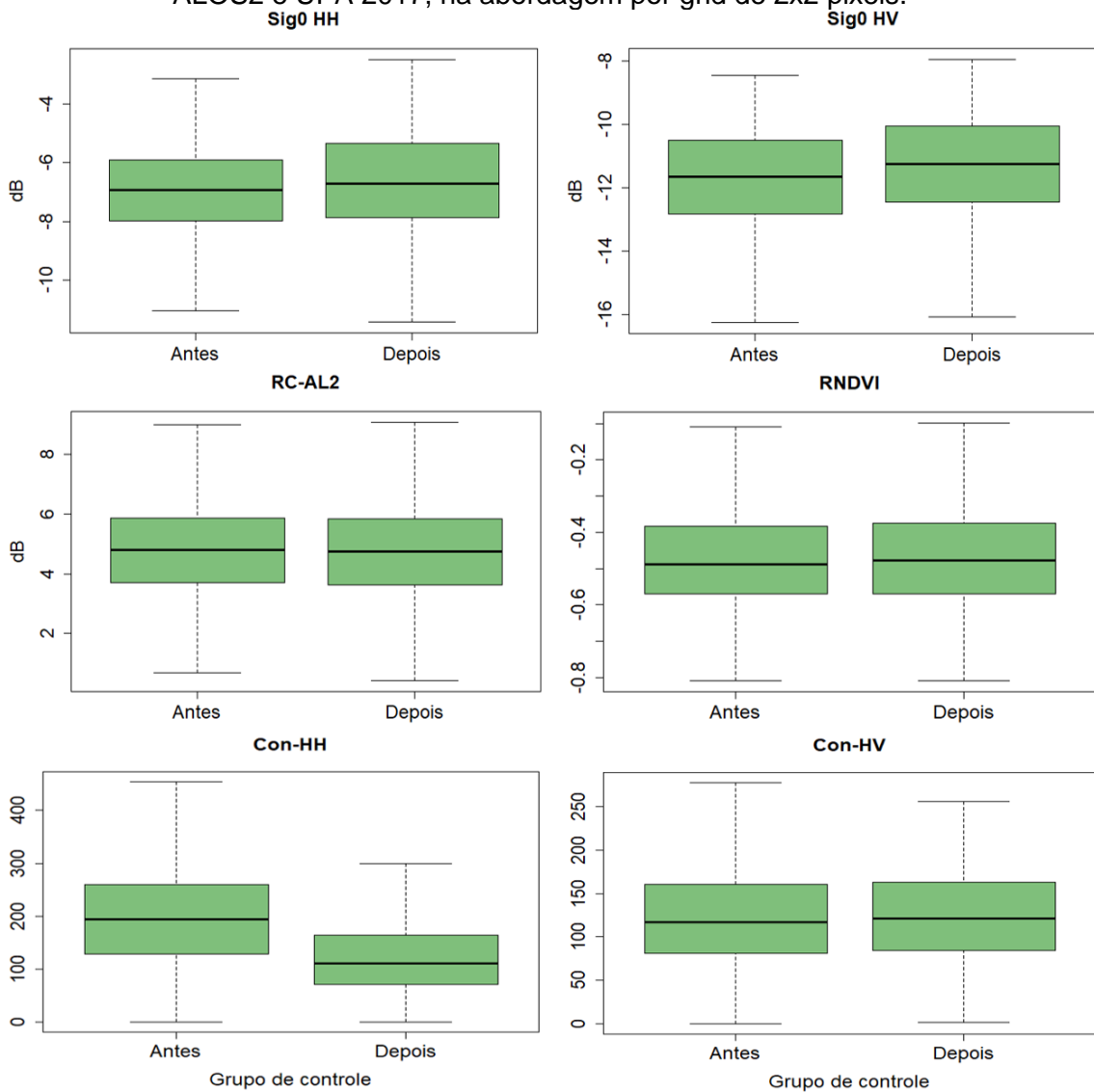
(continua)

Figura H.6: Conclusão.



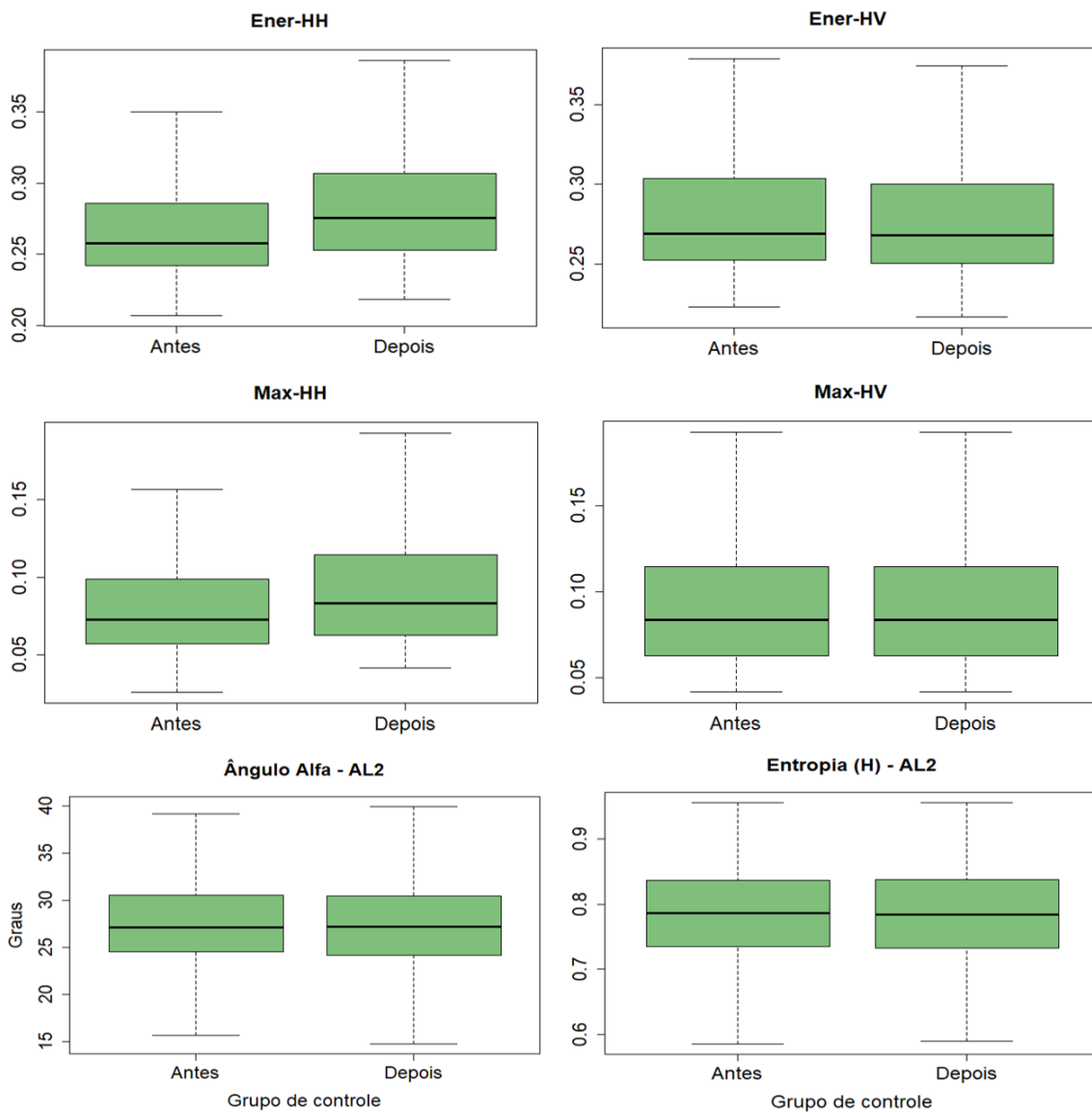
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2016.

Figura H.17: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por grid de 2x2 pixels.



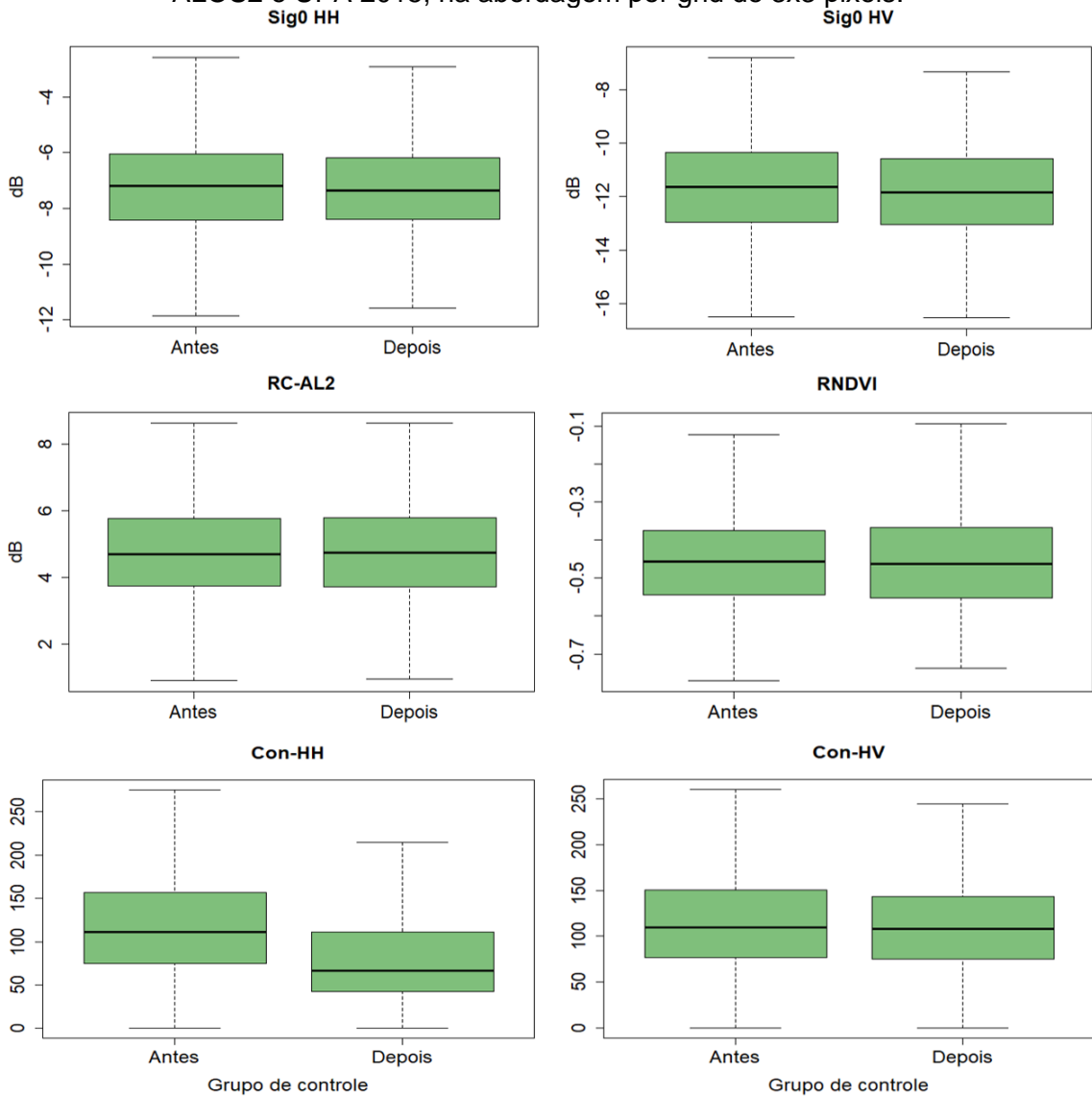
(continua)

Figura H.18: Conclusão.



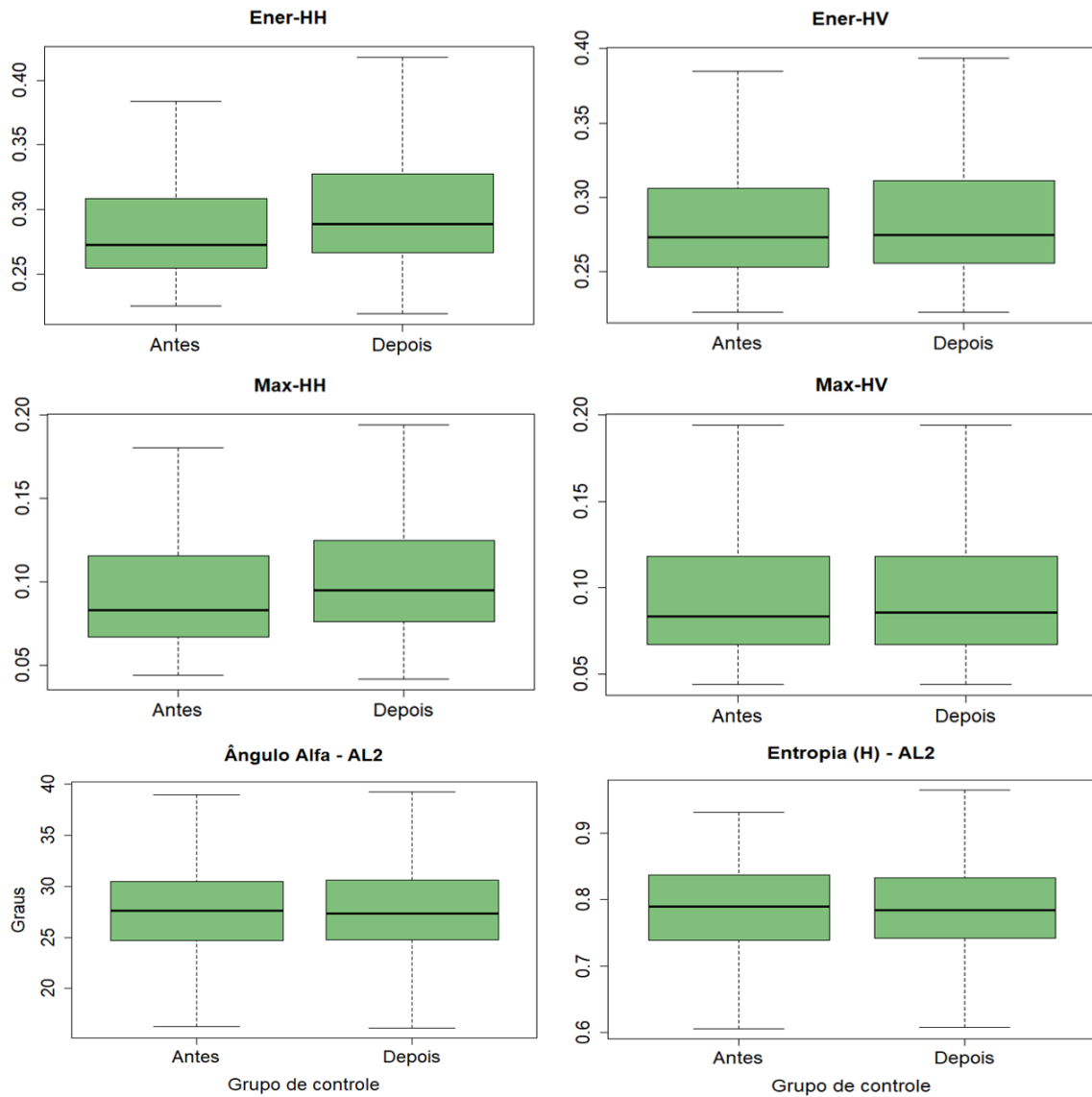
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2017.

Figura H.13: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2015, na abordagem por grid de 3x3 pixels.



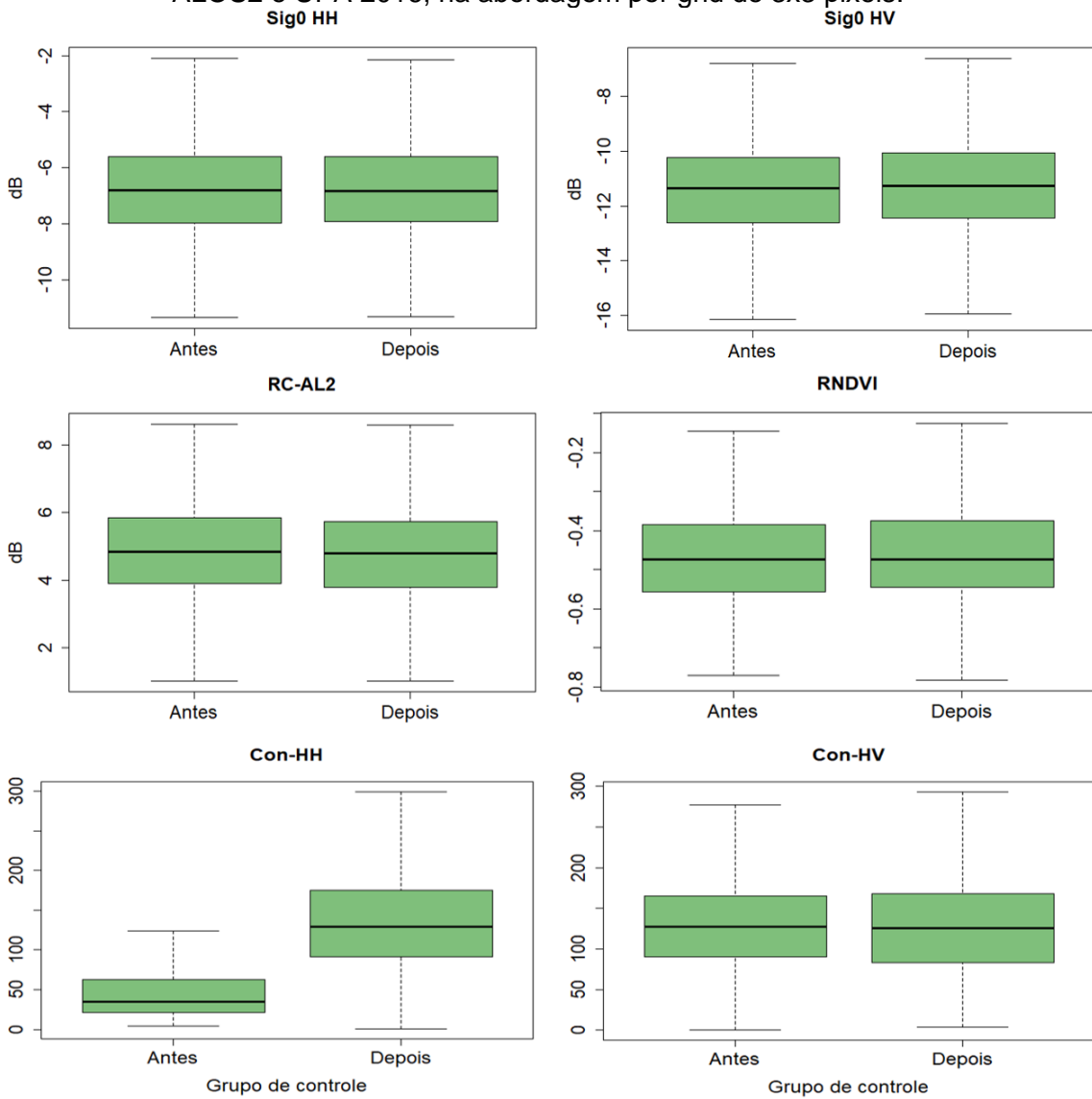
(continua)

Figura H.13: Conclusão.



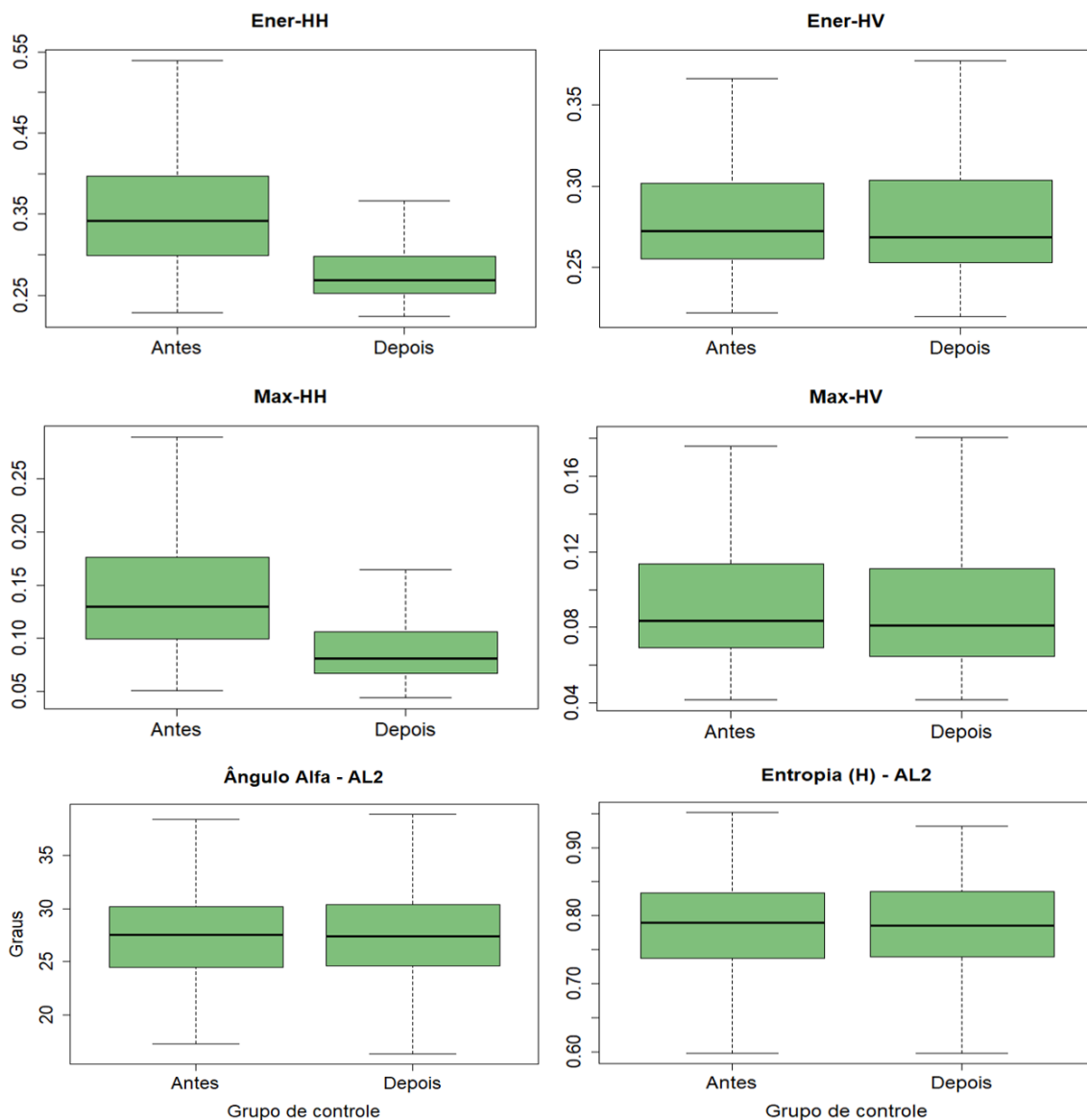
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2015.

Figura H.14: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2016, na abordagem por grid de 3x3 pixels.



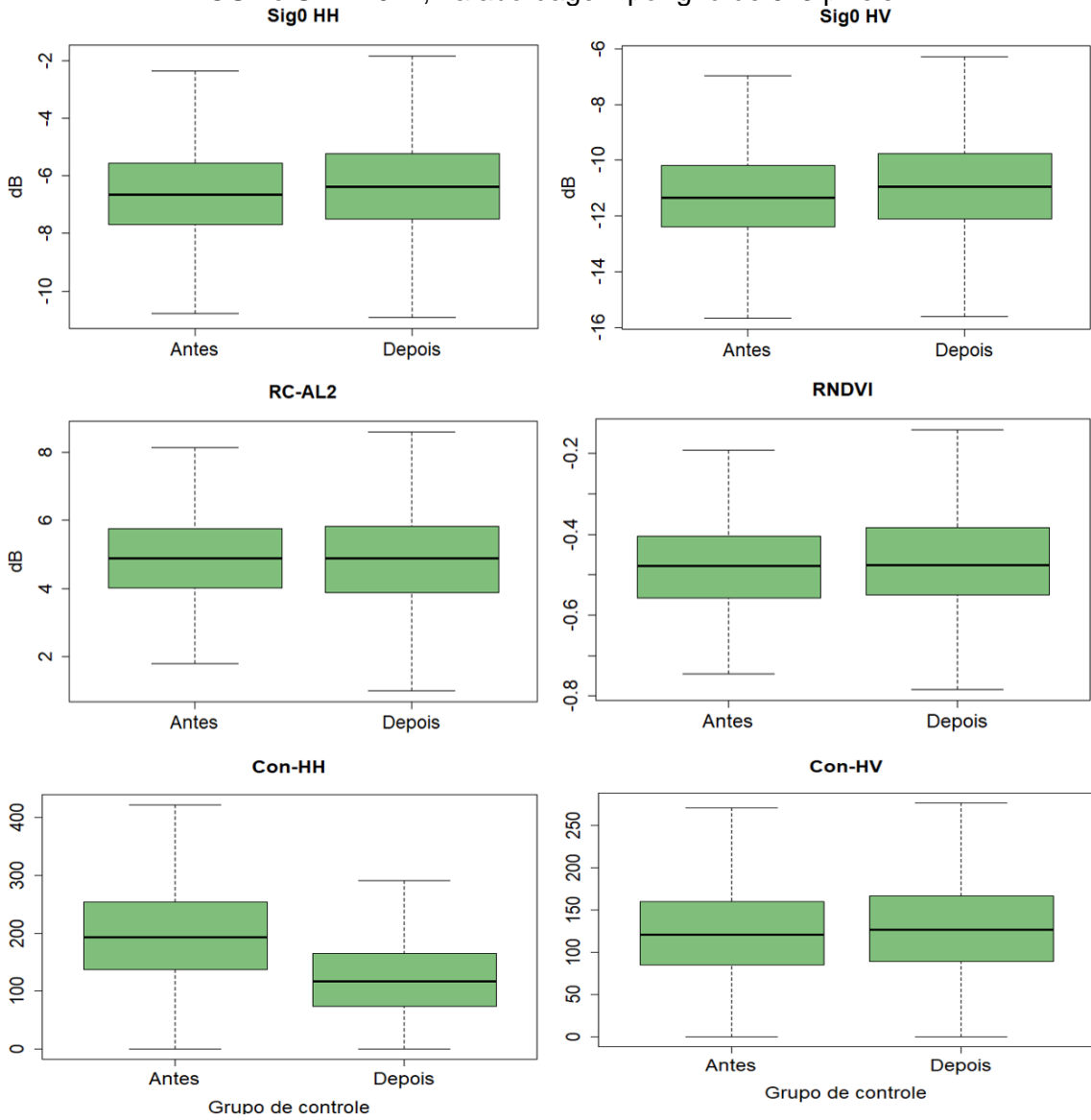
(continua)

Figura H.14: Conclusão.



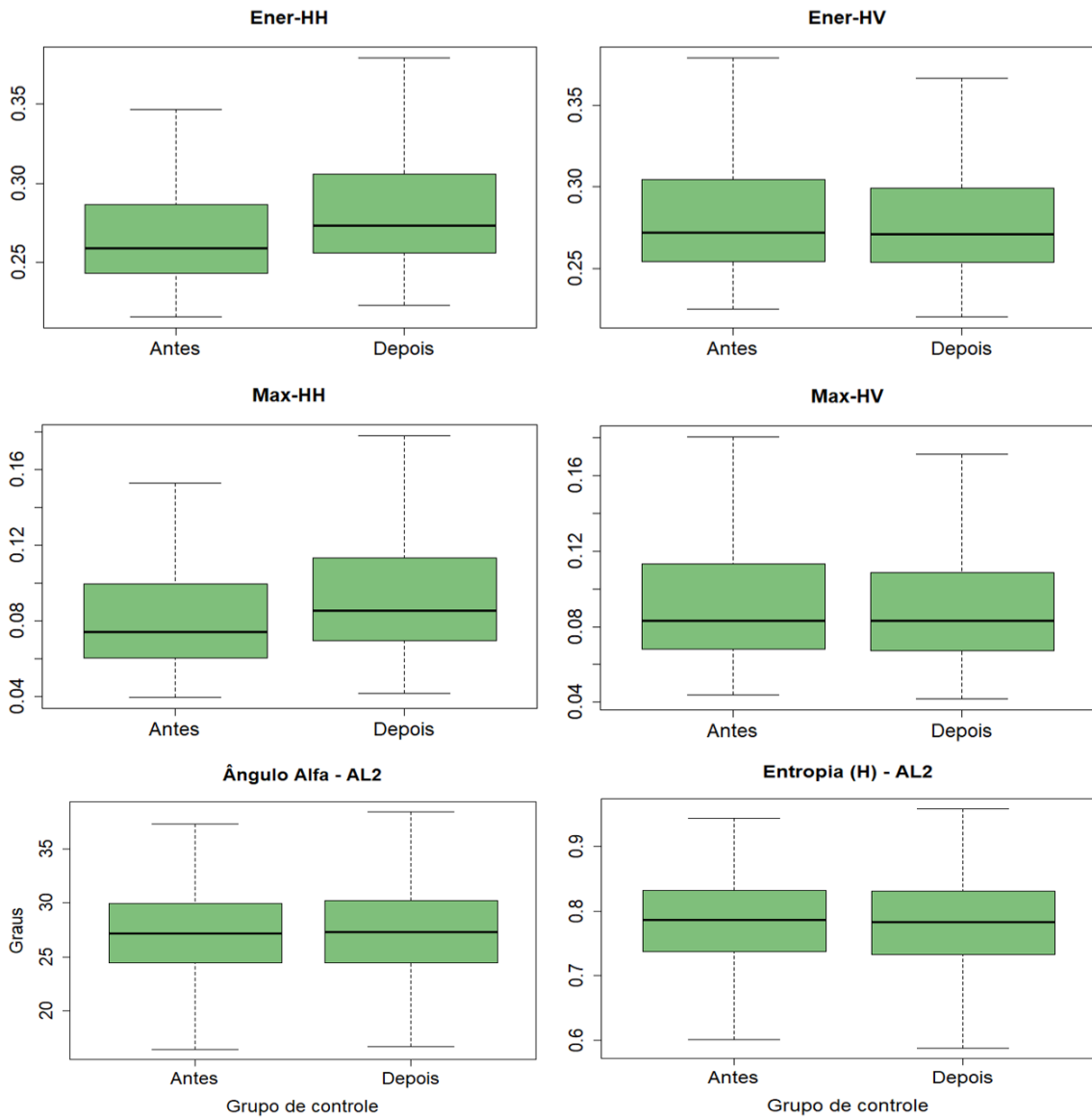
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2016.

Figura H.15: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens ALOS2 e UPA 2017, na abordagem por grid de 3x3 pixels.



(continua)

Figura H.15: Conclusão.

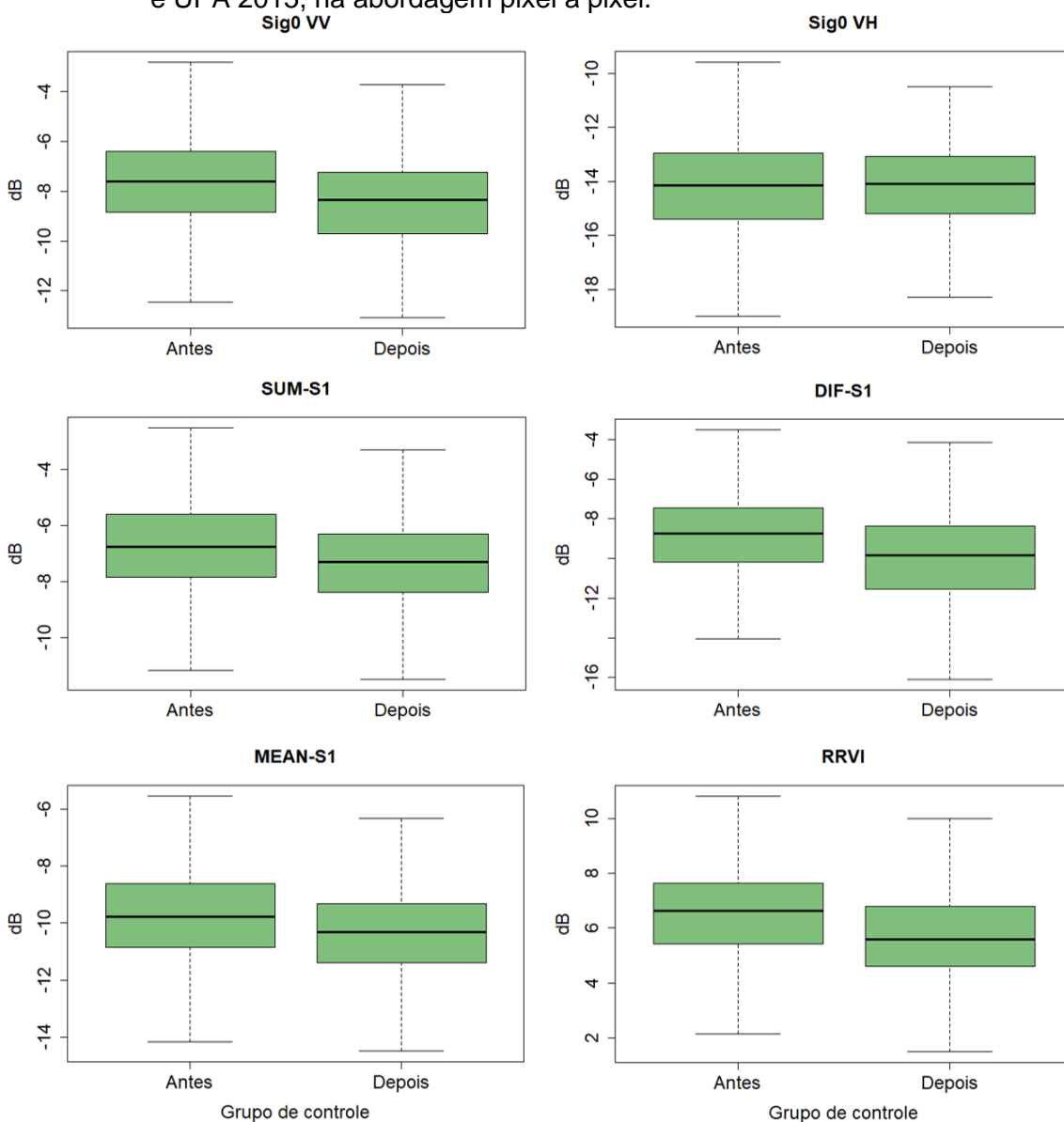


Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}\text{HH}$, $\sigma^{\circ}\text{HV}$, RC-AL2, RNDVI, Con-HH, Con-HV, Ener-HH, Ener-HV, Max-HH, Max-HV, α -AL2 e H-AL2, extraídos do par de imagens ALOS2 correspondente à UPA 2017.

ANEXO I - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE FLORESTA PARA O GRUPO DE CONTROLE NAS IMAGENS S1A

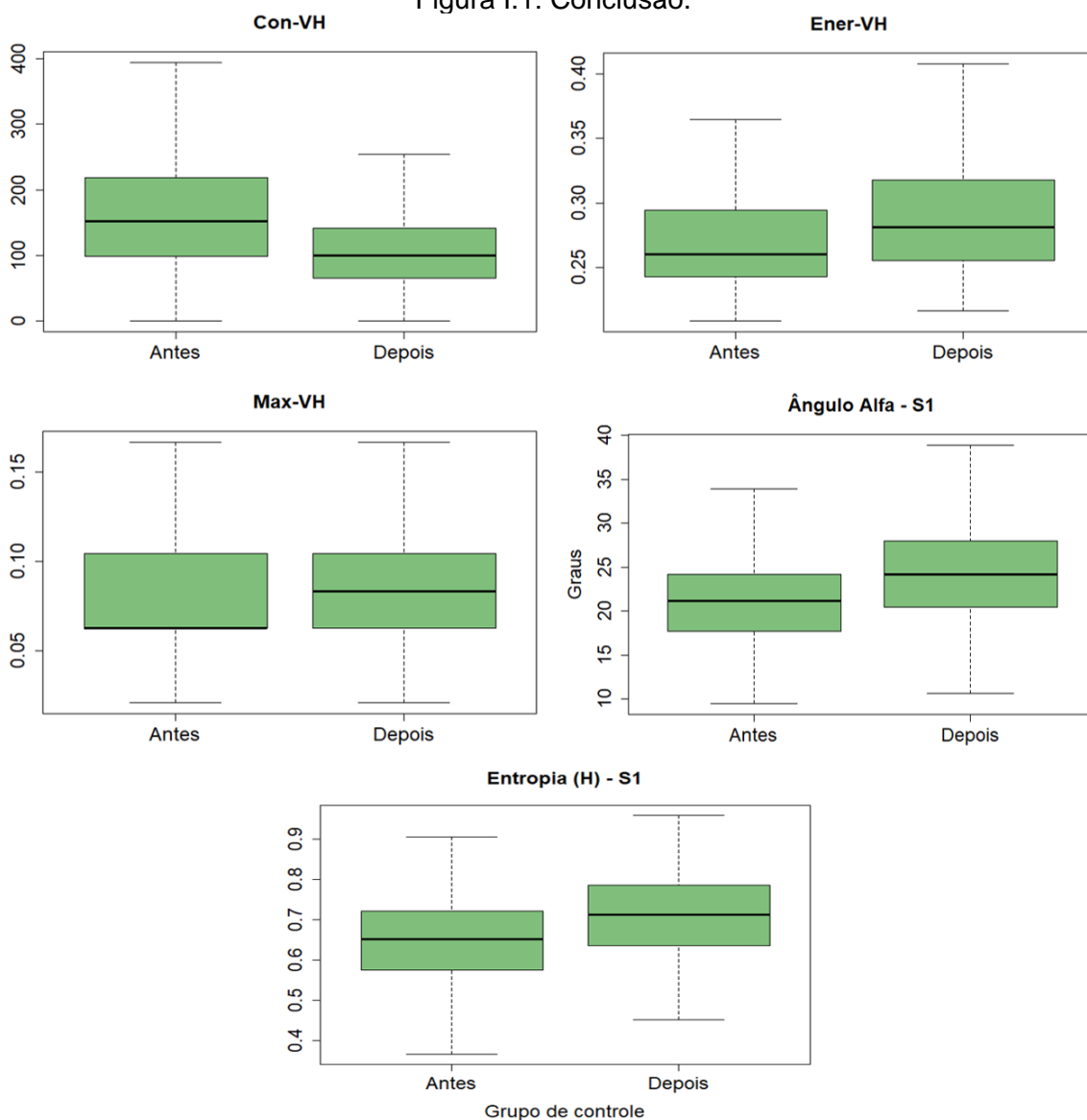
Abaixo são apresentados os *boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta para o grupo de controle nas imagens Sentinel-1A, considerando as abordagens metodológicas pixel a pixel, por polígono de com distância de 31,76 m e grid de tamanhos 2x2 pixels.

Figura I.1: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem pixel a pixel.



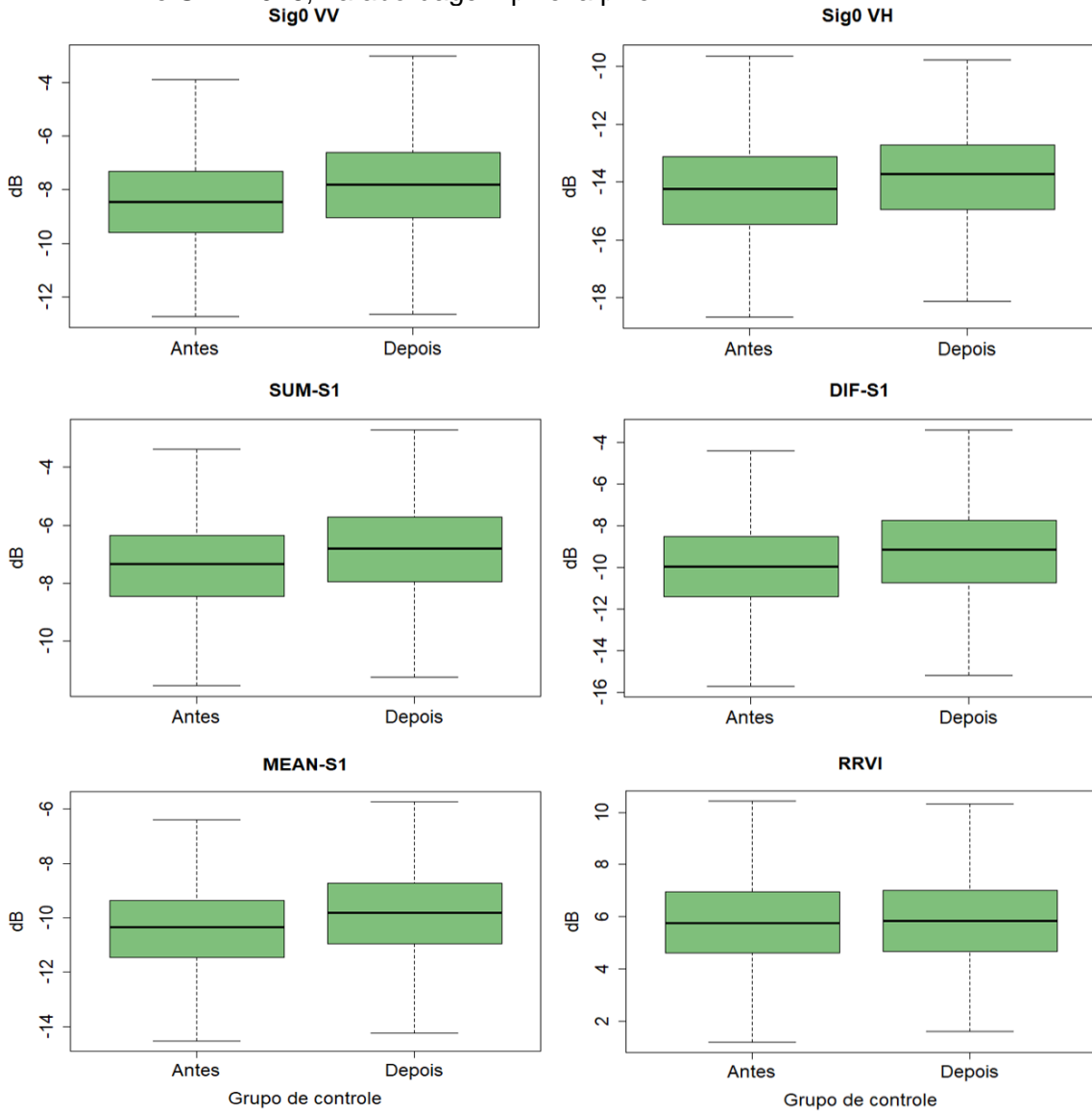
(continua)

Figura I.1: Conclusão.



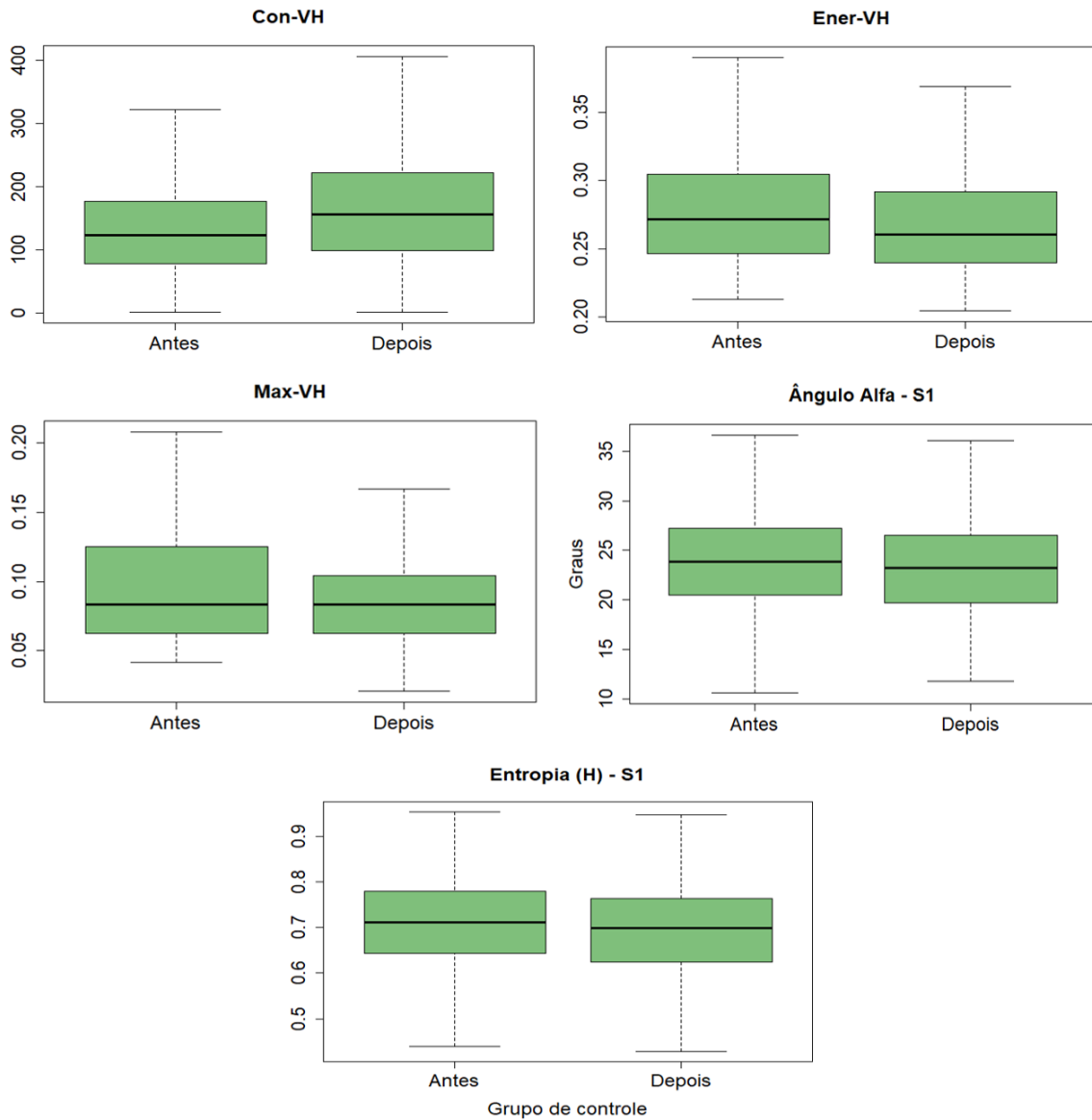
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2015.

Figura I.2: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem pixel a pixel.



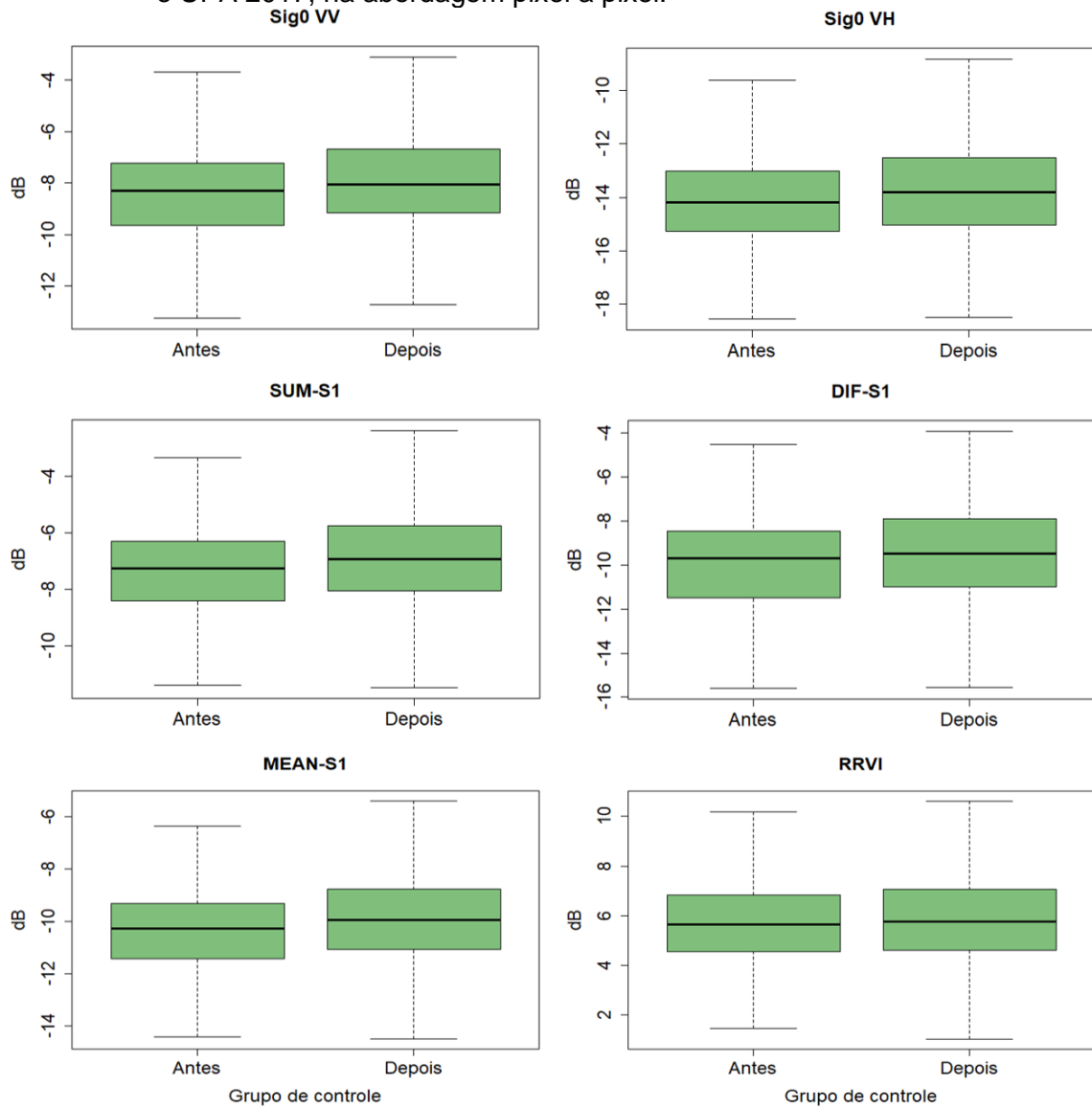
(continua)

Figura I.2: Conclusão.



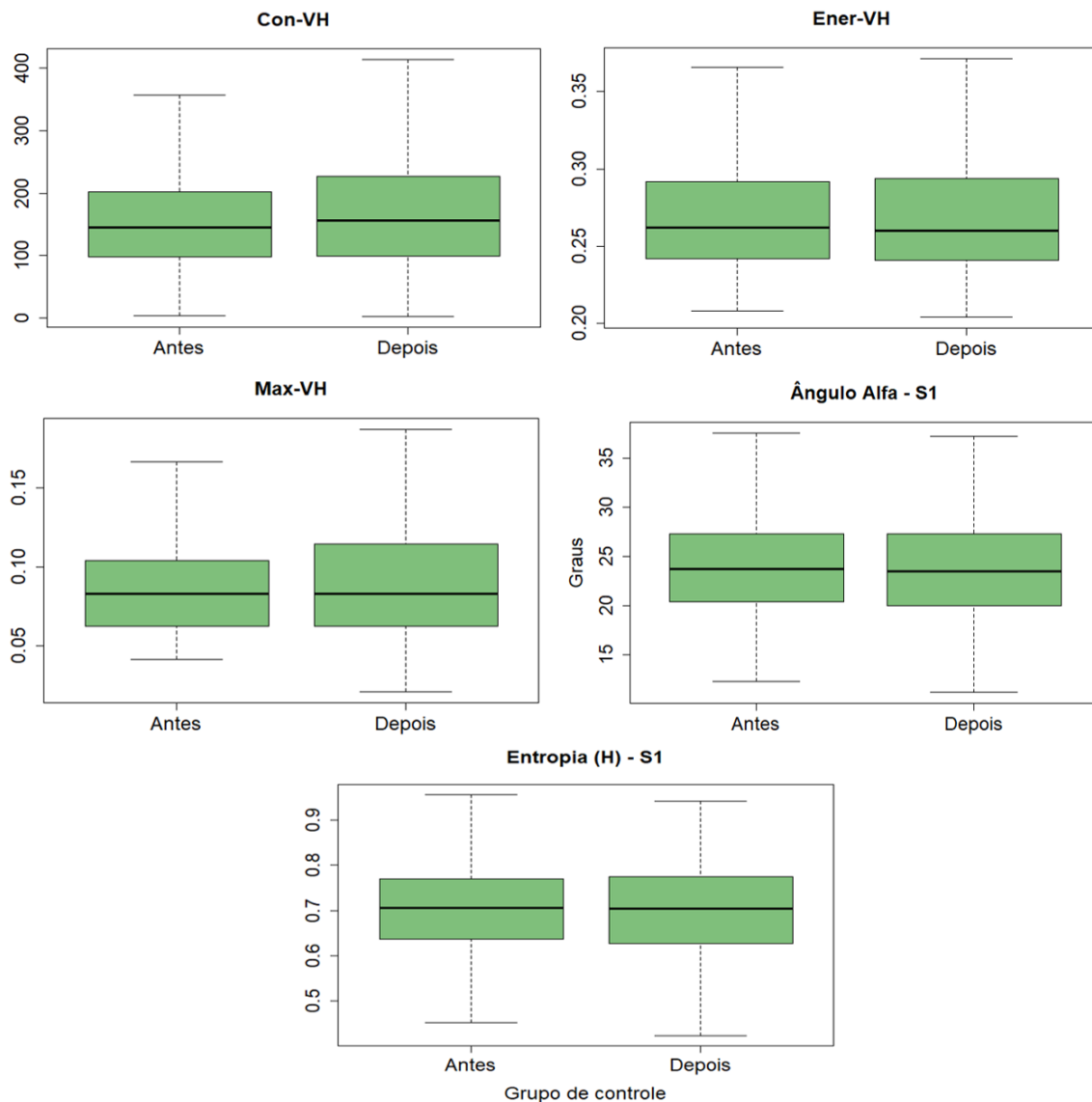
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2016.

Figura I.3: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem pixel a pixel.



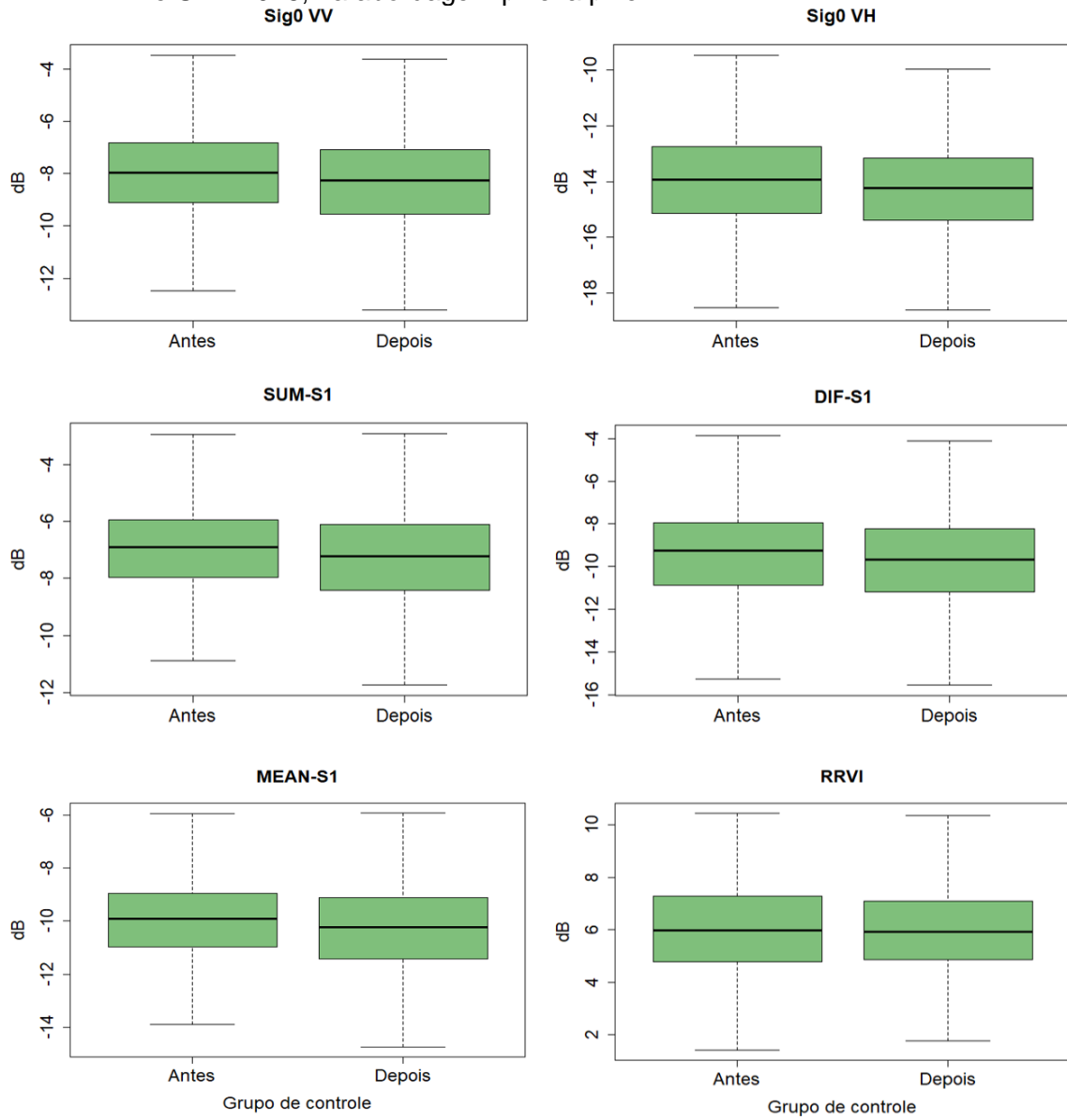
(continua)

Figura I.3: Conclusão.



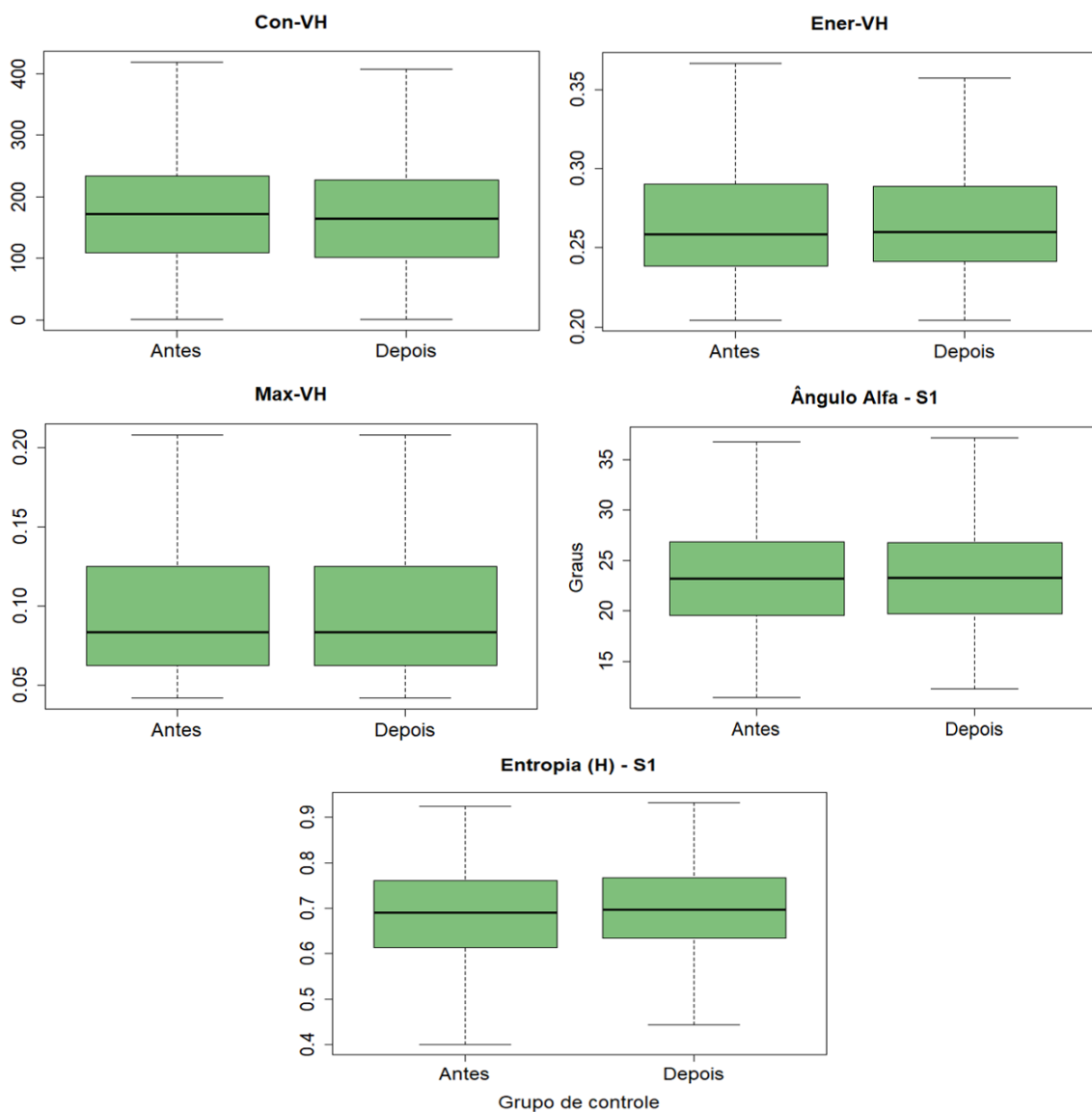
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2017.

Figura I.4: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem pixel a pixel.



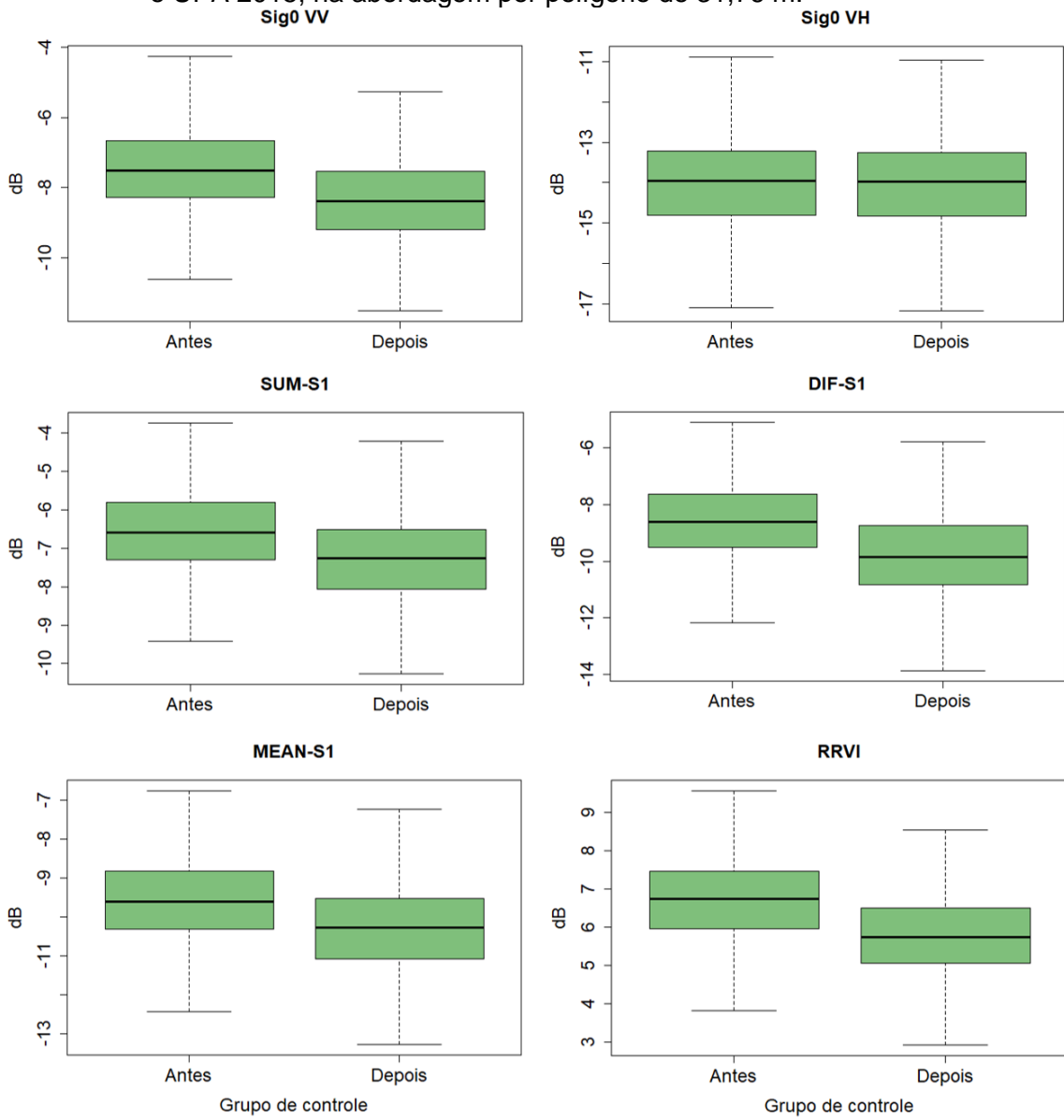
(continua)

Figura I.4: Conclusão.



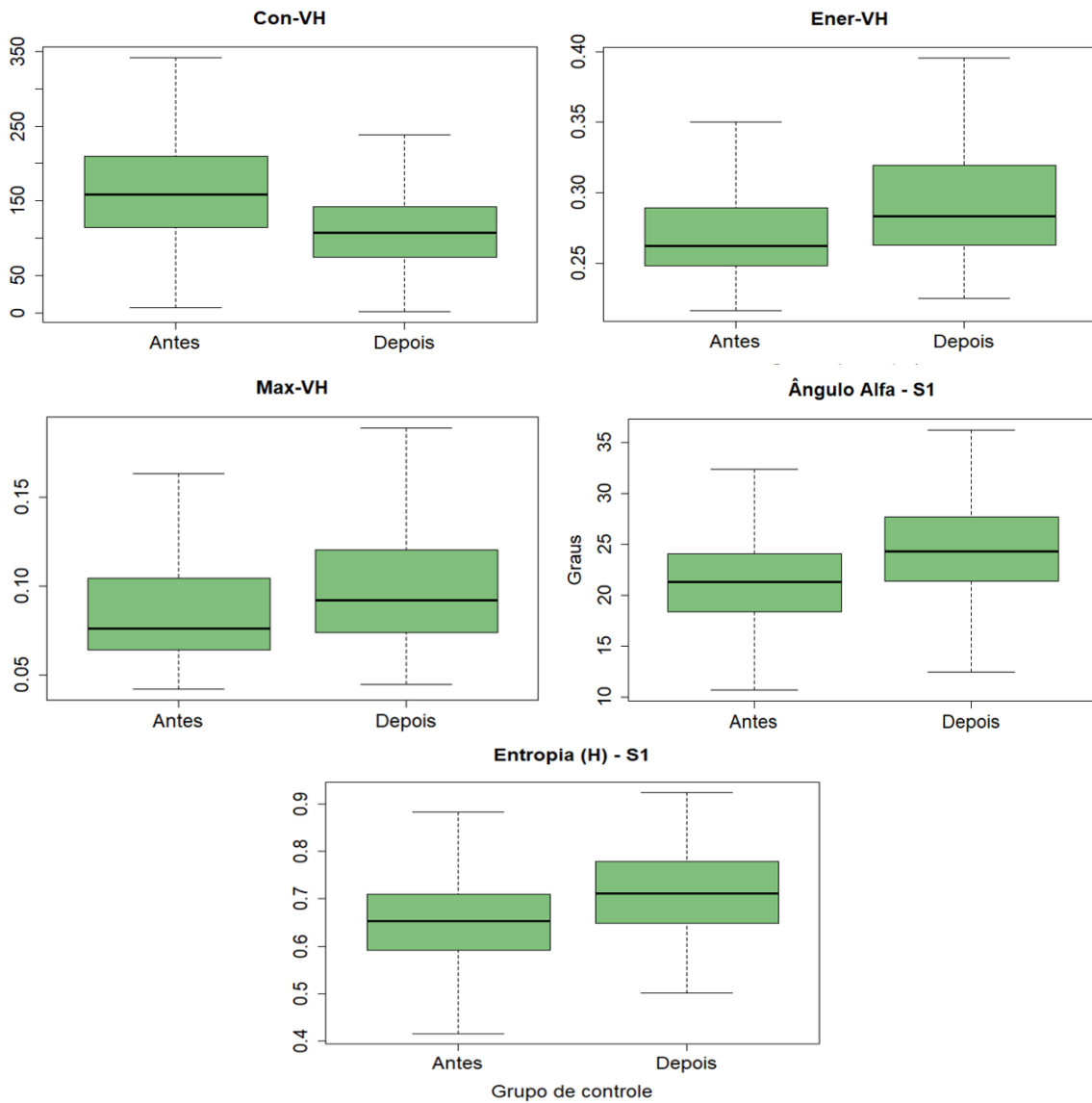
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2018.

Figura I.5: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por polígono de 31,76 m.



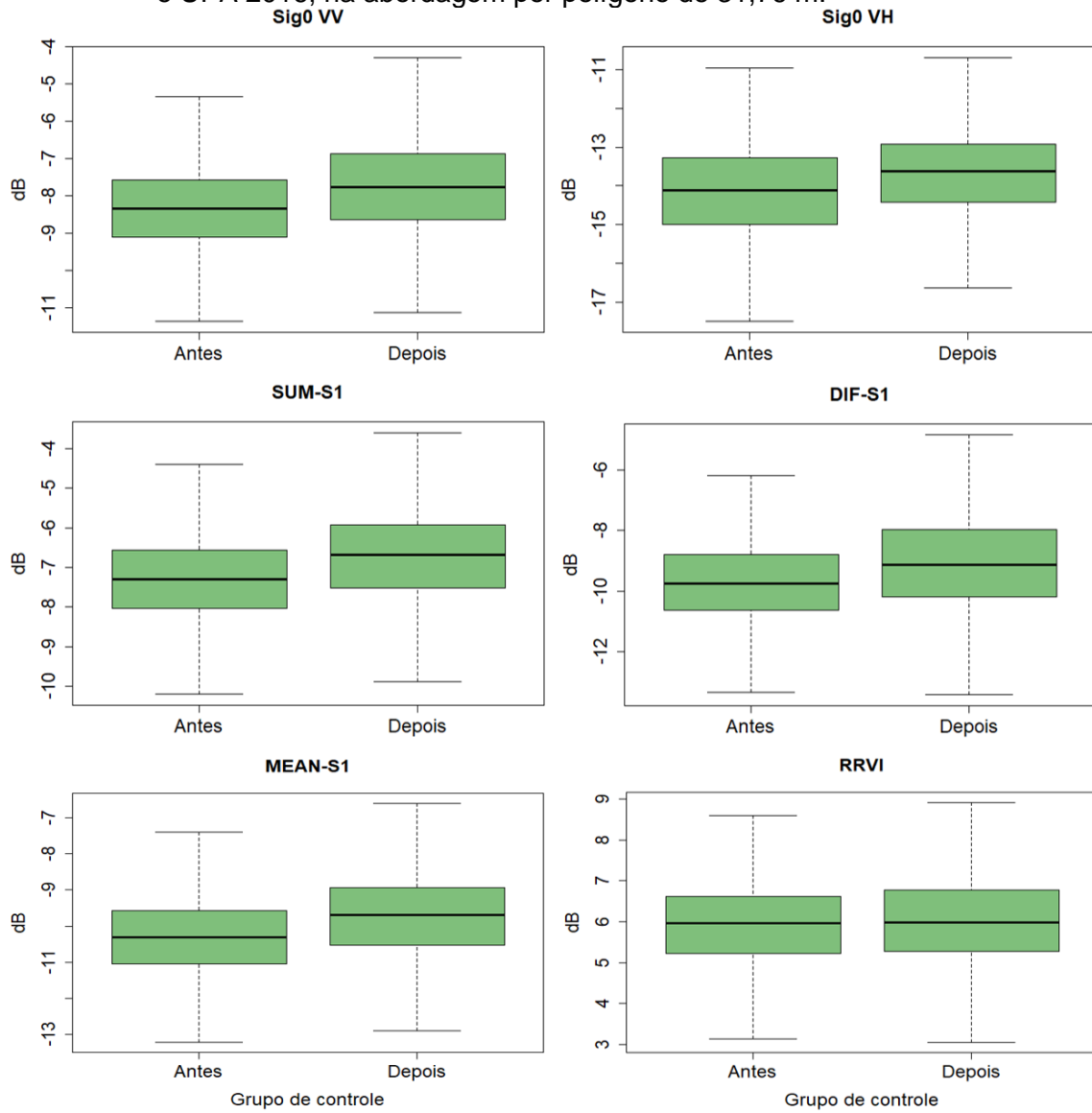
(continua)

Figura I.5: Conclusão.



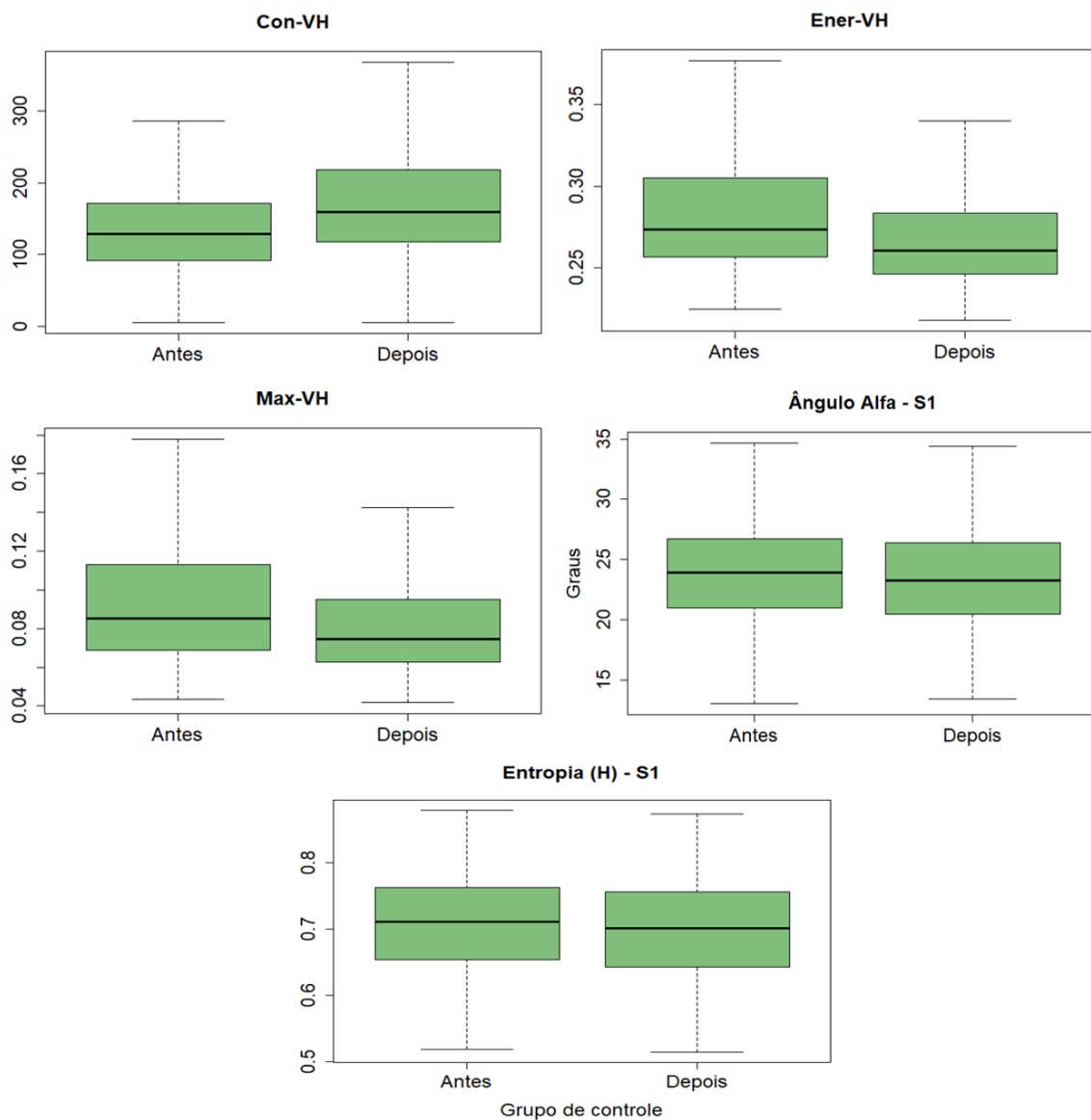
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2015.

Figura I.6: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por polígono de 31,76 m.



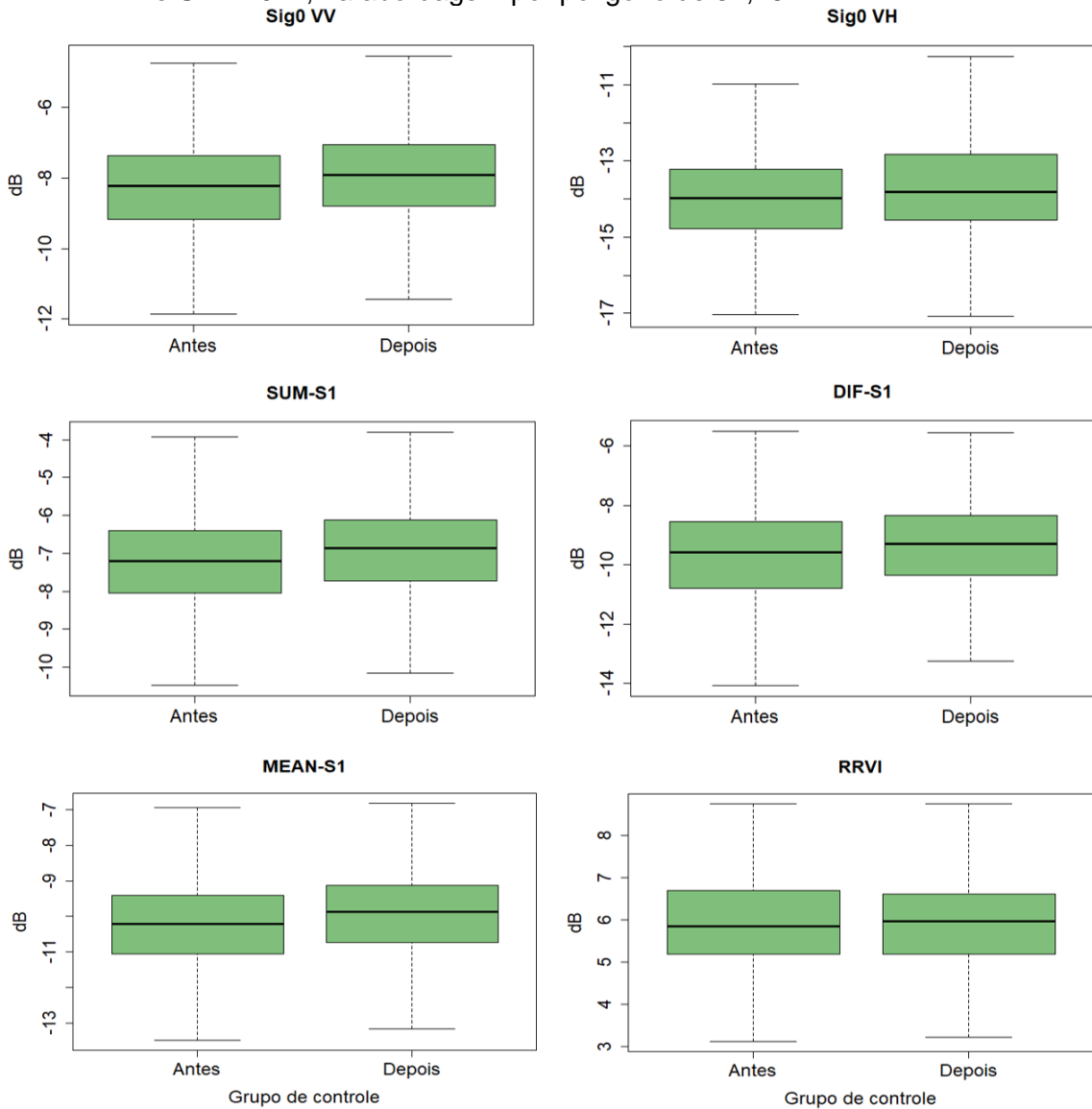
(continua)

Figura I.6: Conclusão.



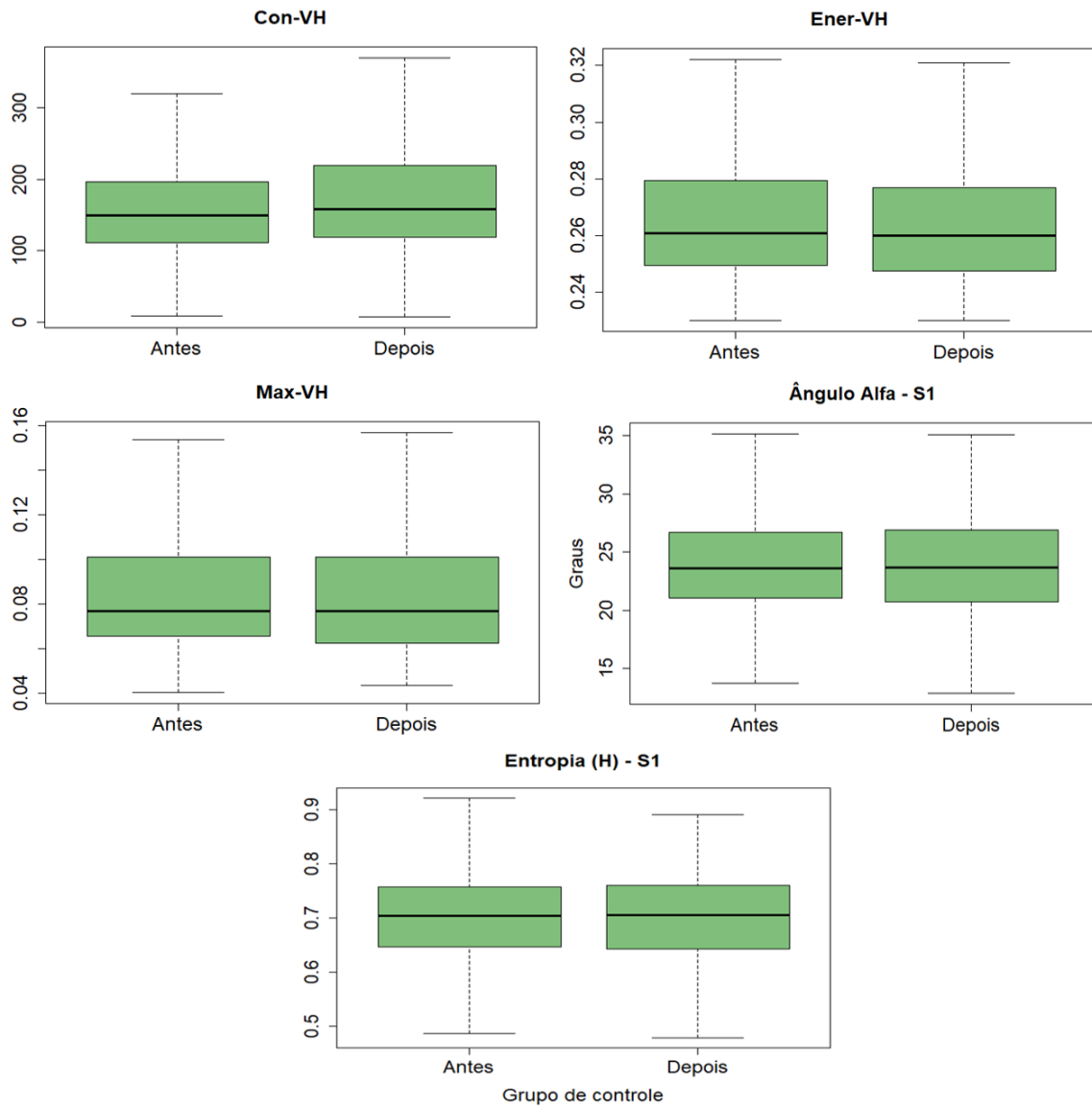
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A, correspondente à UPA 2016.

Figura I.7: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por polígono de 31,76 m.



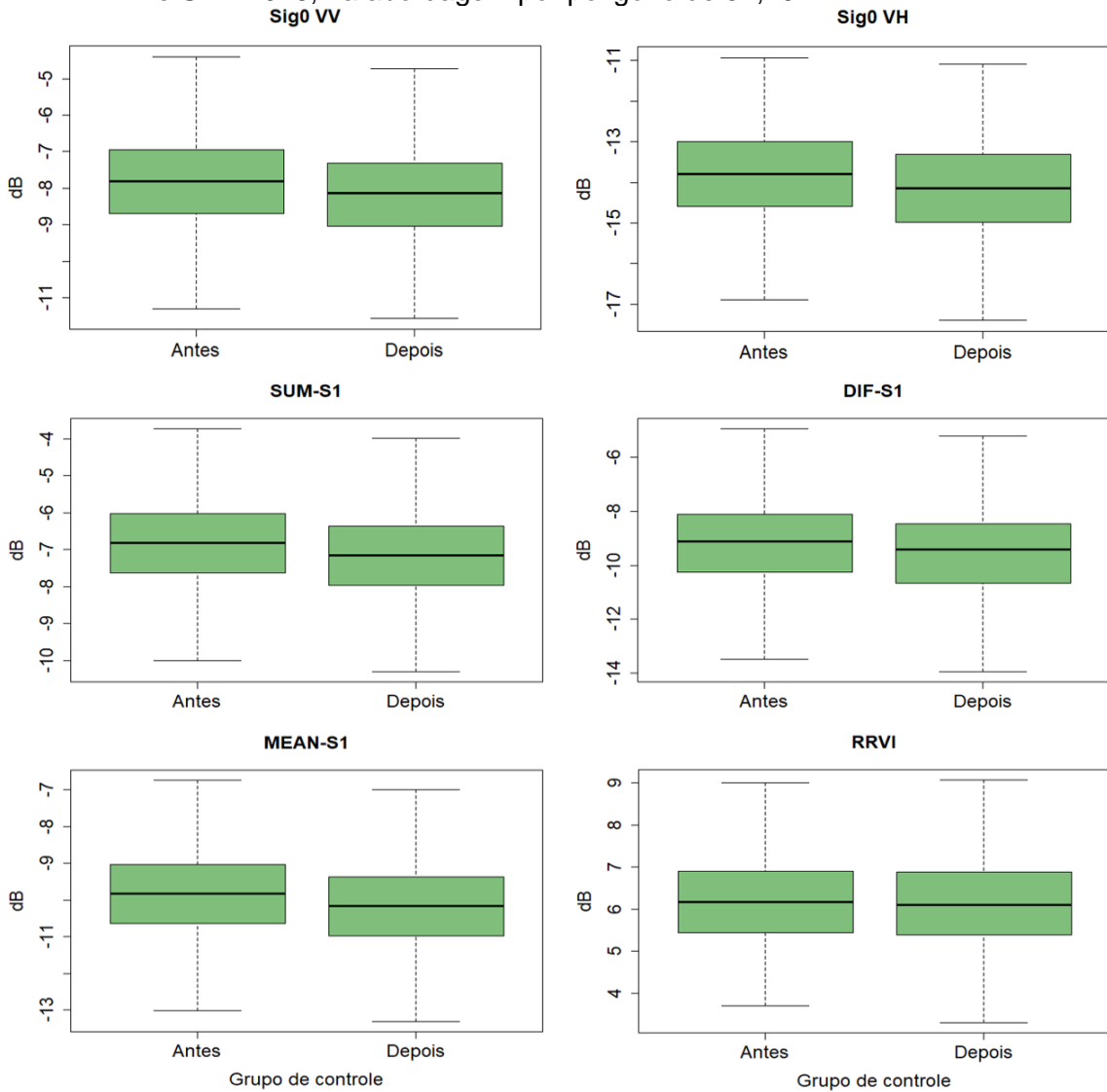
(continua)

Figura I.2: Conclusão.



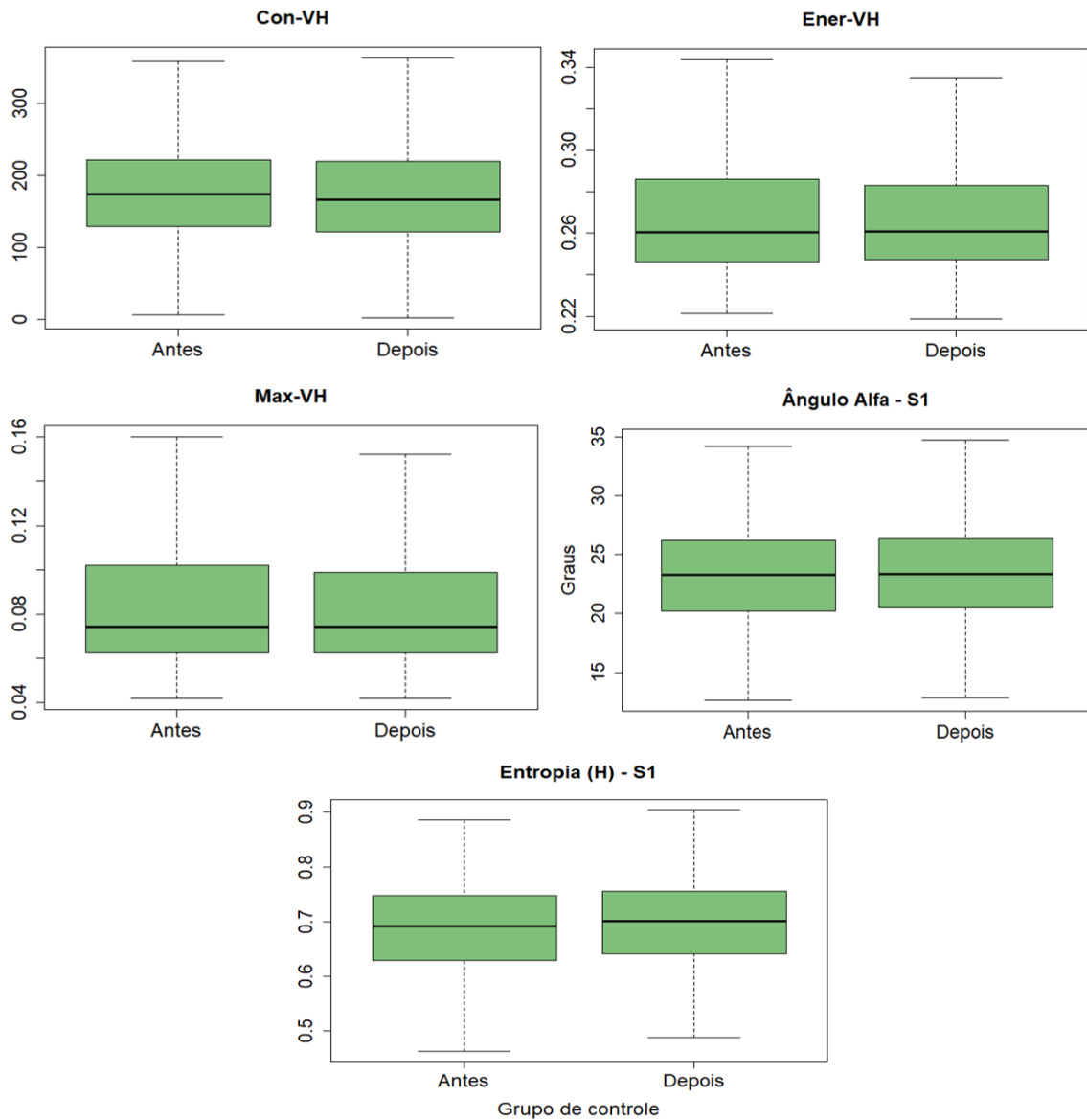
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2017.

Figura I.8: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por polígono de 31,76 m.



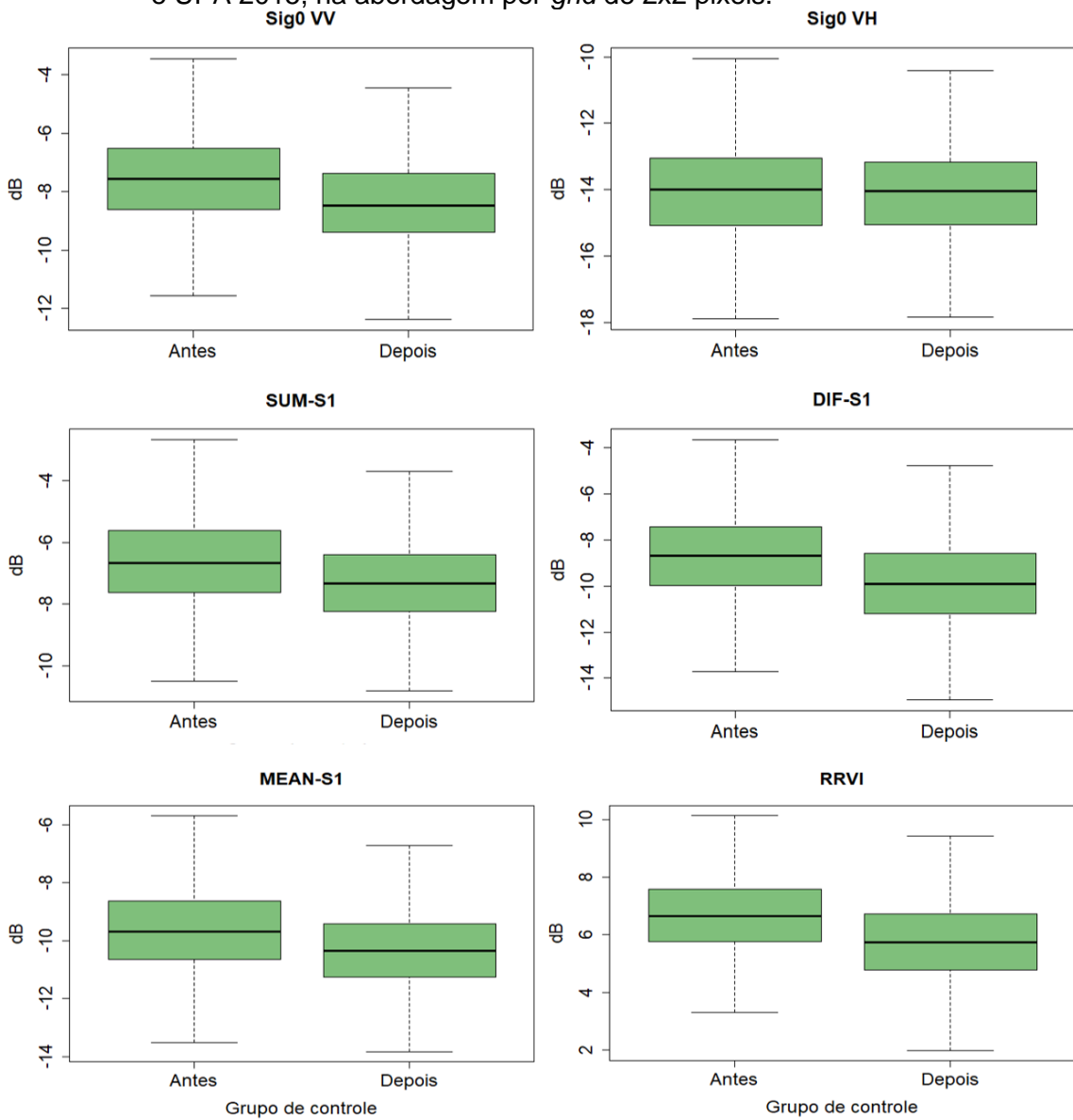
(continua)

Figura I.8: Conclusão.



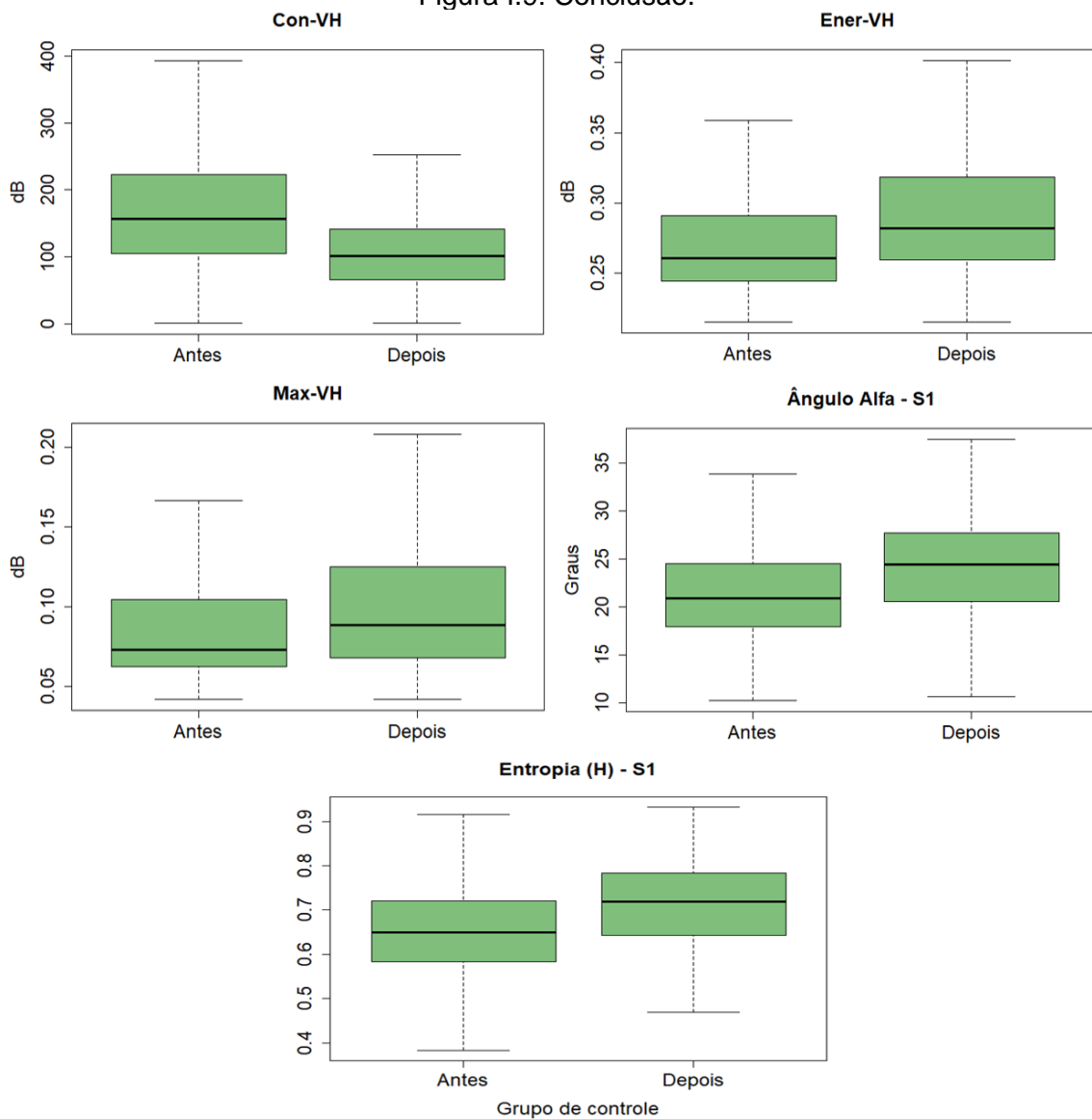
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2018.

Figura I.9: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2015, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



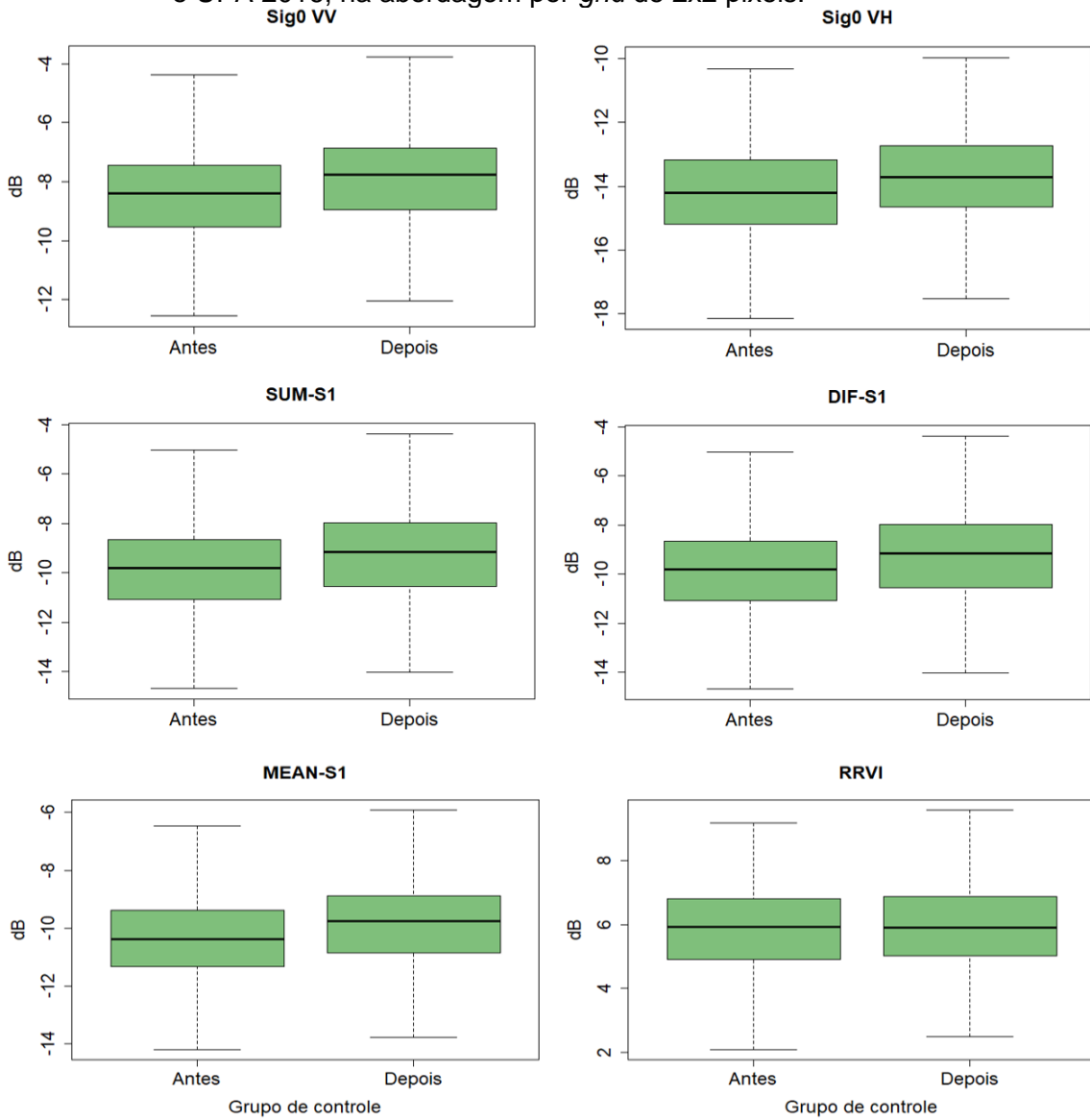
(continua)

Figura I.9: Conclusão.



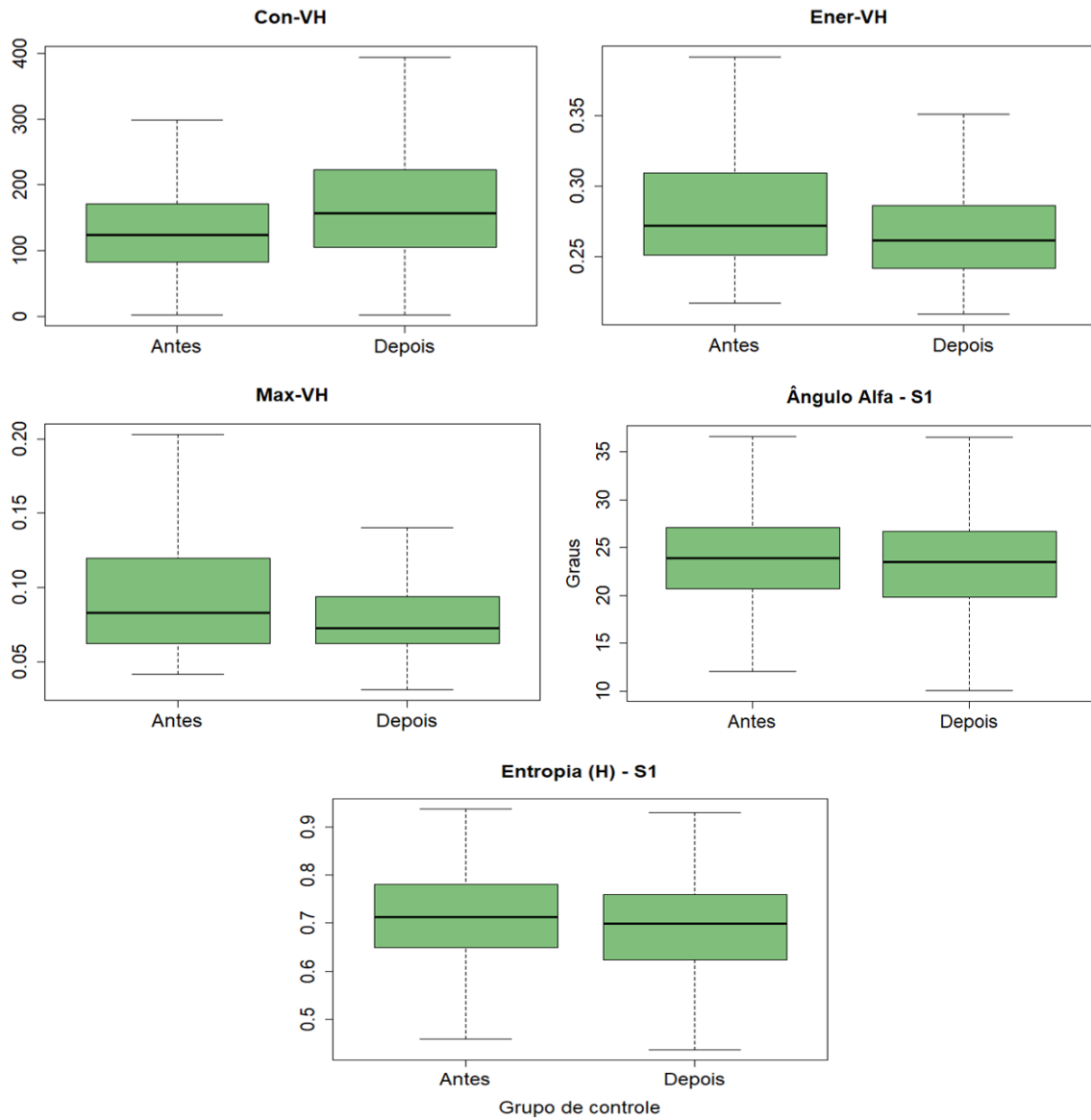
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVl, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2015.

Figura I.3: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2016, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



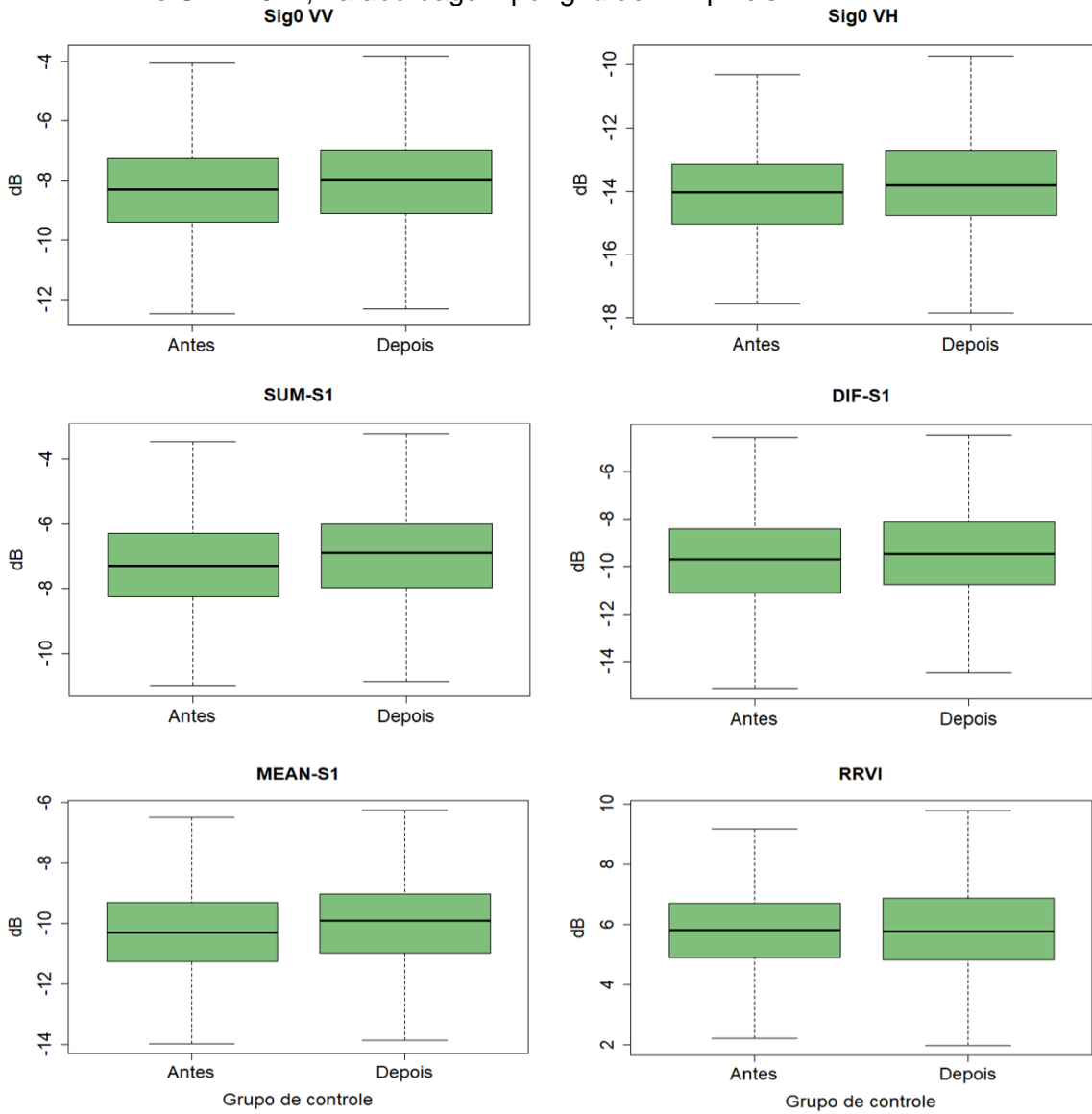
(continua)

Figura I.4: Conclusão.



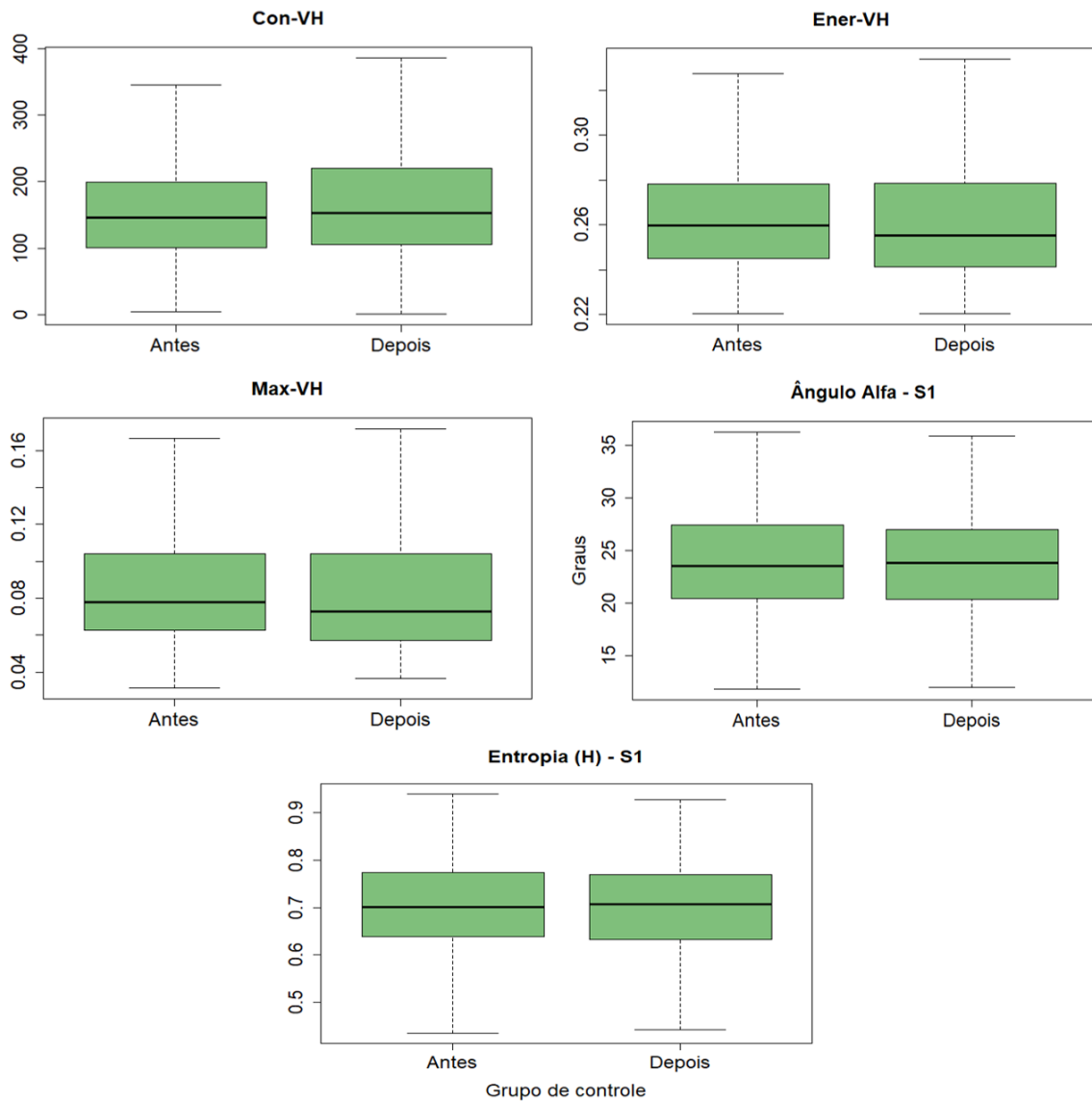
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2016.

Figura I.5: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2017, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



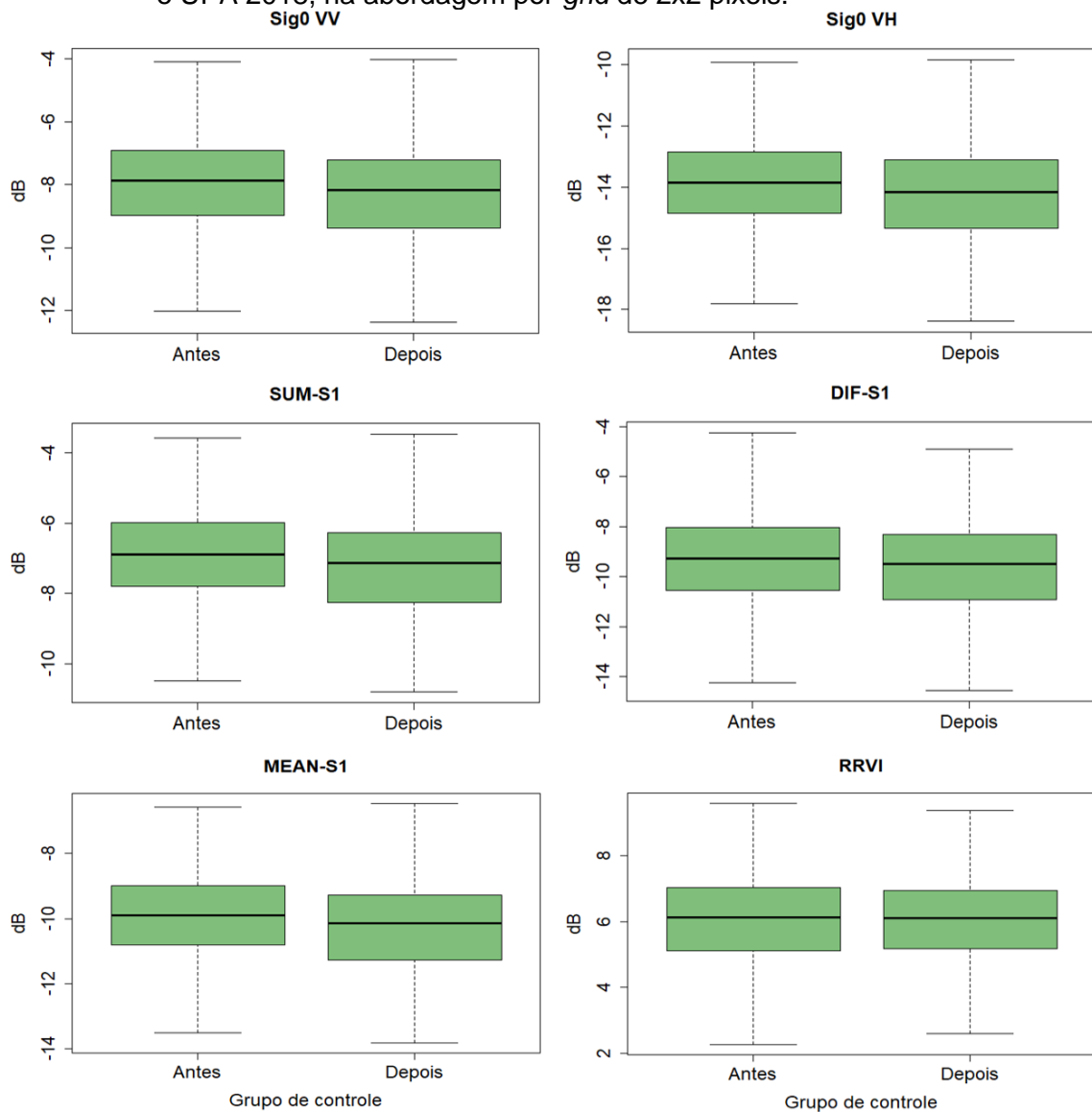
(continua)

Figura I.11: Conclusão.



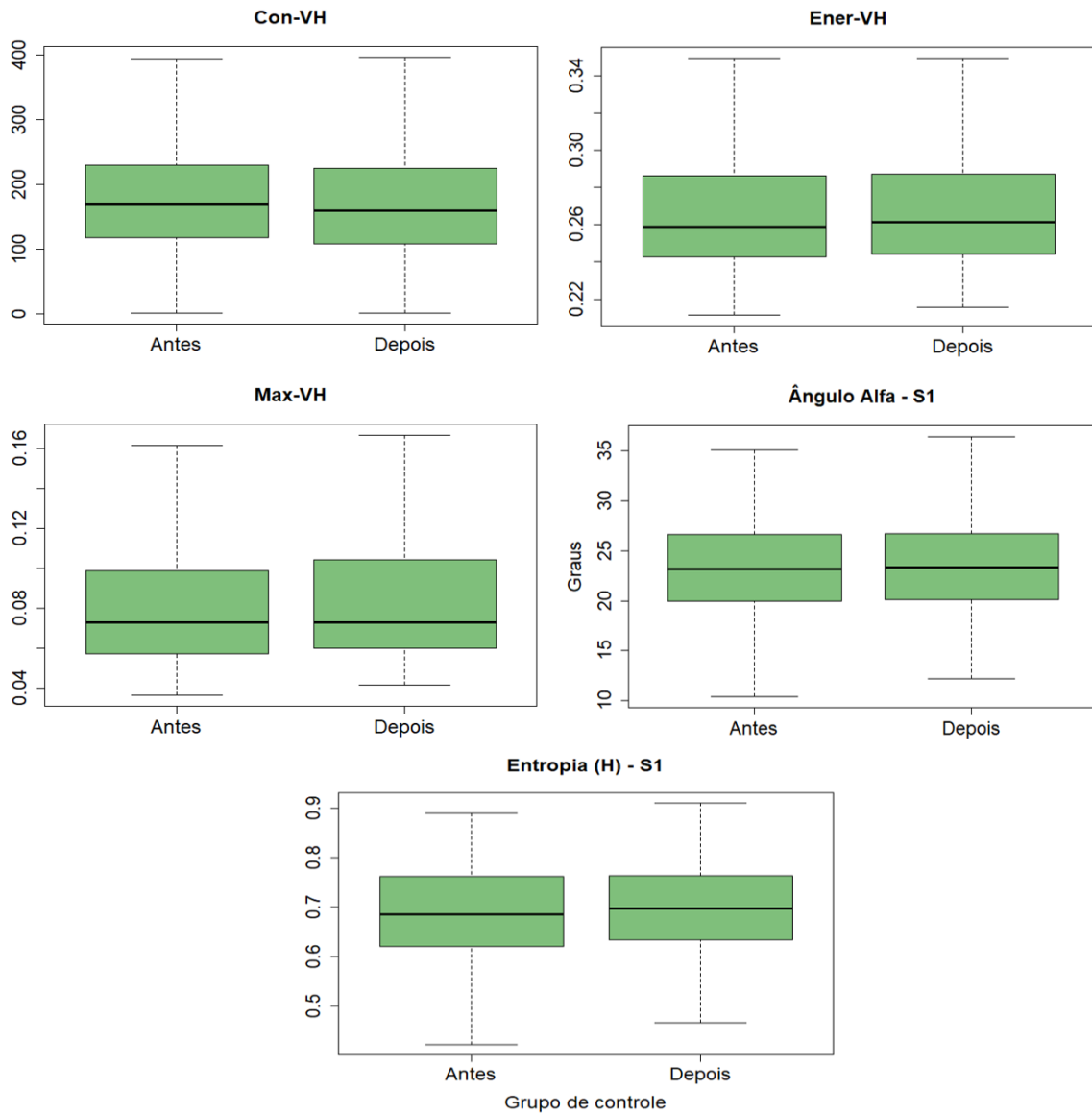
Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2017.

Figura I.16: *Boxplots* representando as distribuições das amostras de floresta do grupo de controle na simulação do evento de corte seletivo, para as imagens S1A e UPA 2018, na abordagem por *grid* de 2x2 pixels.



(continua)

Figura 1.17: Conclusão.



Os *boxplots* representam o quartil inferior, superior e mediana das distribuições das amostras analisadas segundo os atributos: $\sigma^{\circ}VV$, $\sigma^{\circ}VH$, SUM-S1, DIF-S1, MEAN-S1, RRVI, Con-VH, Ener-VH, Max-VH, α -S1 e H-S1, extraídos do par de imagens S1A correspondente à UPA 2018.