

Análise dos valores de retroespalhamento em imagens SAR de banda C e L para a separação de classes de vegetação no Pantanal

Pedro José Farias Fernandes¹
Luiz Felipe de Almeida Furtado²
Raúl Sanchez Vicens³

^{1,3} Laboratório de Geografia Física – Universidade Federal Fluminense - Av. Gal. Milton Tavares de Souza s/nº - CEP: 24210-346 - Niterói - RJ, Brasil
pj_fernandes@id.uff.br
rsvicens@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
chefechefe@gmail.com

Abstract. The present work aims to analyze the backscatter variation of land cover in an area located in Pantanal, between the months of April and October (1994), by using SIR-C images, C and L bands, HH and HV polarizations. First, the preparation of the database used - which includes images TM, vegetation maps and images SIR-C - was made. After, we proceeded with the speckle filtering test to understand the smoothing effect of different filters (Lee, Enhanced Lee, Frost, Enhanced Frost and Gamma) and different configurations of size (3x3, 5x5, 7x7, 9x9 and 11x11) in land cover classes adopted. Finally, to make quantitative analysis in radar backscatter, a set of samples were collected for analyze backscatter variation in SIR-C imagery. Boxplot graphics were generated to facilitate the analysis of results. For the specific case of imagery used in the present work, we considered the Enhanced Frost (5x5) with the best visual performance, thus SIR-C images were filtered using that filter. The graphics generated allowed the understanding of backscatter variation in land cover. We conclude that the use of different wavelengths and polarizations aid in the differentiation of land cover classes.

Palavras-chave: radar de abertura sintética, vegetação, áreas úmidas.

1. Introdução

O sensoriamento remoto de microondas é útil para o imageamento da superfície de regiões tropicais por ser capaz de penetrar a cobertura de nuvens e a estrutura da vegetação (HENDERSON; LEWIS, 1998). Diferentemente das imagens ópticas, o radaré sensível as propriedades geométricas/estruturais e elétricas dos alvos e a rugosidade da superfície .

Os sistemas SAR emitem e registram as ondas em polarizações lineares, horizontais (H) e verticais (V). Portanto, o sistema pode emitir H e registrar H (HH), emitir V e registrar V (VV), emitir H e registrar V (HV) e emitir V e registrar H (VH). Estes modos de operação influenciam na interação da onda com o alvo (HENDERSON; LEWIS, 1998).

Por tais características, as imagens SAR têm sido usadas no estudo de *áreas úmidas* - que são ecossistemas localizados na interface entre zonas terrestres e aquáticas, permanentemente ou periodicamente inundadas - com sucesso (FURTADO, 2014; WARD et al., 2014; ARNESEN et al., 2013; TOYRA; PIETRONIRO, 2005; HESS et al., 1995). E, especificamente no Pantanal, pode-se citar os trabalhos de Evans e Costa (2013) e de Evans et al. (2010).

A interação da onda com os alvos de *wetlands* variam também de acordo com o comprimento de onda. De acordo com Furtado (2014), o espalhamento superficial ocorre para solos e água nos menores comprimentos de onda (banda C). Já, em comprimentos de onda maiores, esse tipo de espalhamento ocorre em vegetação pouco densa. O espalhamento volumétrico ocorre em alvos de vegetação. Por exemplo, na banda C, o sinal penetra na vegetação menos densa e interage com sua estrutura, e fica restrito à parte superior da

vegetação mais densa. Na banda L, pelo comprimento de onda maior, o sinal ultrapassa a vegetação menos densa (reflexão especular), e interage com a estrutura da vegetação mais densa. O espalhamento do tipo *double-bounce* ocorre na vegetação que está alagada, que apresenta forte sinal de retorno. A vegetação menos densa apresenta *double-bounce* nos menores comprimentos de onda (banda C), enquanto que a vegetação de maior biomassa apresenta *double-bounce* nos maiores comprimentos de onda (banda L). Além disso, o entendimento da variação temporal do retroespalhamento permite melhor caracterização da dinâmica espaço-temporal dos alvos, e conseqüentemente, o uso de imagens de diferentes datas pode aumentar o desempenho das classificações (FURTADO, 2014).

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a variação bitemporal do retroespalhamento, nos meses de abril e outubro de 1994, em imagens SIR-C do Pantanal nas bandas C e L, e polarizações HH e HV. O entendimento do comportamento do retroespalhamento nessas imagens será útil para testes futuros de técnicas de detecção de mudanças em imagens SAR.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo fica localizada no Pantanal, como mostra a figura abaixo (Figura 1). O Pantanal é dominado pela vegetação típica de cerrado e abriga grande variedade de espécies de vegetação (EVANS et al., 2010). Visando a simplificação de classes de vegetação para a posterior análise dos dados, foram consultados os mapas de vegetação da WWF – Brasil (2009) e do RADAMBRASIL (1982), além de imagens TM, que permitiram caracterizar a vegetação da área. Sendo assim, foram definidas quatro classes: *Floresta* (que engloba áreas de savana florestada (cerradão), savana arbórea densa e floresta de galeria), *Campo* (que abriga áreas de savana arbórea aberta com grande resposta espectral de gramínea em imagens TM, savana gramínea, e algumas áreas de vegetação herbácea aquática), *Vegetação aquática* (classe constituída por vegetação aquática flutuante e erectófila, próximas de lagos e com baixa reflectância nas bandas do visível do sensor TM), e *Água*.

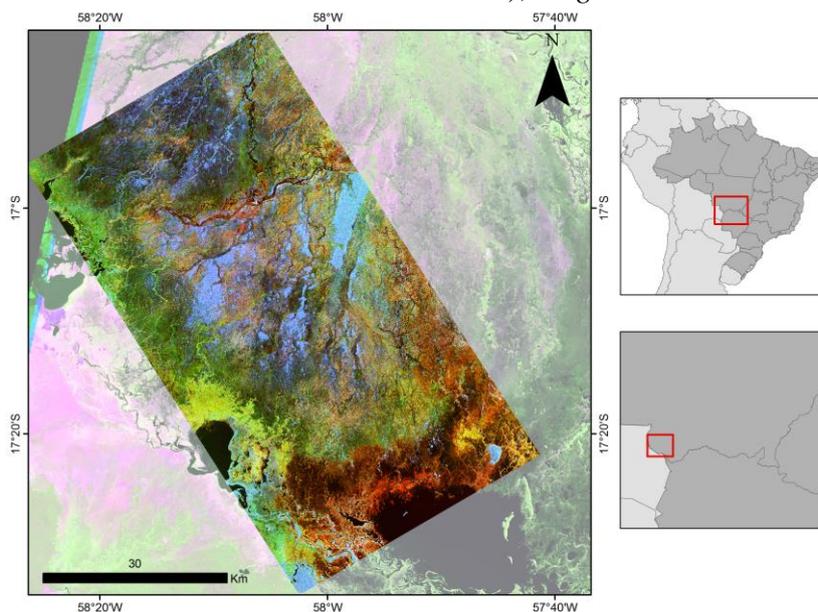


Figura 1 – Localização da área de estudo. A imagem SIR-C utilizada no estudo, composição RGB (Banda C – HH, Banda C – HV, Banda L - HV) sobre imagem TM.

2.1 Materiais

Foram utilizados dados *multilook complex* do sensor SIR-C, calibrados (FREEMAN et al., 1995), no modo dual pol (polarizações HH e HV), com os números de voo PR13930 (dia 10/04/1994, banda C), PR13929 (dia 10/04/1994, banda L), PR44536 (dia 01/10/1994, banda C) e PR44535 (dia 01/10/1994, banda L) com espaçamento de *pixel* de 12,5m, fornecidas pelo *EarthExplorer*; Imagens TM, cena 227/72, dos dias 04/08/1994 e 24/11/1994, com resolução espacial de 30 m fornecidas pelo *EarthExplorer*; Mapa de vegetação da WWF-Brasil (2009) na escala 1:250.000; Mapa de vegetação do projeto RADAMBRASIL (1982) na escala 1:1.000.000.

2.2 Métodos

O fluxograma abaixo mostra a sequência geral de procedimentos adotados no presente trabalho (Figura 2).

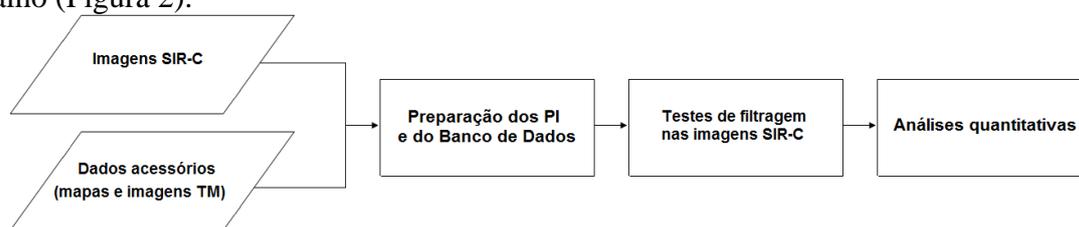


Figura 2 – Fluxograma geral das etapas adotadas.

Primeiramente, foi feita a preparação dos planos de informação (PI) e do banco de dados utilizado (etapa I). As imagens SIR-C foram descompactadas. Depois, para a interpretação das imagens ser feita corretamente, foi necessário georreferenciar as imagens SIR-C com base na imagem TM do dia 04/08/1994, com erro menor que 0,5 *pixel*, utilizando o interpolador vizinho mais próximo. Assim, prepararam-se as imagens para a interpretação visual correta das imagens SAR em conjunto com os dados TM e mapas de vegetação supracitados.

Após tal etapa, procedeu-se com os testes de filtragem nas imagens SIR-C (etapa II). Para tanto, amostras das classes trabalhadas (descritas acima) foram coletadas com o objetivo de se testar o efeito de suavização do efeito *speckle* de diferentes filtros (*Lee*, *Enhanced Lee*, *Frost*, *Enhanced Frost* e *Gamma*) e diferentes configurações de tamanho (3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11) nas classes de vegetação adotadas, a partir da imagem SIR-C de abril, banda C e L, polarização HH. Preferiu-se o filtro *Enhanced Frost* tamanho 5x5 para a atenuação do efeito *speckle* das imagens SIR-C. Vale lembrar que a filtragem foi feita antes da análise do retroespalhamento para facilitar a interpretação de imagens e para a obtenção de respostas mais homogêneas dos alvos.

Finalmente, para realizar as análises quantitativas de retroespalhamento nas imagens de radar (etapa III), mais um conjunto de amostras das classes foi coletado para o entendimento da variação temporal dos alvos em diferentes frequências (bandas C e L) e polarizações (HH e HV). Gráficos do tipo *boxplot* com os valores de retroespalhamento por classe foram gerados para facilitar a interpretação e análise dos resultados. A coleta de amostras foi feita em conjunto com a interpretação de imagens TM, mapas de vegetação e imagens SIR-C. Coletaram-se amostras, apenas, onde se tinha certeza da classificação.

3. Resultados e discussão

3.1 Testes de filtragem do efeito *speckle*

Para a banda C, não houve forte redução do coeficiente de variação (CV) a partir de uma janela 5x5, com exceção de um ligeiro aumento no CV da classe água calculado a partir do uso dos filtros *Enhanced Frost*, *Frost* e *Enhanced Lee* com janelas de tamanho 11x11 (Figura 3). Este efeito pode estar relacionado a um realce de feições espúrias na água e de ondulações

responsáveis pelo espalhamento *Bragg*, uma vez que o menor comprimento de onda (banda C) e a polarização HH são mais sensíveis a tais fenômenos. Os testes feitos na banda L (Figura 4) não apresentaram forte redução do CV a partir do tamanho de janela 5x5. Portanto, corroborando os resultados obtidos em Furtado (2014), mostrando assim que a janela 5 x 5 é em geral suficiente para reduzir o ruído speckle e preservar bordas e feições de textura..

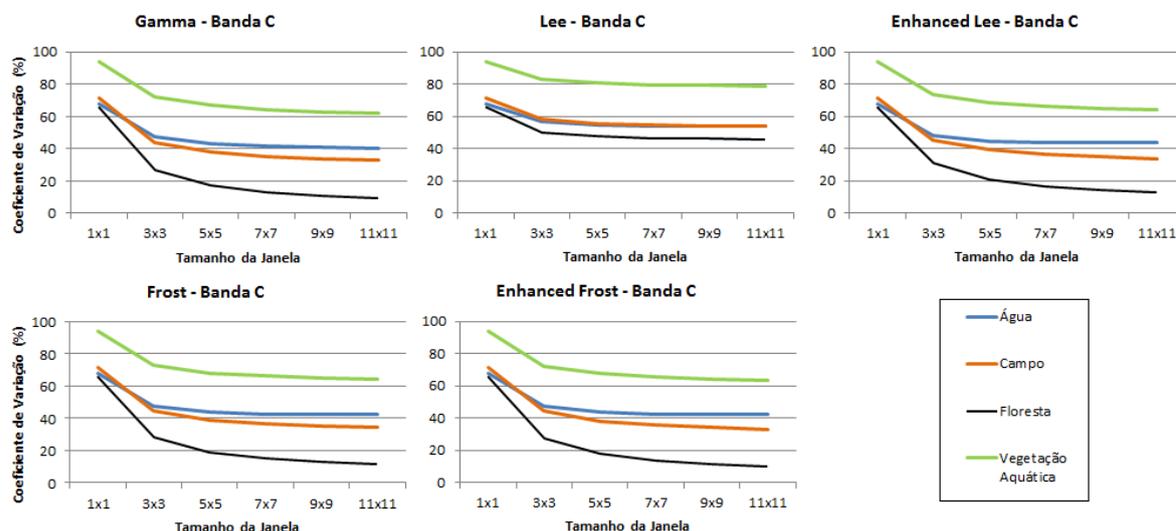


Figura 3 – Efeito da aplicação dos filtros na redução do CV das classes trabalhadas para a banda C.

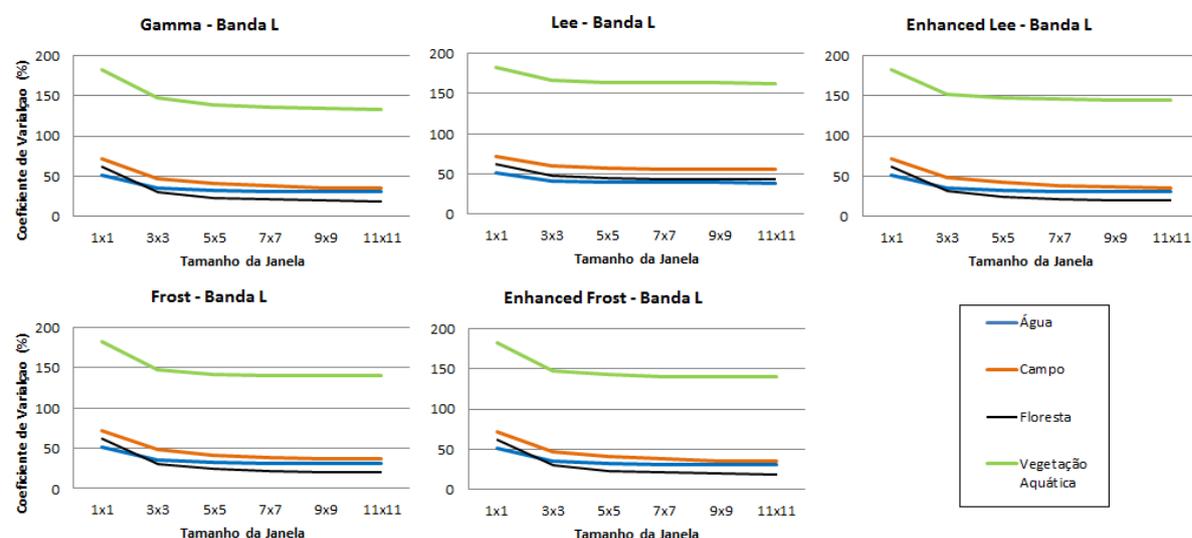


Figura 4 – Efeito da aplicação dos filtros na redução do CV das classes trabalhadas para a banda L.

Visualmente o filtro *Gamma* apresentou menor definição de borda e suavização excessiva de feições (Figura 5) O filtro *Lee* manteve o efeito granuloso da imagem. O filtro *Enhanced Lee* manteve as bordas, entretanto, realçou ruídos (notam-se os pontos brancos realçados dentro do curso fluvial). Os filtros *Frost* e *Enhanced Frost* mantiveram as bordas e não realçaram ruídos. Preferiu-se o *Enhanced Frost* pela maior redução no CV, em relação ao filtro *Lee* em todas as classes, menos na vegetação aquática na banda L. Especificamente, sobre o tamanho da janela janelas maiores que 5x5 produziram suavização excessiva (Figura 6), com perda de textura dos alvos imageados e realce de ruídos e /ou formação de artefatos. Esta constatação também foi feita por Furtado (2014). Para tanto, foi utilizado o filtro

Enhanced Frost com janela de tamanho 5x5 para a filtragem das imagens utilizadas no presente trabalho.

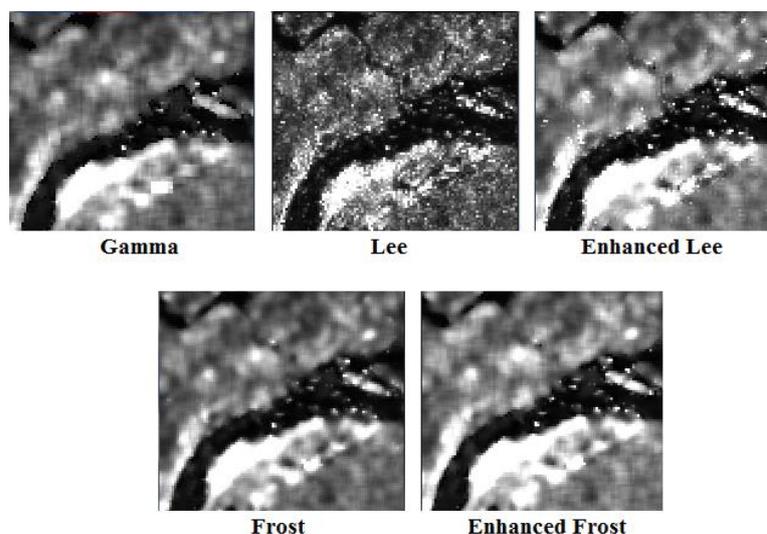


Figura 5 – Efeito de diferentes filtros com tamanho 5x5 aplicados na imagem SIR-C de abril/1994, banda L, polarização HH.

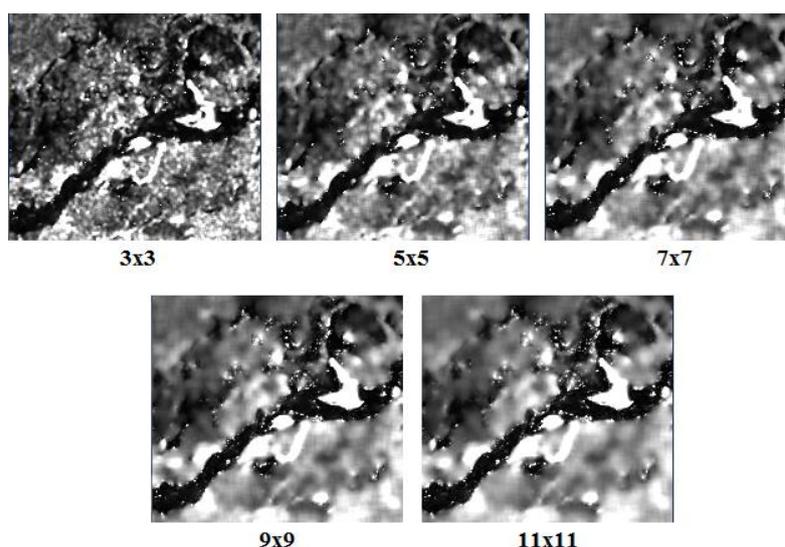


Figura 6 – Efeito de diferentes tamanhos de janela utilizados na aplicação do filtro *Enhanced Frost*. Assim como Furtado (2014), o melhor custo-benefício foi obtido com o tamanho 5x5.

3.2 Avaliação da separabilidade das classes a partir dos valores de retroespalhamento

Pode-se notar que há influência do uso de diferentes comprimentos de onda nos valores de retroespalhamento e na separabilidade das classes (Figura 7). A banda C, de menor comprimento de onda, apresentou maiores valores de retroespalhamento do que a banda L. Apesar de Furtado et al. (2013) constatar menor retroespalhamento para os menores comprimentos de onda (banda X-TerraSAR em relação à banda C-Radarsat) em uma área na Amazônia, para o caso específico da área de estudo deste trabalho, levanta-se a hipótese de que devido ao fato de as ondas eletromagnéticas da banda C serem mais sensíveis à rugosidade gerada pelo topo da vegetação (para vegetação de menor porte) e/ou às partes mais superficiais do dossel (para vegetação de maior porte), os tipos de cobertura da área de estudo apresentaram maiores valores de retroespalhamento do que na banda L, em que a onda eletromagnética possui maior poder penetrante na vegetação. Desse modo, a altura da

vegetação formaria uma “superfície” com maior rugosidade, e um menor comprimento de onda seria mais sensível a tal rugosidade, o que acarreta em maior retroespalhamento para a geometria de aquisição das imagens SIR-C.

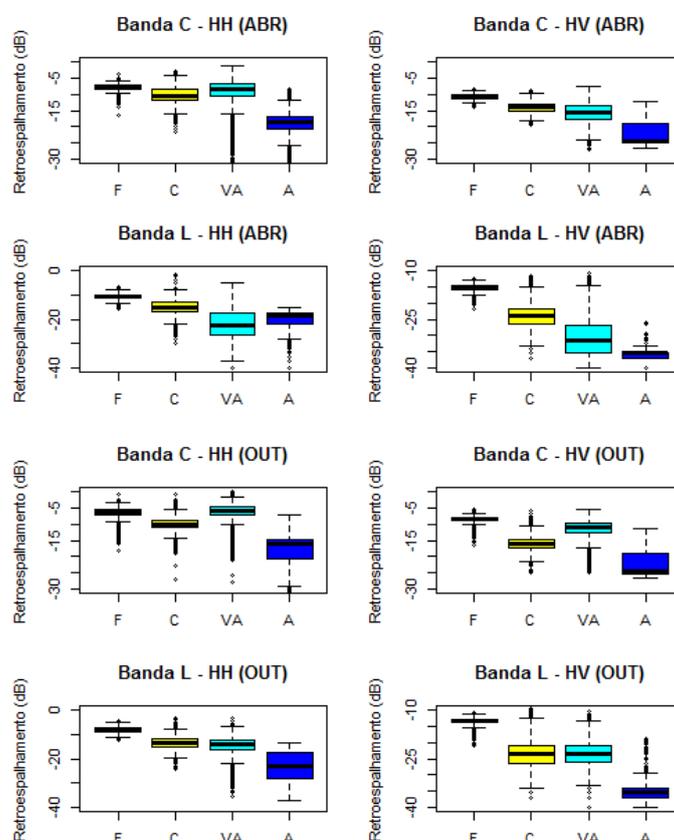


Figura 7 – Valores de retroespalhamento (dB) para cada classe por imagem utilizada. F= Floresta, C= Campo, VA= Vegetação Aquática, A=Água.

A polarização paralela (HH) apresentou maior retroespalhamento que a cruzada (HV) para todas as classes. Este efeito ocorre, pois a polarização cruzada é relacionada ao espalhamento volumétrico e há atenuação das microondas no interior dos dosséis das plantas (HENDERSON; LEWIS, 1998). No geral, as imagens utilizadas mostraram separabilidade entre os alvos, sendo que a floresta apresentou os maiores valores de retroespalhamento, e a água, no geral, os menores valores, com exceção da banda L, HH, de abril, em que a vegetação aquática apresentou menor retroespalhamento (mediana = -18,356 dB) em relação à água (mediana = -22,366 dB). Algumas hipóteses podem ser formuladas para explicar este comportamento, como uma lâmina d’água com nível elevado que cobriu macrófitas flutuantes, aumentando a reflexão especular nas áreas das amostras coletadas, ou, ondulações e/ou feições espúrias, ou presença de vegetação aquática, nas amostras de água coletadas para esta análise. Nota-se confusão entre as classes campo e vegetação aquática nas imagens de outubro, banda L, polarizações HH e HV. Isto ocorreu, pois na época de seca (outubro), a rugosidade gerada por essas duas classes se torna semelhante na banda L, de maior comprimento de onda, o que acarreta em valores similares de retroespalhamento. Entretanto, a banda C é mais sensível às diferenças de rugosidade desses dois alvos, por isso é possível diferenciá-las com tal banda em outubro, em que a vegetação aquática (mediana = -5,853 dB) apresentou maiores valores de retroespalhamento em relação ao campo (mediana = -9,893 dB).

3.3 Influência do tempo no retroespalhamento

Através da análise dos gráficos é possível notar que o efeito da temporalidade no retroespalhamento das classes é decisivo na separabilidade das classes (Figura 8).

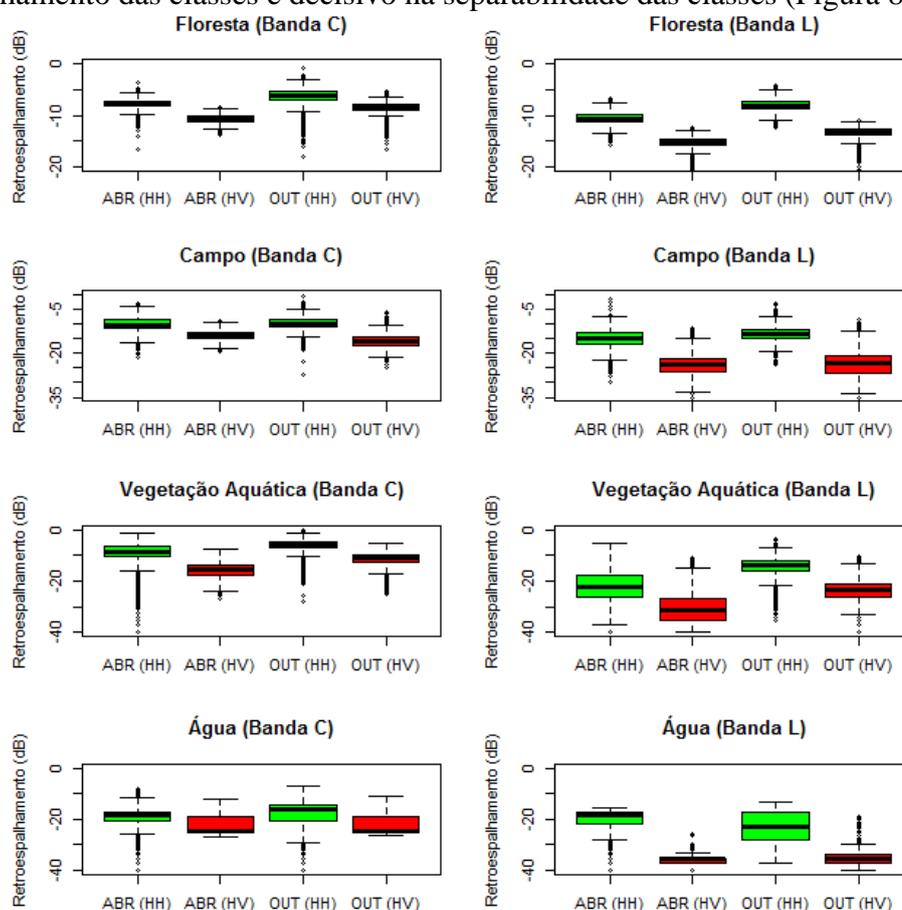


Figura 8 – Variação temporal do retroespalhamento por classe.

Para a classe floresta, verificou-se um ligeiro aumento do retroespalhamento nas imagens de outubro. Isto pode ter ocorrido por causa de eventos externos, desde variações na geometria de aquisição até variações hidrológicas não esperadas nas amostras coletadas (ou flutuações no sinal de retorno), entretanto, não é possível tirar conclusões sobre tal comportamento. A classe campo permaneceu constante nas imagens de abril e outubro. A vegetação aquática apresentou menores valores de retroespalhamento em abril. Tal fato pode ser explicado pela presença de macrófitas flutuantes nas amostras, assim, durante a cheia, esta classe apresenta menor valor de retroespalhamento por causa de um aumento na reflexão especular, e durante a seca, a queda do nível d'água favorece a interação das ondas de radar com a biomassa deixada pelas macrófitas flutuantes, aumentando o retroespalhamento, assim como constatado por Furtado et al. (2013). A variação temporal da água é explicada pelo fato de ser um alvo sujeito a condições aleatórias como ventos que aumentam momentaneamente ondulações na água.

4. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo analisar a variação bitemporal do retroespalhamento, nos meses de abril e outubro de 1994, em imagens SIR-C do Pantanal nas bandas C e L, e polarizações HH e HV, para fins de aplicação de posteriores técnicas de detecção de mudanças. Verificou-se que o uso de diferentes comprimentos de onda e polarizações ajuda na diferenciação dos alvos. Além disso, os dados obtidos sugerem que a bitemporalidade (cheia e seca) poderia melhorar a classificação das classes de vegetação,

especialmente para as classes *Floresta e Vegetação Aquática*, uma vez que o uso de imagens de datas distintas permite a identificação das variações hidrológicas dos alvos (entre outros tipos de variação bitemporal). Portanto, o conhecimento obtido a partir da caracterização do retroespalhamento dos alvos, será útil para os futuros testes de classificação de detecção de mudanças, na segunda etapa desta pesquisa.

5. Referências

- Arnesen, A. S.; Silva, T. S. F.; Hess, L. L.; Novo, E. M. L. M.; Rudorff, C. M.; Chapman, B. D.; McDonald, K. C. Monitoring flood extent in the lower Amazon River floodplain using ALOS/PALSAR ScanSAR images. **Remote Sensing of Environment**, v. 130, p. 51-61, Mar. 2013.
- Evans, T. L.; Costa, M. Landcover classification of the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal Wetlands using ALOS/PALSAR, RADARSAT-2 and ENVISAT/ASAR imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 128, p. 118-137, 2013.
- Evans, T. L.; Costa, M.; Silva, T. S. F. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to Map Land Cover and Seasonal Inundation in the Brazilian Pantanal. **IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing**, v. 3, n. 4, 2010.
- Freeman, A.; Alves, M.; Chapman, B.; Cruz, J.; Kim, Y.; Shaffer, S.; Sun, J.; Turner, E.; Sarabandi, K. SIR-C data quality and calibration results. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 4, p. 848-857, 1995.
- Furtado, L. F. A. **Mapeamento e modelagem da estrutura da vegetação na várzea Amazônica utilizando dados polarimétricos de banda C**. 2014. 184 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/02.17.19.38-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3FPHTSP>>. Acesso em: 17 set. 2014.
- Furtado, L. F. A.; Silva, T. S. F.; Novo, E. M. L. M. Backscattering response of different land cover types in the Lago Grande de Curuai floodplain (Amazon, Brazil) determined from Radarsat-2 and TerraSAR-X data. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013.
- Henderson, F. M., Lewis, A.J. **Manual of remote sensing: principles and applications of imaging radar**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 896 p.
- Hess, L. L.; Melack, J. M.; Filoso, S.; Wang, Y. Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 4, p. 893 – 904, 1995.
- RADAMBRASIL. **Folha SE.21 Corumbá e parte da folha SE.20**, Rio de Janeiro 1983. 780 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- Toyra, J.; Pietroniro, A. Towards operational monitoring of a northern wetland using geomatics-based techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, p. 174-191, 2005.
- Ward, D. P.; Petty, A.; Setterfield, S. A.; Douglas, M. M.; Ferdinands, K.; Hamilton, S. K.; Phinn, S. Floodplain inundation and vegetation dynamics in the Alligator Rivers region (Kakadu) of northern Australia assessed using optical and radar remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 147, p. 43-55, 2014.
- WWF – Brasil. **Monitoring alterations in vegetation cover and land use in the upper Paraguay river basin, brazilian portion, period of analysis: 2002 to 2008**. Brasília: WWF, 2009, 56 p.