

## Relação entre o coeficiente de retroespalhamento do SAR-R99B e o NDVI para a cultura do algodão

Wagner Fernando Silva<sup>1</sup>  
Daniel Alves Aguiar<sup>1</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>1</sup>  
Antônio Roberto Formaggio<sup>1</sup>  
Waldir Renato Paradella<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{wagner, daniel, bernardo, formag, waldir}@dsr.inpe.br

**Abstract.** The interaction of microwave radiation with terrestrial targets is influenced by geometric and dielectric factors. Therefore, the understanding of sensor parameters and targets characteristics is relevant for studies that use data from imaging radar (Synthetic Aperture Radar - SAR). Some studies with SAR images showed significant relationship between radar backscatter and amount of crop biomass. The objective of the present work is to analyze the sensitivity of the backscatter coefficient ( $\sigma^0$ ) of the SAR-R99B images and its relationship with cotton biomass expressed in the NDVI. Graphical analysis and Spearman's correlation test was performed to analyze the  $\sigma^0$  and NDVI mean values of different cotton fields. The results showed higher sensitivity of the HV polarization than others polarizations in relation to the crop density variation. For this polarization, central pivot irrigated cotton fields had higher  $\sigma^0$  than conventional irrigated cotton fields, which was provided by the increase of multiple scattering due to higher canopy density for the central pivot irrigated fields. The highest correlation between  $\sigma^0$  and NDVI mean values was obtained for HV polarization, indicating that this polarization can be used in studies of density/biomass variation of cotton fields.

**Palavras-chave:** radar images, polarization, agriculture, backscatter coefficient, imagens radar, polarização, agricultura, coeficiente de retroespalhamento.

### 1. Introdução

O imageamento por Radar de Abertura Sintética (SAR – *Synthetic Aperture Radar*) é independente da radiação solar e sofre pouca influência por cobertura de nuvens. Além disso, a interação da radiação de microondas com os alvos terrestres é controlada por fatores geométricos e dielétricos (Lewis e Henderson, 1998). Por esses motivos imagens SAR têm sido cada vez mais utilizadas como alternativa e complemento às imagens ópticas. Diversos trabalhos mostraram a viabilidade de utilizar imagens SAR em aplicações agrícolas, sobretudo na caracterização do dossel agrícola, mapeamento e distinção de culturas (Formaggio, 2001; Mcnairn e Brisco, 2004; Stankiewicz, 2006; Silva et al., 2009).

Parâmetros dos sensores como ângulo de incidência, comprimento de onda e polarização são importantes para o entendimento da interação da radiação de microondas com os alvos, para a caracterização do retroespalhamento e para a extração de informações das imagens SAR. Polarizações cruzadas, HV e VH, caracterizam-se pela depolarização (inversão do sentido da polarização) da radiação ao interagir com o alvo, sendo dominado pelo espalhamento múltiplo e, nesse caso, é sensível à estrutura interna do dossel, ou seja, quanto mais denso o dossel maior a interação da radiação nessas polarizações. Mas, essa relação é dependente ainda da capacidade de penetração da radiação que por sua vez depende da relação comprimento de onda/tamanho dos elementos do dossel e do ângulo de incidência. Por outro lado, as polarizações paralelas, VV e HH, são dominadas pela interação direta com os alvos com predominância vertical ou horizontal, respectivamente (Brisco e Brown, 1998).

Estudos anteriores demonstraram correlação entre o retroespalhamento de imagens SAR e os parâmetros da vegetação tais como índice de área foliar e biomassa (Paloscia et al., 1999; Sano et al., 2005). Mattheis et al. (1995) observaram a capacidade da polarização HV da banda L para o levantamento e o monitoramento da biomassa de campos agrícolas. Os índices

de vegetação obtidos de imagens ópticas têm significado físico (Vygodskaya et al., 1989) e diversos estudos mostraram a alta correlação do NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* com parâmetros agrônômicos das culturas, tais como densidade de vegetação (Ormsby et al., 1987), biomassa foliar verde (Tucker, 1979) e índice de área foliar (Daughtry et al., 1984; Jackson et al., 1983).

Silva et al. (2007 e 2009) demonstraram o potencial do radar aerotransportado SAR-R99B do Sistema de Vigilância da Amazônia - SIVAM em distinguir culturas agrícolas comumente cultivadas no Brasil. Entretanto, em suas análises, os campos cultivados com algodão apresentaram grande variação do retroespalhamento, sendo que para a polarização HV ocorreram agrupamentos, indicando que os campos dentro de um mesmo grupo possuíam características semelhantes de retroespalhamento, mas distintos entre os grupos. Parâmetros do dossel podem ter influenciado na diferenciação do retroespalhamento. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo analisar a sensibilidade do coeficiente de retroespalhamento de imagens SAR-R99B em relação à variação de biomassa de campos de algodão, por meio de correlação com imagens NDVI.

## 2. Materiais e Métodos

A área de estudo abrange 1.453 km<sup>2</sup> imageados pelo SAR-R99B. Localiza-se no oeste do estado da Bahia, inserida nos limites municipais de Riachão das Neves, Barreiras e Luis Eduardo Magalhães, cujas coordenadas centrais são: -11°55'08" e -45°49'53" (Figura 1).

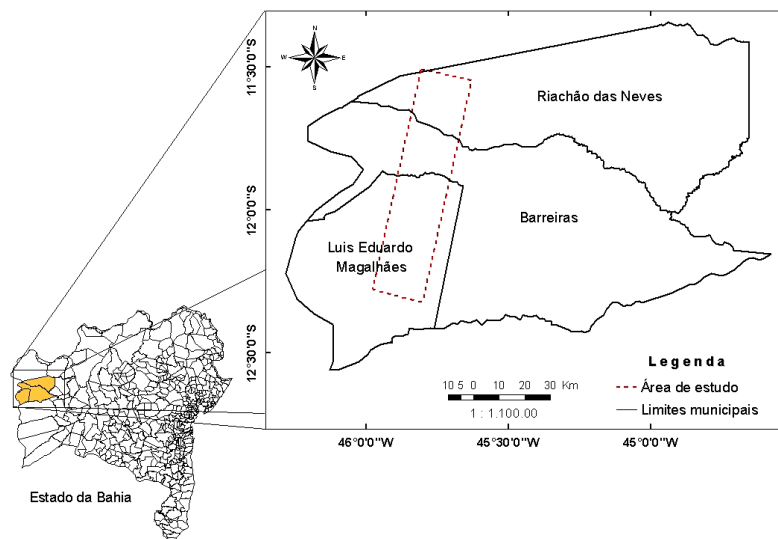


Figura 1. Localização da área de estudo nos municípios de Riachão das Neves, Barreiras e Luis Eduardo Magalhães no oeste do estado da Bahia.

Fonte: Silva et al. (2007).

O imageamento foi realizado no dia 05 de abril de 2005 com o vôo da aeronave EMB-145, da Força Aérea Brasileira, que contém o sensor SAR-R99B. A altitude de vôo foi de 37.000 pés (11.278km) e foi utilizado o modo de mapeamento A1 com resolução em alcance de 6 m. O ângulo de incidência das imagens variou de 52° a 68,5°, com azimute de visada de 282°. As imagens foram processadas com 10 looks e tamanho de pixel de 5 x 5 m.

As imagens SAR foram calibradas radiometricamente e convertidas para coeficiente de retroespalhamento ou Sigma 0 ( $\sigma^0$ ) em decibel (dB) com o auxílio de refletores triédricos de canto, conforme descrito em Silva et al (2007).

Um trabalho de campo foi realizado no mesmo dia do imageamento, no qual foi possível adquirir informações dos campos agrícolas, tais como localização, altura e estágio de desenvolvimento das plantas, direção de plantio e presença de ervas daninhas.

Utilizando as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) da imagem TM/Landsat-5 de 11 de abril de 2005 corrigidas radiometricamente, gerou-se uma imagem de NDVI de acordo com Rouse et al. (1973). A proximidade da data de aquisição da imagem TM e da imagem SAR foi importante para garantir que a mudança na estrutura do dossel fosse desprezível.

A correção radiométrica da imagem TM consistiu de duas etapas. i) conversão dos níveis de cinza para refletância aparente ou refletância planetária. Utilizou-se o método descrito em Chander e Markhan (2003); ii) obtenção da imagem refletância de superfície, ou seja, eliminou-se a influência da atmosfera no imageamento. Nessa etapa utilizou-se o modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) desenvolvido por Vermote et al. (1997) e adaptado para correções atmosféricas de imagens de sensores remotos por Antunes (2003).

Dezenove campos de algodão foram selecionados para as análises. Cada campo foi representado por três ou quatro amostras, dependendo da sua dimensão, obtidas aleatoriamente dentro de cada campo, mas evitando a borda para garantir maior fidelidade de representação. Portanto, os campos foram representados pela média amostral de NDVI e de  $\sigma^0$  de cada polarização.

Com a finalidade de verificar a relação entre o NDVI e o  $\sigma^0$ , além de análises numéricas e gráficas, realizou-se o teste não-paramétrico de correlação de Spearman. O coeficiente de correlação de Spearman ( $r_s$ ) mede o grau de associação ou relação linear entre duas variáveis, equivale ao teste paramétrico de Pearson e não requer que os valores das variáveis estudadas tenham distribuição normal (Campos, 1983), caso que ocorre com dados SAR. Para esse teste as médias de todas as amostras foram utilizadas.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 ilustra os valores médios de  $\sigma^0$  dos campos de algodão nas polarizações VV, HV e HH. Houve grande variação dos valores para a polarização HV, o que pode ser resultante de diferentes estruturas e densidades do dossel. Para as polarizações VV e HH a variação de valores de  $\sigma^0$  foi menor.

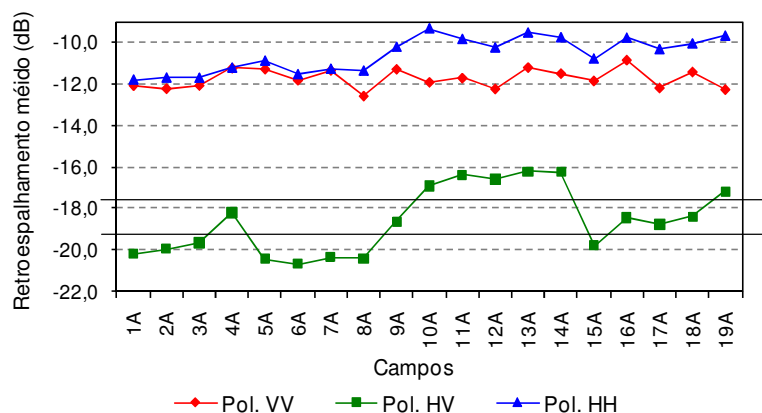


Figura 2. Variação dos valores médios do coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ) dos campos de algodão nas polarizações VV, HV e HH.

Os valores médios de  $\sigma^0$  obtidos para a polarização HV, podem ser divididos em três grupos distintos, delimitados pelas linhas contínuas na Figura 2. Um grupo com maiores

valores de  $\sigma^0$  (10A, 11A, 12A, 13A, 14A e 19A), que será referido nesse trabalho como Grupo 1; um conjunto com retroespalhamento intermediário (4A, 9A, 16A, 17A e 18A), denominado Grupo 2 e um conjunto com menores valores de retroespalhamento (1A, 2A, 3A, 5A, 6A, 7A, 8A e 15A), Grupo 3. Estes grupos correspondem exatamente aos grupos de algodão encontrado por Silva et al. (2007) na análise de agrupamento com a combinação de três polarizações. Este fato indica que ao utilizar as três polarizações, os valores médios de  $\sigma^0$  da polarização HV, por serem muito distintos, tiveram forte contribuição para que os campos de algodão não fossem agrupados em um único grupo.

A Figura 3 ilustra gráficos de dispersão dos valores médios de  $\sigma^0$  e do NDVI. Para as três polarizações os campos 6A, 9A e 15A formaram um grupo, principalmente por causa dos baixos valores de NDVI, o que evidencia que a biomassa desses campos era menor que os demais. Para as polarizações VV e HH, o campo 5A ficou isolado, também por influência dos valores de NDVI. Os grupos formados nos gráficos de dispersão das Figuras 3c corroboraram os grupos formados na Figura 2, exceto os campos 6A, 9A e 15A que sofreram influência dos baixos valores de NDVI e formaram outro grupo.

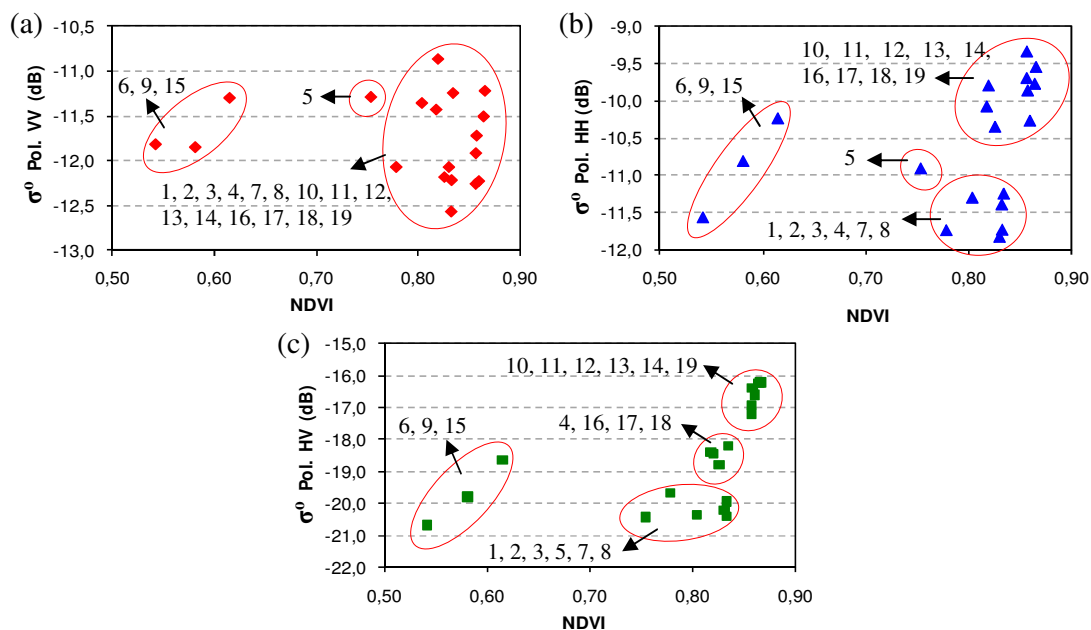


Figura 3. Gráficos de dispersão dos valores médios do coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ) e de NDVI a) Polarização VV x NDVI; b) Polarização HH x NDVI e c) Polarização HV x NDVI.

Ao analisar os dados obtidos em campo e as imagens do SAR-R99B (Figura 4) percebeu-se que os campos do Grupo 1 corresponderam aos campos irrigados por pivô central, enquanto os campos do Grupo 2 e 3 corresponderam aos campos com irrigação convencional ou campos de sequeiro (não irrigados), exceto os campos 4A e 18A que possuíam pivô, mas tiveram valores de retroespalhamento diferentes dos campos do Grupo 1. O motivo aparente é que estes campos estavam em fase de crescimento diferente em relação aos outros campos irrigados por pivô central, uma vez que, ao realizar o trabalho de campo, percebeu-se que alguns campos estavam em fase vegetativa, menos desenvolvidos e outros campos estavam em fase produtiva, mais desenvolvidos. A diferença de tonalidade dos campos do Grupo 1 nas imagens SAR (Figura 4) evidencia a diferença de retroespalhamento.

A irrigação por pivô central proporciona maior uniformidade na distribuição de água e com isso melhor desenvolvimento e homogeneização da cultura em relação à irrigação

convencional ou campos não irrigados (Bernardo et al., 2006). Dessa forma, acredita-se que a cultura nos campos irrigados por pivô central esteja mais bem desenvolvida, com maior número de galhos e folhas, formando um dossel mais homogêneo e mais denso. Este fato afeta a estrutura geométrica do dossel e conseqüentemente a interação da radiação de microondas, principalmente na polarização cruzada (HV), que é caracterizada pelo espalhamento múltiplo (Brisco e Brown, 1998; Ulaby et al., 1982). Assim, quanto mais denso o dossel, maior a possibilidade de ocorrer o espalhamento múltiplo, já que pela relação comprimento de onda/tamanho dos elementos do dossel, a radiação da banda L tem capacidade de penetrar no dossel de algodão.

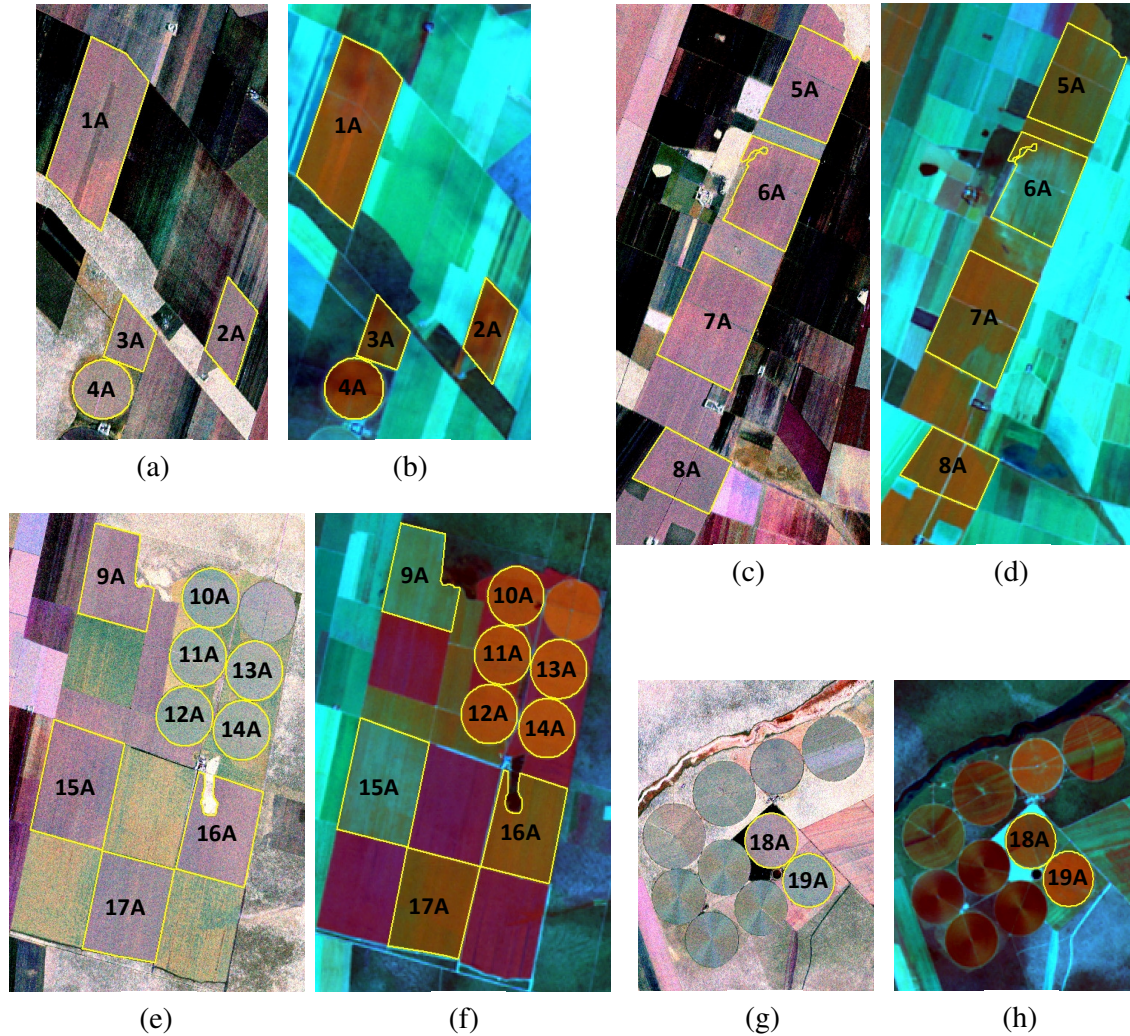


Figura 4. Visualização dos campos de algodão na imagem SAR-R99B (a, c, e, g), composição VV(R)HV(G)HH(B) e na imagem TM/Landsat-5 (b, d, f, h), composição 4(R)5(G)3(B).

A Figura 5 ilustra os valores médios de  $\sigma^0$  na polarização HV e de NDVI para os campos de algodão. Valores positivos de NDVI caracterizam vegetação e possuem relação direta com a porcentagem de cobertura do solo, sendo que, quanto mais próximo a 1, maior a cobertura e conseqüentemente a biomassa (Asrar et al., 1984 e Jackson et al., 1983). Houve uma grande correspondência entre a variação dos valores médios de NDVI e de  $\sigma^0$ . Os campos com maiores valores de NDVI corresponderam aos campos com maiores  $\sigma^0$  médios, integrantes do

Grupo 1, irrigados por pivô central (Figura 5). Asrar et al. (1984) e Daughtry et al. (1984) afirmaram que o NDVI tem relação exponencial com o índice de área foliar, saturando em valores próximos a 0,85. Os campos pertencentes ao Grupo 1 apresentaram valores de NDVI próximos a 0,85, o que evidencia que estes campos possuíam elevada biomassa e o valor de NDVI pode não ter sido maior devido a saturação do índice.

Os campos 6A, 9A e 15A tiveram os menores valores de NDVI, evidenciando menor cobertura do solo. Ao analisar visualmente as imagens TM (Figura 4) verificou-se que estes campos apresentaram tonalidades diferentes dos outros campos, entretanto nas imagens SAR esta diferença não foi visível. O retroespalhamento médio destes campos foi baixo, porém semelhante a outros campos de algodão (Figura 5). Provavelmente, a diferença de NDVI ocorreu em função do vigor vegetativo das plantas, já que o NDVI é sensível a este parâmetro agrônomico e o retroespalhamento não. Além disso, o NDVI é mais sensível à exposição do solo que o retroespalhamento.

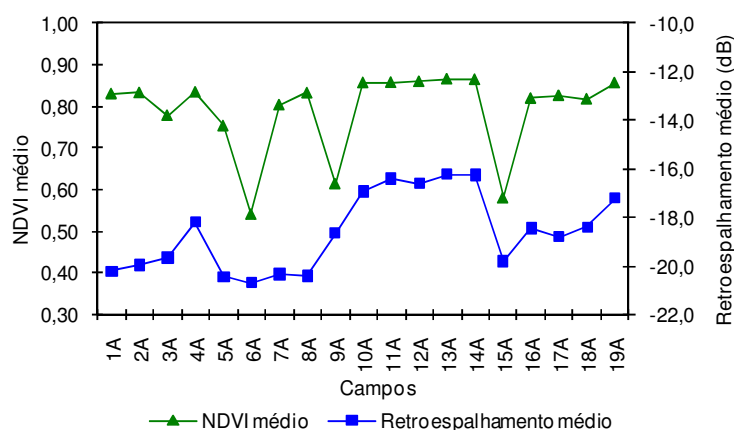


Figura 5. Valores de retroespalhamento médio e de NDVI médio para os campos de algodão na polarização HV.

Os campos 4A e 18A, que apesar de serem irrigados com pivô central não foram incluídos no Grupo 1, apresentaram valores de NDVI menores que os outros campos com pivô central (Figura 5), o que evidenciou que a biomassa desses campos era menor que os do Grupo 1 e que a polarização HV foi sensível a essa diferença. Nesse caso, provavelmente a disposição geométrica do plantio, que por ser em pivô, se dá de forma circular, pode ter influenciado na interação da radiação de microondas e aumentado a sensibilidade do retroespalhamento. Esse fato deve ser melhor investigado com trabalhos de campo que colem maior número de dados.

Ao aplicar o teste estatístico t, com nível de confiança de 99%, nos grupos de valores médios de retroespalhamento e NDVI, obteve-se que para os valores de NDVI, os grupos são diferentes entre si e para os valores de retroespalhamento o Grupo 1 difere dos Grupos 2 e 3. Mas, o Grupo 2 é igual estatisticamente ao Grupo 3 (valor-p = 0,53). Este teste demonstra a maior sensibilidade do NDVI em relação a variação entre grupos e salienta que o Grupo 1 tem retroespalhamento diferenciado em relação aos outros grupos, o que é corroborado visualmente na Figura 4 e nos gráficos da Figura 5.

A Tabela 1 resume os resultados encontrados no teste de correlação de Spearman realizado entre o NDVI médio e o retroespalhamento médio das polarizações VV, HV e HH para os campos de algodão.

A maior correlação foi obtida para a polarização HV ( $r_s = 0,685$ ) e o valor-p assegura que esta correlação é significativa ao nível de confiança próximo a 100% ( $p \approx 0$ ). Para a polarização HH, o resultado mostrou-se significativo, entretanto a correlação foi inferior à

polarização HV, menor que 47%. O resultado para a polarização VV indicou correlação inversa entre os valores médios de NDVI e retroespalhamento. Além disso, o valor-p indicou nível de confiança menor que 80%, valor inferior aos níveis de confiança adotados na prática. Portanto, considera-se que esta correlação não foi significativa, ou seja, não existe correlação entre os valores médios de NDVI e os valores médios de retroespalhamento na polarização VV. Estes resultados comprovaram que o coeficiente de retroespalhamento da polarização HV da banda L possui relação direta com o NDVI e, portanto, com o nível de biomassa dos campos de algodão, sendo sensível a sua variação de densidade. Sano et al. (2005) também encontrou correlações superiores a 65% entre o coeficiente de retroespalhamento da banda L e o NDVI ao estudar a discriminação de fisionomias do cerrado brasileiro e observaram que os dados SAR e os índices de vegetação fornecem informações complementares.

Tabela 1. Resultados do teste de correlação de Spearman entre valores médios de NDVI e retroespalhamento para as polarizações VV, HV e HH.  $r_s$  = coeficiente de correlação de Spearman;  $t(n-2)$  = probabilidade do teste t de Student para (n-2) graus de liberdade.

Polarização	$r_s$	$t(n-2)$	valor-p
HV	0,685	7,467	$\approx 0$
HH	0,466	4,182	$\approx 0$
VV	-0,155	-1,242	0,219

## 5. Conclusões

Os resultados obtidos mostraram que a polarização HV, obtida com o modo de mapeamento A1 do SAR-R99B, teve maior sensibilidade à variação de densidade da cultura do que as outras polarizações. Os campos irrigados por pivô central tiveram maiores coeficiente de retroespalhamento na polarização HV, o que pôde ser explicado pelo maior espalhamento múltiplo por causa da maior densidade do dossel desses campos, proporcionada por maior eficiência na irrigação

Foi encontrada correlação significativa ( $r_s = 0,685$ ) entre os valores médios de NDVI e do coeficiente de retroespalhamento da polarização HV para a cultura do algodão. A polarização HH teve correlação inferior e a polarização VV não teve correlação significativa. Dessa forma, os dados da polarização HV do SAR-R99B são indicados para serem utilizados diretamente em estudos de variação e diferença de densidade de campos cultivados com algodão.

## Agradecimentos

Ao Dr. José Cláudio Mura da Divisão de Processamento de Imagens do INPE pelo auxílio e processamentos das imagens SAR.

Ao Dr. Camilo Daleles Rennó pela contribuição e auxílio referentes às análises estatísticas.

## Referências Bibliográficas

- Antunes, M.A.H.; Freire, R.M.B.; Botelho, A.S.; Toniolli, L.H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o Modelo 6S. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBC, 2003.
- Asrar, G.; Fuchs, M.; Kanemasu, E.T.; Hatfield, J.L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v. 76, n. 2, p. 300-306, 1984.
- Bernardo, S.; Soares, A.A.; Mantovani, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 456 p.
- Brisco, B.; Brown, R.J. Agricultural applications with Radar. In: Henderson, F.M.; Lewis, A.J. **Principles and applications of imaging radar: manual of remote sensing**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. cap. 7, p. 381-406.

- Campos, H. de. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4 ed. Piracicaba, SP: ESALQ, 1983. 349 p.
- Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat 5 TM radiometric calibration procedures and post-calibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- Daughtry, C.S.T.; Gallo, K.P.; Biehl, L.L.; Kanemasu, E.T.; Asrar, G.; Blad, B.L.; Norman, J.M.; Gardner, B.R. Spectral estimates of agronomic characteristics of crops. In: **Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium**, 10, 1984, West Lafayette, IN. **Proceedings...**, West Lafayette: Purdue University, 1984. p. 348-356.
- Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N.; Simões, M.S. Radarsat backscattering from an agricultural scene. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 823-830, 2001.
- Jackson, R.D.; Slater, P.N.; Pinter Jr., P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmosphere. **Remote Sensing of Environment**, v. 13, n. 3, p. 187-208, 1983.
- Lewis, A.J.; Henderson, F.M. Radar fundamentals: the geoscience perspective. In: Henderson, F.M.; Lewis, A.J. **Principles and applications of imaging radar: manual of remote sensing**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. cap. 3, p. 131-181.
- Matthaeis, P.; Ferrazzoli, P.; Schiavon, G.; Slimini, D. Crop type identification and biomass estimation by SAR. In: **IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**, 10, 1995, Firenze, Italy. **Proceedings...**Firenze: IEEE, 1995, p. 957-959.
- McNairn, H.; Brisco, B. The application of C-band polarimetric SAR for agriculture: a review. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 3, p. 525-542, 2004.
- Ormsby, J.P.; Choudhury, B.J.; Owe, M. Vegetation spatial variability and its effects on vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 9, p. 1301-1306, 1987.
- Paloscia, S.; Macelloni, G.; Pampaloni, P.; Sigismondi, S. The potential of C- and L-band SAR in estimating vegetation biomass: The ERS-1 and JERS-1experiments. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 37, n. 4, p. 2107-2110, 1999.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **ERTS Symposium**, 3, 1973, Washington, DC. **Proceedings...**, Washington: NASA, 1973. p. 309-317.
- Sano, E.E.; Ferreira Jr, L.G.; Huete, A. R. Synthetic aperture radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, n. 15, p. 01-15, 2005.
- Silva, W. F.; Formaggio, A. R.; Rudorff, B. F. T.; Mura, J. C.; Paradella, W. R. Uso de imagens do sistema SAR-R99B para distinguir culturas agrícolas. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4983-4990. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.02.11>>. Acesso em: 15 nov. 2010.
- Silva, W.F.; Rudorff, B.F.T.; Formaggio, A.R.; Paradella, W.R.; Mura, J.C. Discrimination of agricultural crops in a tropical semi-arid region of Brazil based on L-band polarimetric airborne SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 5, p. 458-463, 2009. doi:10.1016/j.isprsjprs.2008.07.005.
- Stankiewicz, K.A. The efficiency of crop recognition on ENVISAT ASAR images in two growing seasons. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n. 4, p. 806- 814, 2006.
- Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.
- Ulaby, F.T.; Moore, R.K.; Fung, A. K. **Microwave remote sensing: active and passive: Radar remote sensing and surface scattering and emission theory**. 2 ed. v. 2. Norwood, MA: Artech House, 1982. 1064 p.
- Vermote, E.F.; Tanré, D.; Deuzé, J. L.; Herman, M.J.; Morcrette, J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 3, p. 675- 686, 1997.
- Vygodskaya, N.N.; Gorshkova, I.; Fadeyeva, Ye, V. Theoretical estimates of sensitivity in some vegetation indices to variation in the canopy condition. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 12, p.1857-1872, 1989.