

## PANORAMA DO USO DA TECNOLOGIA RADAR PARA ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

João Roberto dos Santos

Dr. Ciências Florestais, Pesquisador Titular, INPE-PGSER, jrsantos.inpe@gmail.com

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo fazer uma análise da aplicabilidade das imagens de radar, em níveis aerotransportado e orbital, como ferramenta de levantamento e análise de uso e cobertura da terra na região amazônica, quer seja através das informações polarimétricas e/ou interferométricas SAR, direcionando também ao desempenho desses produtos sensorizados obtidos de experiências atuais realizadas por meio de variadas técnicas de tratamento e de classificação temática. Mercê da necessidade de capacitação especializada no trato das imagens de radar, a potencialidade de suas imagens em áreas tropicais é uma constante fonte de informações, disponíveis no mercado nacional e internacional, em adição àqueles produtos tradicionais de característica óptica, de variadas resoluções espaciais e temporais.

**PALAVRAS-CHAVE:** mapeamento, uso e cobertura da terra, sensoriamento remoto.

**INTRODUÇÃO:** O uso de novas tecnologias de sensoriamento remoto tem papel importante no estudo dos ambientes tropicais da região norte do País, face implicações nos ciclos de carbono e água, em níveis regionais e globais, além dos efeitos de perda da biodiversidade perante as ações de degradação ocorrida nos ecossistemas ali existentes. A isso, acrescente-se também a necessidade de quantificar e monitorar causas e efeitos dos impactos ambientais derivados da ocupação daquele espaço territorial pelo homem. Imagens de radares de abertura sintética (SAR), em níveis aerotransportado e orbital, vêm sendo paulatinamente utilizados como importante alternativa de aquisição de dados àqueles de característica óptica, visto o grau de cobertura de nuvens em certas áreas de condições tropicais, o que dificulta o imageamento no espectro óptico. Diversos estudos com uso de dados radar de bandas X, C, L e P têm demonstrado a potencialidade de seus produtos no que se refere aos estudos de levantamento e monitoramento das diversas formas de antropização da paisagem (SANTOS et al., 2009a; SANTOS et al., 2009b; LU et al., 2012; COUGO et al., 2015; MARTINS et al., 2016).

Especificamente no caso da Amazônia brasileira esse ferramental da tecnologia SAR vem paulatinamente ganhando força junto aos Órgãos Governamentais que lidam com as tarefas de planejamento e fiscalização do espaço territorial para disciplinar a ocupação humana e os efeitos do acelerado uso de seus recursos naturais.

Dentro desse contexto, esse trabalho faz uma sintetizada análise da aplicabilidade de sensores-radar tidos no mercado de usuários, demonstrando a forma de procedimentos metodológicos empregados no trato desses produtos, quer seja de aquisição em nível aéreo ou orbital, citando inclusive o nível de desempenho atingido nas distintas classificações temáticas de uso e cobertura da terra, explicitamente realizadas em áreas da Amazônia.

**ANÁLISE DAS IMAGENS DE RADAR AEROTRANSPORTADO PARA O ESTUDO DE TRANSFORMAÇÕES DO ESPAÇO FÍSICO DA PAISAGEM:** um experimento pioneiro de imagens de radar aerotransportado (bandas X e P) na área amazônica, região do Tapajós-PA, foi realizado no ano 2000, através de uma cooperação científica Brasil-Alemanha, com o Sistema AES-1. Realizado esse imageamento, foi possível demonstrar o nível de desempenho para detecção de classes de uso e cobertura da terra, a partir de dados *full*-polarimétricos de banda P, cujos procedimentos adotados de análise estão descritos em Freitas et al. (2008). Assim, classes de florestas primária e secundária, áreas de agricultura e pastagens, de solo preparado e de áreas inundáveis, foram discriminadas através de um classificador contextual ICM (Iterated Conditional Mode), aplicado às imagens amplitude, intensidade e aquelas de parâmetros polarimétricos como entropia, ângulo alfa e anisotropia. Valores de kappa em torno de 76% foram alcançados, com uma adequada distribuição bivariada das polarizações HV e VV.

O alcance desse experimento deu suporte também ao Sub-projeto intitulado “Radiografia da Amazônia”, sob coordenação da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército –DSG, com vistas a obtenção de imagens polarimétricas aliadas a técnicas interferométricas, em bandas X e P, através do Sistema OrbiSAR, visando a confecção de cartas na escala 1:50.000, e a utilização adicional, para classificação de cobertura e uso da terra. Exemplo dessa estratificação temática pode ser observada na pesquisa de Castro Filho e Santos (2010), que utilizarem imagens  $X_{HH}$  e *full*- polarimétricas de banda P, de uma região próxima a cidade de Barcelos (AM), tratadas por mineração de dados, via *Waikato Environment for Knowledge* –Weka, com uso de um algoritmo baseado em árvore de decisão. A análise das características do espaço de atributos envolvendo as classes de florestas de terra firme e alagada, campinaranas arbórea e arbustiva, áreas antropizadas e corpos d’água, permitiu alcançar valor de kappa de 0.88, com nível de classificação correta por volta de 90% de acurácia global.

A continuidade de ações tomadas a partir desses dados-radar aerotransportados, em bandas X e P, está explicitada em Oliveira et al. (2013), para classificar as principais tipologias para se dispor de uma adequada estruturação de dados geoespaciais vetoriais, permitindo a simbolização e representação temática de uso e cobertura do solo, em escalas compatíveis aos permitidos pelos produtos gerados e aos interesses dos formuladores de política de ocupação do espaço territorial.

Observando todo esse aparato de dados SAR aerotransportados, com componentes disponíveis de imagem coerência interferométrica de banda P, ortoimagens de banda  $X_{HH}$  e  $P_{full}$  (em modo amplitude), além dos produtos do Modelo Digital de Superfície-MDS e do Modelo Digital do Terreno-MDT, já adquiridos para inúmeras áreas da Amazônia brasileira (Figura 1), reflexões podem ser feitas pelo baixo nível de aproveitamento de todo esse material, contendo *terabytes* de informações, por parte das instituições que estão literalmente voltadas às discussões ambientais e de planejamento e monitoramento das ações que tentam disciplinar a presença e atuação do homem na paisagem. Da fase de planejamento da missão aérea, até a fase de processamento propriamente dito e geração de produtos, acrescidos do manuseio técnico desses produtos aos usuários interessados, um longo tempo tem ocorrido, o que dificulta uma real aplicabilidade dessas imagens na importante e efetiva ferramenta de levantamento, da situação atual e de prognose, a ser elaborada na conservação ou ocupação do domínio fitogeográfico sob investigação.



Figura 1. Imagem de SAR aerotransportado de código “0286\_2\_NO-\_ORI XP\_2,5m\_24 bits.tif” de área do Município de Santana (AP) ilustrando a qualidade radiométrica para detecção temática de uso e cobertura da terra. Fonte: Projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá, de execução do Governo do Estado do Amapá e Exército Brasileiro.

**ANÁLISE DAS IMAGENS DE RADAR ORBITAL PARA O ESTUDO DE TRANSFORMAÇÕES DO ESPAÇO FÍSICO DA PAISAGEM:** pesquisas com produtos SAR orbitais vêm sendo devidamente tratadas em várias linhas de frente de aplicabilidade por tipo-sensor, cada qual utilizando métodos de tratamento diferenciados, face objetivos de estratificação temática ou de inventário, disponibilidade de softwares de processamento e experiência dos analistas. Em se tratando do TerraSAR-X, modo StripMap, com polarizações HH e VV, com resolução espacial de ~1m (range) e ~6m (azimute), Garcia et al. (2012), em área do sudoeste amazônico (Sena Madureira - AC), estratificou as classes de florestas primária e secundária, pastos limpo e sujo, aéreas de solo exposto para cultivos agrícolas e corpos d’água. No procedimento metodológico imagens de amplitude nas polarizações  $A_{HH}$  e  $A_{VV}$ ,  $A_{<HH,VV*>}$  derivada da matriz de covariância, bem como da entropia  $A_{Entropia}$  derivada da decomposição de alvos por auto-valores fizeram parte, de forma individual ou combinada, do conjunto de dados investigados. Numa comparabilidade entre classificadores, um baseado nas funções de máxima verossimilhança (MAXVER) e outro, na abordagem contextual (Context), esse segundo foi superior em desempenho discriminatório, alcançando 78% de exatidão global ( $kappa = 0.704$ ). Por sua vez, fazendo uso de imagens de polarização dual HH e HV numa data de aquisição, e outra numa subsequência de imageamento de 1 dia, mas com polarizações VV e VH, Azevedo et al. (2014) em trabalho na região de Humaitá (AM), estratificaram 6 temas: floresta de terra firme, floresta aluvial, reflorestamento, savana, pasto e áreas queimadas. Para tal fizeram o tratamento das imagens no modo intensidade e através de manipulações de razão e diferenças de polarizações, bem como também geraram uma série de 21 atributos texturais GLMC (Gray Level Co-occurrence Matrix), cujas análises de desempenho permitiram alcançar uma capacidade discriminatória em torno de 64% de acurácia global, considerada moderada ( $kappa = 0.55$ ) comparada a um mapa referência.

Na região norte do País há uma complexidade de paisagens com transição entre as fitofisionomias florestais e aquelas savânicas, caso da região de Mucajaí (RR), contanto ainda com a fragmentação da vegetação e o mosaico diverso de atividades agro-silvo-pastoris. Nesse contexto de diversidade temática do espaço físico, Pavanelli (2016) recentemente elaborou o sinergismo entre dados dual (HH

e HV) do PALSAR/ALOS-2 (banda L) e do sensor óptico OLI/Landsat-8 para caracterização temática dessa área de tensão ecológica, fazendo do uso classificador *Random Forest* de mineração de dados, que empregou adicionalmente imagens sintéticas de dez métricas GLMC de cada polarização do PALSAR-2 e cinco índices espectrais do OLI. Segundo Pavanelli (2016) esse detalhado procedimento classificatório mostrou que o conjunto híbrido SAR+óptico discriminou uma detalhada composição temática, atingindo 17 classes de uso do solo, com uma acurácia global de 82% ( $kappa = 0.81$ ), tendo como referência pontos georreferenciados de observação de campo, coletados concomitante ao período de aquisição dos dados orbitais. Segundo o autor citado, o melhor modelo foi composto apenas pelas imagens em amplitude HH e HV do PALSAR-2 integrados às seis bandas originais do OLI, e que a inclusão de índices espectrais do OLI e dos atributos texturais GLCM do PALSAR-2 não resultaram em significativas melhorias.

A fonte de referências bibliográficas não se esgota nos exemplos aqui citados, mas permite antever que no horizonte de pesquisas em médio prazo, estão a fusão de imagens de distintos sensores-radar, tais como do PALSAR/ALOS-2 e aqueles da missão TanDEM/TerraSAR-X, explorando os atributos polarimétricos e interferométricos, bem como os modelos de decomposição teórico de alvos e suas respectivas percepções dos tipos de espalhamento da radiação, os quais tipificam a resposta-sensor para representar a dinâmica de uso e cobertura dessa região tropical. Caminhando nessa linha de integração multi-sensor, fica demonstrada a sua viabilidade, conforme citada por Santos et al. (2014), ao tratar dados de banda L (PALSAR/ALOS-1) e de banda X (missão TanDEM/TerraSAR) na análise da cronossequência de áreas de sucessão secundária, na região do Tapajós (PA) e chegando inclusive na estimativa de biomassa, cujo modelo tem como melhores variáveis de ajuste ( $R^2_{adjusted} = 0.75$  e  $RMSE = 28.78Mg.ha^{-1}$ ) os atributos-radar de “*volumetric scattering*” ( $P_v$ ), “anisotropia” ( $A$ ) da banda L, acrescidos da coerência interferométrica ( $\gamma_i$ ) de banda X. Isso facultaria inclusive, entender o estado das florestas e os níveis de degradação a que estão sujeitas, fato comum no processo de fragmentação da paisagem.

**CONCLUSÕES:** De maneira generalizada, observando-se uma extensa bibliografia do uso de dados-radar nas áreas tropicais, algumas exemplificadas nesse artigo, mas realizadas no território amazônico, contata-se que tais imagens em distintas polarizações e frequências alcançam determinados objetivos com relativo sucesso, mapeando temas que permitem subsidiar o planejamento e controle do espaço físico de uma dada porção dessa região norte, quer seja em áreas de terra firme ou naquelas periodicamente inundáveis. Sem dúvida torna-se premente que novos grupos de especialistas ou usuários brasileiros sejam formados na conceituação básica e operacional de tratamento dos dados de radar, bem como as instituições se cerquem de pacotes computacionais apropriados para uma aplicabilidade mais racional, perante a crescente disponibilidade dos dados nessa faixa de microondas.

#### **REFERÊNCIAS:**

AZEVEDO, A. R.; SANTOS, J. R.; GAMA, F. F.; GRAÇA, P. M. L. A.; MURA, J. C. Caracterização de uso e cobertura da terra na Amazônia utilizando imagens duais multitemporais do COSMO-SkyMed. *Acta Amazonica*, v.44, n.1, p. 87-98, 2014.

CASTRO FILHO, C.A. P.; Santos, J.R. Classificação de imagens POLInSAR utilizando técnicas de mineração de dados. *Ambiência*, v.6 (Ed. Especial), p.33-44, 2010.

COUGO, M. F.; SOUZA FILHO, P. W.; SILVA, A. Q.; FERNANDES, M. E. B.; SANTOS, J. R.; ABREU, M. R. S.; NASCIMENTO, W. R.; SIMARD, M. Radarsat-2 backscattering for the modeling

of biophysical parameters of regenerating mangrove forests. **Remote Sensing**, v. 7, p. 17097–17112, 2015.

FREITAS, C.C.; SOLER, L. S.; SANT'ANNA, S.J.S.; DUTRA, L.V.; SANTOS, J. R.; MURA, J.C.; CORREIA, A. H. Land use and land cover mapping in the Brazilian Amazon using polarimetric airborne P-Band SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46, n.10, p. 2956-2970, 2008.

GARCIA, C. E.; SANTOS, J. R.; MURA, J. C.; KUX, H. J. H. Análise do potencial de imagem TerraSAR-X para mapeamento temático no sudoeste da Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v.42, n.2, p. 205-214, 2012.

LU, D.; BATISTELLA, M.; LI, G.; MORAN, E.; HETRICH, S.; FREITAS, C. C.; DUTRA, L.V.; SANT'ANNA, S. J. S. Land use/cover classification in the Brazilian Amazon using satellite images. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1185-1208, 2012.

MARTINS, F. S. R. V.; SANTOS, J. R.; GALVÃO, L. S. ; XAUD, H. A. M. Sensitivity of ALOS/PALSAR imagery to forest degradation by fire in northern Amazon. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 49, p. 163-174, 2016.

OLIVEIRA, G.P.; SALDANHA, M.F.S.; CORREIA, A.H. Projeto Radiografia da Amazônia: colorização e estratificação vegetal de dados SAR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013. Foz de Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 2022-2029. CD-ROM. Disponível em: < <http://urlib.net/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.22.25>> . Acesso em: 15 mai. 2017.

PAVANELLI, J. A. P. **Integração de dados ópticos e SAR para caracterização da paisagem de tensão ecológica em Roraima**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3L8M8H5>>.

SANTOS, J. R.; NARVAES, I. S.; GRAÇA, P. M. L. A.; GONÇALVES, F. G. Polarimetric responses and scattering mechanisms of tropical forests in the Brazilian Amazon. In: Gary Jedlovec (NASA/MSFC-USA). (Org.). **Advances on Geoscience and Remote Sensing**. Vukovar, Croatia: IN-TECH., 2009a, vol. 8, p. 183-206.

SANTOS, V. F.; POLIDORI, L.; SILVEIRA, O. F. M.; FIGUEIREDO Jr., A. G. Aplicação de dados multisensor (SAR e ETM+) no reconhecimento de padrões de uso e ocupação do solo em costas tropicais – costa amazônica, Amapá, Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 1, p. 39-55, 2009b.

SANTOS, J. R.; SILVA, C. V. J.; GALVÃO, L. S.; TREUHAFT, R.; MURA, J. C.; MADSEN, S.; GONÇALVES, F. G.; KELLER, M. M. Determining aboveground biomass of the forest successional chronosequence in a test-site of Brazilian Amazon through X- and L- band data analysis. In: Second International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy), 2014, Cyprus. **Proceedings of SPIE 2014**, vol. 9229, 92291E. [doi: 10.1117/12.2066031].