

Classificação de águas da planície de inundação do Rio Amazonas, com uso do *Spectral Angle Mapper* (SAM) e uma biblioteca espectral

Natália de Moraes Rudorff¹
Francisca Rocha de Souza Pereira¹
Gabriel Moiano Cesar¹
Jansen Santos Poças¹
Rogério Ribeiro Marinho¹
Adriana Gomes Affonso¹
Bernard Barbarisi¹
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{nmr, fran, moiano, jansensp, rogeosr, affonso, bernard, evlyn}@dsr.inpe.br

Abstract. Classification of water types in optically complex waters is a great challenge for remote sensing. Optically active substances (OAS) are present in various qualities and quantities, having complex interactions with the submersed light field. Nevertheless, remote sensing imagery is an important tool for environmental monitoring, and bio-optical researches are in development to provide appropriate means to map the OAS present in aquatic systems. The Amazonian basin is especially a complex environment with highly differing hydro-geochemical systems. With the aim to analyze the water types present in two sectors of the Amazonian floodplain, 57 samples of radiometric and limnological measurements were collected during the flooding period (June/2009) in the Mamirauá Sustainable Development Reserve (MSDR) and in the medium and low course of the Amazon River. The *Spectral Angle Mapper* (SAM) was used to classify the water types based on a spectral library, built for the Amazon region according to Lobo (2009). Mainly, three water types were identified: black, clear and low concentrated white waters. The SAM classification had a relatively good agreement with the limnological properties: the black water class had 0% of error, while the others had 39%. The Mamirauá Reserve was characterized by dominance of black waters with high concentration of dissolved organic matter, while the medium and low course of the Amazon River were characterized by clear and white waters with low concentrations of suspended inorganic sediments. Despite some limitations, the classification was considered successful, with potential applications for imagery hyperspectral monitoring of the Amazon aquatic system.

Palavras-chave: water types, spectral classification, Amazon floodplain, tipos de água, classificação espectral, planície de inundação do Amazonas.

1. Introdução

O sensoriamento remoto permite uma visão sinótica dos sistemas aquáticos, com ampla área de recobrimento e alta frequência de amostragem. Os métodos tradicionais de análises *in situ* são bastante custosos e não permitem um recobrimento espaço-temporal tão amplo (Kopenen et al., 2004). No entanto, o sensoriamento remoto também possui limitações e deve ser usado sempre em complementação às bases de dados *in situ* (Kampel e Novo, 2005).

A radiometria de campo pode ser usada para a formulação de modelos que relacionam as propriedades do alvo com as medidas de reflectância, que depois são aplicados a dados orbitais (Milton et al., 1995). O espectroradiômetro de campo registra o sinal da luz que é retroespalhada pelos componentes opticamente ativos (COA) presentes na camada superficial da água (Kampel e Novo, 2005). Os principais COA são: as moléculas de água, o fitoplâncton, indexado pela concentração de clorofila-*a* (Chl-*a*), o material inorgânico em suspensão (ou sólidos em suspensão - SIS) e o material orgânico dissolvido (MOD) (Maritorea e Guillocheaw, 1996). Cada COA possui propriedades específicas de absorção e espalhamento de acordo com suas características biofísicoquímicas. Dessa forma, as variações espectrais medidas pelo sensor podem ser usadas para inferir a qualidade e quantidade dos COAs presentes na camada superficial do sistema aquático (Clark e Roush, 1984).

No entanto, o problema não é trivial, pois além das interações complexas resultantes da mistura dos diferentes COA há também outros fatores que interferem no sinal radiométrico, como: a profundidade e hidrodinâmica do sistema, a resolução espectral e radiométrica do sensor, e as condições de aquisição, como a geometria de visada e iluminação solar (Koponen et al., 2004). A co-ocorrência de diferentes COA, o baixo sinal registrado pelo sensor devido à baixa reflectância da água e os diversos fatores que interferem no sinal tornam os estudos de qualidade da água por sensoriamento remoto bastante complexos e limitados (Carvalho et al., 2003; Koponen et al., 2004; Rudorff et al., 2007). Diversas técnicas de processamento de dados têm sido desenvolvidas como alternativa para contornar estas limitações e maximizar a extração de informações da qualidade de água por radiometria. Em um trabalho realizado por Carvalho et al. (2003), com a comparação de diferentes técnicas, a *Spectral Angle Mapper* (SAM) apresentou um bom desempenho no agrupamento de diferentes tipos de água com intervalos específicos de concentrações dos COAs. A SAM é uma técnica de agrupamento espectral com base na distância angular dos espectros. Esta técnica que tem sido bastante aplicada à identificação de minerais com dados hiperespectrais de sensoriamento remoto e recentemente começou a ser usada em estudos de qualidade de água (Carvalho et al., 2003).

O presente trabalho buscou avaliar a aplicação da técnica SAM para a classificação de tipos de água em dois setores da bacia Amazônica: a Reserva de Mamirauá e a planície de inundação do médio e baixo rio Amazonas durante o período de cheia de junho de 2009. Este período apresentou uma condição atípica, pois correspondeu à segunda maior cheia da Amazônia ocorrida desde que os dados de nível de água começaram a ser obtidos em 1902 em Manaus (CPRM, 2009). Para a classificação foram usados espectros de referência de uma biblioteca espectral proposta por Lobo (2009) para dez tipos de águas da planície de inundação da bacia Amazônica. As características limnológicas de cada ambiente estudado também foram analisadas e relacionadas às dinâmicas hidrogeológicas do período coletado.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende dois setores da planície de inundação da bacia Amazônica: o primeiro composto por lagos estreitos e longos localizados na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá (RDSM) e o segundo localizado na região de transição do médio e baixo curso do rio Amazonas (MBRA) (Figura 1). Esta planície de inundação apresenta um ciclo hidrológico monomodal com níveis máximos da água em junho e julho. O ambiente é formado por diversos sistemas aquáticos com cursos de água, lagos, paranás e igapós. Segundo Sioli (1984), os rios da região podem ser classificados de acordo com a presença predominante de MOD e SIS: águas brancas com alta concentração de SIS devido ao processo erosivo das margens dos rios; águas pretas com elevadas concentrações de MOD; e águas claras com baixas concentrações de SIS e MOD.

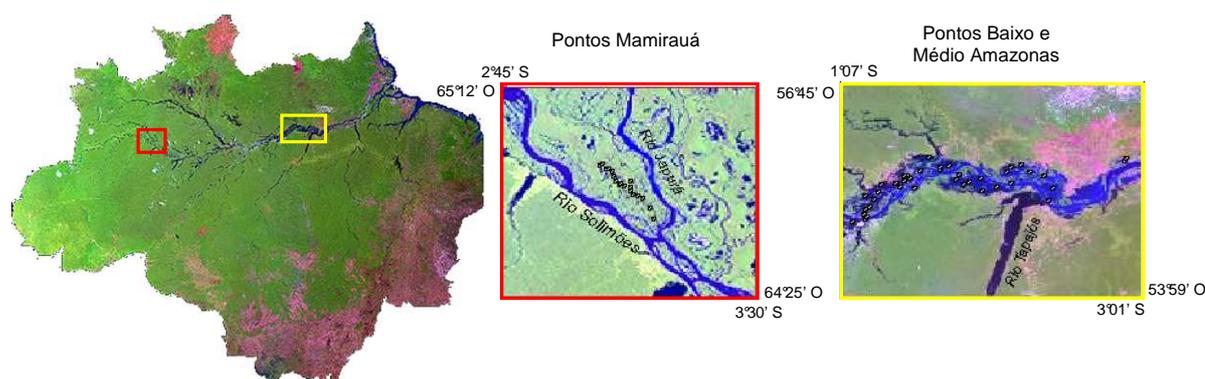


Figura 1. Localização da área de estudo e pontos de coleta (mosaico TM Geocover).

2.2 Material e Métodos

Foram coletadas 18 amostras nos lagos da RDSM e 23 amostras no MBRA em junho de 2009. As medidas espectrais foram adquiridas acima da superfície da água por um radiômetro hiperspectral *FieldSpec Hand Held* (325-1075 nm). Os parâmetros limnológicos de concentração de chl-a, turbidez e pH foram analisados para todos os pontos. O carbono orgânico dissolvido (COD) e SIS foram analisados somente em dez pontos da RDSM. Para os pontos no MBRA, foram estimados valores de concentração de totais sólidos em suspensão (TSS) (como comparação ao SIS). O modelo empírico de TSS utilizado foi ajustado para a região Amazônica segundo Barbosa (2005), com uso de valores de turbidez (T):

$$TSS = 0,0003 \times T^2 + 0,38 \times T - 0,4 \quad (1)$$

Antes da classificação espectral, foram aplicados filtros de média móvel de 3, 7 e 21 pontos para os dados radiométricos, a fim de testar o efeito da remoção do ruído aleatório na classificação. A técnica SAM foi aplicada para o agrupamento dos espectros em classes de água, segundo a biblioteca espectral proposta por Lobo (2009). O SAM é um algoritmo de classificação baseado nas semelhanças da distribuição angular dos espectros com base em espectros de referência (ER) que definem cada classe. O limiar de aceitação de uma classe é definido por uma distância angular mínima que no caso foi de 0,125 radianos. Uma característica importante do SAM é que não é sensível às variações de amplitude, mas somente ao formato espectral. O bom desempenho do SAM está associado diretamente à escolha do conjunto dos ER. A biblioteca espectral proposta por Lobo (2009) foi elaborada para dez tipos de águas encontradas em áreas alagáveis da Amazônia. Cada classe possui características limnológicas distintas com intervalos de concentrações dos COA e uma alta separabilidade de espectros (Figura 2).

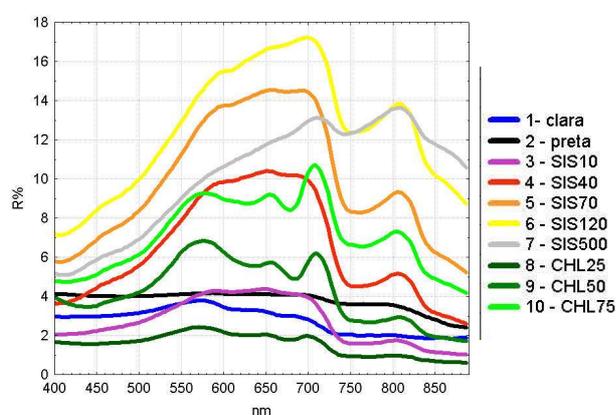


Figura 2: Espectros de referência das classes de água. Fonte: Lobo (2009).

A classe 1-Clara representa águas claras com baixas concentrações de COA. A classe 2-Preta é de águas com elevada concentração de MOD, e baixa Chl-a ($<6 \mu\text{g.l}^{-1}$) e SIS ($<5 \text{mg.l}^{-1}$). A classe 3-SIS10 representa concentrações médias de SIS de 6mg.l^{-1} , média de Chl-a de $8,2 \mu\text{g.l}^{-1}$, e baixa MOD ($<3 \text{ppm}$). As classes de 4-7 compõem as águas brancas com concentrações crescentes de SIS ($15\text{-}500 \text{mg.l}^{-1}$). A classe 8-CHL25 representa águas com dominância de fitoplâncton com concentrações de Chl-a acima de $15 \mu\text{g.l}^{-1}$. A 9-CHL50 representa dominância de Chl-a com altas concentrações (média de $45 \mu\text{g.l}^{-1}$). E por fim a classe 10-CHL75 representa águas com concentrações bastante elevadas de Chl-a ($73 \mu\text{g.l}^{-1}$) e relativamente elevadas de SIS (61mg.l^{-1}). Para a validação das classificações foi verificado a compatibilidade entre as concentrações dos COA correspondentes a cada classe na chave de classificação segundo Lobo (2009) e os dados limnológicos medidos em campo.

3. Resultados e Discussão

3.1. Classificação SAM

De modo geral, nos dois sistemas estudados, os espectros de reflectância apresentaram valores baixos com pequenas variações. Os espectros dos lagos da RDSM apresentaram curvas mais achatadas (Figura 3a), enquanto que os espectros do baixo e médio Amazonas apresentaram algumas feições mais definidas (Figura 3b).

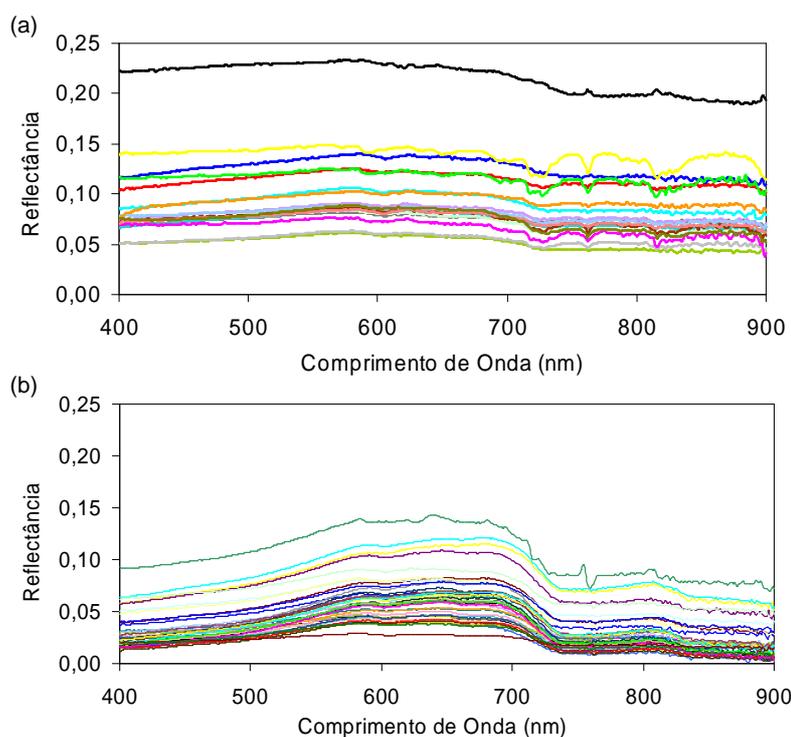


Figura 3. Espectros de reflectância obtidos em lagos da RDSM (a) e no MBRA (b).

Com a aplicação dos filtros de média móvel houve um aumento significativo no número de espectros não classificados, por isso, optou-se por não utilizar nenhum filtro para a classificação SAM.

As amostras da RDSM foram todas classificadas na classe 2-Preta. Esta classificação obteve 100 % de acerto de acordo com a chave de classificação e os dados limnológicos de campo. O valor médio do COD nestas amostras foi de $5,2 \pm 1,0 \text{ mg.l}^{-1}$. As concentrações médias da Chl-a e SIS foram bem mais baixas de $0,4 \pm 0,1 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$ e $0,8 \pm 0,8 \text{ mg.l}^{-1}$, respectivamente. Isso comprova a dominância da MOD nestes pontos de coleta, que tiveram espectros de reflectância com baixas variações (curvas achatadas). A MOD é conhecida por ter baixa reflectância e maior absorção principalmente nos comprimentos de onda menores (faixa do azul) (Maritorena e Guillocheaw, 1996; Lobo, 2009).

Para o médio e baixo Amazonas os pontos amostrados foram classificados em 5 classes: a) 1-Água clara; b) 3-SIS10; c) 4-SIS40; d) 5-SIS70; e e) 8-CHL25 e dois pontos não foram classificados. Na avaliação da classificação com os dados limnológicos de campo o erro total foi de 39 %. Os erros ocorreram entre as classes com espectros de formato semelhantes e concentrações intermediárias dos COAs que definem as classes. No caso das classes 1 e 3 houve confusão pois as curvas são bastante semelhantes em quase todo espectro. Há uma diferença apenas na faixa de 550-725 nm, onde a classe 3 possui maior reflectância devido à maior concentração do SIS (Lobo, 2009). Entre as classes 1 e 8 também houve mistura, pois

ambas as curvas têm baixa variação de reflectância, apenas com uma diferença ligeira na faixa de 700 nm, onde há um pico de reflectância devido à maior concentração de Chl-a na classe 8 (Lobo, 2009). Amostras da classe 3 também foram confundidas com as classes 4 e 5 por terem formas espectrais semelhantes. O COA dominante destas classes é o SIS e as diferenças são apenas nas concentrações que definem maiores ou menores valores de reflectância, principalmente na faixa de 550-700 nm (Lobo, 2009).

As amostras agrupadas na classe 1 tiveram 100 % de acerto, com valores baixos de concentrações de Chl-a (média $3,5 \pm 0,3 \mu\text{g.l}^{-1}$) e de TSS (média $3,0 \pm 2,2 \text{mg.l}^{-1}$). Já para a classe 3 o erro foi de 50%. As amostras que foram erroneamente classificadas deveriam ser pertencentes à classe 1 por terem menores concentrações de TSS que o limite inferior da classe 3 (de 5mg.l^{-1}). No entanto, as concentrações destes pontos foram próximas ao limite inferior de 5mg.l^{-1} de SIS que define a classe 3 na chave de classificação de Lobo (2009), com valores de 3- $4,5 \text{mg.l}^{-1}$. As curvas espectrais destes pontos também foram bastante semelhantes ao ER da classe 3 definida por Lobo (2009).

Para a classe 4-SIS40, das duas amostras que foram classificadas, uma não teve correspondência limnológica. O ponto 7 que foi classificado erroneamente deveria ser da classe 3, pois o TSS estimado foi de $7,37 \text{mg.l}^{-1}$, menor que 15mg.l^{-1} correspondente ao limite inferior da classe 4. A curva espectral desse ponto teve um formato um pouco mais achatado que o ER da classe 4 o que pode ser explicado pela menor concentração de TSS.

Para classe 5-SIS70 foi classificado apenas um ponto, que deveria ter sido classificado na classe 3, pois o TSS foi de $12,85 \text{mg.l}^{-1}$, bem menor que 50mg.l^{-1} correspondente ao limite inferior de SIS da classe 5. O espectro desta amostra de fato foi um pouco mais achatado que o ER da classe 5, dado pela menor concentração de TSS. Para a classe 8-CHL25 foram classificados dois pontos, mas que não tiveram correspondência limnológica. O ponto 17 teve uma concentração de clorofila de $2,14 \mu\text{g.l}^{-1}$ e o ponto 21 de $3,85 \mu\text{g.l}^{-1}$, bem inferiores ao limite mínimo da classe 8 para a concentração de Chl-a ($25 \mu\text{g.l}^{-1}$). Ambos deveriam ter sido classificados como classe 1, por terem baixas concentrações de Chl-a e TSS ($3,3$ e $2,4 \text{mg.l}^{-1}$). As curvas espectrais das classes 1 e 8 possuem realmente um formato parecido, o que pode ter ocasionado confusão entre estas classes na classificação SAM como discutido anteriormente.

No trabalho de Lobo (2009), a classificação SAM com uso da biblioteca espectral obteve 86% de acerto para águas da planície de inundação do rio Amazonas coletadas em diferentes épocas do ano (cheia e vazante). A classe com a menor precisão foi a Classe 1-Clara e também ocorreu confusão entre as classes 1 e 8. Segundo Lobo (2009), a confusão dessas classes com baixas concentrações de SIS foi relacionada à baixa reflectância da água, o que deixa as curvas espectrais com mais ruído e sujeitas a maior interferência do espalhamento atmosférico. Neste caso, as diferenças angulares dos espectros ficam, portanto, maiores influenciando em maiores erros de classificação com a técnica SAM (Lobo, 2009). Rudorff et al. (2007) também encontraram um maior erro associado à estimativas de águas com concentrações variáveis de SIS. Segundo estes autores o SIS possui sinal elevado devido ao retroespalhamento, o qual favorece sua identificação, mas que se sobrepõe às feições diagnósticas de outros constituintes de forma complexa e não-linear. Isso também pode influenciar no aumento das incertezas nas estimativas quantitativas de cada COA, em águas do tipo brancas (com dominância de SIS). Um fator a ser considerado também é que os valores de TSS utilizados no BMRA foram estimados segundo o modelo de Barbosa (2004), por meio de valores de turbidez. Há, portanto, também uma maior incerteza associada aos dados utilizados como referência de campo e na associação entre os valores de TSS e SIS.

Uma questão importante, também, é que o período estudado correspondeu a um evento atípico de cheia. Isso deve ter influenciado numa maior diluição dos COA presentes nos sistemas aquáticos da planície de inundação e uma reflectância mais baixa da água. Como a

biblioteca espectral proposta por Lobo (2009) corresponde a condições médias, as classes de água por ele definidas não contemplam características atípicas, como deste evento.

3.2 Caracterização ambiental dos setores estudados

Segundo Sioli (1984), o pH é uma variável importante na identificação de tipos de águas. Águas brancas possuem pH neutro entre 6,2-7,2, águas pretas pH baixo de 3,8-4,9, e águas claras têm pH que variam entre os extremos de águas brancas e pretas (4,5-7,8). No período de cheia estudado (junho/2009), a RDSM foi caracterizada por um valor médio de pH de 6,79 (Tabela 1), apesar de ter sido classificada na análise espectral (SAM) e com os valores de COD, como classe 2-Preta. A RDSM é caracterizada por ambiente lêntico, que recebe grande aporte de material orgânico da floresta adjacente, principalmente em condições de cheia excepcional, como a de 2009, quando o nível da água atingiu a máxima de 38,33 metros acima do nível do mar (RDSM, 2010). Apesar dos lagos da RDSM serem alimentados pelo Rio Solimões e pelo Rio Japurá, rios cujas nascentes se encontram nos Andes (Sioli, 1984, Núñez-Avellaneda y Duque, 2001; McClain e Naiman, 2008), a intensa precipitação nessa época do ano, com a formação de escoamento superficial e o transporte de material orgânico proveniente da floresta alagada e a deposição dos sedimentos (provenientes dos rios) deram aos lagos características de ambientes de água preta, como baixa turbidez, alta concentração de COD.

Além disso, o grande volume de água nos lagos, aliada a sua menor largura e à presença da floresta ao redor do lago, o que impede a ação continuada dos ventos e conseqüentemente a ressuspensão de sedimentos, ocasionou uma maior diluição do sistema, mantendo os valores de concentração de Chl-a e SIS baixos, com valores médios de 0,35 $\mu\text{g.l}^{-1}$ e 0,85 mg.l^{-1} (Tabela 1).

No baixo e médio rio Amazonas foram encontrados valores médios de 6,71 de pH (neutro) e 6,28 mg.l^{-1} de TSS, bem mais elevado que o SIS médio da RDSM. A concentração de Chl-a média também foi maior com 3,28 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (Tabela 1), o que denota uma maior contribuição deste e do TSS na resposta espectral deste sistema.

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis limnológicas disponíveis nos dois setores.

		pH	Turbidez (NTU)	SIS (mg.l^{-1})	TSS (mg.l^{-1})	Chl-a ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	COD (mg.l^{-1})
Mamirauá	média	6,79	4,43	0,85	2,25	0,35	5,18
	desvio padrão	0,03	0,94	0,74	1,08	0,08	0,93
	mínimo	6,71	0,76	0,18	0,29	0,26	6,31
	máximo	6,86	16,43	2,89	4,42	0,56	3,62
Baixo e médio Amazonas	média	6,71	17,3	-	6,28	3,58	-
	desvio padrão	0,21	8,33	-	3,28	0,35	-
	mínimo	5,97	3,03	-	0,76	2,93	-
	máximo	7,15	42,83	-	16,43	4,33	-

SIS (sólidos inorgânicos em suspensão); TSS (totais sólidos em suspensão); Chl-a (concentração de clorofila-a); COD (carbono orgânico dissolvido).

Com a espacialização das classes de água, classificadas pelo SAM e corrigidas com os dados limnológicos ao longo do baixo e médio rio Amazonas, foi possível verificar os tipos de água em cada sistema estudado. As áreas alagáveis localizadas próximas ao afluyente Rio Nhamunda (ao oeste) e no Lago Maripá (ao leste) foram caracterizadas por dominância de águas claras (Figura 4). Na área central os sistemas foram caracterizados por dominância de águas brancas com baixas a médias concentrações de SIS10. Um sistema que se destaca nesta área é o Lago Grande do Curuai. Um ponto localizado no Rio Amazonas foi caracterizado por

águas com concentrações mais elevada de SIS ($16,4 \text{ mg.l}^{-1}$ de TSS) (classe 4-SIS40), mas que ainda assim foi um valor baixo, comparado ao que pode se encontrar no rio Amazonas durante o período de cheia (64 mg.l^{-1} (Rudorff et al., 2007)). No período de cheia há uma maior mistura das águas do rio Amazonas com as águas dos lagos marginais, dessa forma, há uma diminuição geral da concentração dos COA na maioria dos sistemas da planície de inundação da Amazônia (Lobo, 2009; Barbosa, 2005). No caso do evento estudado de maior cheia, a diluição foi ainda maior, o que pode explicar o agrupamento das estações em classes de água clara e brancas, com baixas a médias concentrações de SIS.

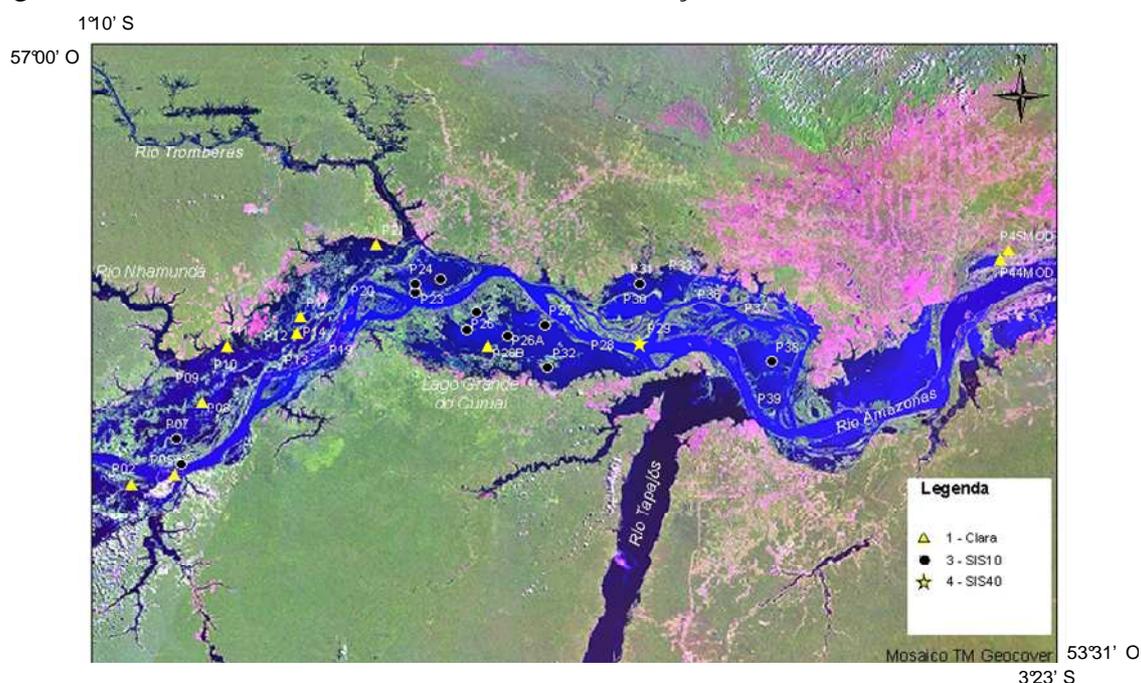


Figura 4: Mapa de distribuição dos pontos amostrados no baixo Amazonas classificados através da chave limnológica (Mosaico TM Geocover).

4. Conclusão

A classificação SAM com uso da biblioteca espectral proposta por Lobo (2009) obteve um excelente desempenho na classificação das águas tipo 2-preta, com dominância da MOD. Na classificação de águas claras e brancas com dominância de SIS, em baixas e médias concentrações, houve confusões principalmente entre classes com espectros semelhantes e valores limnológicos próximos aos limites de transição de uma classe à outra. Uma possível causa é a baixa reflectância das águas com baixas concentrações de COA, que contribui para a dificuldade de separação dos espectros e principalmente por serem águas de um evento atípico com bastante diluição devido à extensa inundação. Esta inundação também deve ter favorecido um maior aporte de MOD provinda das florestas, o que também contribui para a diminuição da reflectância e maior mistura espectral. Infelizmente, não obtivemos medidas de COD nas estações do médio e baixo Amazonas, mas em campo foi possível observar visualmente que a água do próprio rio Amazonas possuía uma tonalidade mais escura que o comum. Mas, para fins de análises de padrões gerais, a classificação SAM conseguiu demonstrar a tendência geral de distribuição dos tipos de água nos sistemas estudados, mesmo representado este evento atípico. Uma alternativa para um melhor desempenho deste método seria incorporar na biblioteca espectral de Lobo (2009), classes de água para eventos atípicos, como no caso do presente estudo. Quanto à análise dos ambientes estudados a RDSM foi caracterizada por um sistema com forte contribuição do aporte orgânico da floresta amazônica adjacente com dominância de águas pretas durante o período de cheia em estudo. Mas, o

sistema também apresentou uma influência de mistura de águas do rio Amazonas, devido ao pH neutro. A planície de inundação do médio e baixo rio Amazonas foi caracterizada por águas claras e brancas com dominância do SIS em baixas e médias concentrações. Os ambientes apresentaram características bastante distintas que refletem as diferentes dinâmicas hidrogeoquímicas de cada sistema e refletiram características específicas do evento de maior cheia em junho de 2009. Apesar da complexidade desses ambientes a técnica de classificação SAM com uso da biblioteca espectral proposta por Lobo (2009), mostrou-se eficiente e com bom potencial para aplicações em análises de sistemas aquáticos com dados hiperespectrais de sensoriamento remoto. O método pode ainda ser melhorado com adaptações para eventos extremos, como no caso do evento ocorrido no período estudado.

5. Referências bibliográficas

Barbosa, C. C. F. Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curai/Rio Amazonas. 2005. 286 p. (INPE-14614-TDI/1193). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

Carvalho, J. C., Barbosa, C., Novo E.M., Mantovani, J. E., Filho, W. P., Melack, J. Applications of Quantitative Analysis Techniques to Monitor Water Quality of Curuai Lake, Brazil. **IEEE**. 2003

Clark, R. N.; Roush, T. L. Reflectance Spectroscopy: Quantitative Analysis Techniques for Remote Sensing Applications. **Journal of Geophysical Research**. Vol. 89, n° B7, pp. 6329 - 6340, 1984.

Kampel, M.; Novo, E. M. L. M. O sensoriamento remoto da cor da água. In: Souza, Ronald B. (Ed.). **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. v. Cap. 12, p. 179-196.

Koponen, S., Pullianen, J., Kallio, K., Vespsalainen, J., Pyhalahiti, T., Hallikainen, M., Water quality classification of lakes using 250m MODIS data. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, vol. 1, no. 4, pp. 287291, 2004.

Lobo, F. L. Biblioteca espectral: determinação de espectros de referência para a classes de tipos de água das áreas alagáveis da Amazônia. 2009. 129 p. (INPE-15748-TDI/1493). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.

Maritorena, S. e Guillocheaw, N. Optical properties of water and spectral light absorption by living and non-living particles and by yellow substances in coral reef waters of French Polynesia. **Marine Ecology Progress Series**, v. 131, p. 245-255. 1996.

McClain, M. E. e NAIMAN, R. J. Andean Influences on the Biogeochemistry and Ecology of the Amazon River. **Bioscience**, vol. 58 (4) 325-338. 2008

Milton, E.J., Rollin, E.M., Emery, D.R., 1995. Advances in field spectroscopy. In: Danson, F.M. and Plummer, S.E., ed. **Advances in Environmental Remote Sensing**, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 9-32.

Núñez, M. e Duque, S. R. 2001. Estudio del fitoplancton en ambientes acuáticos de la Amazonia colombiana”, en C. Franky, y C. Zarate (eds.), **Imani Mundo, estudios en la Amazonia colombiana**, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Instituto Amazónico de Investigaciones (IMANI), Unibiblos.

RDSM – Reserva de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá. **Monitoramento do Ambiente Físico, Nível da água**. Disponível em <http://www.mamiraua.org/fluviometrico/>

Rudorff C. M., Novo M. L. M., Galvão L. S., Filho W. P. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazônia** vol. 37 (2) 269-280. 2007.

Sioli, H. Hydrochemistry and geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**. v.1, p.74-83, 1984.

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Monitoramento Hidrológico, **Relatórios de cheia**, Boletim no 23 –03/07/2009- Disponível em www.cprm.gov.br