

## **Avaliação de técnicas de classificação automática de dados multi-polarimétricos na banda-L do sensor R99B-SAR para o mapeamento de áreas inundadas do Lago de Coari, Amazônia Central**

Eduardo Monteiro Fuchshuber<sup>1</sup>  
Adriano de Oliveira Vasconcelos<sup>2</sup>  
Fernando Pellon de Miranda<sup>3</sup>  
Luiz Landau<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Telespazio Brasil  
geoduds@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - COPPE - LabSAR  
Caixa Postal 68.552 - CEP 21941-972 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
adriano@labsar.coppe.ufrj.br / landau@lamce.coppe.ufrj.br

<sup>1</sup> Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Petrobras - CENPES  
Av. Horácio Macedo, 950, Cidade Universitária, Ilha do Fundão,  
21941-915 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
fmiranda@petrobras.com.br

**Abstract.** Studies in Central Amazonia using remote sensing data can contribute to an understanding on a regional scale of its physiographic characteristics, providing support for the preparation of maps depicting the sensitivity to oil spills of the complex ecosystems existent in the region. The study area herein reported is remote, difficult to access, and permanently cloud-covered. In addition, water level variation in the drainage basin can reach as much as 17 meters between wet and dry seasons. Therefore, it is necessary to map the cover types most sensitive to oil spills based on image datasets suitable to portray such a seasonal change. In this context, the present paper used the algorithm USTC (Unsupervised Semivariogram Textural Classifier), complemented by object-based segmentation and classification techniques, to process digitally calibrated L-band images acquired by the Multipolarimetric R99B-SAR system. These data were obtained in the region of Coari (AM) as part of the mission entitled Multi-Application Purpose SAR (MAPSAR). The Brazilian-German MAPSAR mission is a proposal for a light L-band SAR sensor, based on INPE's Multi-Mission Platform (500 kg class spacecraft). Application of the USTC algorithm in defining super classes for object-based classification constitutes an innovative approach for digital processing of SAR data. To analyze and compare the accuracy of results of USTC and object-based classification, we used the confusion matrix (error matrix) and Kappa index. Research results enhanced macrophyte stands and flooded forests, which are the cover types most sensitive to oil spills in the fluvial scenario of Central Amazonia.

**Palavras-chave:** digital image classification, synthetic aperture radar, Central Amazonia, classificação digital de imagens, radar de abertura sintética, Amazônia Central.

### **1. Introdução**

O poliduto Urucu-Coari-Manaus tem origem na província petrolífera de Urucu, a oeste da cidade de Coari (AM), e termina em Manaus, onde existe uma refinaria (REMAN). Em plena Amazônia Central, esse duto transporta gás para Manaus e óleo para um terminal nas vizinhanças de Coari, na margem direita do Rio Solimões. A partir desse ponto, o óleo é levado por navio até Manaus através de uma rota fluvial no citado curso d'água.

A região densamente florestada onde se localiza tal infraestrutura pode ser considerada um imenso domínio de terras baixas. Nas planícies aluviais aí situadas, as áreas alagáveis constituem ecossistemas específicos com elevada biodiversidade.

A área de estudo está localizada no Estado do Amazonas, município de Coari, por onde passa o citado poliduto. Os ambientes por ela abrangidos podem sofrer impactos no caso de

um acidente com derrame de óleo, notadamente os distintos tipos de vegetação inundada. A região investigada inclui ainda a cidade de Coari, o Lago de Coari, o Rio Solimões e o Terminal de Coari (TECO), assim como uma vasta porção florestal com diferentes características (Figura 1).

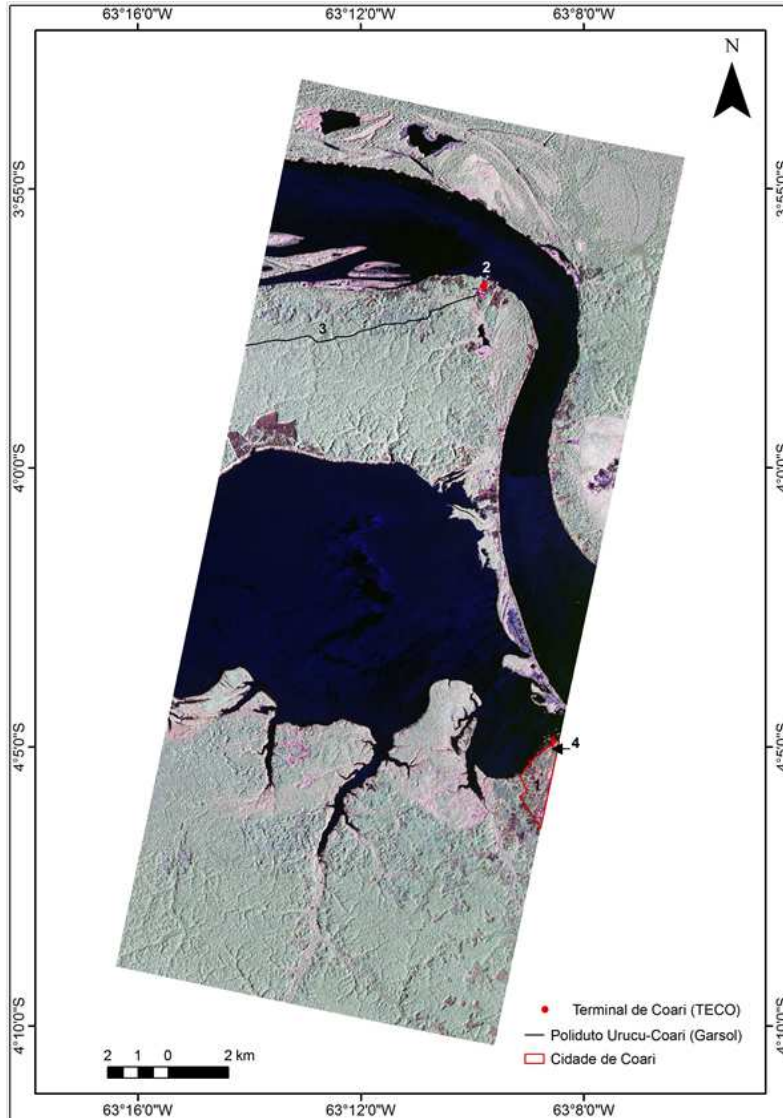


Figura 1 – Imagem de radar do sistema R99B-SAR em amplitude (16 bits), banda L, apresentada como uma composição colorida R(HH)G(HV)B(VV), na região da cidade de Coari (AM). Fonte: INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Os números representam: (1) a cidade de Coari; (2) o Terminal de Coari (TECO); (3) o Poliduto Urucu-Coari; (4) o 1º Distrito Meteorológico, onde está situada a estação fluviométrica de Coari.

A região amazônica tem como característica a intensa precipitação e a constante umidade. Assim, o índice pluviométrico contribui para as variações dos níveis dos rios entre os períodos de seca e de cheia, que podem atingir até 17 metros, segundo dados da estação fluviométrica Coari, obtidos entre julho de 1982 a julho de 2010.

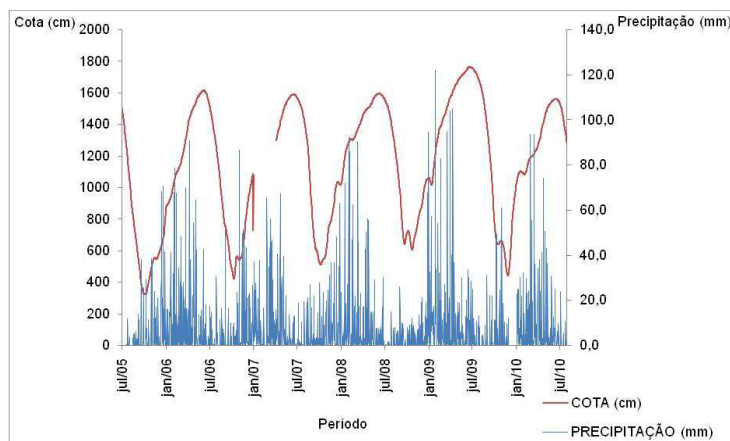


Figura 2 – Cotas (m) e precipitação (mm) no período de cinco anos compreendido entre julho de 2005 e julho de 2010. Fonte: INMET (Instituto Nacional de Meteorologia)

Os dados exibidos na Figura 2 correspondem apenas ao período compreendido entre julho de 2005 e julho de 2010. Deve-se mencionar que existem algumas lacunas entre janeiro e julho de 2007. O maior pico atribuído à precipitação precede o maior pico registrado para as cotas. O período que mostrou as maiores precipitações refere-se aos meses de dezembro de 2008 a abril de 2009. Posteriormente, ocorreu o maior período de cheia, em julho de 2009.

O presente trabalho busca contribuir para os estudos de Araújo et al. (2002, 2007), no que tange ao mapeamento dos índices de sensibilidade fluvial da região amazônica a derrames de óleo (carta SAO). As principais classes aqui contempladas referem-se aos bancos de macrófitas aquáticas (índice 10a) e à vegetação inundada (igapó, várzea, chavascal, campo; índice 10b). Tais classes são as que apresentam maior sensibilidade ambiental, segundo Araújo et al (2007).

## 2. Metodologia de Trabalho

A metodologia proposta para o desenvolvimento da pesquisa segue o fluxograma da Figura 3. Nele, verifica-se que o trabalho iniciou com a coleta de amostras nas imagens R99B-SAR calibradas para a definição de assinaturas variográficas e radiométricas em áreas de treinamento e de referência.

O processamento digital dos dados R99B-SAR foi primeiramente efetuado através da classificação USTC seguida da aplicação do filtro de moda sobre a imagem classificada, com o objetivo de representar os diferentes domínios texturais de modo mais contínuo (Figura 4). Tais produtos permitiram delimitar cinco classes (floresta seca, vegetação inundada, floresta inundada, “água lisa” e “água rugosa”). O procedimento foi aplicado para cada banda individualmente (HH, HV e VV).

Entretanto, a análise dos padrões espaciais obtidos com o algoritmo USTC revelou ambiguidades no resultado da classificação, levando à necessidade de se utilizar uma abordagem orientada a objeto. Assim, de modo a explicitar tais ambiguidades, foram primeiro separados os ambientes água e não-água, com o emprego da máscara SWBD. A seguir, para o tema não-água, foram diferenciados os ambientes inundáveis e não-inundáveis, usando informação de contexto referente à altimetria, a qual foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) da SRTM. Com isso, foram definidas três superclasses: Água, Área Inundável e Área Não-Inundável.

Tal procedimento contribuiu para estabelecer a estratégia a ser usada na segmentação orientada a objeto, que considerou sete classes (estrutura antrópica, floresta seca, solo com vegetação, floresta inundada, macrófitas, “água lisa” e “água rugosa”). As novas classes (solo com vegetação e estrutura antrópica) foram individualizadas e separadas daquelas em que

havia inconsistência na distribuição geográfica (macrófitas em áreas emersas e floresta inundada em áreas urbanas, por exemplo).

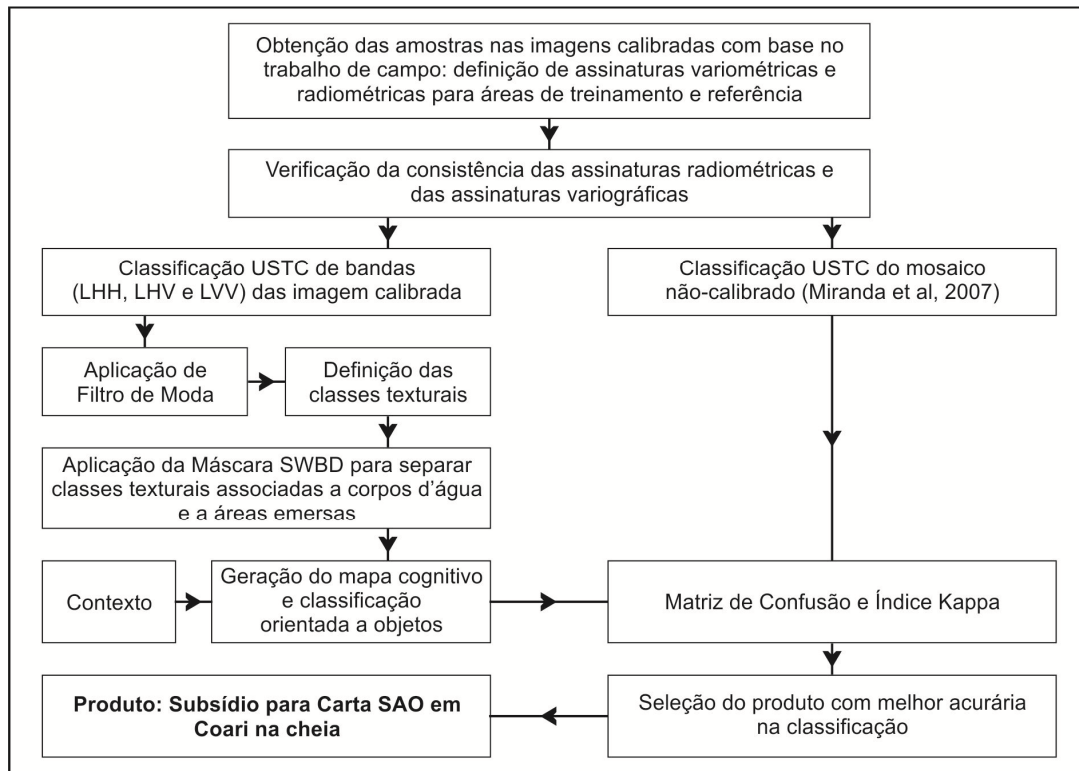


Figura 3 – Fluxograma de atividades propostas para o desenvolvimento da pesquisa.

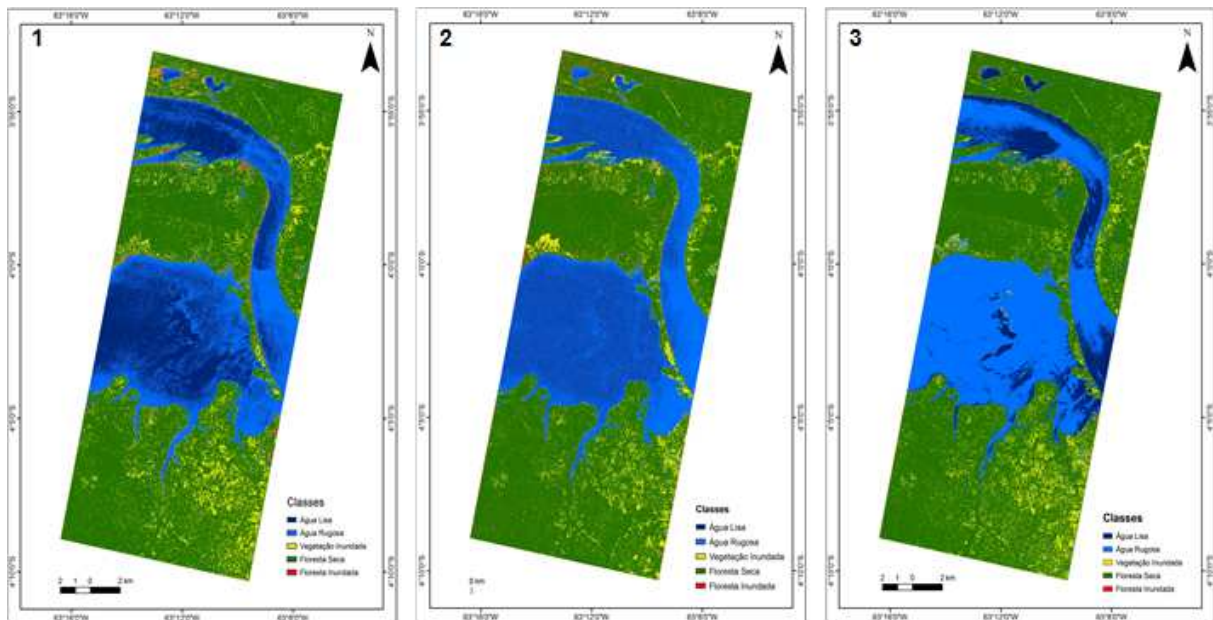


Figura 4 – Classificação USTC da imagem R99B-SAR, banda L, seguida da aplicação do filtro de moda: (1) HH; (2) HV; (3) VV.

As sete classes acima mencionadas foram definidas tomando por base um mapa cognitivo confeccionado como suporte à segmentação orientada a objeto (Figura 5). Esse mapa foi elaborado a partir das ambigüidades verificadas na classificação USTC. O resultado obtido na classificação SVM (*Support Vector Machines*) está apresentado na Figura 6. Após a implementação dos citados métodos de classificação, foram confeccionadas as Matrizes de

Confusão e os Índices Kappa para os produtos USTC (LHH, LHV e LVV) e SVM (não mostrados no presente trabalho).

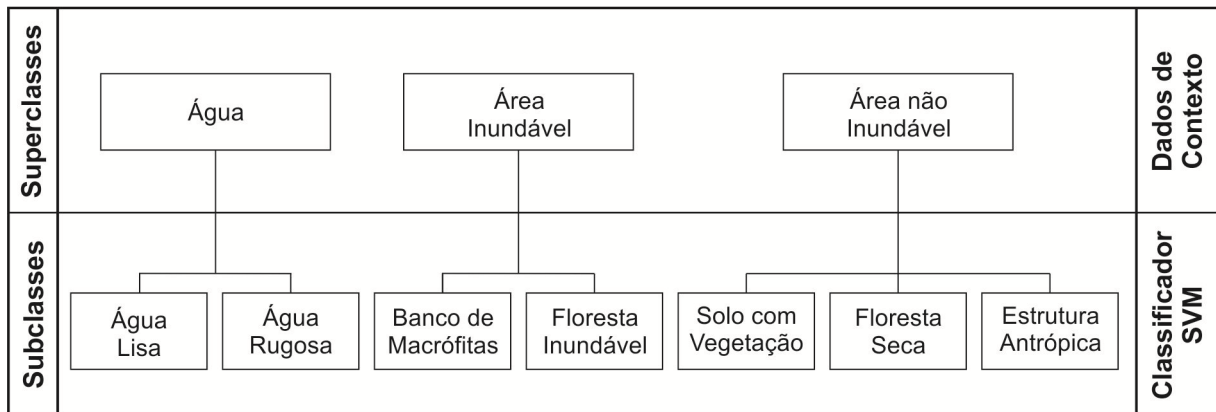


Figura 5 – Mapa cognitivo confeccionado como suporte à segmentação orientada a objeto. Três superclasses obtidas com o USTC são utilizadas como contexto para o Classificador SVM (*Support Vector Machines*), o qual definiu sete subclasses a partir de tais superclasses.

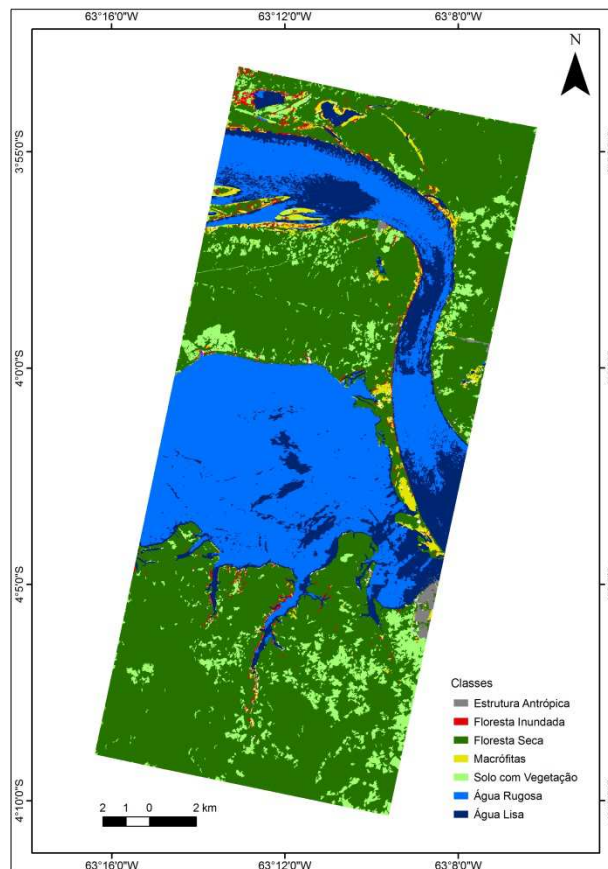


Figura 6 – Resultado da classificação SVM efetuada com base na segmentação orientada a objeto dos dados multipolarimétricos R99B-SAR.

### 3. Resultados e Discussão

Aspectos radiométricos referentes aos resultados deste trabalho podem ser comparados com aqueles publicados na literatura. Assim, a Tabela 1 apresenta os valores da mediana (em dB) para os coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma^{\circ}$ ) obtidos por Hess et al. (2003) e Beisl (2009) na classificação de tipos de cobertura na Amazônia Central, utilizando o mosaico de



imagens JERS-1 SAR (LHH) confeccionado pelo GRFM (*Global Rain Forest Mapping Project*). Os ângulos de incidência nesse produto variam de 34° a 43°.

Tabela 1 - Valores da mediana (em dB) para os coeficientes de retroespalhamento ( $\sigma^\circ$ ) em LHH de diferentes tipos de cobertura na Amazônia Central interpretados no mosaico JERS-1 SAR e determinados no presente trabalho

Classes	Autores	HESS <i>et al.</i> (2003)	BEISL (2009)	Presente trabalho (treinamento; LHH)	Presente trabalho (referência; LHH)
Floresta seca		-7,4	-7,56	-8,702	-7,800
Floresta inundada		-5,3	-5,43	-7,077	-7,400
Vegetação inundada		-8,3	-10,48	-10,812	-9,452
Água lisa		-16,50 (também -22 a -19 no SIR-C)	-16,50	-35,517 (Lago Coari)	-36,207 (Lago Coari)
				-33,595 (Rio Solimões)	-32,041 (Rio Solimões)
Água rugosa		-	-	-31,844 (Lago Coari)	-30,299 (Lago Coari)
				-28,973 (Rio Solimões)	-27,430 (Rio Solimões)

O exame da Tabela 1 indica que as variações relativas entre os valores do coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^\circ_{HH}$ ) se mantiveram consistentes em todos os casos, ou seja,  $\sigma^\circ_{HH}$ Floresta inundada >  $\sigma^\circ_{HH}$ Floresta seca >  $\sigma^\circ_{HH}$ Vegetação inundada (macrófitas) >  $\sigma^\circ_{HH}$ Água. No entanto, tais valores foram sistematicamente menores neste trabalho, se comparados com aqueles determinados por Hess et al. (2003) e Beisl (2009). Isso se justifica pelo fato dos ângulos de incidência na imagem R99B-SAR calibrada (45° a 53°) serem maiores que aqueles do mosaico JERS-1 SAR (34° a 43°). Com efeito, para uma mesma superfície, o sinal de retorno do radar diminui com o aumento do ângulo de incidência.

A avaliação do desempenho da classificação USTC dos dados R99B-SAR calibrados, utilizando Matriz de Confusão e o Índice Kappa, foi a seguinte: para a imagem LHH, Kappa global igual a 0,63 e acurácia global de 0,68; para a imagem LHV, Kappa global igual a 0,69 e acurácia global de 0,74; para a imagem LVV, Kappa global de 0,81 e acurácia global de 0,86. Tais valores poderiam ser considerados satisfatórios, não fossem as incoerências espaciais observadas (conforme anteriormente mencionado). Por sua vez, para a classificação SVM efetuada com base na segmentação orientada a objeto, o valor de Kappa global foi de 0,82 e a acurácia global foi de 0,87, o que corresponde a um nível de concordância muito forte.

A classe 10a foi mais bem definida pela segmentação orientada a objeto/classificação SVM, discriminando as regiões na imagem R99B-SAR calibrada onde ocorrem as maiores concentrações de bancos de macrófitas aquáticas (Figura 7). Por outro lado, a classe 10b foi pouco discriminada nessa imagem, em função de seu intervalo para o ângulo de incidência (45° a 53°) não ser o mais apropriado para a detecção do mecanismo de double-bounce que caracteriza as florestas inundadas. Com efeito, segundo Hoffer et al. (1985), quanto maior o ângulo de incidência, menor é o retorno para a antena do radar proveniente de tais ambientes. Por isso, foi aproveitado no presente trabalho o contorno para a classe 10b obtido a partir da classificação USTC de um mosaico não-calibrado processado por Miranda et al. (2007), considerando as polarizações HH e HV. Nesse mosaico, os ângulos de incidência variam de 39,57° a 45°.

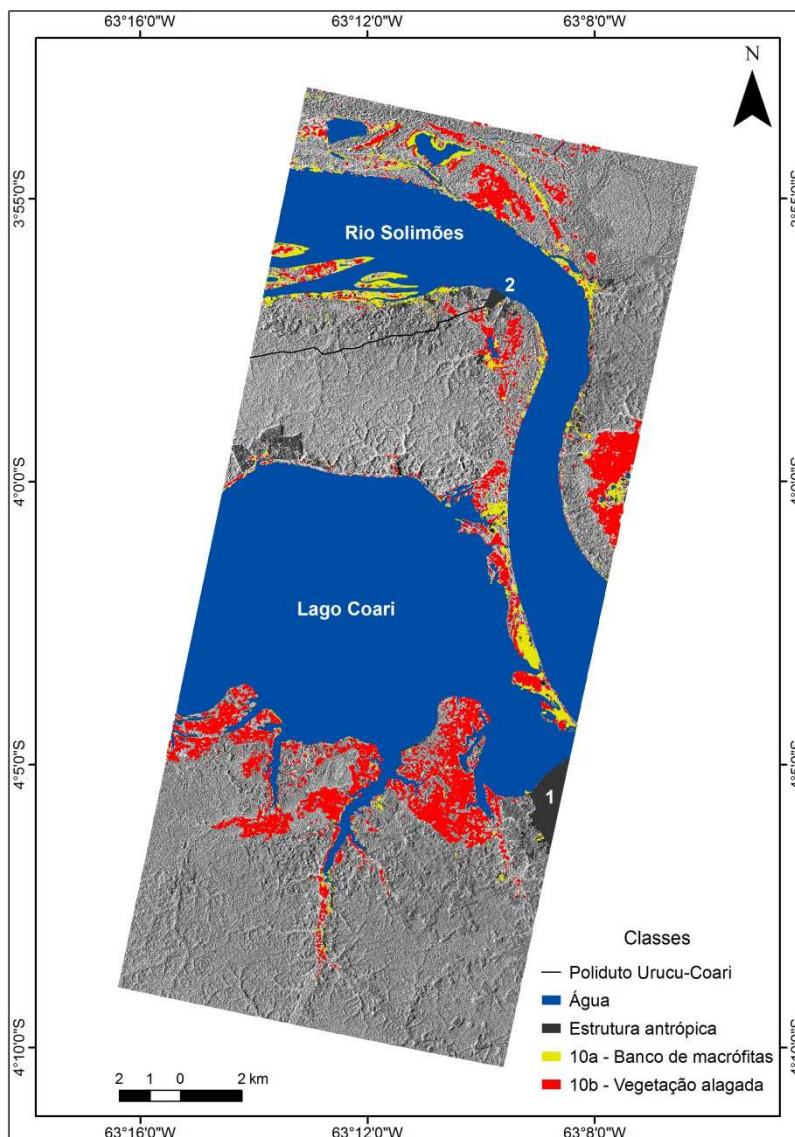


Figura 7 – Seleção das classes sensíveis a derrames de óleo na região de Coari; 10a (banco de macrófitas; em amarelo) e 10b (vegetação alagada; em vermelho) como subsídio para a confecção da carta SAO (Araújo et al., 2007) . Localização: (1) Cidade de Coari; (2) Terminal de Coari (TECO).

#### 4. Conclusão

O presente trabalho apresentou uma metodologia inovadora para a classificação de imagens de sensoriamento remoto na faixa de microondas, visando ao fornecimento de subsídios para o mapeamento das classes temáticas sensíveis a acidentes com derrame de óleo na região de Coari e seu entorno (Amazônia Central). Com efeito, devido à complexidade da área de estudo, faz-se necessário o mapeamento fidedigno desses ecossistemas ambientalmente mais sensíveis.

Os resultados da pesquisa forneceram subsídios para aperfeiçoar o mapeamento de classes de sensibilidade ambiental máxima a derrames de óleo, na região de Coari (AM) durante a época da cheia. Recomenda-se estender os procedimentos aqui adotados para outros conjuntos de imagens de radar que contemplem as demais fases do ciclo hidrológico nessa região.

## 5. Bibliografia

Araújo, S.I.; Silva, G. H.; Muehe, D. **Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo - Ambiente costeiros, estuarinos e fluviais**. Petrobras, Ed. 2ª Rio de Janeiro, RJ (2007).

Araújo, S.I.; Silva, G. H.; Muehe, D. **Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e Estuarinos**. Petrobras, Iarte. Rio de Janeiro (2002). 170p.

Beisl, C.H.. **Utilização de mosaicos JERS-1 SAR e de lógica fuzzy para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental temporal a derrames de óleo na Amazônia Central**. 2009. 196p. Tese (Doutorado em Engenharia de Petróleo e Gás), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. (2009).

Hess, L.L.; Melack, J.M.; Novo, E.M.L.M.; Barbosa, C.C.F.; Gastil, M. **Dual season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon Basin**. Remote Sensing of Environment, v87, p. 404-428, 2003.

Hoffer, R. M.; Mueller, P. W.; Lozano-Garcia, D. F. **Multiple incidence angle Shuttle Imaging Radar data for discriminating forest cover: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Technical Papers**, p. 476-485, Falls Church, Va, 1985.

Miranda, F. P.; Beisl, C. H.; Camargo, E. C. G. **Textural classification of R99SAR data as an aid to flood mapping in Coari City, Western Amazon Region, Brazil**. Anais – XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Florianópolis, p. 4935-4942, 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr>>. Acesso em: 19 jun. 2011.