

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE DADOS RADAR ERS-1 PARA ESTUDOS DO PANTANAL BRASILEIRO¹

PEDRO ALBERTO BIGNELLI², MYRIAN DE MOURA ABDON³,
ULF WALTER PALME⁴ e JOÃO DOS SANTOS VILA DA SILVA⁵

RESUMO - A pesquisa sobre sensores de microondas aponta o radar como excelente delimitador água/terra e também como uma nova ferramenta complementar para estudos de vegetação e culturas agrícolas, especialmente nas regiões do Planeta comumente recobertas por nebulosidade. Sendo assim, a região pantaneira do Mato Grosso do Sul constitui-se numa área teste ideal para avaliação de imageamentos de radar quanto ao potencial desta tecnologia na discriminação daqueles parâmetros. Assim, realizou-se um estudo piloto na sub-região de Nhecolândia, sobre a qual já estavam sendo conduzidos trabalhos de pesquisa pela Embrapa-CPAP em conjunto com o INPE, objetivando: 1) comparar o desempenho dos dados do radar ERS-1 em relação aos do TM-Landsat para o mapeamento da fisionomia da vegetação e a delimitação água/terra; e 2) analisar as contribuições do produto integrado daqueles sensores para o mapeamento da fisionomia vegetal e a geomorfologia da área-teste. Neste contexto, as análises visuais apontaram o radar como excelente discriminador das áreas com presença de solos arenosos, salinas e associações de plantas aquáticas; assim como os produtos híbridos apresentaram grande contribuição quanto à visualização da fisionomia dos grupos de vegetação e aos aspectos da geomorfologia local.

Termos para indexação: vegetação, sensoriamento remoto, sensor de microondas.

PRELIMINARY EVALUATION OF ERS-1 DATA FOR STUDIES ON THE BRAZILIAN PANTANAL

ABSTRACT - According to research results it is widely accepted that radar data present strong contrasts between land and water bodies, and it is especially suited to areas with significant cloud cover. In this context, the Pantanal environment (Mato Grosso do Sul State) was chosen to evaluate the potential and contribution of radar data to the understanding and mapping of the dynamics of this area. Specific investigations were carried out on known test sites of the Embrapa-CPAP and INPE (Nhecolândia region) aiming at: 1) comparison of the performance of ERS-1 images in relation to TM-Landsat for mapping vegetation and the water-land boundary; and 2) evaluation of the integration of optical and radar data in generating thematic maps of tropical areas for vegetation mapping. The visual analysis of radar data allow excellent discrimination of areas with sandy soils, salt-lakes, and association of aquatic plants, and also, the integrated optical/radar products contribute to the correct identification of vegetation groups and of local geomorphological aspects.

Index terms: vegetation, remote sensing, microwave sensor.

INTRODUÇÃO

Dentro do contexto dos estudos desenvolvidos no convênio Embrapa-CPAP e INPE referentes à avaliação da potencialidade de dados de multissensores na pesquisa agropecuária do Pantanal Brasileiro, introduziu-se o estudo analítico e de avaliação preliminar dos dados do ERS-1 com radar imageador sobre a região pantaneira.

¹ Aceito para publicação em 11 de fevereiro de 1998.

² Geólogo, M.Sc., Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Av. dos Astronautas, 1758, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP. E-mail: bignelli@ltid.inpe.br

³ Bióloga, M.Sc., INPE. E-mail: myrian@ltid.inpe.br

⁴ Eng. Agr., M.Sc., INPE. E-mail: ulf@ltid.inpe.br

⁵ Matemático, M.Sc., Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (CPAP), Rua 21 de Setembro, 1880, CEP 79300-900 Corumbá, MS.

Esta iniciativa justifica-se pelo fato de estudos a partir de radares aerotransportados apontarem o sensor microondas como um excelente delimitador água solo (Koopmans et al., 1995) e como um recurso complementar com potencial para a discriminação da fisionomia vegetal e de culturas agrícolas, especialmente em regiões que apresentem limitações de imageamento por sensores ópticos, devido às condições adversas de visibilidade (Ulaby et al., 1986). Por conseguinte, o sensor radar vem ao encontro dos caracteres e das necessidades da região pantaneira, uma área na qual, praticamente, toda dinâmica fisionômica está associada ao regime das águas, estando comumente recoberta por nebulosidade no decorrer do ano todo.

O monitoramento da dinâmica destas regiões de grande índice pluviométrico requer imageamentos com regularidade temporal, o que somente pode ser obtido por sensores ativos que atuam na faixa de microondas do espectro eletromagnético. O fator determinante nesta pesquisa é a capacidade conhecida de os radares obterem dados sob condição de nebulosidade (nuvens e fumaça), o que garante imageamento sobre a área de estudo a cada 24 dias, proporcionando uma alta resolução temporal, impraticável aos sensores ópticos.

A banda C do SAR-ERS-1 (comprimento de onda de 5,66 cm) caracteriza-se ainda, por interagir no topo do dossel, isto é, o comprimento de onda supracitado equivale à média do tamanho das folhas e dos galhos, sendo, portanto, sensível ao retroespalhamento destes elementos, delineando a forma do nível superior dos estratos da vegetação imageada. Esta característica capacita ao observador discriminar por diferenças nas tonalidades e texturas da imagem de radar, os grandes grupos de vegetação, (National Aeronautics and Space Administration, 1988). Além disso, a geometria de imageamento do radar (visada lateral) proporciona sombreamento, o que o capacita para o estudo das variações na topografia.

Sendo assim, neste estudo propõe-se comparar o desempenho do radar a bordo do ERS-1 para a identificação da fisionomia da vegetação e caracterização geomorfológica da sub-região de Nhecolândia, em relação aos dados do TM-Landsat

disponíveis, e conjuntamente analisar as contribuições do produto integrado destes sensores a este mapeamento.

MATERIAL E MÉTODOS

Identificação da área de estudo

A região escolhida para o presente estudo está localizada na sub-região da Nhecolândia e delimita-se pelas latitudes de 18°52' 54" e 19°7' 7"S e pelas longitudes 56°30'28" e 56°48'48"W, estando inserida nas folhas SE.21-Z-A-VI-4 e SE.21-Z-C-III-2, na escala de 1:50.000.

A área denominada sub-região de Nhecolândia caracteriza-se por apresentar baías e salinas circundadas por uma pequena faixa de savana gramíneo-lenhosa (campo) e savana florestada (Cerradão) ou savana arborizada (Cerrado), seguida de extensas áreas de savana gramíneo-lenhosa, conforme Abdon et al. (1998).

Geomorfológicamente, assemelha-se a todo o restante da região pantaneira, apresentando-se como uma vasta planície inundável durante parte do ano, circundada por terraços planos de baixa altitude.

Características do sistema sensor ERS-1

O satélite SAR-ERS-1 ("Earth Remote Sensing Satellite"), pertencente à Comunidade Européia, foi lançado em julho de 1991, com a missão voltada para aplicações oceânicas e estudos glaciológicos; para tanto, projetaram-se as características do radar de abertura sintética, listadas na Tabela 1.

A despeito das limitações causadas pela geometria de aquisição de dados do radar a bordo do ERS-1 (em especial o ângulo incidente de 23°), obteve-se uma série de imageamentos da crosta terrestre, inclusive sobre a região do Pantanal no Mato Grosso do Sul.

As imagens sobre a área-teste são concernentes à base 482, órbitas ascendentes 7641, de 31 de dezembro de 1992, e 10647, de 29 de julho de 1993. Estas imagens foram gravadas pela antena receptora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em Cuiabá (MT), e convertidas em produto com resolução radiométrica nominal de 3 "looks", com 16 bits.

As referidas órbitas recobriram no solo uma faixa de 100 km de largura, com orientação a N12°W, e visada direcionada para N78°E. A imagem final possui resolução espacial de 25 por 25 m e espaçamento de amostragem de 12,5 por 12,5 m.

Dados auxiliares

Os materiais utilizados como auxiliares na pesquisa foram: 1) dado analógico e digital da imagem TM-Landsat, datada de 21 de outubro de 1990 (período de seca),

TABELA 1. Características gerais do sensor SAR-ERS-1.

Características	Valores
Inclinação orbital	98,5° (ao Equador)
Altitude nominal	785 km
Comprimento de onda	Banda C - 5,6 cm
Resolução espacial (1 look)	12 m em range, 8 m em azimute
Resolução espacial (8 looks)	25 m em range e azimute
Largura da faixa de recobrimento	100 km
Ângulo de depressão	65° a 70°
Intervalo dinâmico	21 dB
Polarização	VV

Fonte: European Space Agency (1992).

referente à órbita-ponto 226/73, quadrantes B e C, na escala de 1:50.000; e 2) informações de campo e pontos localizados na área, com utilização de GPS de navegação ("Global Positioning System").

Utilizou-se também a carta de vegetação, na escala de 1:50.000, gerada para parte da região de Nhecolândia, no contexto do projeto Embrapa-CPAP/INPE, com base em dados analógicos TM-Landsat (Abdon et al., 1998). Esta carta apresenta a discriminação de sete classes de vegetação para a região e trata-se do principal referencial da presente avaliação. Na Fig. 1, observa-se uma redução da carta utilizada.

Fundamentação teórica

Os dados SAR-ERS-1 e TM-Landsat antes de serem analisados e integrados digitalmente, passaram por uma fase de pré-processamento, que visa a otimizar a qualidade visual das imagens. Estes processamentos são tratados por tipo de sensor, pela grande diferença entre eles.

Os dados RADAR foram recebidos do Instituto acional de Pesquisas Espaciais na forma denominada SARPPS, com georreferenciamento a norte (UTM) e na projeção "ground range".

A primeira fase de pré-processamento dos dados SAR visa à atenuação do ruído "speckle", que se trata de uma distorção eletrônica inerente aos sensores de microondas. Esta distorção é suprimida com a aplicação de filtragem do tipo adaptativa, cuja principal característica é considerar as informações texturais locais e suprimir o ruído sem prejudicar a qualidade visual da imagem como um todo, o que ocorreria com a aplicação de um filtro do tipo "passa baixa". Diversos filtros adaptativos são propostos (Lee, Kuan, Frost, Enhanced Lee, Enhanced Frost e FGAMMA); entretanto, com base em testes visuais optou-se pela utilização do filtro FGAMMA (Lopes et al., 1990) com

janela de 3 x 3 "pixels", a qual apresentou o melhor desempenho na atenuação do "speckle".

Na segunda etapa é aplicada uma ampliação não linear, de contraste (método Driemann), no histograma da imagem, objetivando o realce visual das feições contidas no produto radar.

Com isto, os dados digitais SAR são transformados em produto fotográfico com área no terreno de 100 km por 100 km, o que o capacita à fotointerpretação dos conjuntos de vegetação da área-alvo.

A correção geométrica não se fez necessária, pois a região pantaneira não apresenta desniveis topográficos que exijam a adaptação da projeção da imagem a um modelo numérico de terreno.

Os dados do sensor óptico TM-Landsat são corrigidos quanto aos efeitos atmosféricos com base no método denominado "pixel negro" (Horler & Ahern, 1986). Posteriormente, os dados foram realçados a partir da ampliação linear de contraste banda a banda e georreferenciados com o objetivo de facilitar os procedimentos de registro e integração.

Na seqüência do estudo, analisaram-se visualmente as imagens ERS-1 (Fig. 2), com base em elementos de fotointerpretação, tais como: tonalidade, forma, textura e localização. Desta maneira, identificou-se uma legenda preliminar semelhante à adotada por Abdon et al. (1998) (Fig. 1) e, então, selecionaram-se pontos para comparação dos resultados da interpretação com o mapeamento existente, originado pelo sensor TM, controlados por dados de campo.

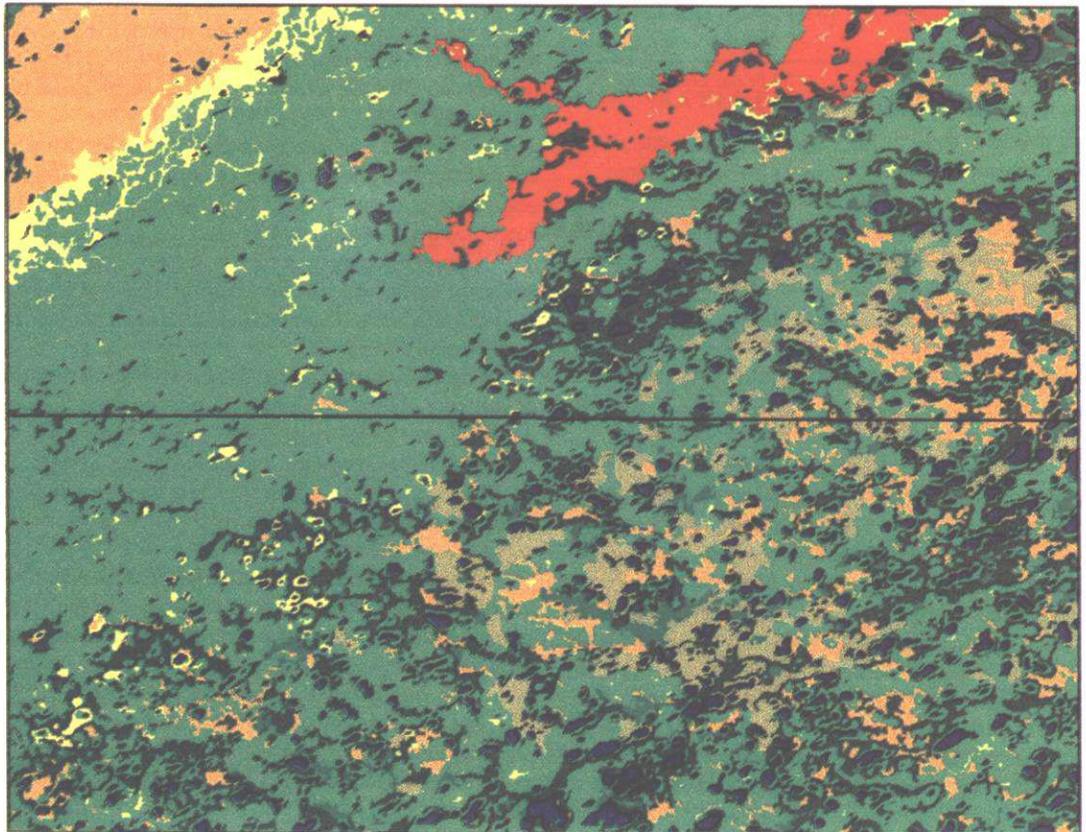
Integração de dados

Os procedimentos de integração digital de imagem justificam-se a partir da constatação da utilidade de mapas-imagens georreferenciados na fotointerpretação de vários temas (Harris & Murray, 1989; Harris et al., 1994). A integração de dados de sensores ópticos com os de microondas proporciona um produto final que maximiza as informações advindas de cada um dos sensores, sendo ainda de fácil interpretação. A característica multispectral do TM-Landsat produz boas informações sobre a cobertura de vegetação, mas não apresenta com clareza as características geomorfológicas do alvo, devido principalmente ao alto ângulo de elevação solar das regiões tropicais. Por outro lado, as imagens de radar são caracteristicamente boas delimitadoras topográficas, porém com informações restritas sobre a vegetação (Kux et al., 1995).

Alguns métodos de integração de dados multissensores são conhecidos, dentre os quais se destacam: composição colorida no espaço RGB, com imagens pré-registradas; transformações por principais componentes (PCA); e transformações no espaço IHS.

56°48'48"W

18°52'54"S



5 km

19°07'07"S
56°30'28"W

- Savana florestada (Cerradão, mata, babaçual)
- Savana arborizada (Cerrado, Cerrado denso)
- Savana gramíneo-lenhosa 1 (campo sujo, campo limpo, vazantes)
- Savana gramíneo-lenhosa 2 (vegetação aquática/arbustiva)
- Savana gramíneo-lenhosa+savana florestada (vazantes com caapões de mata)
- Savana arborizada+savana gramíneo lenhosa (Cerrado aberto)
- Savana gramíneo lenhosa+savana arborizada (Cerrado aberto+cerrado com murundu)
- Corpos d'água

FIG. 1. Redução da carta de vegetação da área de estudo, elaborada a partir de imagem Landsat-TM.

Fonte: Abdon et al. (1998).

Os métodos de transformações por principais componentes e no espaço IHS citados por Harris et al. (1994) são especialmente direcionados à integração de dados geológicos e geofísicos, que exigem ortorretificação de imagens e maior tempo de processamento.

Sendo assim o método de integração mais utilizado é o da composição colorida no espaço RGB, devido à sua simplicidade e a boa eficácia no caso de regiões planas como o Pantanal. Para obtenção do produto híbrido final as seguintes fases foram seguidas:

1) seleção das bandas TM-Landsat (3, 4 e 5) com base na capacidade de discriminação de tipos de vegetação apresentadas por Horler & Ahern (1986), que analisaram por critério de divergência média transformada (principais componentes) as bandas espectrais dos sensores MSS e TM-Landsat; 2) escolha de uma área representativa da região estudada nas imagens TM-Landsat e SAR-ERS-1 (Fig. 2) para a realização do registro; 3) registro imagem-imagem com reamostragem de tamanho do "pixel" do radar (25 x 25 m) para 30 x 30 m, compatível com o dado

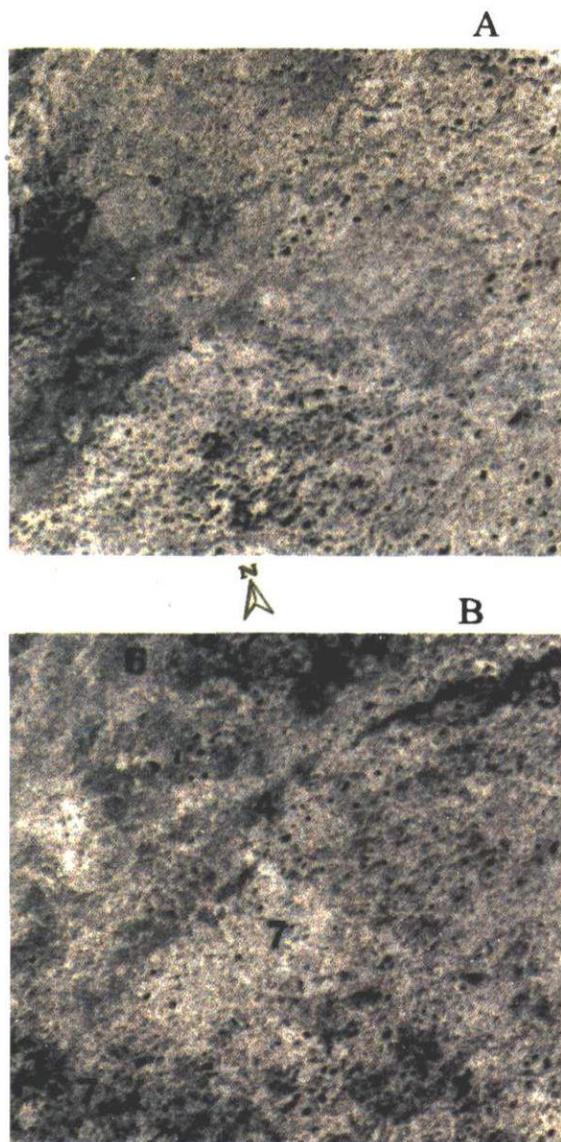


FIG. 2. Imagens obtidas pelo SAR-ERS-1 sobre a área de estudo nas datas de dezembro de 1992 (A) e julho de 1993 (B). Temas identificados: (1) campos inundados; (2) Cerrado + campo de gramíneas; (3 e 4) campo de gramíneas; (5) solo arenoso exposto ou com vegetação herbácea rala; (6) vegetação aquática; (7) Cerradão.

TM-Landsat. Esta fase constituiu-se em interpolação bilinear, com base na aquisição de um ponto de controle a cada 15 km²; e 4) geração dos vários produtos híbridos decorrentes da combinação por superposição dos canais

TM3, TM4 e TM5 com os canais das duas datas do sensor de microondas no espaço RGB. A partir destes produtos fez-se uma seleção visual da melhor composição para posterior interpretação e classificação digital. Ainda nesta fase, fez-se uma composição colorida utilizando-se as duas datas de passagem do radar, para uma avaliação dos registros de alterações ambientais no decorrer de seis meses.

Na seqüência procedeu-se a uma criteriosa análise visual do produto híbrido selecionado (Fig. 3), cuja composição foi determinada por R=SAR (dez./1992), G=TM5 e B=TM3. Identificaram-se alguns temas de vegetação (identificados por letras) conforme legenda pré-estabelecida.

Interpretou-se, segundo os mesmos padrões, a imagem gerada pela composição colorida multitemporal SAR-ERS-1, que possui nos canais vermelho e azul a data de 29/07/1993 e no canal verde, a data de 31/12/1992 (Fig. 4).

No escopo desta avaliação preliminar, implementou-se uma classificação não supervisionada do tipo Narendra-Goldberg nos dados integrados, para análise e quantificação do desempenho desta metodologia.

Na Fig. 5, observa-se o fluxograma da seqüência metodológica utilizada para a avaliação preliminar de dados SAR-ERS-1 e de seus produtos integrados, em estudos na região do Pantanal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise visual

Primeiramente, apresentam-se os resultados da avaliação das imagens SAR-ERS-1 estudadas isoladamente.

Quanto ao mapeamento fitofisionômico na região de Nhecolândia, as imagens do radar ilustradas na Fig. 2, apresentam alterações significativas de acordo com a época do ano: dezembro de 1992 (Fig. 2A), período úmido; e julho de 1993 (Fig. 2B), período seco, realçando a grande dinâmica na fisionomia vegetal da área em relação ao regime das águas. Os dados SAR demonstram que os campos inundados (1) são prontamente identificados na imagem de dezembro de 1992 (Fig. 2A), pois, por apresentarem a vegetação encoberta pela lâmina d'água, toda a região aparece com tons escuros, devido à reflexão especular do feixe de microondas em direção contrária ao sensor radar. Outras regiões realçadas nos produtos do radar são as áreas de Cerrado + Campo (2) e Campo de Gramíneas (3 e 4), as duas

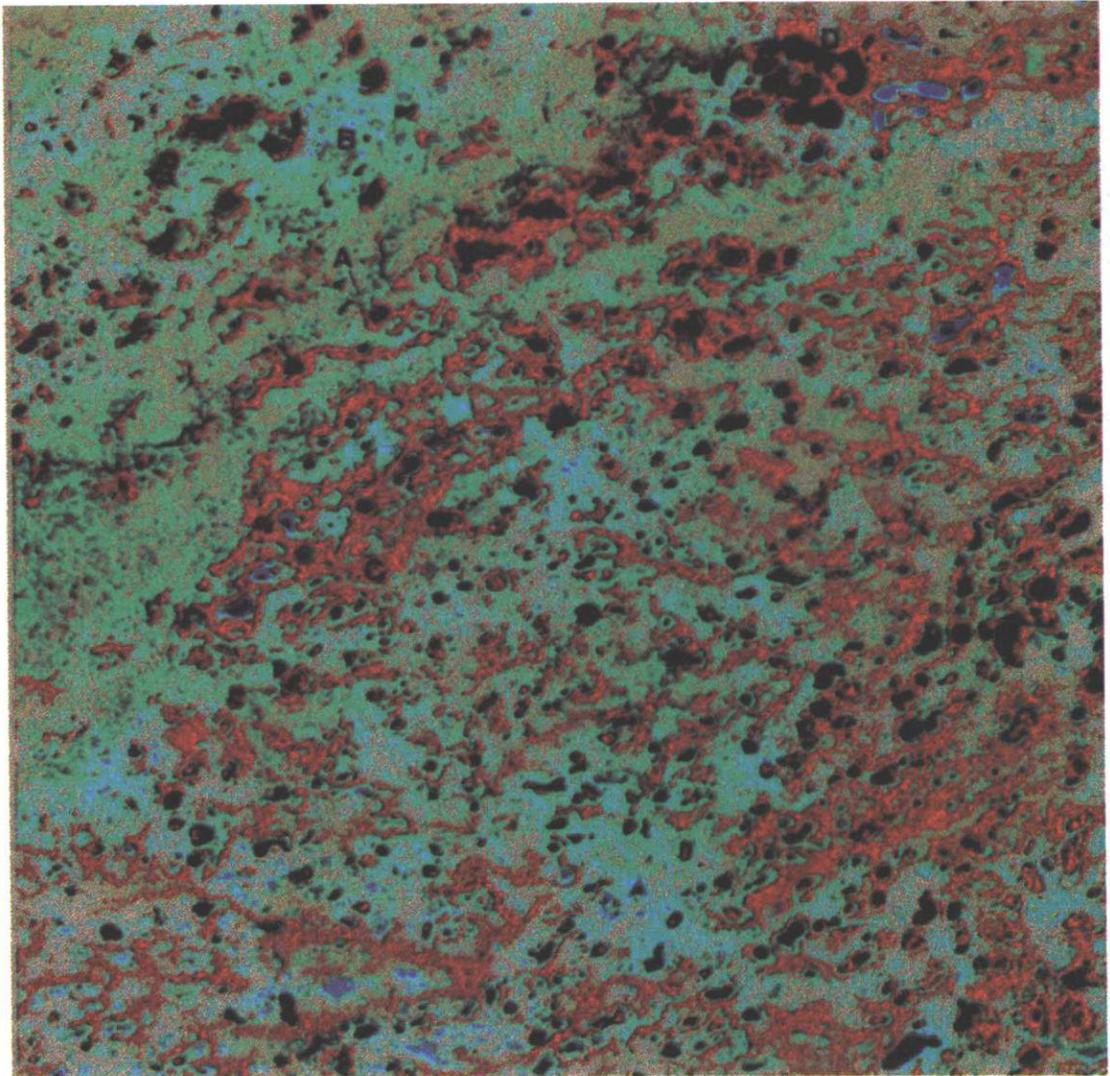


FIG. 3. Composição colorida no espaço RGB constituída pelos canais: vermelho= SAR banda C (dez./1992), verde= banda 5 do TM e azul= banda 3 do TM. Temas diferenciados: (A) Savana gramíneo-lenhosa (plantas aquáticas + arbustivas); (B) vegetação de gramíneas em planície; (C) áreas de “cordilheiras” ocupadas por savana florestada (Cerradão); (D) áreas de “cordilheiras” ocupadas pela palmeira babaçu.

últimas especificamente na imagem do mês de julho de 1993, durante um relativo período de estiagem (Fig. 2B). Os motivos deste realce encontram-se na Tabela 2.

Em termos gerais, as imagens SAR banda C (5,66 cm), quando comparadas às imagens do sensor

TM-Landsat, discriminam um número menor de classes fitofisionômicas. No entanto, pode-se notar que o radar apresenta boa capacidade na discriminação de alguns aspectos particulares, tais como:

a) separabilidade durante o período seco das associações de vegetação, com elemento foliar

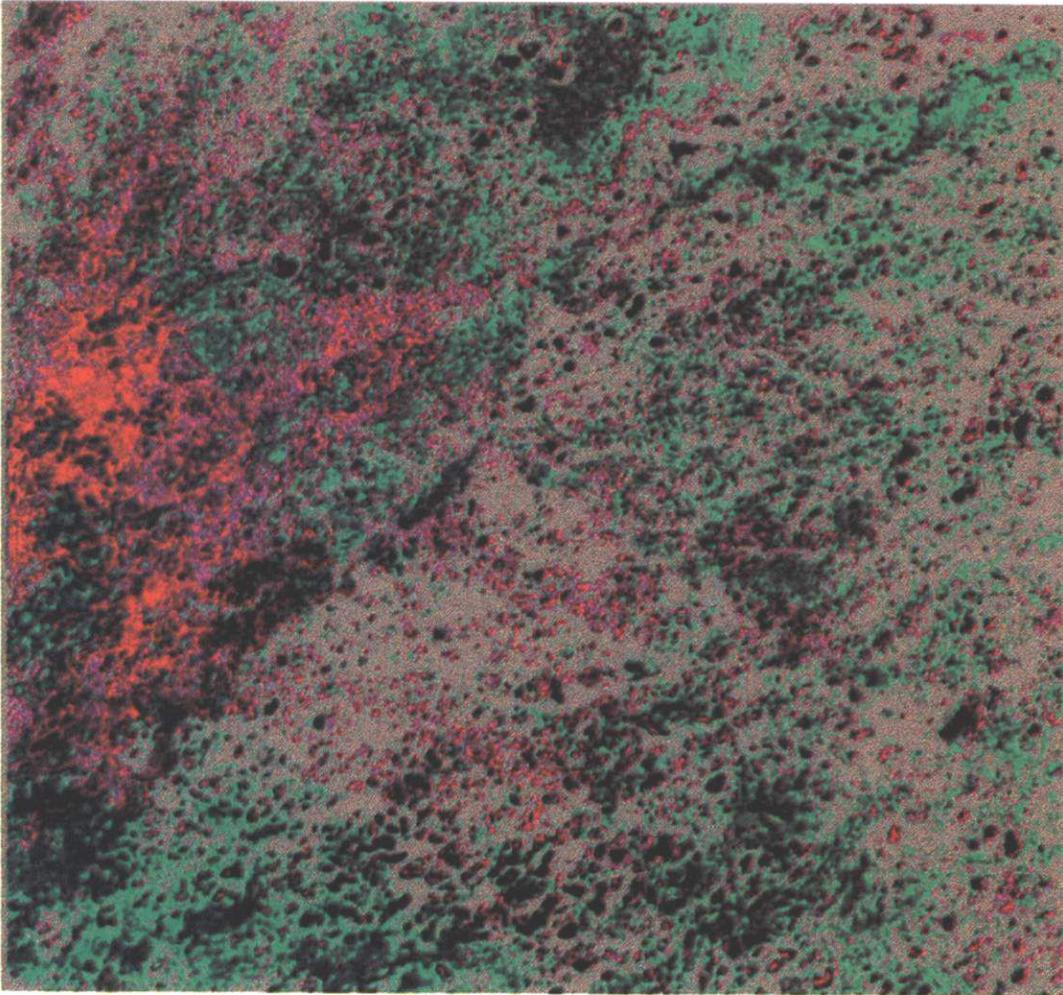


FIG. 4. Composição colorida multitemporal dos dados SAR-ERS-1: data de julho de 1993 nos canais vermelho e azul e data de dezembro de 1992 no canal verde.

apresentando porte inferior a 6 cm, pois as feições com o referido tamanho possuem comportamento especular: aparecem na imagem da banda C em preto, pois não proporcionam o retrobrilho na direção do sensor;

b) mapeamento das zonas de solos arenosos desnudos ou com vegetação herbácea bastante rala nos campos entremeados com Cerrado (5, na Fig. 2A);

c) identificação de áreas arenosas no entorno das lagoas, em especial aquelas com alto grau de salinidade, devido à capacidade de o sensor de

microondas ser sensível às variações de rugosidade e permitividade elétrica do material; e

d) discriminação da vegetação aquática no interior de algumas lagoas, decorrente da sensibilidade do radar às variações texturais nas superfícies, em especial da água.

Desta forma, como resultado final da avaliação das imagens do radar ERS-1, na época seca (Fig. 2B), aponta-se a diferenciação de quatro classes fitofisionômicas, conforme pode ser verificado na Tabela 3.

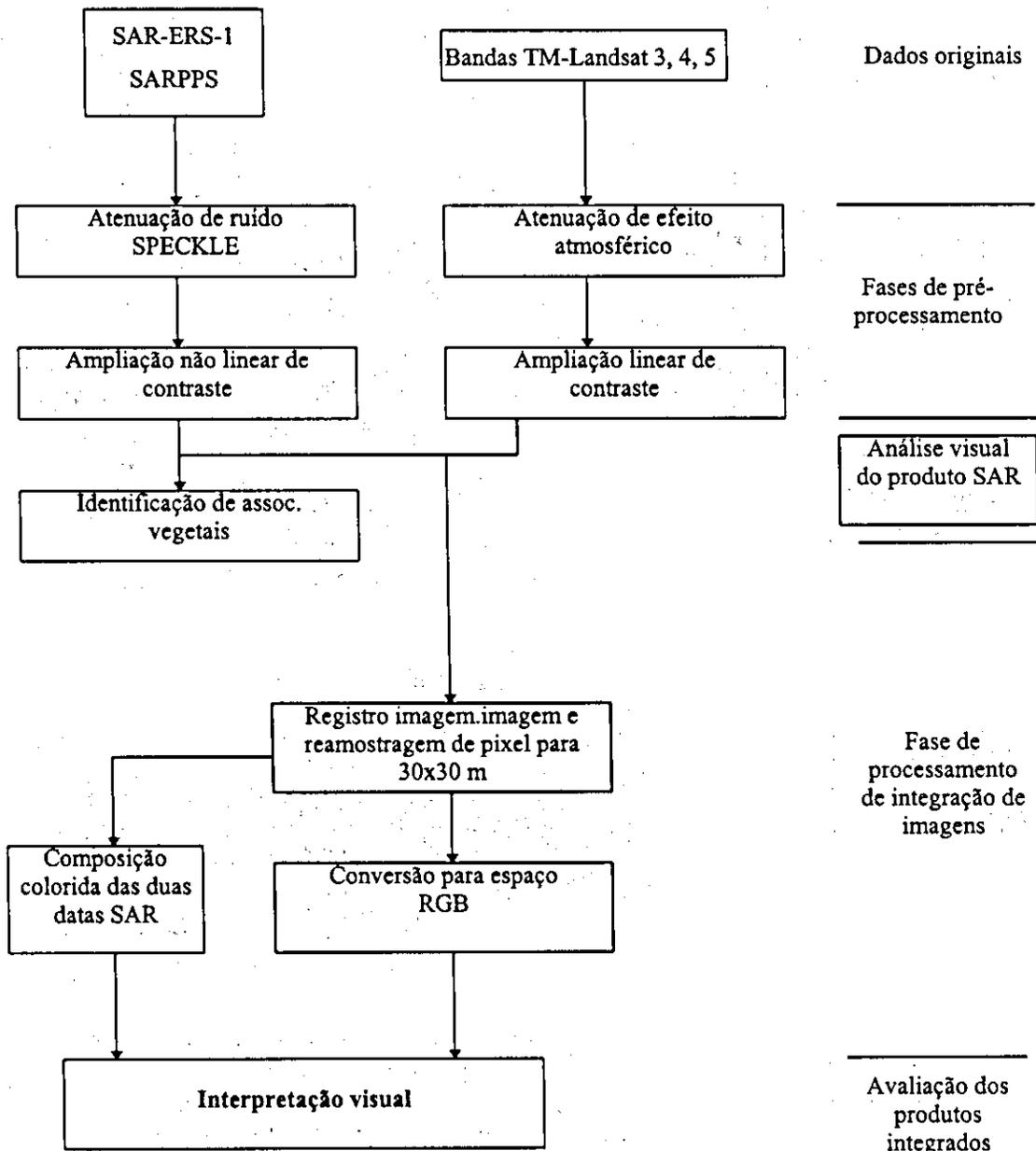


FIG. 5. Fluxograma da seqüência metodológica para avaliação de dados SAR-ERS-1.

Com relação à integração, o produto identificado visualmente como o de melhor aspecto é dado pela composição colorida RGB TM4, TM5 e TM3, com a substituição da banda TM4 do canal vermelho (R) pela imagem SAR (de 31/12/1992), como ilustrado na Fig. 3.

Neste produto final, pode-se observar que o aspecto textural da imagem integrada, é melhorado em relação ao da composição colorida com canais TM-Landsat, o que contribui para a discriminação mais detalhada dos tipos de vegetação.

TABELA 2. Características de retrobrilho de alguns tipos vegetacionais do Pantanal.

Tipo de vegetação	Figura	Descrição
Cerrado + Campo de gramíneas (2)	2A	Os tons brilhantes intermeados por pontos negros caracterizam este tipo de vegetação, que apresenta no radar uma reflexão volumétrica, devido a sua composição com pequenas folhas e galhos caoticamente dispostos.
Campo de gramíneas (3 e 4)	2B	A tonalidade obscurecida é resposta típica da vegetação rasteira, com componente foliar de pequeno porte, que reflete muito pouco o feixe de microondas.

TABELA 3. Resultado da avaliação das classes fitofisionômicas da área de estudo a partir de imagens SAR-ERS-1.

Carta de vegetação (Abdon et al., 1998)	Classes SAR
Savana arborizada (Cerrado) + savana gramíneo-lenhosa (Campo de gramíneas)	(6) - Delimitada a noroeste das imagens em tons cinza-claros, correspondentes à resposta das faixas mais arborizadas, em contraste aos tons escuros atribuídos à vegetação de gramíneas.
Savana florestada (Cerradão) + savana arborizada (Cerrado)	(7) - No centro da imagem representada pelos tons de cinza-claros, devido à grande rugosidade destas associações vegetais, as quais refletem muita energia ao sensor.
Savana gramíneo-lenhosa (Campo de gramíneas)	(3 e 4) - Caracterizado a norte e nordeste pelo baixo retrobrilho, devido ao comportamento liso e homogêneo das gramíneas.
Savana gramíneo-lenhosa em áreas de vazante com caapões de mata	As demais áreas, caracterizadas por tonalidade cinza-médio entremeada por pontos claros (caapões de mata).

A imagem SAR no canal do vermelho empresta ao produto integrado melhor definição de aspectos geomorfológicos da área, o que facilita a discriminação dos ambientes fitográficos.

As regiões mais baixas, associadas às drenagens atuais, estão diferenciadas por coloração verde-amarelada (A), em que se identificam savana gramíneo-lenhosa (plantas aquáticas + arbustivas).

O tom azulado, que se relaciona às áreas planas (B), auxilia na discriminação das regiões com gramíneas ou da vegetação com porte inferior a 6 cm.

Por sua vez, a cor laranja (C) associa-se à ocorrência de áreas de "cordilheiras" ocupadas por savana florestada (Cerradão), com ou sem existência

de salinas, e a cor avermelhada (D) fora das lagoas associa-se às áreas de "cordilheiras" ocupadas pela palmeira babaçu. Regionalmente, essa fitofisionomia pode ser chamada também de babaçual. Em Abdon et al. (1998), esse tema foi incluído em savana florestada (Cerradão).

Por fim, destacam-se os corpos de água (lagoas e cursos d'água) em preto, e as feições variegadas em vermelho, no interior de alguns destes lagos, correspondem à ocorrência de vegetação aquática.

Como resultado final da análise visual do produto da integração das imagens dos sensores óptico e de microondas, afirma-se que é possível diferenciar, além das classes mapeadas pelo sensor TM (Abdon

et al., 1998), a classe de babaçual, a qual ficou mais realçada.

As áreas com pequenas sobrelevações do relevo (murundu) recobertas por Cerrado tiveram sua diferenciação melhorada a partir da contribuição da imagem SAR.

No que diz respeito à análise da composição colorida feita com base nas duas datas de aquisição do SAR (Fig. 4), pode-se notar a dinâmica intensa da região, associada ao regime das águas, pois nas áreas inundadas em dezembro predomina a tonalidade magenta; portanto, sem contribuição de retorno radar na referida data. Da mesma forma, esta cor predomina nos arredores das lagoas, as quais apresentavam maior volume de água durante as cheias, não apresentando retroespalhamento em dezembro de 1992.

Por outro lado, a tonalidade de verde intenso aparece associada às áreas desprovidas de vegetação de grande porte durante a seca (julho de 1993).

A faixa na imagem multitemporal com coloração esbranquiçada refere-se à região com vegetação permanente no decorrer do ano todo.

Análise digital

A análise digital proporcionou a avaliação quantitativa do produto da integração SAR-TM a partir do dimensionamento dos "clusters" (classes) gerados pelos dados estatísticos da imagem.

A classificação não supervisionada baseada no algoritmo desenvolvido por Narendra & Goldberg (1977) separa os grupos de níveis de cinza, tendo por base os limites dos "vales" no histograma da imagem, ou seja, nos pontos de inflexão da curva de distribuição de pixel por valores de cinza.

Assim sendo, na área de cerca de 550 km², separaram-se nove classes correlacionáveis às associações de vegetação da sub-região de Nhecolândia.

A classe 1, correspondente a 34% do total, está ligada à ocorrência de vegetação densa (savana florestada); a classe 2 (24%) corresponde à savana gramíneo-lenhosa; a classe 3 (14%) relaciona-se à mata ciliar; e as classes 4 e 5, com cerca de 7% cada uma, correspondem à savana arborizada (cerrado denso) e à vegetação aquática, respectivamente. Subordinadamente, ocorrem os corpos de água com 6%, áreas com gramíneas (4%) e desmatamentos, estradas, etc. com 2% da área.

CONCLUSÕES

1. As imagens SAR-ERS-1 mostram a dinâmica intensa da região, associada ao regime das águas.
2. A partir do estudo de composições multitemporais com intervalos de tempo regulares garantidos é possível o mapeamento de zonas inundáveis sazonalmente, regiões permanentemente recobertas por vegetação e locais com alterações da fisionomia vegetal durante a seca.
3. As informações isoladas do sensor de microondas permitem identificar a presença de solos arenosos, salinas e plantas aquáticas.
4. O produto híbrido dos sensores SAR e TM-Landsat indica que as principais contribuições do sensor de microondas estão estreitamente ligadas à sua melhor capacidade de discernir a morfologia do alvo e melhorar a caracterização textural dos conjuntos de vegetação.

REFERÊNCIAS

- ABDON, M.M.; SILVA, J. dos S.V. da; POTT, V.J.; SILVA, M.P.; POTT, A. Utilização de dados analógicos do Landsat-TM na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, Número Especial, p.1799-1813, out. 1998.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. *ERS-1 System*. Noordwijk, Netherlands: Pam Vass & Bruce Batrick, 1992. 85p.
- HARRIS, J.; BOWIE, C.; RENCZ, A.N.; GRAHAM, D.D. Computer-enhancement techniques for the integration of remotely sensed, geophysical and thematic data for the geosciences. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v.20, n.3, p.210-221, Mar. 1994.
- HARRIS, J.; MURRAY, R. IHS transform for the integration of radar imagery with geological data. In: *INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 20., 1989, Vancouver, CA. Proceedings...* Piscataway, NJ: IEEE, 1989. v.1, p.923-926.
- HORLER, D.N.H.; AHERN, F.J. Forestry information content of thematic mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, v.7, p.405-428, 1986.
- KOOPMANS, B.N.; POHL, C.; WANG, Y. The 1995 flooding of the Rhine, Waal and Maas rivers in the Netherlands. *Earth Observation Quarterly*, v.26, n.47, p.525-531, Mar. 1995.

- KUX, H.J.H.; AHERN, F.J.; PIETSCH, R.W. Evaluation of radar remote sensing for natural resource management in the tropical rainforests of Acre state, Brazil. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v.21, n.4, p.430-440, Dec. 1995.
- LOPES, A.; NEZRY, E.; TOUZI, R.; LAUR, H. Maximum a posterior filtering and first order texture models in SAR images. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 21., 1990, Washington, D.C. *Proceedings...* Washington: IEEE, 1990. p.2409-2412.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *Sar Synthetic Aperture Radar: Instrument Panel Report*. Washington, D.C., 1988. 209p.
- NARENDRA, P. M.; GOLDBERG, M. A Non-parametric clustering scheme for Landsat. *Pattern Recognition*, v.9, p.207-215, 1977.
- ULABY, F.F.; MOORE, R.K.; FUNK, A.K. *Microwave remote sensing: active and passive*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1986. v.3, 360p.