

# Efeito dos dados de multipolarização SAR-C aero-transportado na separabilidade do retroespalhamento de plantas aquáticas do reservatório de Tucuruí - Amazônia.

Maycira Pereira de Farias Costa<sup>1</sup>

Frank J. Ahern<sup>2</sup>

Evlyn M. L. de M. Novo<sup>1</sup>

Ron W. Pietsch<sup>2</sup>

Maurício A. Noernberg<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515, 12201-010 São José dos Campos, SP, Brasil.  
maycira@ltd.inpe.br

<sup>2</sup> CCRS - Canada Center for Remote Center - Canada.

**Abstract.** This paper describes a study of the use of multi-polarization (HH,HV,VV and VH) C-band airborne SAR data for the discrimination of different macrophyte stands in the Tucuruí reservoir - Amazon. Landsat /TM images and aerial photos (1:10000 scale) were used as a geographic base and for mapping themes of interest, respectively. The data set was ortho-rectified and the SAR images were radiometrically calibrated. Macrophytes classes were identified from the aerial photographs. By using the Bhattacharyya Distance a separability measure from each class pair was generated, and separability scores for various data combinations were calculated. Visual interpretation of the multi-polarization image was performed. The results showed poor separability among most macrophyte classes when using only individual polarization. Multi-polarization airborne C-band SAR images were able to separate forest, open water, emergent dead trees, and five macrophyte genera. Visual interpretation of a multi-polarization color composite image was aided by the use of texture and context information.

Keywords: SAR, Aquatic plants, Amazon.

## 1.Introdução

A bacia hidrográfica do Rio Amazonas cobre uma área de 7,1x10<sup>6</sup> Km<sup>2</sup>, incluindo a bacia do Tocantins/Araguaia, com uma descarga anual de 1.75x10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/sec e 1.1x10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>/sec, respectivamente.

De acordo com Junk e Nunes de Mello (1987), a avaliação preliminar da capacidade hidroelétrica da bacia do rio Amazonas é de um potencial estimado de 73.380 MW. A bacia Tocantins/Araguaia tem uma capacidade de geração de energia de 25.300 MW a qual corresponde a aproximadamente 15% do potencial total do país.

A hidroelétrica de Tucuruí, localizada na bacia do Tocantins/Araguaia, é a quarta maior hidroelétrica do mundo com uma capacidade de geração de energia de 4.000MW, e uma expansão futura para 7.960MW (Forattini et al., 1990). Esta é a maior das nove hidroelétricas em planos de construção na bacia do Rio Amazonas.

Com a construção do reservatório de Tucuruí vários problemas ambientais têm sido introduzidos. Alterações da hidrologia, e a não remoção da cobertura vegetal do reservatório tem resultado na degradação da qualidade da água e infestação por plantas aquáticas. A diminuição do oxigênio dissolvido na água é explicada pela degradação da vegetação morta (Pereira et al., 1994).

As plantas aquáticas flutuantes causam uma diminuição na turbulência da água, conseqüentemente diminui as trocas gasosas entre a água e o ar. As mudanças na qualidade da água têm um impacto negativo para a biota, e as turbinas da hidroelétrica podem ter sua eficiência reduzida. Também a infestação por plantas aquáticas pode acarretar uma série de doenças para a população residente na região.

Considerando estes fatores o entendimento e monitoramento das alterações ambientais dos reservatórios e lagos da Amazônia é importante. Porém estes estudos não são de fácil execução, principalmente devido a grande extensão da Amazônia e dificuldade de acesso para coleta de dados. Técnicas de sensoriamento remoto são uma alternativa para estudo destas regiões. Sistemas ópticos (satélite Landsat) têm sido utilizados para estudos da Amazônia desde 1973 para avaliação de desmatamento, qualidade de água (Braga, 1990, Pereira Filho, 1990, Pires e Novo, 1991; Steffen et al., 1993) e distribuição de plantas aquáticas (Abdon e Meyer, 1990).

Contudo, a cobertura de nuvens, a qual é praticamente constante na região, limita o uso de sistemas ópticos para um monitoramento operacional de reservatórios. Sistemas que operam na faixa de microondas vêm a ser uma alternativa para monitorar as variações sazonais do nível da água e plantas aquáticas

devido a sua independência de condições do tempo. Dados de radar, como os do JERS-1, ERS e os que serão fornecidos pelo RADARSAT podem vir a ser uma fonte importante de informação para os estudos de ambientes aquáticos na Amazônia.

Uma série de estudos vêm sendo realizados para avaliação de dados de radar para estudo de distribuição de plantas aquáticas no reservatório de Tucuruí (Novo et al., 1993; Novo et al., 1995; Novo e Silva, 1995).

Dentro deste contexto este trabalho tem como objetivo avaliar a capacidade da banda C de radar aero-transportado na separabilidade dos seguintes alvos: distintos grupos de plantas aquáticas, água, “paliteiros” e floresta na área do reservatório de Tucuruí.

## 2. Área de estudo

A área de estudo é o reservatório de Tucuruí o qual está localizado na Amazônia (S2°00’/W46°00’). O reservatório foi formado pelo represamento do rio Tocantins em 1984 e apresenta a seguintes características físicas:

Tabela 1. Características do reservatório

|                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| área            | 2 4530 km <sup>2</sup> |
| perímetro       | 3 700 km               |
| comprimento     | 170 km                 |
| largura média   | 14,3 km                |
| largura máxima. | 40 km                  |
| volume          | 45,8 km <sup>3</sup>   |
| prof. média     | 18,9 m                 |
| prof. máxima    | 75m                    |

O reservatório apresenta uma forma dendrítica e um tempo de residência da água entre 20 a 500 dias (Pereira Filho, 1990). A variação do fluxo sazonal, as características do reservatório e o tempo de retenção induz a infestação por macrófitas e a diminuição da qualidade da água.

De acordo com um levantamento realizado por Abdon e Meyer (1990), usando dados TM/Landsat, a área coberta por plantas aquáticas tem diminuído desde o início das operações do reservatório, e durante a estação seca a área coberta pelas macrófitas representa 20% da superfície do reservatório. A cobertura de macrófitas durante a estação de cheia é desconhecida devido ao problema de nuvens.

As principais espécies de plantas aquáticas encontradas no reservatório são: *Eichhornia crassipes*, *Salvinia auriculata*, *Pistia stratiotes*, *Typha* sp. e *Scirpus* sp. Algumas características destas espécies são descritas por Novo et. al, (1995).

## 3. Metodologia

### 3.1. Dados utilizados

Os dados utilizados para realização do trabalho foram: fotografias aéreas (escala 1:10.000), imagem TM/Landsat (224/64) e dados de radar aero-transportado (multi-polarização). A imagem Landsat foi adquirida em junho de 1992.

As fotografias aéreas e imagens SAR foram adquiridas durante a mesma semana, em abril de 1992. As imagens SAR foram coletados em 8 bits e processados em uma resolução nominal de 7 looks com as seguintes características:

Tabela 2. Características das imagens

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| cobertura                    | 55x10km     |
| modo de aquisição            | nadir       |
| polarização                  | HH,HV,VV,VH |
| ângulo de incidência         | 20-74°      |
| ângulo de incidência central | áprox. 43°  |
| pixel                        | 4x4.31 m    |
| resolução                    | 6x6m        |

### 3.2. Pré-processamento dos dados

As imagens SAR foram radiometricamente calibradas de acordo com os parâmetros de ruído e fator de calibração sugeridos por Hawkins e Teany, 1992.

Um outro problema das imagens SAR é o ruído “speckle”. Existem diferentes métodos para a redução deste ruído em imagens SAR entre eles pode-se citar: filtro de média ( Ulaby e Dabson, 1989) e os filtros adaptativos (Shi e Fung, 1994). Considerando que para avaliar a separabilidades entre classes é importante que o mesmo processo de filtragem seja aplicado em toda a imagem, foi selecionado o filtro de média (3x3) para minimizar o efeito do “speckle”.

Após a calibração radiométrica das imagens SAR procedeu-se a correção geométrica da imagem TM/Landsat, das fotografias aéreas no formato digital e das imagens SAR. A imagens TM/Landsat e SAR foram orto-retificadas de acordo com o método desenvolvido por Toutin (1994, 1995a). Este método pode ser utilizado para correção geométrica de imagens de sensores ópticos ou microondas tanto aero-transportados como de satélites, utilizando dados de elevação do terreno. O modelo integra a geometria de visada, o que inclui a posição e a velocidade da plataforma, os parâmetros do sensor, as características da Terra e da projeção cartográfica. Como resultado obtivemos uma precisão média do modelo e da restituição de 26,6 e 40,5 metros, respectivamente.

Considerando a precisão do modelo e a resolução das imagens foi selecionado uma tamanho de pixel final para as imagens de 15x15 metros. Para o processo de amostragem foi utilizado o interpolador por convolução cúbica.

### 3.3. Processamento

Para discriminação entre as diferentes classes de plantas aquáticas, floresta, “paliteiro” e água foram coletadas amostras destas classes nas imagens SAR, utilizando como “verdade de campo” a interpretação visual (digitalizada no SPANS) do mosaico de fotografias aéreas. As nove classes resultantes são: *Eicchornia*, *Pistia*, *Scirpus*, *Salvinia*, *Typha*, heterogênea (diferente grupos de plantas aquáticas), “paliteiro”, água e floresta.

Foi considerado um número mínimo de 30 pixels para cada amostra, o qual corresponde a um número maior de amostra independente de “mult-look” do que o mínimo requerido (Laur et al., 1987; Touzi, 1995) e de acordo com os testes realizados. Foram determinadas as médias de todas as amostras para cada polarização e calculados os valores de retroespalhamento (rs) correspondentes de acordo com a seguinte equação de calibração:

$$rs = 10 \times \log_{10} DN + (F_{cal})$$

onde: DN é o valor digital médio para uma classe  
rs é o valor de retroespalhamento médio para uma classe

$F_{cal}$  é o fator de calibração médio

O método de Distância de Bhattacharya (DB) foi adotado para calcular a separabilidade entre as classes. Esta separabilidade matemática é calculada através das médias e matrizes de covariância das classes, resultando em uma distância que varia de 0 a 2 com os seguintes intervalos:

0 - 1.0 - separabilidade muito baixa

1 - 1.9 - separabilidade baixa

1.9 - 2.0 - boa separabilidade.

## 4. Análise dos Dados

### 4.1 Valores de retroespalhamento

O gráfico com os valores de retroespalhamento para as diversas classes nas polarizações HH, HV, VV e VH é apresentado na Figura 1.

Os valores de retroespalhamento para classe água são tipicamente baixos para as quatro polarizações (média de -26.8dB) devido a reflexão especular (Ulaby et al., 1981). A classe “paliteiro” é representada por água e troncos de árvores resultando em uma aumento do retroespalhamento devido ao efeito de “double-bounce” entre o tronco e a água (Evans et al., 1986).

A classe floresta apresenta valores de retroespalhamento para as polarizações HH (-11.8dB) e VV (-11.9dB) dentro do esperado (Ulaby e Dadson,

1989) resultante da componente de espalhamento dos galhos das árvores. É também observado um retroespalhamento mais alto para polarizações cruzadas (HV (-9.8dB) e VH (-9.8dB)), o que pode indicar problema com o método de calibração dos dados.

A análise da Figura 1 mostra que existe uma diferença nos valores de retroespalhamento das diferentes classes de plantas aquáticas devido a variação nas estruturas e na distribuição espacial dos grupos, entre outros fatores.

Utilizando-se o critério de rugosidade de Fraunhofer (Ulaby et al., 1981), para banda C, as classes de plantas aquáticas em estudo não são consideradas superfícies lisas. A análise visual das imagens e os valores de retroespalhamento para cada classe de planta aquática não mostram uma componente de “double-bounce” nem uma componente especular, o que pode indicar uma predominância de espalhamento de volume no retroespalhamento total.

As classes *Salvinia* e *Pistia* mostram valores de retroespalhamento baixos para todas as polarizações (média de -15.1dB e -12.9 dB, respectivamente). Estes grupos podem ser considerados superfícies ligeiramente lisas e com alta constante dielétrica devido a proximidade da água, resultando em uma reflexão quasi-especular. A classe *Scirpus* apresenta o mais alto retroespalhamento (média de -10.5dB) devido a estrutura densa deste grupo produzindo um alto efeito de espalhamento de volume. O mesmo pode ser considerado para classe heterogênea (média de -12dB). A classe *Typha* deveria ter as mesmas características, porém por falta de dados de biomassa e conteúdo de água é impossível justificar a diferença observada (média de -14.7dB). A classe *Eicchornia* apresenta as estruturas orientadas aleatoriamente sugerindo um efeito de volume de espalhamento (média de -14.2dB).

Para todas as classes de plantas aquáticas os valores de retroespalhamento foram maiores para as polarizações HV e VH do que para as polarizações HH e VV. Este resultado novamente sugere problemas com o método de calibração radiométrica das imagens.

### 4.2. Separabilidade entre classes

O índice de separabilidade, de acordo com a distância de Bhattacharya (DB), foi determinado para as polarizações individuais e combinação de polarizações três a três. Foram atribuídos pesos aos índices permitindo o cálculo do valor total de separabilidade para cada imagem ou combinação destas (Tabela 3).

Tabela 3. Separabilidade total entre as classes de acordo com a Distância de Bhattacharya.

| Bandas      | muito baixa | baixa | boa sep. | total |
|-------------|-------------|-------|----------|-------|
| HV          | 16          | 15    | 5        | 25    |
| HH          | 22          | 11    | 3        | 17    |
| VH          | 16          | 15    | 5        | 25    |
| VV          | 18          | 14    | 4        | 22    |
| P1-HV,HH,VV | 10          | 16    | 10       | 36    |
| P2-HH,VH,VV | 10          | 17    | 9        | 35    |
| P3-HV,HH,VH | 11          | 12    | 13       | 38    |
| P4-HV,VH,VV | 9           | 16    | 11       | 38    |

A análise das polarizações individuais mostrou uma maior separabilidade total para as imagens HV e VH, as quais apresentam um  $r^2$  de 0.99. Para estas imagens as classes *Pistia*, *Salvinia*, *Eicchornia* e *Typha* apresentaram muito baixa separabilidade. Este resultado indica que na interpretação visual somente é possível discriminar estas classes se considerarmos a padrão de distribuição e a textura das classes. No caso em que obtivemos baixa ou boa separabilidade (água, paliteiro, *Salvinia* versus a maioria das outras classes), a análise visual mostrou que é possível discriminar essas classes.

A análise das classes para a imagem VV mostrou baixa ou boa separabilidade entre *Scirpus* versus *Salvinia*, *Typha*, água, paliteiro e a classe heterogênea, o que é um indicativo de que é possível a discriminação na interpretação visual. Para as outras classe é necessário, com já mencionado, considerar o padrão de distribuição e textura dos grupos.

A imagem HH apresenta a mais baixa separabilidade total, o que indica uma maior dificuldade na discriminação das classes na análise visual.

A análise dos diagramas de espalhamento mostrou que as imagens de polarização cruzada (HV e VH) quase não apresentam diferença. As maiores diferenças são observadas entre as polarizações cruzadas e as polarizações iguais (HH e VV). Este resultado indica que uma composição com as polarizações cruzada e as polarizações iguais aumentariam a separabilidade sentre as classes (Tabela 2).

Considerando o resultado de separabilidade total entre as classes para as composições de polarizações, selecionou-se a composição P1 (Figura 2) para interpretação visual. Esta composição foi selecionada por apresentar as imagens HH, VV e HV (todas as polarizações) e ter a segunda melhor separabilidade total.

A composição P1 foi interpretada visualmente e posteriormente digitalizada no SPANS (Figura 3). O mapa mostra a boa capacidade da composição de multi-polarizações para discriminar as classes em estudo. Como se pode comparar não existem grandes diferenças entre a interpretação visual das fotos aéreas (Figura 4) e a de multi-polarização (Figura 3).

## 5. Conclusões

A metodologia e análise dos dados de multi-polarização do radar aero-tranportado resultaram nas seguintes conclusões:

1. A metodologia utilizada no pré-processamento das imagens se mostrou satisfatória, exceto a calibração radiométrica que levou a valores maiores de retroespalhamento dos alvos nas polarizações HV e VH do que nas HH e VV.
2. O espalhamento de volume foi identificado como o mecanismo de espalhamento primário para as plantas aquáticas, durante a estação em que os dados foram coletados. O mecanismo de “double-bounce” só é provavelmente observado para classe paliteiro, causado pela interação água-tronco.
3. A separabilidade entre as classes, de acordo com a distância de Bhattacharyya, é baixa para as bandas individuais, sendo maior para as polarizações HV e VH do que para HH e VV. A separabilidade entre as classes aumenta quando se analisa a composição com diferentes polarizações. O método de separabilidade adotado se mostrou útil como indicativo de separabilidade entre classes para a interpretação visual da composição de multi-polarização.
4. A composição de multi-polarização SAR-C forneceu o melhor resultado para interpretação visual, sendo a discriminação entre as classes muito próxima do que a observada na interpretação visual das fotografias aéreas.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem a ELETRONORTE pelo apoio de campo, a CIDA (Canadian International Development Agency), pelo suporte financeiro durante a estadia no Canadá, e as equipes de pesquisadores do INPE e do CCRS pelo suporte científico durante a realização deste trabalho.

## Referências

- Abdon, M.M., Meyer, M. Variação temporal de áreas ocupadas por macrófitas aquáticas no reservatório de Tucuruí através de dados de satélite Landsat/TM. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4., Jun., 24-29, Manaus. *Anais*. pp:545-548, 1990.
- Braga, C.Z.F. Avaliação preliminar da produtividade primária na represa de Tucuruí, Pará, com utilização de imagens TM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Jun., 24-29, Manaus. *Anais*. pp:826-832, 1990.
- Evans, D.L., Farr, T.G., Ford, J.P., Thompson W.T., Werner, C.L. Multipolarization radar images for geologic mapping and vegetation discrimination. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 24(2): 246-257, 1986.

- Forattini, G.D., Barbosa, J.A. Aplicação de modelos matemáticos de qualidade de água na elaboração do plano de utilização do reservatório de Tucuruí. In: Hydrology and water management of the Amazon basin. *Proceedings*. Aug., 5-9, 1990, Manaus, AM, pp:3-15.
- Hawkins, R.K., Teany, L.D. SAREX-92, Data calibration. Workshop-Sarex-92. *Proceedings*. Paris, 6-8, pp:41-53, 1993.
- Junk, W.J., Nunes de Mello, J.A.S. Impactos ecológicos das represas hidroelétricas na bacia amazônica brasileira. *Estudos Avançados*. 4(8):126-143, 1987.
- Laur, H., Le Toan, T., Lopes, A. Textural segmentation of SAR images using first order statistical parameters. In: IGARSS'87 Symposium. *Proceedings*. Ann Arbor, 18-21 May, pp:1463-1468, 1987.
- Novo, M.L.M., Costa, M.P.F., Noernberg, M.A. Airborne SAR data to map Tucuruí reservoir (Amazon). In: Workshop-Sarex-92, *Proceedings*. Paris, 6-9, 1993, pp:71-86.
- Novo, E.M.L.M., Costa, M.P.F., Noernberg, M.A., Ahern, F. Application of SAR-C data for detection and mapping of aquatic vegetation in the Tucuruí reservoir, Brazilian Amazon. Accepted to Remote Sensing of Environment.
- Pereira, A., Tassin, B., Jorgensen, S.E. A model for decomposition of the crown vegetation in an amazonian reservoir. *Ecological Modelling*. 75/76: 447-458, 1994.
- Pereira Filho, W. *Metódos de integração de dados de campo de sensoriamento remoto no estudo da influência de características de bacia de captação sobre a concentração de sedimentos em suspensão em reservatório*. Dissertação de mestrado em Sensoriamento remoto e aplicações. INPE, São José dos Campos, 1990.
- Shi, Z., Fung, K.B. A comparison of digital speckel filters. IN: IGARSS'94.
- Steffen, C.A., Costa, M.P.F., Gama, F.F. Spectral reflectance of Tucuruí reservoir waters-Brazilian Amazon, In:SPIE, *Proceedings*, 14-15, Apr., 1993, Orlando, FL, pp:103-111.
- Toutin, T. Multisource data integration with an integrated and unified geometric modelling. In: Sensors and Environment Applications of Remote Sensing. *Proceedings*. Askne (ed.), Balkema, Rotterdam. pp:163-169, 1995.
- Ulaby,F.T., Moore,R.K., Fung, A.K. *Microwave Remote Sensing*. vol., 1, 2 and 3. Dedham, MA, 1986.



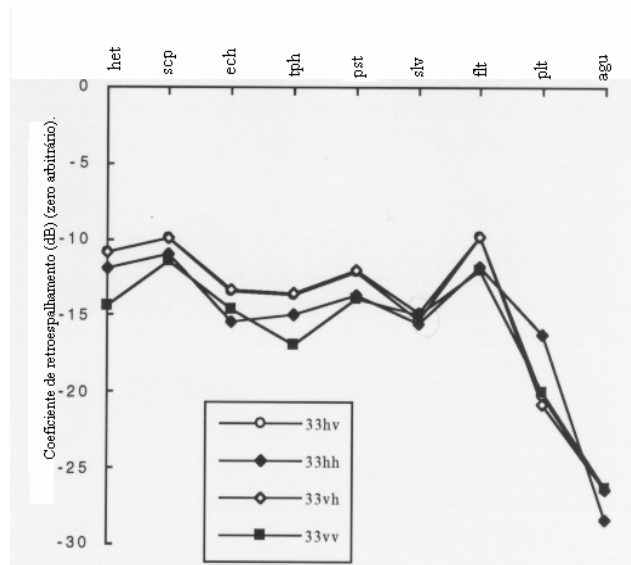


Fig.1. Coeficientes de retrospalhamento - Multipolarização

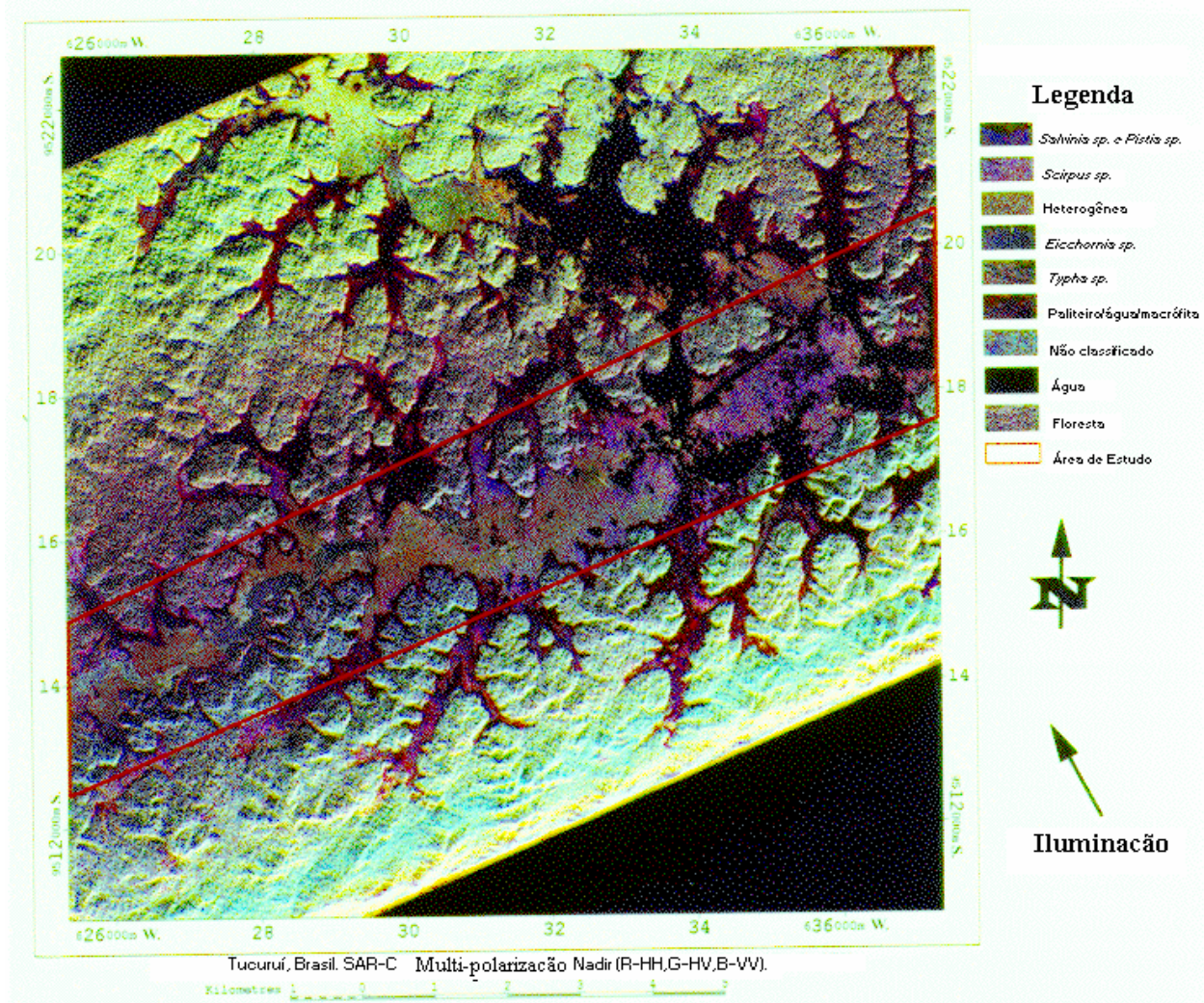


Fig.2. Composição colorida - Multipolarização



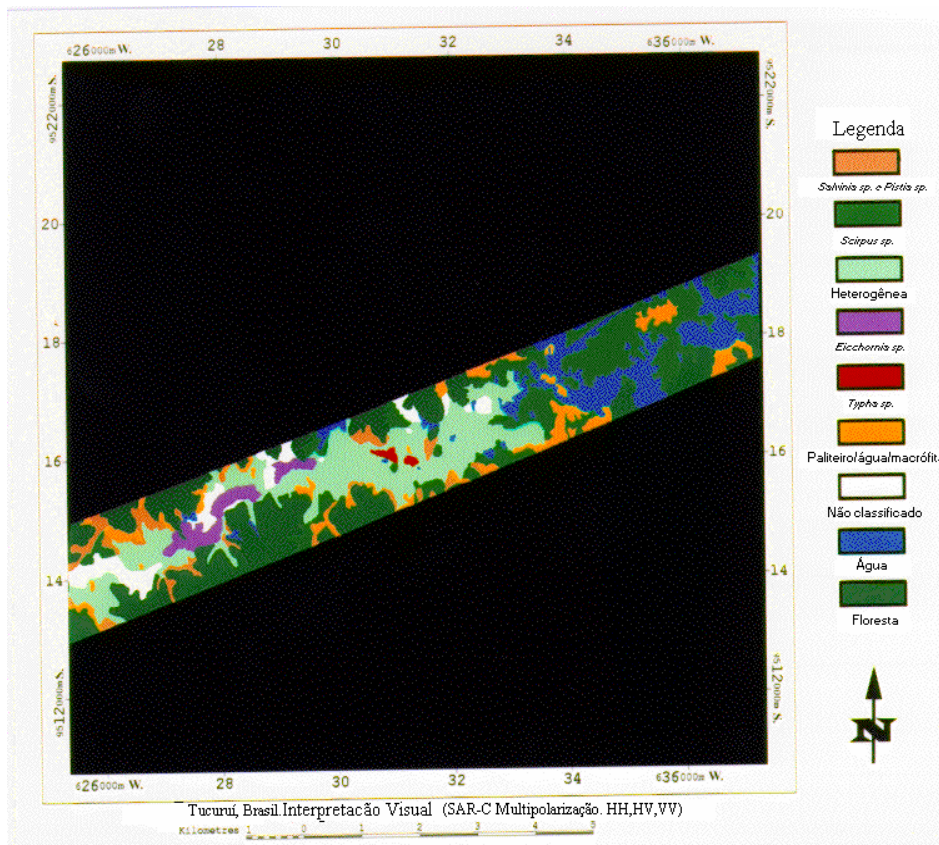


Fig.3. Interpretação visual - Multipolarização

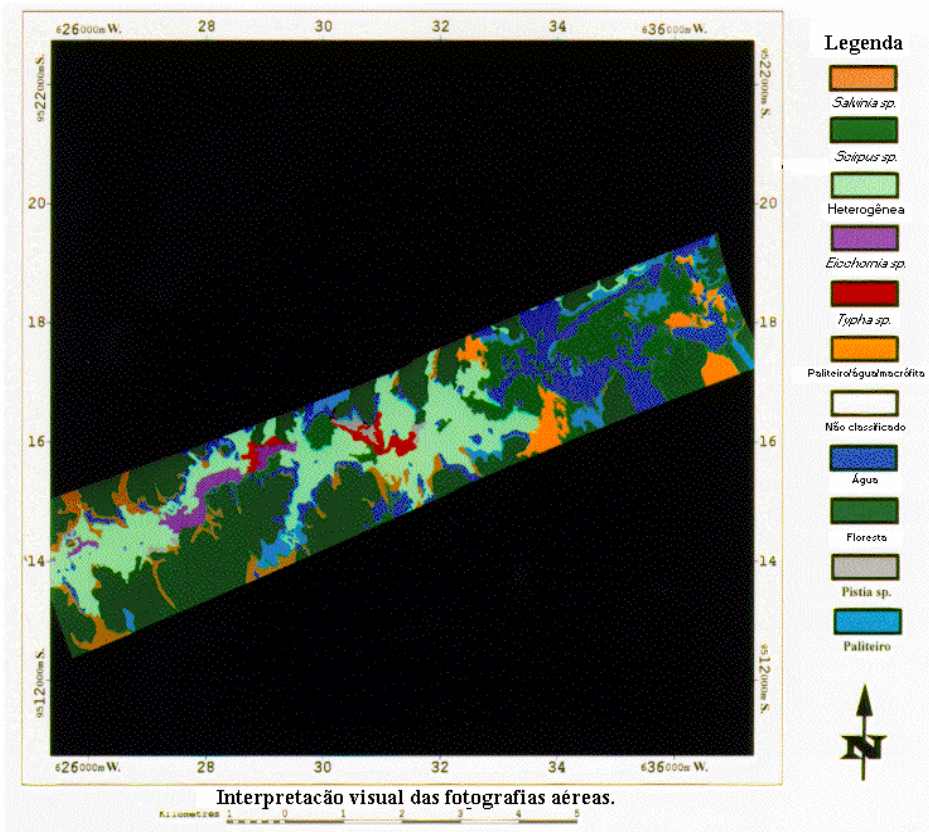


Fig.4. Interpretação visual - Fotografias aéreas.