

SENSORIAMENTO REMOTO/FAIXA DE MICROONDAS NO INPE:
EXPERIÊNCIAS OBTIDAS, PROJETOS EM ANDAMENTO
E CONCEPÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS
NA ÁREA DE HIDROLOGIA

Hermann Johann Heinrich Kux
João Vianeí Soares
Instituto de Pesquisas Espaciais
Ministério da Ciência e Tecnologia
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

Neste artigo são descritas sucintamente as experiências obtidas pelo INPE em sensoriamento remoto/faixa de microondas, especificamente em estudos de umidade de solos, apresentando os projetos em andamento e as principais concepções para estudos futuros nesta área.

ABSTRACT

The first question regarding microwaves for Remote Sensing is why microwaves if the success of aerial photography and optical images from space is well known? This question has several answers. Perhaps the most important reason for using microwaves are their capability to penetrate clouds and to some extent rain. Another reason for use of microwaves is that they are able to penetrate more deeply into vegetation than optical waves do. So, besides information concerning the vegetation itself microwaves can be used for inferring soil moisture and related hydrologic parameters.

1. INTRODUÇÃO

Ao discutir-se a aplicabilidade de novos sistemas sensores surge frequentemente a questão: porque utilizar-se de sistemas microondas para aplicações hidrológicas? Inicialmente cum pre informar que sistemas sensores que operam nas faixas do visível e infravermelho, em função do comprimento de onda, não penetram em nuvens, enquanto sistemas microondas, que operam em comprimentos de onda milimétricos a centimétricos, penetram através de nuvens e mesmo chuvas finas (0,25 mm/h) a médias (25 mm/h). Além disso, comprimentos de onda centimétricos penetram na cobertura vegetal, permitindo a obtenção de informações sobre a rugosidade e geometria da biomassa (troncos, galhos) bem como sobre a rugosidade e umidade da camada superior do solo.

2. PROJETOS E ATIVIDADES EM ANDAMENTO NO INPE NA ÁREA DE MICROONDAS

2.1 - DETERMINAÇÃO DE CONSTANTES DIELÉTRICAS DO SOLO

O sensoriamento remoto da umidade do solo baseia-se na mensuração da radiação refletida ou emitida pela superfície do solo. A variação de intensidade da radiação com relação à umidade do solo, depende fundamentalmente, além da geometria alvo/sensor considerada, das propriedades dielétricas e da temperatura do solo. Para poder utilizar corretamente os dados de sensores microondas, especialmente em aplicações

de umidade de solos e agronomia é de fundamental importância conhecer-se a permitividade complexa relativa (ϵ_r^*) das classes de solo em estudo. Trata-se de uma propriedade de grande relevância, visto que é um parâmetro que descreve as características de propagação de uma onda eletromagnética em um meio, determinando também as características emissivas deste meio na faixa de microondas. ϵ_r^* é definido como a relação entre a permitividade do meio e aquela do vácuo, ou seja, ϵ_r^* informa sobre a relação entre o comprimento de onda da radiação no meio e no vácuo, para meios não-magnéticos (Palme, 1987). Segundo Ulaby et al. (1986) o meio pedológico, do ponto de vista eletromagnético, pode ser considerado como uma mistura dielétrica consistindo de ar, solo, água presa e água livre. Assim sendo, a constante dielétrica desta mistura é geralmente uma função da frequência, da temperatura física, da salinidade, do conteúdo volumétrico de água das frações relativas de água presa e água livre que estão ligadas à textura, densidade aparente e forma das partículas de solo.

Palme (1987) através da medição em laboratório (guia de ondas) de ϵ_r^* , caracterizou seis tipos de solos de interesse agrícola do Estado de São Paulo, em termos de suas constantes dielétricas com diferentes graus de umidade. No mesmo trabalho desenvolveu-se ainda um modelo teórico para calcular a emissividade destes tipos pedológicos, que é inversamente proporcional a ϵ_r^* .

Os resultados deste trabalho indicam que as características físicas dos solos estudados não são suficientes para explicar o comportamento E_r^* em função da umidade, havendo outras contribuições (propriedades químicas, mineralógicas e texturais) que influenciam esta correlação.

Como em campo ocorrem grandes variações de constantes dielétricas de solos e tendo em vista a necessidade de um instrumento que permita medições rápidas e dentro de uma margem de erro conhecida, o INPE deverá desenvolver um sistema portátil para medições de constantes dielétricas. A concepção geral do sistema é semelhante àquela proposta por Brunfeldt (1987), sendo porém um sistema sensor que operará nas bandas L, C e X de maior interesse para aplicações em sensoriamento remoto. Usando-se de guia de ondas, serão feitas, em laboratório medidas de E_r^* e E_r^{**} (partes real e imaginária da constante dielétrica) para calibração e comparação com aquelas de campo. Aplicando-se um modelo teórico, pode-se calcular a seção transversal do espalhamento radar (RCS ou σ^0) no solo, que é essencialmente função da umidade e rugosidade do solo (Palme, 1987).

2.2 - PROJETO DO SISTEMA RADAR DIFUSÔMETRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - RADSER

Para poder participar efetivamente nas diversas missões espaciais com sistemas microondas, (Tab. 1) para as quais já foram apresentadas propostas de estudo (ESA-ERS-1, SIR-C / X-SAR, EOS), com ênfase na área de hidrologia, o INPE está desenvolvendo um sistema difusômetro a ser aerotransportado. Pretende-se com este radar, estabelecer uma base de dados sobre a interação entre matéria (alvos) e energia (radiação de microondas) para o monitoramento ativo de umidade das camadas superiores do solo, através da modelagem das trocas de energia na interface solo/atmosfera. Outro objetivo do RADSER é a obtenção do RCS de culturas anuais e perenes. Em função das aplicações a que se destina, o RADSER será um sistema multibanda (C e X), multipolarização (HH e VV) e permitirá múltiplos ângulos de incidência. Atualmente está sendo concluída a fase de descrição/especificação do sistema. O RADSER será apresentado em sessão técnica durante este Simpósio.

2.3 - A PARTICIPAÇÃO DO INPE NAS MISSÕES ESPACIAIS SAR

A Tabela 1 apresenta as missões espaciais SAR realizadas e/ou programadas para o período 1978/1995. O programa espacial norte-americano apresenta uma importante evolução de um sistema sensor com frequência e polarização única (SEASAT) para, em meados da década de 90, lançar um sistema SAR operacional com múltiplas configurações de frequência, polarização e ângulos de incidência, bem como resolução nominal e faixa imageada variável. Sobre o território brasileiro foram imageadas várias faixas pelos sistemas SIR-A e SIR-B (Shuttle Imaging Radar) tendo sido obtidas experiências na inter-

pretação de dados SAR para geologia, geomorfologia, uso e cobertura do solo (Kux & Dutra, 1984, Balieiro et al. 1984).

Nas missões SIR-C/X-SAR (NASA/DFVLR/PSN), ESA/ERS-1 (ESA) e EOS/SAR (NASA), o INPE pretende participar ativamente, tendo submetido a estas instituições, propostas de pesquisa em resposta ao "Anúncio de Oportunidade" recebido. Abaixo são resumidas as concepções e objetivos destes estudos, bem como colocados alguns resultados relevantes esperados.

Para se obter a RCS de imagens de SAR orbitais, de interesse para estudos de umidade de solos, será aplicada a conversão dos números digitais (DN) para σ^0 , usando a equação de Wang et al (1986), derivada por Dobson et al (1986):

$$\sigma^0 \text{ (db)} = 10 \log(\overline{DN}^2 - K^2 V_n^2) - 10 \log(K^2 A_r C_\theta^2) \quad (1)$$

onde:

DN = número digital médio para uma área com unidade do solo média;

K = fator de escala conhecido e usado no processamento do sinal e obtido por refletores (corner reflectors) dispostos no solo;

V_n = ruído de fundo, derivado da imagem de interesse;

A_r = célula de resolução no terreno conhecida;

C_θ = único parâmetro desconhecido, relacionado ao sistema sensor.

Os σ^0 das áreas de interesse serão então, derivados de DNs e plotados contra umidade de solo em campos com solos nus e com cobertura vegetal. Os primeiros estudos de comparação de dados de campo (σ^0_1), obtidos via sistema portátil, com dados de SAR orbitais (σ^0_2 equação 1), deverão ser realizados em duas áreas bem conhecidas de campos agrícolas experimentais, em seções de várzea no NE e SE do país. Pretende-se desenvolver com estes estudos, algoritmos de processamento (filtragem, análise textural) e de classificação temática, bem como um algoritmo para estimativa de evaporação em escala regional. Para tanto, deverão ser usadas imagens SAR e dados meteorológicos, incluindo séries temporais de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, precipitação, evapotranspiração, radiação global e evaporação Pan (Tabela 2). Um objetivo secundário destes estudos é a verificação da possibilidade de discriminação entre culturas nas áreas testes, bem como a avaliação da atenuação qualitativa de propriedades da cobertura vegetal relacionadas a parâmetros de radar, como frequência, polarização e ângulo de incidência.

Na segunda metade da década de 90 (1995/97), com o lançamento das plataformas polares da Missão Espacial EOS-Earth Observing System, haverá a possibilidade de se obter continuamente, por um período de quinze anos, dados de sensores microondas (ativos e passivos) multiparamétricos (multi-polarização, multi-frequência, multi-ângulo de incidência, multi-resolução espacial e temporal). A carga útil incluirá ainda

espectrômetros imageadores (MODIS, HIRIS) e radiômetros microondas (ESTAR, AMSR), tornando necessário um "approach" sinérgico no trabalho com dados destes sistemas. Isto permitirá o monitoramento e a modelagem do Ciclo Hidrológico de grandes ecossistemas como a Amazônia. Neste sentido, foi recentemente submetida à NASA uma proposta de estudos, com os seguintes objetivos principais:

1. modelagem da fase terrestre do Ciclo Hidrológico de uma bacia não afetada pela ocupação humana;
2. modelagem do relacionamento entre taxas de desmatamento e o ciclo hidrológico, em base anual, de uma extensa bacia fluvial, característica para a Amazônia;
3. modelagem da correlação entre nutrientes e cargas sedimentares e os seus efeitos na produtividade primária de ecossistemas aquáticos: o processo de eutrofização.

Estes estudos têm como finalidade comum entender, monitorar e modelar os processos mencionados na Amazônia, numa perspectiva espacial e temporal.

3. CONCLUSÃO

Para que o grande volume de dados a ser obtido pelos sistemas SAR mencionados, especialmente aqueles do EOS, possam ser adequadamente processados, armazenados e utilizados, há a necessidade de superarem-se ainda grandes desafios, tais como: o aumento considerável do volume de dados exigindo maior rapidez de processamento de imagens, o desenvolvimento de bancos de dados como os sistemas de informações geográficas (SIG) com alta capacidade, e o desenvolvimento de algoritmos aplicativos para os diferentes usuários. Vários Departamentos da Área de Sensoriamento Remoto do INPE estão participando destas tarefas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALIEIRO, M.G.; MARTINI, P.R.; SANTOS, J.R.; MATTOS, J.T.; Estudos de Alvos Naturais nos Mosaicos SIR-A (Shuttle Imaging Radar), III Simp. Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Rio de Janeiro, Nov. 1984.
- BRUNFELDT, D.R.; Theory and design of a field-portable dielectric measurement system. Proceedings IGARSS'87 Symp. Ann Arbor May 18-21, 559-563, 1987.
- DOBSON, M.C.; ULABY, F.T.; BRUNFELDT, D.R.; HELD, D.N.; External calibration of SIR-B imagery with area-extended and point targets. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. GE-24 (4), 453-461, 1986.
- KUX, H.J.H.; A study on the interaction mechanisms between microwave radiation, bare soils and crops, at two distinct floodplain ("várzeas") areas, respectively in NE and SE Brazil. Proposal submitted to ESA (unpublished) in response to the A.O. on ESA/ERS-1, 1987.
- KUX, H.J.H.; DUTRA, L.V.; Evaluation of SIR-A (Shuttle Imaging Radar) images from the Três Marias region (Minas Gerais State, Brazil) using derived features and registration with MSS-Landsat images. Proceedings XV ISPRS Symposium, Rio de Janeiro, June 17-29, 1984.
- PALME, U.W.; Caracterização radiométrica de 6 solos na faixa X de microondas, através de medições da permitividade complexa. Dissert. de Mestrado, INPE 4376/TDL/ 302,266p. 1987.
- SOARES, J.V.; Microwave Remote Sensing data from a spaceborne platform as a tool to monitor the hydrological cycle of a floodplain area ("várzea") at NE-Brazil (Test-site: Petrolina, Pernambuco State). Proposal (unpublished) submitted to NASA (USA) and DFVLR (F.R. Germany) in response to A.O. issued by NASA, DFVLR and CNR/PSN (Italy) referring to participation at the SIR-C/X-SAR Experiment.
- ULABY, F.T.; MOORE, R.K.; KUNG, A.K. Microwave Remote Sensing: active and passive. Artech House, Washington, DC, vol. 3. 1072p. 1986.
- WANG, J.R.; ENGMAN, E.T.; SHIUE, J.C.; RUSEK, M.; STEINMEIER, C.; The SIR-B Observations of Microwave Backscatter Dependence on Soil Moisture, Surface Roughness and Vegetation Covers. IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. GE-24 (4), 510-516, 1986.

TABELA 1

MISSÕES ESPACIAIS SAR (1978 - 1995)

| MISSÃO | DATA DE LANÇAMENTO | PAÍS/ INSTITUIÇÃO | DURAÇÃO DA MISSÃO | ÓRBITA OU INCLINAÇÃO | ALTITUDE DA ÓRBITA (km) | FREQÜÊNCIA banda* | POLARIZAÇÃO | ÂNGULO DE VISADA | RESOLUÇÃO NOMINAL (m) | FAIXA IMAGEADA (km) |
|-----------|--------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------------|---------------------|
| SCASAT-A | jun 1978 | EUA/NASA | 3 meses | polar 108° | 794 | L | HH | 20° | 25 | 100 |
| SIR-A | nov 1981 | EUA/NASA | 5 dias | 38° | 252 | L | HH | 47° | 40 | 50 |
| SIR-B | out 1984 | EUA/NASA | 8 dias | 57° | 250 | L | HH | 15-60° | 20-50 | 20-50 |
| SIR-C | 1984 | EUA/NASA RFA/DFVLR ITÁLIA/PSN | 7-10 dias (2 vezes) | polar | 225 | L,C,X | HH,VV HV,VH | 15-55° | 15-50 | 15-90 |
| EOS/SAR | 1995/1997 | EUA/NASA ESA JAPÃO | 15 anos | polar | 542-824 | L,C,X | HH,VV HV,VH | 0-60° | 20-500 | 30-700 |
| ESA/ERS-1 | 1991 | ESA | 3 anos | quase polar 98,5° | 785 | C | HH | 23° | 30 | 80 |
| J-ERS-1 | 1991 | JAPÃO | 3 anos | sol-síncrona | 570 | L | NE** | 33° | 25 | 75 |
| RADARSAT | 1994 | CANADÁ | 3-5 anos | 99,23° | 1001 | C | NE | 30-45° | 25 | 150 |

* banda L = 1,275 GHz; banda C = 5,3 GHz; banda X = 9,5 GHz

** NE = não especificado ainda

FONTE: Uziaby, Moore x Fung (1986), modificado.

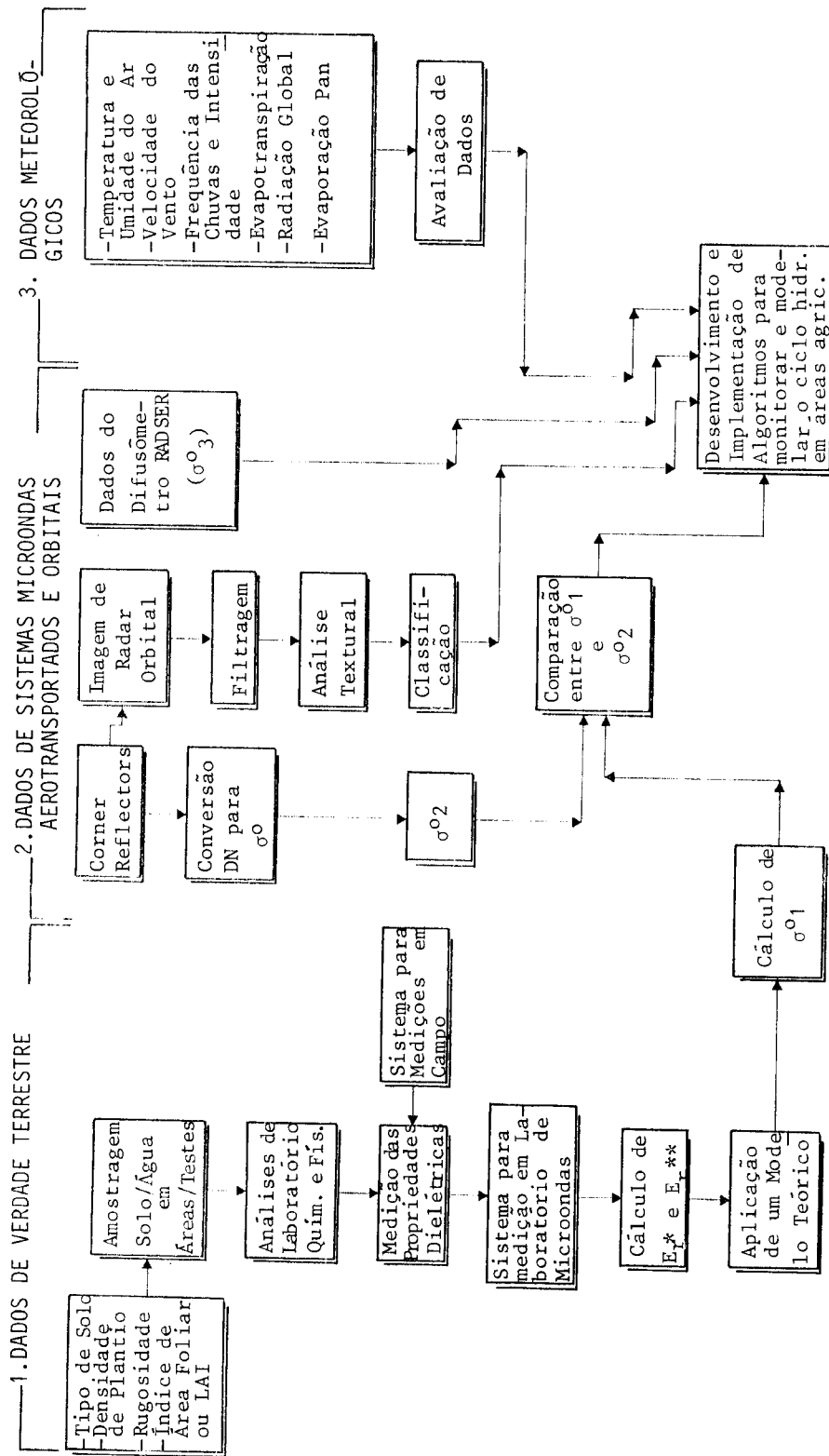


TABELA 2 - Fluxograma indicando concepções de estudos de umidade de solos com sensores microondas no INPE.