

## Caracterização de plantas aquáticas submersas a partir de dados de espectrorradiômetro no Reservatório de Nova Avanhandava – Rio Tietê/SP

Fernanda Sayuri Yoshino Watanabe<sup>1</sup>  
Nilton Nobuhiro Imai<sup>1</sup>  
Letícia Sabo Boschi<sup>1</sup>  
Robinson Luiz Campos Machado Pitelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP  
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas  
Rua Roberto Simonsen, 305 – 19060-900 – Presidente Prudente – SP, Brasil  
fernandasyw@gmail.com, nnimai@fct.unesp.br, leticiasabo@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Ecosafe Agricultura e Meio Ambiente S/C Ltda  
Rua Monteiro Lobato, 856 – 14870-410 – Jaboticabal – SP, Brasil  
rlpitelli@ecosafe.agr.br

**Abstract.** The deployment of hydroelectric dams to formation of large artificial lakes causes several impacts in aquatic ecosystems. The uncontrolled development of aquatic plants, emerged and submerged, and algae is a reflection of environmental disequilibrium. In this sense, the goal this paper is to show the results obtained of a study using data spectroradiometry for characterization of submerged aquatic plants, in Nova Avanhandava Reservoir, Tietê River/SP. In study area was identified three species of submerged plants: *Ceratophyllum sp.*, *Egeria najas* and *Cabomba sp.* In general, the development of these plants is intense, doing part of the plants to reach the water surface. Analyzing different environments were observed areas where there is predominance of only one species and others where there is the development of more than one. Another association type observed is between algae with one of three submerged species found. Noted it also that the *Cabomba* and *Egeria najas* are more sensitive to the competition with algae than *Ceratophyllum* which is the dominant species in the reservoir. In areas with predominance of emerged plants was seen the growth of submerged plants is lesser. Thus, wait it that the different environments present spectral signal itself. In this context, spectral and limnological data were collected in different environments, distributed over the reservoir. To processing the spectral data were applied techniques of noise removal and derivative analysis, to identify features specific to certain variables optically active, allowing the characterization of different environments where were found species of submerged plants.

**Palavras-chave:** remote sensing, derivative analysis, spectroradiometer, sensoriamento remoto, análise derivativa, espectrorradiômetro

### 1. Introdução

As represas artificiais são ecossistemas aquáticos que modificam a qualidade da água, os mecanismos de funcionamento e a sucessão das comunidades aquáticas (Tundisi e Tundisi, 2008). A formação desses grandes lagos gera impactos sobre o ecossistema aquático cujos efeitos e magnitudes ainda não são totalmente conhecidos. A demanda energética nacional combinada a existência de grandes rios no país incentivaram a construção de inúmeras barragens para geração de energia elétrica.

A inundação das áreas a montante à barragem pode atingir várzeas e áreas agricultáveis, disponibilizando ao corpo d'água uma alta carga de matéria-orgânica e nutrientes. Uma das consequências é o desenvolvimento descontrolado de algas e plantas aquáticas no ambiente, caracterizando um desequilíbrio desse novo ambiente.

Conhecer os tipos de plantas, bem como sua distribuição espacial é essencial para o desenvolvimento e implantação de um plano de controle de plantas aquáticas em um reservatório. Nesse contexto, o sensoriamento remoto, bem como as técnicas de processamento dos dados, são ferramentas poderosas que podem ser empregadas na

caracterização de plantas aquáticas tanto emersas como submersas, assim como na identificação das áreas propícias ao desenvolvimento dessas plantas.

A hipótese deste trabalho é que a presença de plantas aquáticas submersas provoque alterações na assinatura espectral da coluna d'água, permitindo verificar a presença ou ausência de plantas, e até identificar características associadas a uma determinada espécie.

Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo apresentar uma caracterização espectral das plantas submersas presentes no Reservatório de Nova Avanhandava, localizado no Rio Tiête – SP, analisando as assinaturas espectrais coletadas em diferentes ambientes inseridos no contexto deste reservatório.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de Estudo

A área de estudo está inserida no contexto do reservatório da usina hidrelétrica de Nova Avanhandava, localizado no médio curso do Rio Tiête, Estado de São Paulo. A Figura 1 mostra uma imagem ETM+/Landsat do reservatório com a localização dos pontos onde foram feitas as coletas de dados de campo.

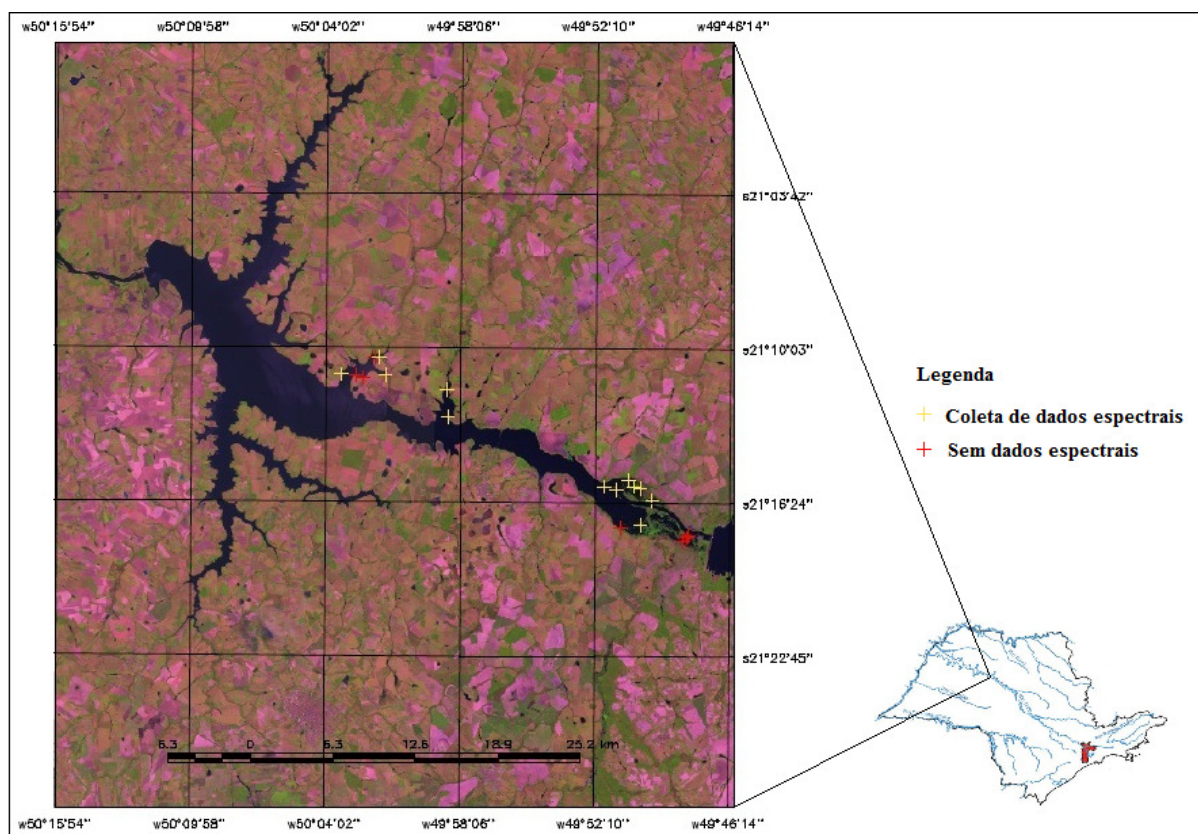


Figura 1. Reservatório de Nova Avanhandava, Rio Tietê/SP.

O trecho percorrido no reservatório inicia-se a jusante da barragem da usina hidrelétrica de Promissão, no município de Ubarana/SP, até o córrego do Ferreira. A área de estudo apresenta diferentes condições ambientes responsáveis pela diversificação das espécies de plantas aquáticas, tanto emersas quanto submersas encontradas no reservatório.

Verifica-se que, nas áreas inundadas, adjacentes ao canal original do rio, as águas são geralmente rasas e com baixa turbidez, características ambientais que propiciam o desenvolvimento de plantas aquáticas submersas, em especial.

## 2.2 Coleta de dados em campo

As coletas de dados de campo foram realizadas no reservatório da hidroelétrica de Nova Avanhandava, Rio Tiête, nos dias 19 e 20 de outubro de 2010. Foram observados 20 pontos, tendo sido feitas medidas espectrais em 13 deles, de modo a representar os diferentes ambientes encontrados no reservatório. Nos pontos 15 e 19 foram feitas mais de uma medida devido a diferentes condições ambientais observadas no mesmo local. Assim, totaliza-se 15 pontos de medidas espectrais, sendo que em cada ponto foram feitas 10 amostragens.

A tomada dos dados de reflectância foram feitas utilizando o espectroradiômetro *FieldSpec© HandHeld* que apresenta uma resolução espectral de 3nm, trabalhando no intervalo espectral de 350 nm a 1050 nm. Paralelamente, foram observadas as condições ambientais de cada ponto (iluminação, influência de ondas, ventos e informações da coluna d'água), além da realização de amostragem *in situ* sobre a superfície da coluna d'água, dos seguintes parâmetros limnológicos: temperatura da água, condutividade elétrica, turbidez e disco de Sechi. Em campo foi feita a identificação das espécies de plantas aquáticas submersas.

## 2.3 Processamento dos dados espectrais

Para análise das curvas espectrais foram utilizadas as técnicas de remoção de ruído e análise derivativa.

A *remoção de ruído* foi realizada aplicando a técnica de suavização filtragem por média móvel. Esse método consiste no cálculo da média entre um conjunto de dados de reflectância vizinhos em relação a um determinado intervalo de comprimento de onda. Neste trabalho foram aplicados filtros de média móvel com 3, 9, 15 e 21 pontos, utilizando como critério de escolha boa eficiência na remoção do ruído sem, no entanto, remover os detalhes espectrais das curvas.

Verificado os diferentes padrões de curvas espectrais dos ambientes, foi aplicada uma *análise de agrupamento* ou *clustering* sobre os dados de reflectância dos 15 pontos amostrados, permitindo a definição de classes de curvas. Para definição dos agrupamentos foi adotado o método da ligação simples (distância mínima ou vizinho mais próximo) que calcula a similaridade entre os dados.

Para verificação de feições específicas, em especial de clorofila e turbidez, foi aplicada uma *análise derivativa*. Segundo Goodin et al. (1993), a partir da derivada das curvas espectrais é possível separar os efeitos da turbidez e da clorofila. A primeira derivada elimina os efeitos referentes à água (Goodin et al., 1993), enquanto a derivada de segunda ordem elimina a influência da turbidez, conseqüentemente, a curva resultante apresentará características associadas apenas a clorofila (Goodin et al., 1993; Rundquist et al., 1996). Para estimar a primeira derivada foi feita uma aproximação utilizando uma operação matemática por diferença finita que representa a taxa de variação da reflectância do alvo em relação à variação do comprimento de onda (Barbosa, 2005). A derivada de segunda ordem é obtida aplicando-se esta mesma operação sobre o resultado da primeira derivada.

## 3. Resultados e Discussão

Na área de estudo foram encontrados três espécies de plantas aquáticas submersas: *Ceratophyllum sp*, *Egeria najas* e *Cabomba sp*. Em alguns pontos observava-se o desenvolvimento de algas junto com uma das três espécies de plantas submersas. Na área dos pontos 15 e 19 foram feitas duas medidas espectrais, devido à presença ou não de algas e/ou à espécie de planta submersa no mesmo ambiente. A seguir serão apresentadas as análises das curvas espectrais para os diferentes tipos de ambientes aquáticos no reservatório de Nova Avanhandava, em termos de desenvolvimento ou não das plantas submersas.

As curvas espectrais foram separadas a partir de uma análise de agrupamento, utilizando o critério da ligação simples para determinação da similaridade entre as variáveis. A Figura 2 mostra o dendrograma indicando os quatro clusters definidos para o conjunto espectral. Verifica-se um agrupamento formado pelos pontos ce06, ce08, ce10 e ce19, chamado de Grupo a. Um segundo grupo é composto pelas curvas espectrais ce11 e ce20 (Grupo b). As demais curvas apresentam similaridades próximas, no entanto, é possível definir mais dois agrupamentos. Um deles compostos pelas curvas espectrais ce05, ce07, ce15, ce17, ce19a (Grupo c), e outro, formado pelo conjunto ce04, ce09, ce15a e ce19 (Grupo d).

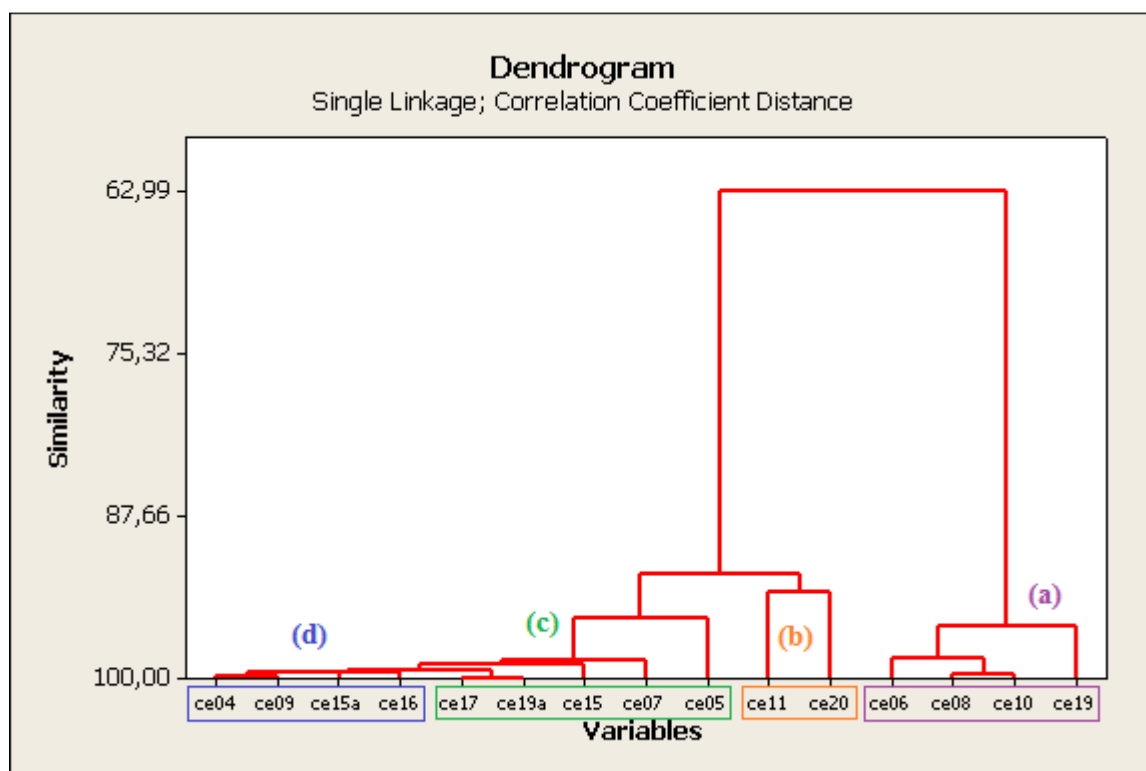


Figura 2. Análise de Cluster.

Dessa forma, é possível separar as curvas de reflectância segundo um padrão de similaridade. A Figura 3 mostra os grupos de curvas definidos de acordo com a análise de cluster. As curvas apresentadas na Figura 3 mostram, também, o resultado da aplicação do filtro por média móvel, usada na remoção do ruído das curvas de reflectância originais.

Foram analisadas as assinaturas espectrais do Grupo a (Figura 3a) e verificou-se que elas apresentam algumas feições características de águas com presença de clorofila, com alta reflexão no intervalo de comprimento de onda da luz verde e absorção no vermelho, próximo a 680 nm. O pequeno pico próximo a 700 nm (*Red Edge*) presente nessas curvas também está associado à presença do pigmento clorofila (Goodin et al., 1993). No restante do intervalo do infravermelho próximo analisado, observa-se alta absorção pela água. Esses pontos se caracterizam por não apresentarem plantas aquáticas submersas.

Os pontos Grupo b (Figura 3b) apresentam um padrão de curvas semelhantes, ambas com presença de *Egeria najas* totalmente submersa. Verifica-se nesses pontos uma reflexão maior no comprimento da luz verde e um pico de absorção em 680 nm. Este agrupamento se diferencia dos demais por apresentar uma alta reflectância no início do infravermelho próximo seguido de alta absorção.

As curvas do Grupo c (Figura 3c) apresentam padrões diferentes, com baixa reflectância entre 400 a 700 nm, uma alta inflexão no início do infravermelho próximo e uma absorção

acentuada em torno de 735 nm. Essa absorção segue até aproximadamente 768 nm, havendo uma alta inflexão, com um pico por volta de 805 nm. Apresentam, também, curvas de reflexão na região da luz verde, associado à clorofila. A alta reflectância próxima ao intervalo de 700 a 720 nm, geralmente, está relacionada a sólidos em suspensão e clorofila (Barbosa, 2005; Han, 1997). Essas curvas apresentam uma feição de absorção em 680 nm, também associado à clorofila.

Os pontos ce05 e ce07, pertencentes ao Grupo c, são ambientes com predominância de *Ceratophyllum sp*, sendo que no ponto ce07 há presença de algas. Os pontos ce17 e ce19a, agrupados no primeiro grau de hierarquia, são ambientes com predominância de *Egeria najas*.

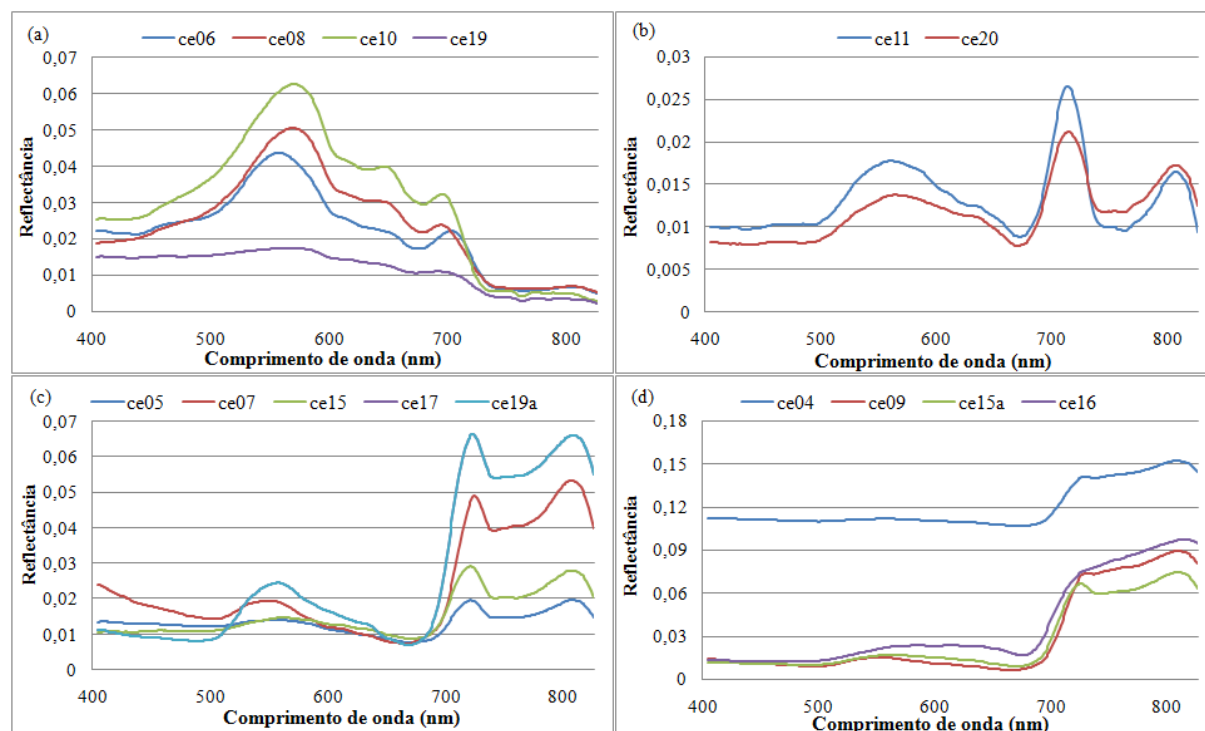


Figura 3. Curvas suavizadas com filtro média móvel com 9 pontos.

As curvas Grupo d (Figura 3d) apresentam outro padrão de curvas espectrais, com baixa reflexão entre 400 a 700 nm e alta reflexão no intervalo do infravermelho analisado. O ponto ce04 se diferencia das demais por apresentar valores de reflectância maiores. Os ambientes desses pontos possuem alta densidade de *Cerathophyllum sp*, que se encontram próximos da superfície da água, resultando em curvas espectrais que se assemelham mais à da vegetação do que da água. A região, onde se localiza o ponto 15a predomina a espécie *Cabomba sp*.

O ponto ce16 se destaca por apresentar algumas feições relacionadas à clorofila mais acentuadas, como absorção em 680 nm. Nesse ponto predomina a espécie submersa *Cabomba sp*, em seu estágio fenológico final e muitas algas. Observa-se uma alta reflexão tanto no verde e no vermelho, em comparação às demais curvas do seu agrupamento, com uma curva suave próximo a 680 nm, e uma alta reflectância no infravermelho (sem o pico de absorção próximo a 730 nm), com outro pico em 810 nm, associada à matéria-orgânica (Rundquist et al., 1996).

Verifica-se nas curvas da primeira derivada para o Grupo a (Figura 4a) um pico negativo próximo comprimento de onda de 593 nm para os pontos do Grupo a. O pico negativo por volta de 600 nm está associado à clorofila (Rundquist et al., 1996). Apresentam, também, um pico positivo em 530 e 680 nm, pontos do espectro referentes à presença de clorofila (Goodin et al., 1993). Esses pontos são áreas que se caracterizam pela ausência de plantas aquáticas.

As curvas do Grupo b (Figura 4b) também possuem um pico de reflexão em torno de 515 nm (luz verde). Reflexões nesta região se devem a presença de clorofila. Além desse agrupamento, os pontos ce07 e ce19a, pertencentes ao Grupo c (Figura 4c), e os pontos ce09, ce15a e ce16, do Grupo d (Figura 4d) também apresentam essa feição de reflexão no comprimento do verde. No Grupo a, essa feição se encontra deslocada para o comprimento de onda de 530 nm. Assim, acredita-se que as curvas que não apresentam essa feição possuem uma concentração de clorofila menor em relação às outras.

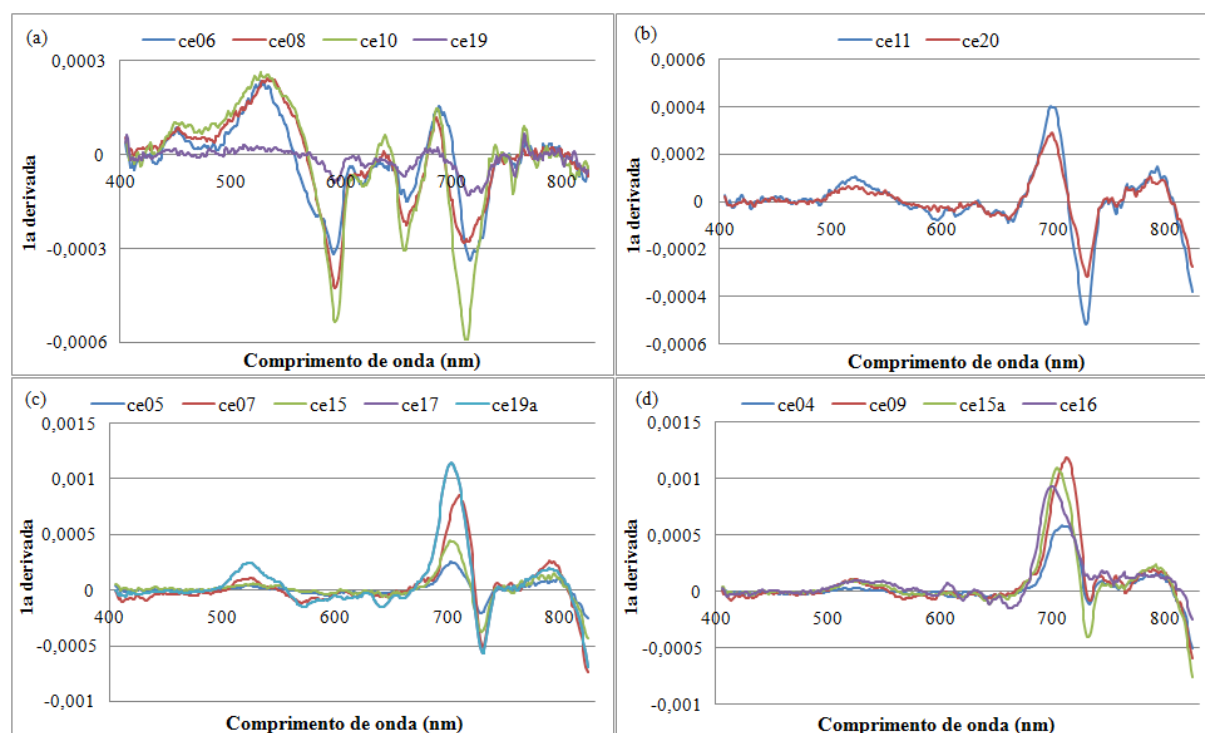


Figura 4. Primeira derivada.

Nas curvas representadas na Figura 4, verifica-se que, com exceção da curva do ponto ce16 (Figura 4d), as curvas de todos os agrupamentos apresentam um pico positivo em torno do comprimento de 700 nm, as curvas cruzam o eixo do zero, formando próximo a 725 nm um pico negativo. O pico negativo por volta de 720 nm relacionado à reflectância máxima no infravermelho próximo, associado à presença de clorofila (Rundquist et al., 1996) ou de total de sólidos suspensos (Barbosa, 2005). Segundo a literatura, quanto maior o pico negativo nesse comprimento de onda maior é a concentração de total de sólidos suspensos (TSS).

Ao analisar as curvas da segunda derivada (Figura 5), verifica-se que, com exceção dos pontos Grupo a, todas apresentam praticamente um mesmo padrão, com picos no comprimento de onda no final da luz vermelha e próximo a 750 nm, e um pico de negativo por volta de 710 nm.

Na Figura 5a, a curva da segunda derivada do ponto ce19 não foi representada, por ela apresentar um comportamento aleatório, que impossibilita a extração de informação. Os pontos ce06, ce08 e ce10 (Figura 5a) apresentam um pequeno pico positivo, aproximadamente, sobre o comprimento de onda de 660 nm e outro negativo em 710 nm, feições características de clorofila algal (Goodin et al., 1993, Barbosa, 2005). A feição de reflexão em 695 nm, associada à clorofila (Goodin et al., 1993) é encontrada em todas as curvas da derivada de ordem dois dos agrupamentos analisados. Outros pontos, que não pertencem necessariamente à mesma classe de curvas, também aparentam apresentar um

pico negativo por volta de 660 nm, na segunda derivada, sendo eles: ce11 e ce20 (Figura 5b), ce19a (Figura 5c) e ce16 (Figura 5d).

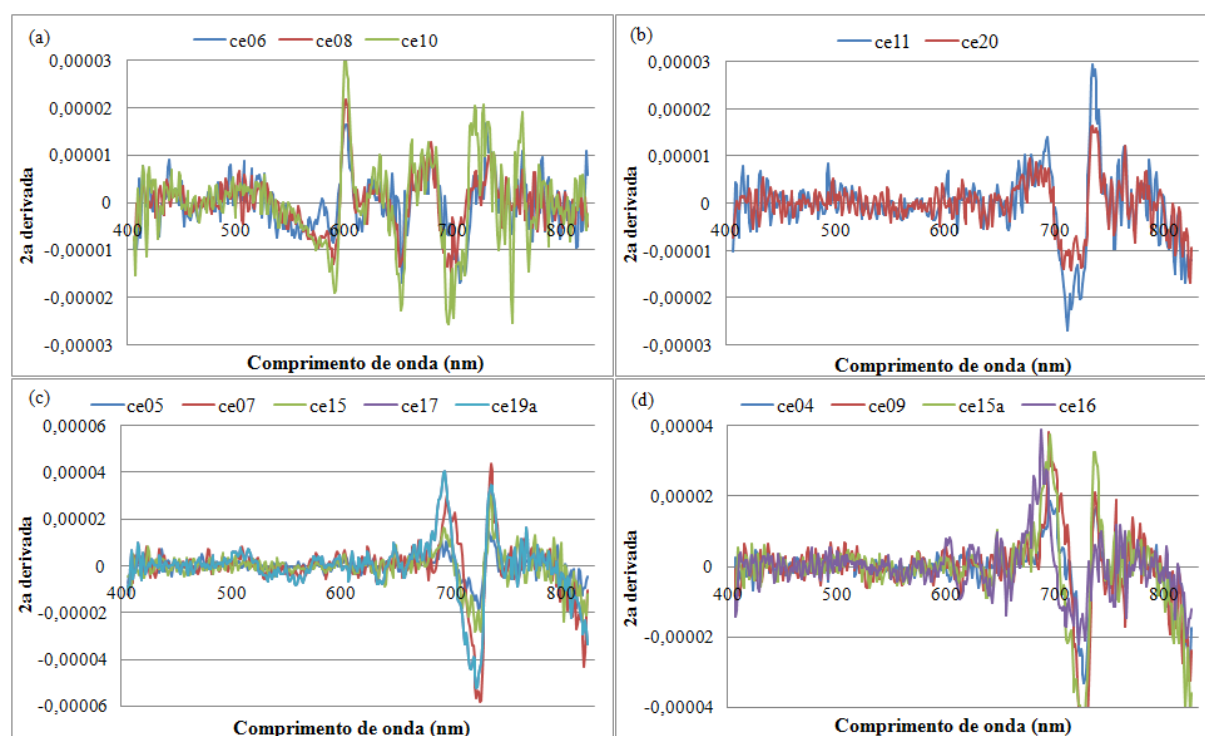


Figura 5. Segunda derivada.

Os Grupos b (Figura 5b), Grupo c (Figura 5c) e Grupo d (Figura 5d) apresentam feições associadas à clorofila em comprimento de ondas similares, com dois picos positivos, em 690 nm e 736 nm, e um pico negativo em 720 nm. No restante do espectro analisado, as curvas possuem um comportamento ruidoso, do qual não é possível extrair informação associada a algum componente opticamente ativo.

#### 4. Conclusões

A partir deste trabalho, verificou-se que a análise derivativa apresentou um bom desempenho na identificação de feições associadas à clorofila, tanto na primeira quanto na segunda derivada – específica para análise desse pigmento. A primeira derivada também permitiu identificar feições relacionadas a TSS.

O ponto ce04 apresenta os maiores valores de reflectância em todo o espectro analisado, sempre superiores a 0,1, caracterizando o ambiente onde há predominância da espécie submersa *Ceratophyllum* alcançando a superfície d'água. O ponto ce09 apresenta um padrão semelhante de curva em relação ao ponto ce04. No entanto, verifica-se que nas curvas do ponto ce04 os valores de reflectância são menores e o gradiente entre o vermelho e o infravermelho é maior. As diferenças identificadas podem estar relacionadas às características das plantas submersas presentes em cada um dos locais: *Ceratophyllum sp.*, no ponto ce04, e *Egeria najas* com presença de algas, no ponto ce09.

Os pontos do Grupo a não apresentam visualmente plantas aquáticas submersas, mas apresentam feições associadas a corpos d'água com presença de clorofila. Há uma maior reflexão na região entre 400 a 700 nm e alta absorção no infravermelho, típico para corpos d'água. Foram os únicos pontos onde se identificou feições associadas à clorofila, nas curvas da segunda derivada – 600 e 710 nm. Além disso, esses pontos se destacam por apresentarem

um pico da região do *red edge* (700 nm), na curva de reflectância, também relacionado ao pigmento fotossintetizante.

A curva de reflectância do ponto cel6 é o que mais se diferencia dos demais. Caracterizado pela presença de *Cabomba* no estágio senescência, encontra-se nesta região muitas plantas aquáticas emersas e algas. A morte das plantas submersas pode estar relacionada à competição e a fragilidade desta planta em relação às algas. Essa característica da planta faz com que o pico de absorção ao redor de 730 nm, típico de áreas com plantas submersas aflorando na superfície, desapareça.

Por fim, conclui-se que os dados hiperespectrais, bem como as informações extraídas de suas derivadas, permitiram identificar padrões de ambientes aquáticos no reservatório de Nova Avanhandava. Enfim, pode-se concluir que a resposta espectral desses diferentes alvos possui características próprias que podem contribuir para a obtenção de dados que caracterizem regiões com a presença desses tipos de vegetação.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à FEPAF (Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas pelo auxílio financeiro para a realização do levantamento de dados em campo. Agradecimentos ao CNPq pela bolsa de mestrado.

### **Referências Bibliográficas**

BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água no sistema planície de Curuai/Rio Amazonas. 2005. 281f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ENNES, R. Potencial das imagens hiperespectrais orbitais na detecção de componentes opticamente ativos no reservatório de Itupararanga. 2008. 125f. Dissertação (Mestre em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente.

GOODIN, D. G.; HAN, L.; FRASER, R. N.; RUNDQUIST, C.; STEBBINS, W. A.; SCHALLES, J. F. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution derivative spectra. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Vol. 59, n. 4, p. 505 – 510, 1993.

HAN, L. Spectral reflectance with varying suspended sediment concentrations in clear and algae-laden waters. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Tuscaloosa, v. 63, n. 6, p. 701 – 705, jul. 1997.

RUNDQUIST, D. C.; HAN, L. H.; SCHALLES, J. F.; PEAKE, J. S. Remote measurement of algal chlorophyll in surface waters: the case for the first derivative of reflectance near 690 nm. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. FEB, 1996. p. 195-200.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.