

## Reconhecimento e mapeamento das feições fluviais da “Ilha Grande do Tapará” (Santarém-PA) a partir do processamento de imagens RapidEye e SAR-SIPAM.

Simmon Viegas de Souza <sup>1</sup>  
Suzan Waleska Pequeno Rodrigues <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA  
Caixa Postal 68035-110 – Santarém - PA, Brasil  
simmonviegass@gmail.com  
suzan.rodrigues@ufopa.edu.br

**Abstract.** The objective of this paper was to recognize and map the main fluvial environments along the Amazon River from remote sensing data. Optical images of the REIS sensor were used aboard the RapidEye satellite, with the goal of mapping the region in detail, and SAR-SIPAM synthetic aperture radar images, which allow us to visualize the region of study with reduced atmospheric interference. In order to complement these data, the integration of the radar and optical data was made providing the SPC-SAR, product of this synergism. The mapping of the environments was based on the non-supervised classification of the REIS, SAR and SPC-SAR images, which allowed the identification of lake classes with swamp, canal, fluvial delta, river terrace, river beach and water. The generated classes were and their features were associated to the environments of the study area. The general precisions of the classifications were 93.33% and 0.90 for the REIS sensor; 93.33% and 0.89 for SAR; and 90.66% and 0.86 for the SPC-SAR product. These results indicate that both data provide us with important and accurate information about the study surface and that the integrated product can complement these data allowing a more accurate mapping of the fluvial environments in the Amazon region.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, river environments, Amazon River, sensoriamento remoto, processamento de imagens, ambientes fluviais, Rio Amazonas.

### 1. Introdução

No fim da década de 80, com o lançamento e divulgação da série de satélites LandSat, imagens de sensores de satélite passaram a ser amplamente divulgadas e utilizadas pela comunidade científica para geração de informações espaciais, dentre elas, as ambientais. São dados que, quando trabalhados com metodologias consistentes, podem ser aplicados em várias áreas da ciência, incluindo o mapeamento geológico e geomorfológico em ambientes fluviais. Os dados gerados e fornecidos por agências de pesquisa nos permitem suscitar informações geográficas extremamente relevantes para a geração de subsídios que nos possibilitam analisar o domínio do espaço e tempo. O Baixo Amazonas, foco de estudo neste trabalho, corresponde ao ambiente indicado como planície de inundação ou classicamente chamado de várzea. Ao longo dos anos o estudo nesta área, em relação a mapeamento por sensores remotos, tem sido na produção de dados sobre espécies de vegetação e áreas inundáveis, porém, ainda há um *deficit* no mapeamento geológico e cartográfico. Uma das maiores dificuldades em mapear o norte do país, principalmente a Amazônia, por sensoriamento remoto, é a grande quantidade de nuvens que aparecem nos dados de sensores ópticos e por isso torna-se inevitável que alguns setores não obtenham informações de sua superfície. Com o surgimento e disponibilização de dados de microondas, com suas quatro polarizações, o problema das nuvens foi resolvido, otimizando a identificação de feições da superfície. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi integrar informações de dois importantes dados remotos, ópticos e radar, para reconhecer feições do ambiente fluvial e analisá-los, do ponto de vista geológico.

### 2. Área de estudo

A área de estudo (Figura 01), chamada de “Ilha Grande do Tapará”, distante cerca de 24 km da sede da cidade de Santarém-PA, esta localizada dentro da bacia do Amazonas, sendo

dominada pelas águas do rio de mesmo nome, é caracterizada por lagos em forma de canais e sua cobertura vegetal de várzea dominante são pastos naturais compostos por uma variedade de espécies de macrófitas semiaquáticas (WITTMANN et al., 2004).

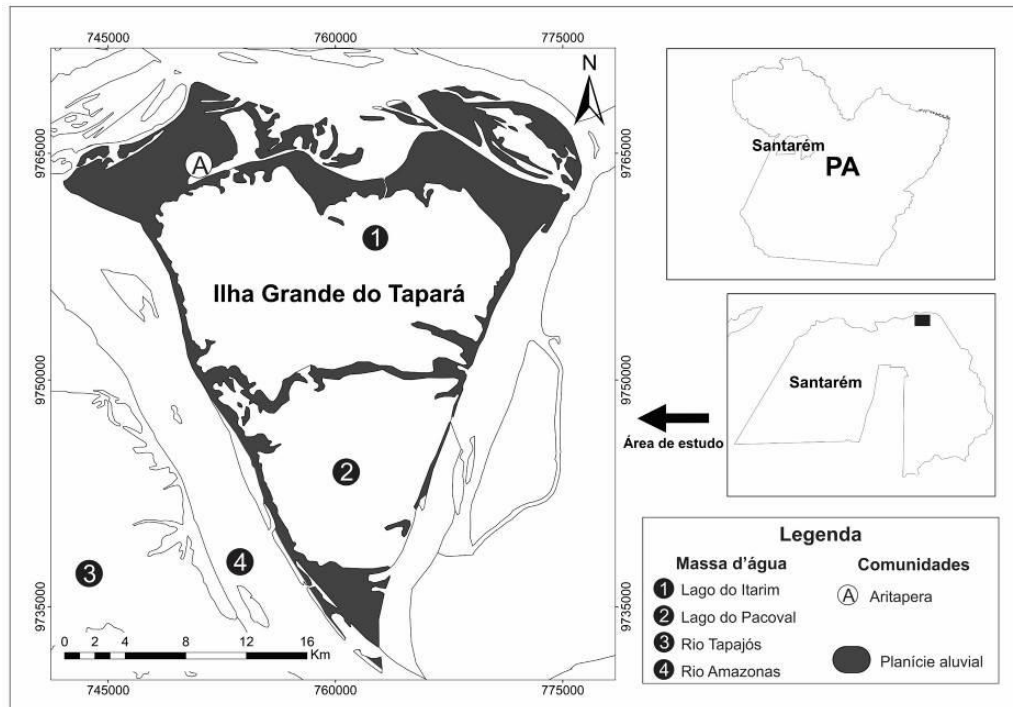


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

### 3. Materiais e Métodos

Os dados utilizados neste trabalho estão contidos na tabela 01. As imagens do sensor REIS do satélite RapidEye foram adquiridas a partir de Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente para fins de pesquisa científica e as imagens SAR-SIPAM foram obtidas na missão do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM) e também foram cedidas para fins de pesquisa pelo Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM).

Tabela 01. Características das imagens utilizadas.

<i>Plataforma</i>	<i>Sensor</i>	<i>Bandas espectrais</i>	<i>Resolução espacial</i>	<i>Data de aquisição</i>
RapidEye	REIS	1, 2, 3	5 metros	18/10/2013
SAR-SIPAM	SAR	HH, HV, VH	18 metros	2013

Na etapa de pré-processamento as imagens REIS/RapidEye passaram por correção atmosférica, de acordo com o método de Chavez (1988), para a subtração dos *pixels* escuros e melhor visualização das feições a serem estudadas. Após esta etapa, as imagens foram realçadas com a aplicação do efeito de contraste linear, seguidamente foi aplicado análise de principal componente nas bandas 1, 2 e 3. Já na imagem de radar foi aplicado o filtro FEFROST 3x3, para suavização dos *speckle*. As imagens foram recortadas para melhor delimitação da área de estudo.

Com o pré-processamento das imagens já realizado, as imagens ótica e radar foram classificadas automaticamente através da classificação não supervisionada pelo algoritmo ISOSEG no *software* PCI *Geomatics* 15. Após esta etapa, a imagem REIS foi fusionada com a imagem SAR a partir da transformação IHS-RGB, em que foram inseridos o PC1 resultante da análise de principal componente da imagem REIS e a banda HH do SAR, obtendo-se como

produto o SPC-SAR que também foi classificado. A validação para o produto das três classificações foi gerada a partir do índice kappa, sendo feita uma amostragem de 150 *pixels*, para cada classificação, em modo *random*, seguindo a metodologia de Cohen (1960). Foram realizados levantamentos de campo em que foi efetivada a verdade-terreno com coleta de pontos de controle utilizando GPS de navegação, caminhamentos (*tracking*) e *check* de campo das unidades morfológicas e geológicas da área. As etapas desta metodologia estão representadas no fluxograma da figura 02.

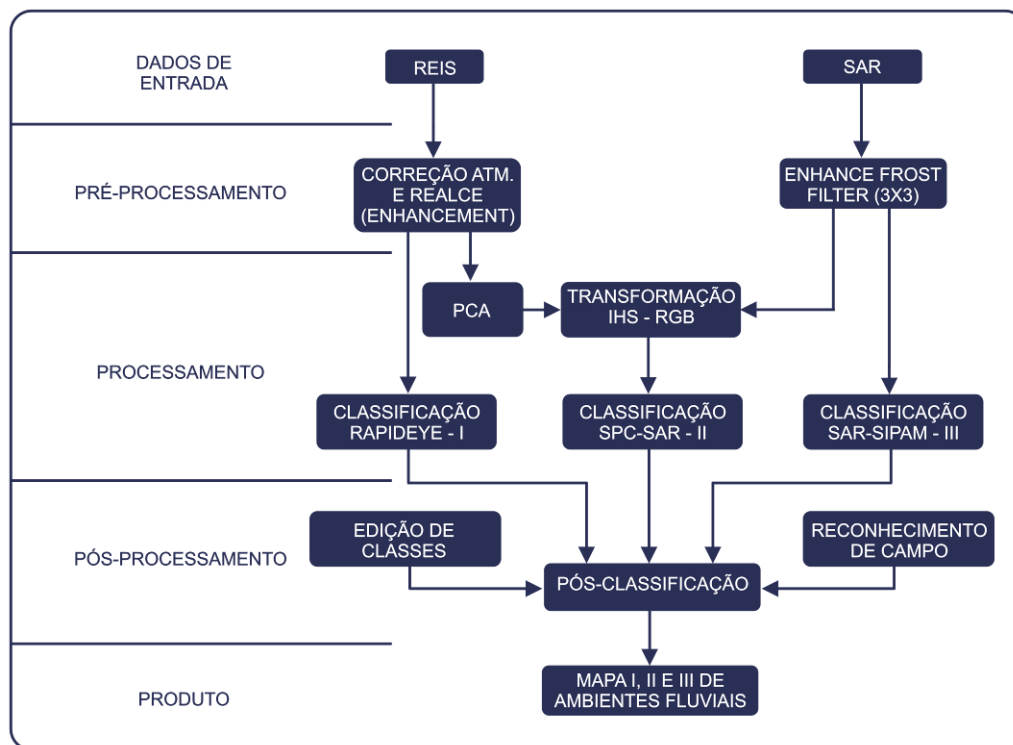


Figura 2. Fluxograma de processamento de imagens.

## 4. Resultados

### 4.1. Classificação automática de dados multisensores.

Com base na metodologia proposta por Souza Filho & Paradelo (2005), para reconhecimento de ambientes no litoral paraense, o presente trabalho adaptou e aplicou esta metodologia no reconhecimento de ambientes na região do Baixo Amazonas, onde foram reconhecidos ambientes fluviais com dados de boa resolução espacial das imagens REIS/RapidEye e dados sem interferências atmosféricas das imagens SAR-SIPAM, além da contribuição do SPC-SAR, produto integrado das imagens ópticas e radar. Os resultados da aplicação destes diferentes dados de sensores nos mostram ser possível a caracterização das diferentes feições do sistema fluvial ao longo do Rio Amazonas.

#### 4.1.1. Classificação da imagem do sensor REIS do Satélite RapidEye.

A partir do processamento da imagem digital do sensor REIS/RapidEye (Figura 3.A) de composição R1G2B3, foi gerada a classificação não supervisionada resultando no mapa da Figura 3.B, com 5 classes, sendo estas: lama, areia, vegetação alta, vegetação baixa e água. Através da associação de classes e da interpretação das imagens foi possível a identificação na área de deltas de sistema fluvial que desemboca no interior da ilha, caracterizado por vegetação semiaquática e lama (Figura 3.B.1), lagos, diques fluviais, praias fluviais, brejos, canais intermitentes, lagos em espira e campos/pastos.

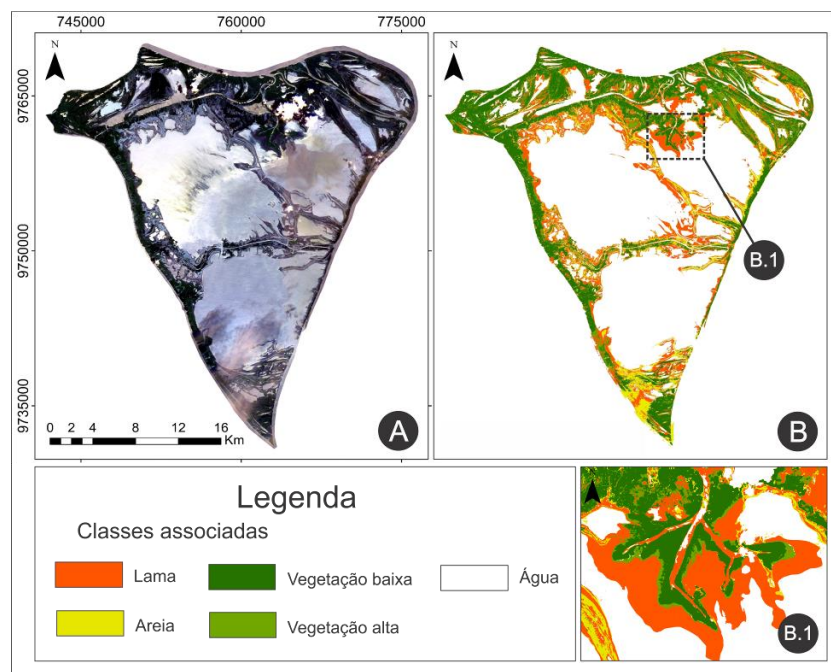


Figura 3. A) Imagem RapidEye de composição R1G2B3; B) Resultado da classificação não supervisionada dos ambientes sedimentares; B.1) Detalhe do delta fluvial associado a altas cargas de sedimentos como areia e lama.

De acordo com o índice kappa gerado para avaliar esta classificação, foram obtidos valores maiores que 0,7 (classe vegetação alta) de acurácia para as classes a partir dos 150 *pixels* amostrados na imagem, identificando quais foram comissionados, omitidos e corretamente classificados neste processamento (Tabela 02).

De modo geral, esta classificação obteve índices considerados bons a ótimos. Em relação as classes geradas para o reconhecimento dos ambientes, a classe areia obteve comissão mais baixa (11,77%) e a menor omissão (0%) comparada as outras classes, indicando que esta classe obteve uma boa classificação. Valores como “no data” e “nuvens” não entraram nesta discussão, mas foram computados de modo a validar toda a classificação. O índice kappa da classificação geral foi de 0,9 o que corresponde a uma ótima classificação segundo a tabela de Cohen (1960).

Tabela 02. Matriz de erro da classificação não supervisionada ISOSEG baseada na imagem RapidEye com composição R1G2B3.

Classes	Lama	Água	Areia	Veg. Alta	Veg. Baixa	Nuvem	No data	Total	Usuário (%)	Erro de Comissão (%)
Lama	15	0	0	0	2	0	0	17	88,24	11,77
Água	2	32	0	0	0	0	0	34	94,12	5,88
Areia	1	0	6	0	0	0	0	7	85,71	14,29
Veg. Alta	0	0	0	5	1	1	0	7	71,43	28,57
Veg. Baixa	2	0	0	0	8	0	0	10	80,00	20,00
Nuvem	0	0	0	0	0	1	0	1	100,00	0,00
No data	0	1	0	0	0	0	73	74	98,65	1,35
<b>Total</b>	20	33	6	5	11	2	73	<b>150</b>		
<b>Erro do produtor</b>	75,00	96,97	100,00	100,00	72,73	50,00	100,00			
<b>Erro de Omissão</b>	25,00	3,03	0,00	0,00	27,27	50,00	0,00			
<b>Kappa</b>	0,86	0,92	0,65	0,70	0,78	1,00	0,97			
<b>Índice Kappa</b>	=	0,90			<b>Acurácia Geral</b>	=	93,33%			

#### 4.1.2. Classificação da imagem SAR-SIPAM.

O processamento da imagem de radar SAR-SIPAM (Figura 4.A) de composição RHH, GHV e BVH permitiu a classificação não supervisionada, tendo como resultado o mapa da Figura 4.B, com 5 classes, sendo estas as mesmas classes geradas para a classificação da imagem REIS/RapidEye. Como pode ser observado, nesta figura, a interpretação das imagens permitiu identificar diversas feições como: lagos rodeados por brejo e cortados por diques fluviais, típicos do sistema fluvial, praias fluviais, entre outros (Figura 4.B.1). Por ser um sensor de características morfológicas, foi possível identificar, com melhor precisão, áreas de brejos e campos abertos, além de uma melhor delimitação dos lagos centrais, indicando até onde os sedimentos mistos (areia e lama) estão dispostos ao longo do lago, foi possível delimitar com maior precisão os diques fluviais, assim como os canais e lagos em espira, evidenciando que o dado SAR é um bom identificador de feições sedimentares.

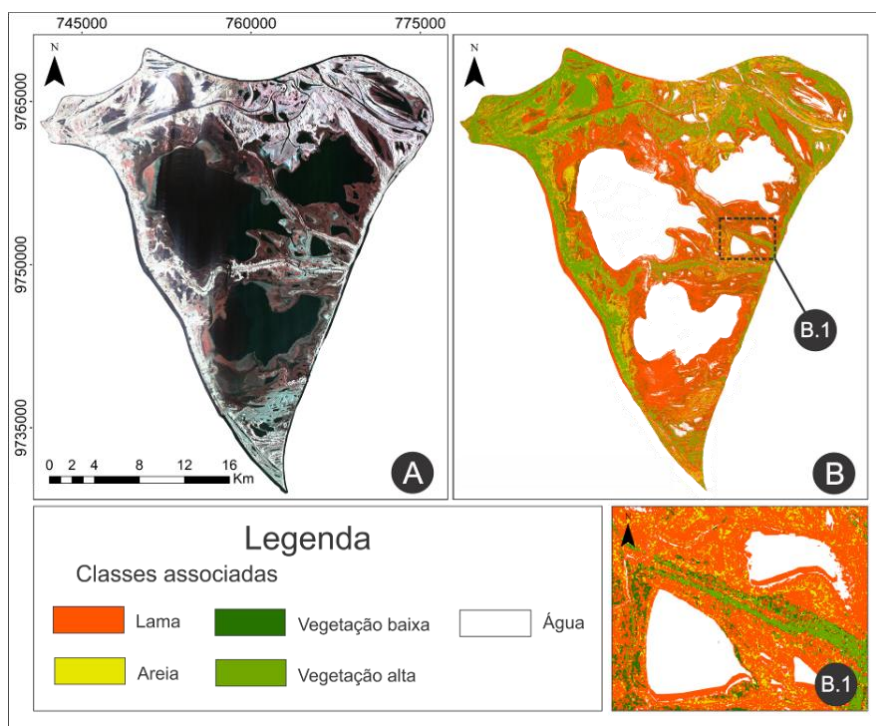


Figura 4. A) Imagem SAR com composição RHH, GHV, BVH; B) Resultado da classificação não-supervisionada dos ambientes sedimentares; B.1) Detalhe de lagos rodeados por brejos de lama e vegetação semiaquática.

Os valores de índice kappa gerados para as classes apontam índices que variam de bom a ótimo, segundo a classificação de Cohen (1960), fornecendo valores mínimos de 0,7 para a classe lama e 1 para a classe areia (Tabela 03). A partir dos 150 pixels amostrados para a validação, percebeu-se uma boa classificação para as classes água e vegetação baixa, enquanto que para a classe lama houve 25% de comissão para outras classes, principalmente para a classe areia e 14,29% de omissão, principalmente para a classe vegetação baixa, estes valores representam a proximidade das respostas de retorno do sinal do radar devido a similaridade destas feições na constituição do terreno.

Tabela 03. Matriz de erro da classificação não supervisionada ISOSEG baseada na imagem SAR.

Classes	Lama	Areia	Água	Veg. alta	Veg. baixa	No data	Total	Usuário (%)	Erro de Comissão (%)
Lama	18	5	0	1	0	0	24	75,00	25,00
Areia	0	2	0	0	0	0	2	100,00	0,00
Água	0	0	17	0	0	1	18	94,44	5,56
Veg. alta	1	0	0	4	0	0	5	80,00	20,00
Veg. baixa	2	0	0	0	15	0	17	88,24	11,77
No data	0	0	0	0	0	84	84	100,00	0,00
Total	21	7	17	5	15	85	150		
Erro do Produtor	85,71	28,57	100,00	80,00	100,00	98,82			
Erro de Omissão	14,29	71,43	0,00	20,00	0,00	1,18			
Kappa	0,70	1,00	0,93	0,79	0,86	1,00			
Índice Kappa	=	0,89			Acurácia Geral	=	93,33%		

#### 4.1.3. Classificação da imagem fusionada SPC-SAR.

O produto SPC-SAR (Figura 5.A), foi classificado gerando o mapa da Figura 5.B, com 4 classes, sendo estas: Lama, vegetação alta, vegetação baixa e água. A interpretação dos produtos permitiu identificar as seguintes feições: lagos em espira de meandro constituídos por vários espelhos d'água estreitos e paralelos dispostos em semicírculo (Figura 5.B.1), diques fluviais, canais, delta fluvial, brejos e lagos. Neste produto os resultados não foram tão satisfatórios em relação aos produtos da classificação da imagem óptica e da imagem de microondas, pois serão necessários mais processamentos para melhorar a integração destes produtos e permitir uma boa identificação das feições estudadas.

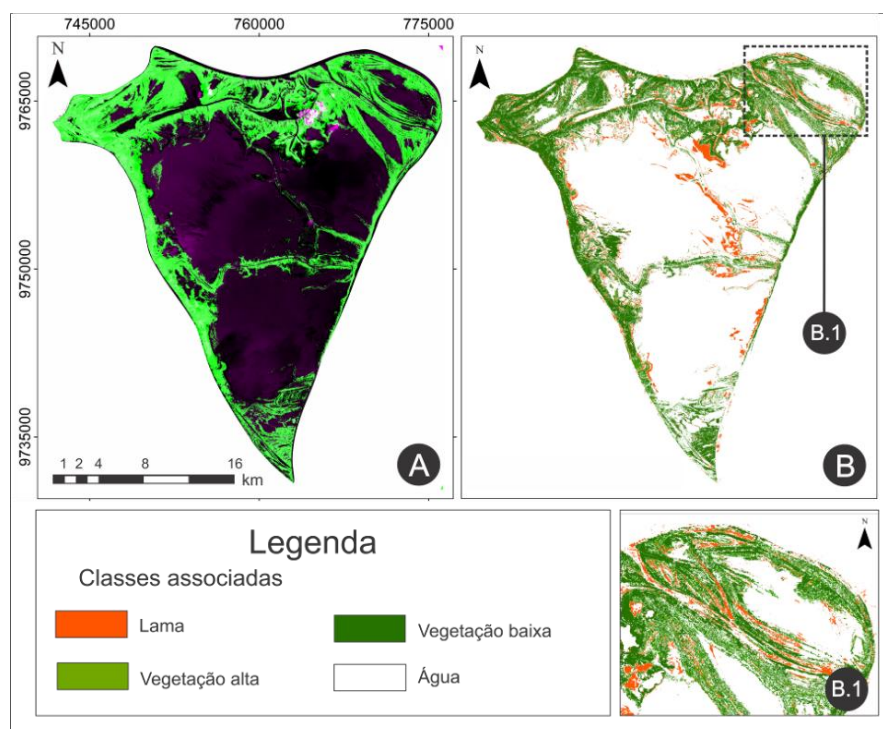


Figura 5. A) Imagem SPC-SAR resultado da fusão de imagens de radar e óptica. B) Resultado da classificação não supervisionada do ambiente fluvial. B.1) Zoom detalhando a feição de lagos em espira de meandro comumente identificados na região amazônica.

A matriz de confusão da classificação do produto SPC-SAR indica que a imagem fusionada possui índice kappa bom (0,86) quanto a classificação automática (Tabela 04). Dentre as classes geradas, que são determinantes para a classificação dos ambientes, a classe vegetação alta obteve a comissão mais baixa (25%) e a menor omissão (7,69%). Ou seja, este produto, nesta área, foi um bom delimitador e identificador da classe areia, água e vegetação alta assim como os produtos individuais.

Tabela 04. Matriz de erro da classificação não supervisionada ISOSEG baseada no produto integrado SPC-SAR.

Classe	Água	Lama	Areia	Nuvem	No data	Veg. alta	Veg. baixa	Total	Usuário (%)	Erro de Comissão (%)
Água	35	0	3	0	0	0	1	39	89,74	10,26
Lama	0	4	1	0	1	0	0	6	66,67	33,33
Areia	0	1	4	0	0	0	0	5	80,00	20,00
Nuvem	0	0	0	75	0	0	0	75	100,00	0,00
No data	0	0	0	0	5	0	0	5	100,00	0,00
Veg. alta	1	0	1	1	0	12	1	16	75,00	25,00
Veg. baixa	1	0	1	0	0	1	1	4	25,00	75,00
<b>Total</b>	<b>37</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>76</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>150</b>		
<b>Erro do Produtor</b>	94,60	80,00	40,00	98,68	83,33	92,31	33,33			
<b>Erro de Omissão</b>	5,41	20,00	60,00	1,32	16,67	7,69	66,67			
<b>Kappa</b>	0,86	0,65	0,78	1,00	1,00	0,72	0,23			
<b>Índice Kappa</b>	=	0,86			<b>Acurácia Geral</b>	=	90,66%			

#### 4.2. Reconhecimento de ambientes fluviais ao longo do Rio Amazonas.

A classificação de ambientes fluviais realizada na “Ilha Grande do Tapará” permitiu a identificação das seguintes classes: lagos rodeados por brejo, praias fluviais, delta fluvial, paleocanais e campos fluviais intermitentes (Figuras 6).

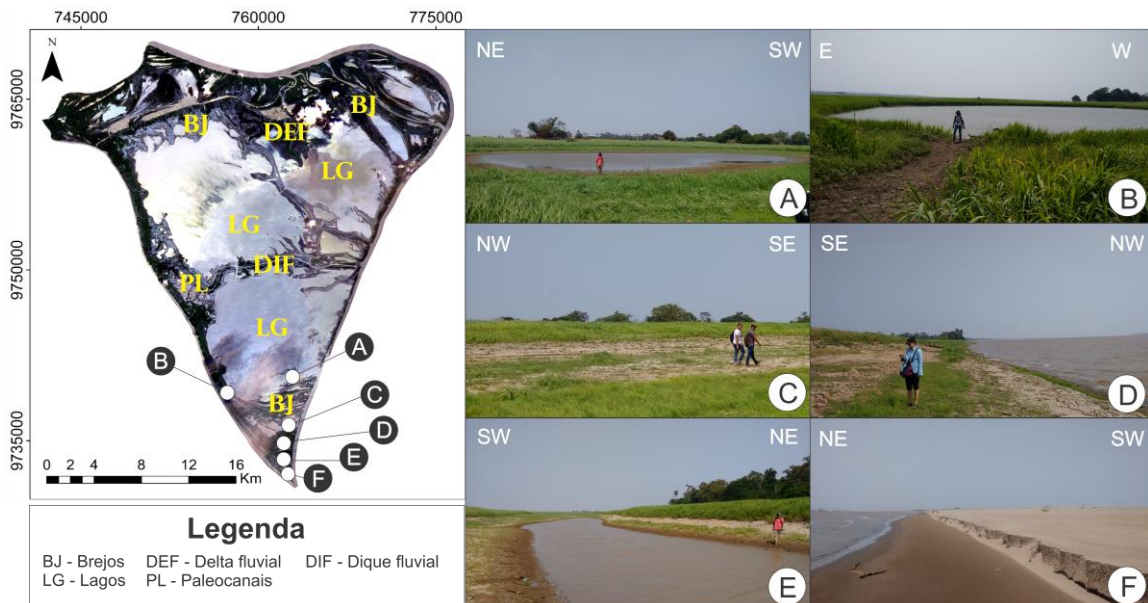


Figura 6. Imagem RapidEye (Composição R1G2B3) identificando os ambientes a partir da interpretação visual associado ao trabalho de campo na área de estudo. Fotografias correspondentes as feições reconhecidas como A) e B) Lagos cercados por brejo; C) e D) Campos fluviais intermitentes, E) Canal fluvial; e F) Praia fluvial.

## 5. Conclusões

A partir do processamento das imagens ópticas e de radar foi possível a identificação dos principais ambientes fluviais que compõem a área de estudo. Os resultados possibilitaram a produção de mapas representando algumas das feições fluviais amazônicas.

Concluímos que as imagens dos sensores REIS e SAR tiveram melhores resultados para a classificação automática, nos permitindo a identificação das classes de vegetação, lama e areia o que nos forneceu uma melhor precisão no reconhecimento das feições fluviais como: lagos, brejos, paleocanais, diques fluviais, praia fluvial, lagos em espira, delta fluvial, campos intermitentes, entre outros. A classificação gerou bons valores de acurácia que variaram de bom a ótimo. O processo de integração e classificação da imagem SPC-SAR representou avanços importantes para a produção de informações da região amazônica por reduzir as interferências atmosféricas após o pré-processamento e unir informações físico-químicas e morfológicas em um único produto, mas para este estudo ainda há uma necessidade de aplicar melhores técnicas de processamento para melhorar a identificação das feições fluviais da área de estudo com este produto integrado. Os produtos individuais, tanto óptico quanto microondas, forneceram produtos de superior qualidade, suficientes para a interpretação das feições geomorfológicas da área de estudo. Por fim, a utilização desses sensores permitiu a realização de análises espaciais de reconhecimento das feições dos ambientes fluviais com bons produtos e de boa qualidade.

## Referências Bibliográficas

Chavez, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 450-479, 1988.

Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educ Psychol Meas.** 1960;20:37–46.

Souza Filho, M. S.; Paradella, W. R. Use of RADARSAT-1 fine mode and Landsat-5 TM selective principal component analysis for geomorphological mapping in a macrotidal mangrove coast in the Amazon Region. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 3, p. 214-224, 2005.

Wittmann, F.; Junk, Wolfgang, J.; Piedade, M. TF. The Varzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. **Forest ecology and Management**, v. 196, n. 2, p. 199-212, 2004.