

Características espectrais de uma floração de cianobactérias no Reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS

André Luis Domingues¹
Waterloo Pereira Filho²
Maria Angélica Oliveira³
Flávio Wachholz⁴
Rosana Corazza⁵
Daniela Wancura Barbieri⁶

^{1,2,5,6} Universidade Federal de Santa Maria -UFSM
Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE
Laboratório de Geotecnologias/Departamento de Geociências
97.105-900 – Santa Maria – RS, Brasil
^{1,2,6}{eng.domingues; waterloopf; daniwbarbieri}@gmail.com
⁵Corazza_ro@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Biologia – Prédio 16 – 97105-900 – Santa Maria - RS, Brasil
angelica@oliveira.com

⁴Programa de Pós-Graduação em Geografia – UNESP/RC
fwalemao@gmail.com

Abstract. New advances of remote sensing techniques, allied to knowledge of algal taxonomy and their photosynthetic pigments add an important contribution to the monitoring of cyanobacterial blooms in reservoirs, with the advantage of obtaining information on water systems at a regional scale, and a synoptic perspective of the environment. Studies regarding the identification of spectral signatures of algal blooms in aquatic systems however, are still scarce. The present study aimed at identifying spectral patterns of photosynthetic pigments in water during a cyanobacterial bloom in the Rodolfo Costa e Silva Reservoir. Field data were obtained by spectroradiometry and also collection of water and phytoplankton samples at 11 sampling sites across the reservoir. Water spectra, concentration of chlorophyll a and information on density and composition of the blooming phytoplankton community were obtained. Phytoplankton analysis was carried out through optical microscopy using the Utermöhl technique. Three cyanobacterial genera were identified (*Dolichospermum*, *Aphanotece* and *Microcystis*) in high densities, from 22.162 cel/mL to 191.858 cel/mL. Also, high chlorophyll a concentrations were registered, varying from 12,63 µg/L to 53,05 µg/L. Interesting patterns were identified in the spectra, such as the typical spectral patterns of phycocyanin and chlorophyll a. These patterns are of important use in diagnosing cyanobacterial blooms on reflectance spectra, particularly the phycocyanin signature, which reveals the presence of high cyanobacterial densities.

Palavras-chave: remote sensing, phycocyanin, chlorophyll a, sensoriamento remoto, ficocianina, clorofila a

1. Introdução

As cianobactérias ocorrem naturalmente como componentes da comunidade do fitoplâncton de águas doces, mas estão frequentemente associadas à eutrofização dessas águas. Segundo Falconer (1999) a dominância de cianobactérias induz potenciais efeitos negativos sobre a qualidade ambiental da água como redução da transparência, aumento da produção primária, redução da biodiversidade, e conseqüentemente a deterioração da qualidade da água, devido a produção de potentes toxinas, as cianotoxinas.

Calijuri *et al.*,(2006) define florações algais como sendo resultado da interação de fatores físicos, químicos e bióticos, caracterizadas por crescimento explosivo, autolimitante e de curta

duração dos microorganismos de uma ou de poucas espécies, frequentemente produzindo visíveis colorações nos corpos de água naturais.

Com o aumento da ocorrência de florações de cianobactérias no Brasil (Cybis *et al.*, 2006), principalmente em reservatórios de abastecimento, e o potencial risco a saúde humana, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas e tecnologias que facilitem o monitoramento e o estudo da dinâmica das florações.

Os avanços das técnicas de sensoriamento remoto aliado ao conhecimento da taxonomia de algas e de seus pigmentos fotossintetizantes podem contribuir para estudos relacionados à identificação de algas presentes em um determinado corpo d'água (Londe *et al.* 2005). Esta ferramenta pode ainda fornecer uma visão sinótica do ecossistema, adquirindo informações em escala regional e temporal. Possibilitando o monitoramento de florações em grandes áreas como lagos, áreas costeiras e oceanos (Richardson, 1996).

Isso é possível porque em muitas algas os pigmentos acessórios são importantes taxonomicamente (Lee, 1999). Portanto a detecção de um específico pigmento acessório em sistemas aquáticos pode revelar o tipo de alga presente, porque cada pigmento é caracterizado por uma única feição de absorção da luz (Foppen, 1971; apud Richardson 1996). A detecção de específica feição óptica pode discriminar pigmentos individuais e então permitir a avaliação da população de algas (Richardson, 1996).

1.1 Pigmentos e algas

Existem aproximadamente 100 pigmentos de algas identificados. Estes pigmentos dividem-se em três categorias: clorofilas, carotenóides e ficobiliproteínas (também chamados de ficobilinas) (Richardson, 1996). Todas as algas possuem clorofila *a*, pigmento que tem por característica dois picos de absorção, um no azul (433nm) e outro no vermelho (686nm). Existem vários tipos de clorofilas, incluindo clorofila *b*, *c₁*, *c₂*, *c₃* e *d*. Todas com colorações verdes e com espectros de absorção similares ao da clorofila *a* (Richardson, 1996; Kirk, 1993).

Dentre as clorofilas existentes, as cianobactérias possuem somente a clorofila *a*. O carotenóide diagnóstico do grupo é a myxoxantofila, que é encontrado exclusivamente em cianophytas. Além desses pigmentos, as cianobactérias possuem três tipos de ficobilinas que são muito importantes: a ficocianina, a ficoeritrina e a aloficocianina. Estes possuem máxima absorção entre 550nm e 650nm, normalmente como um único pico (Richardson, 1996). Os diferentes pigmentos e a sua distribuição nos grupos de algas estão na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição dos pigmentos entre os principais grupos de algas. Adaptado de Richardson (1996) e Londe *et al.* (2005).

Grupo de algas (nome comum)	Clorofilas	Carotenóides	Ficobilinas
Cyanophyta (algas azuis)	<i>a</i>	myxoxantofilas oxcilaxantina zeaxantina β -caroteno flavicina	aloficocianina ficocianina ficoeritrina
Chlorophyta (algas verdes)	<i>a</i> <i>b</i>	luteína β -caroteno sifoxantina	
Crysophyta (incluido diatomáceas)	<i>a</i> <i>c</i> ₁ , <i>c</i> ₂	fucoxantina zeaxantina β -caroteno	
Pyrrophyta (dinoflagelados)	<i>a</i> <i>c</i> ₁ , <i>c</i> ₂	peridininina fucoxantina	
Cryptophyta	<i>a</i> <i>c</i> ₁	aloxantina zeaxantina	ficocianina ficoeritrina
Euglenophyta	<i>a</i> <i>b</i>	sifonoxantina β -caroteno	
Rhodophyta	<i>a</i>	β -caroteno	aloficocianina ficocianina ficoeritrina

Todos os pigmentos algais absorvem maximamente entre 400 e 700 nm, porção do espectro eletromagnético que é comumente referida como RFA (radiação fotossinteticamente ativa). Os diferentes pigmentos presentes nas células algais influenciam no comportamento espectral, formando padrões característicos de absorção e de reflectância. O espectro de reflectância de uma alga em particular é chamado de assinatura espectral e pode ser medido em unidades de energia (radiância) (Richardson, 1996). A Figura 1 traz exemplos de assinaturas espectrais de diferentes concentrações de *Microcystis aeruginosa*.

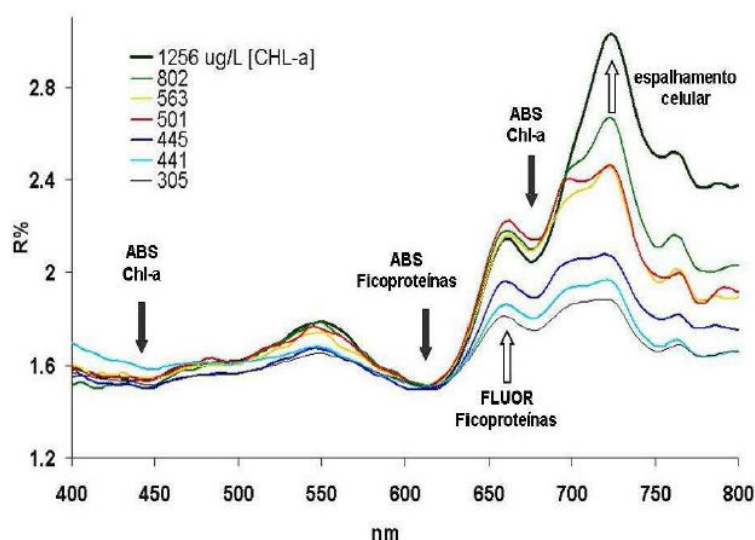


Figura 1. Exemplo da assinatura espectral da cianobactéria *Microcystis aeruginosa*, resultado do experimento realizado em tanques com diferentes concentrações da cianobactéria e espectrorradiometria. Fonte: Lobo *et al.* (2009).

O reservatório Rodolfo Costa e Silva localiza-se no limite entre os municípios de Itaara e São Martinho da Serra, na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Mais

precisamente, entre as coordenadas geográficas: 29°29'01" a 29°30'56" de Latitude Sul e 53°43'32" a 53°45'29" de Longitude Oeste. Possui uma área alagada atual de aproximadamente 275 hectares e é responsável por 60% do abastecimento de água do município de Santa Maria. Suas águas são oriundas da captação e drenagem da bacia hidrográfica do alto curso do Rio Ibicui-Mirim.

Devido à importância deste reservatório para a região, estabeleceu-se como objetivo do trabalho, identificar padrões espectrais de pigmentos fotossintetizantes presentes na água em uma floração de cianobactérias que ocorrera no dia 13 de janeiro de 2010.

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia consistiu em obter dados de espectrorradiometria de campo e informações do fitoplâncton presente na floração de cianobactérias, tais como, espécies dominantes, suas concentrações na água e a concentração de clorofila *a*. A identificação do táxon envolvido na floração e seus pigmentos característicos permitiu a comparação de assinaturas espectrais e feições conhecidas dos pigmentos com as feições obtidas na espectrorradiometria da floração.

2.1 Aquisição dos dados espectrais e limnológicos

Para a obtenção dos dados espectrais e limnológicos, foi realizada uma campanha de campo no dia 13 de janeiro de 2010, quando foram coletados em 11 estações amostrais (EAs) dados de espectrorradiometria de campo, amostras de água e de rede de plâncton. As amostras de água foram destinadas para estimativa da concentração do fitoplâncton e clorofila *a*, as amostras de rede foram utilizadas na identificação das algas.

A amostragem de campo foi realizada entre 9h e 16h (horário local) para minimizar efeitos de geometria de iluminação durante a aquisição dos dados espectrais. O espectrorradiômetro foi posicionado sobre cada ponto de coleta, com orientação de 90° de azimute solar e 45° de inclinação do sensor em relação à vertical e a uma altura de aproximadamente 1 m acima do nível da água. Rudolf *et. al.* (2007) utilizaram metodologia semelhante para águas de planícies de inundação na Amazônia Central.

Os dados de campo foram obtidos com espectrorradiômetro FieldSpec® Hand Held, com resolução espectral de 1 nm. As leituras de calibração foram realizadas em placa de referência de spectralon. Em cada estação amostral foram feitas 10 leituras de radiância da água.

A coleta das amostras de água para estimativa da concentração do fitoplâncton e da clorofila *a* foi realizada com frascos de polietileno de 2 litros, em superfície d'água. Em laboratório foram retiradas alíquotas de 300 mL de cada amostra para determinação da clorofila *a*, sendo extraída em metanol, conforme descreve Mackinney (1941) e medida em espectrofotômetro. O volume restante de cada amostra foi destinado à contagem do fitoplâncton, para isto, cada amostra foi preservada com solução lugol, sedimentada em câmaras por 48 horas e contadas em microscópio invertido Motic, pela técnica proposta por Utermöhl (1958); apud Bicudo e Bicudo (2004). A contagem foi realizada em campos aleatórios, conforme proposto por Uehlinger (1964); apud Bicudo e Bicudo (2004).

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização do fitoplâncton

As comunidades fitoplanctônicas encontradas nas 11 estações amostrais (EAs) são compostas basicamente por três gêneros (*Aphanotece*, *Dolichospermum* e *Microcystis*) que pertencem a classe Cyanophyceae. Dentre as populações encontradas, a população formada pela espécie *Aphanotece cf. minutissima* foi dominante em 100% das amostras coletadas. Os gêneros *Dolichospermum* e *Aphanotece* foram identificados em todas as amostras coletadas.

Já o gênero *Microcystis* foi identificado apenas na amostra da EA12. Os três gêneros identificados são potencialmente tóxicos a saúde humana.

A concentração do fitoplâncton variou bastante entre as estações amostrais (EAs), com o valor mínimo de 22.162 cél/mL na EA19, localizada mais ao norte do reservatório e o valor máximo de 191.858 cél/mL na EA4, localizada mais ao sul do reservatório (próximo ao dique). Porém verificou-se um valor muito elevado destes organismos em todas as EAs, caracterizando-se assim um evento de floração. Esta variação pode ser observada na Figura 2.

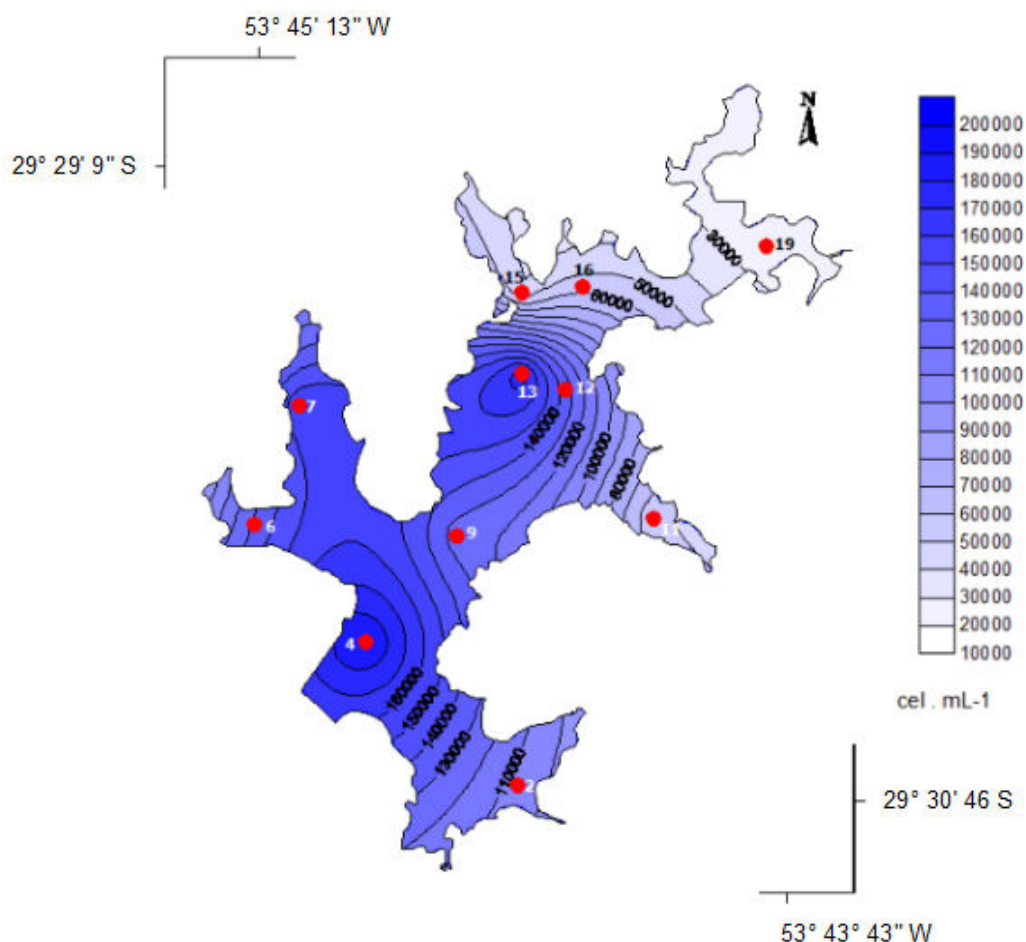


Figura 2. Mapa do Reservatório Rodolfo Costa e Silva representando as estações de coleta (em vermelho) e a variação das concentrações de cianobactérias no dia 13 de janeiro de 2010.

3.2 Clorofila *a*

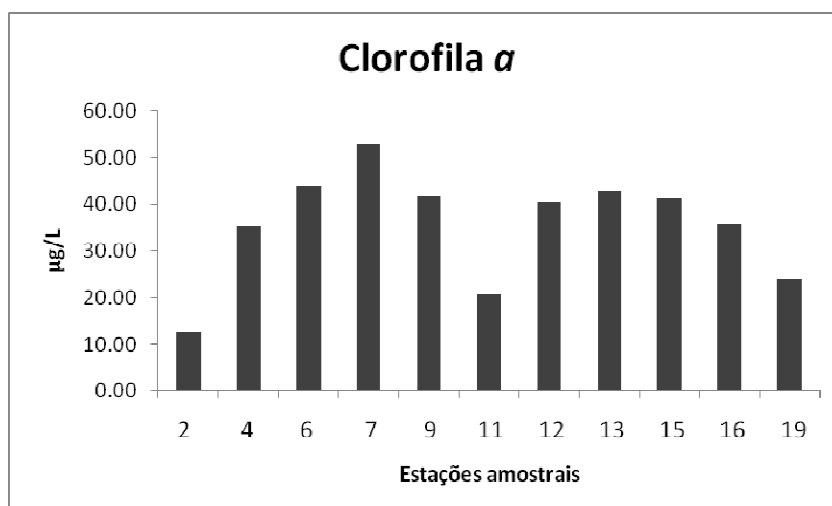


Figura 3. Variação da concentração de clorofila *a* nas 11 estações amostrais do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, no dia 13 de janeiro de 2010.

As estações amostrais com as menores concentrações de clorofila *a* foram a EA2, EA11 e EA19, com valores variando entre 12,63 µg/L e 24,00 µg/L. Já as estações amostrais com as concentrações de clorofila *a* mais elevadas foram EA4, EA6, EA7, EA9, EA12, EA13, EA15 e EA16, com valores variando entre 35,36 µg/L e 53,05 µg/L, Figura 3.

3.3 Análise do comportamento espectral

Todos os espectros de reflectância apresentaram um padrão semelhante, com uma baixa reflectância na banda espectral do azul e do vermelho e aumento da reflectância na banda espectral do verde. A baixa reflectância na banda azul (próximo a banda “Soret”, 433nm) pode estar sofrendo a influência da clorofila *a*, presente em elevadas concentrações nas águas do reservatório. Pelo mesmo motivo explica-se o aumento da reflectância na banda espectral do verde. A baixa reflectância na banda espectral do vermelho ocorre devido a presença das ficobilinas, presentes nas cianobactérias e que segundo Richardson (1996) são conhecidas pela sua máxima absorção entre 550 nm e 650 nm. Lobo et al. (2009) encontram feição semelhante na banda do vermelho, em experimento realizado em tanques contendo diferentes concentrações da cianobactéria *Microcystis aeruginosa*, Figura 1. A ficocianina em especial, apresenta um pico de absorção entre 615-630 nm, conforme Londe *et al.* (2005). Este pico de absorção é identificado em todos os espectros das amostras avaliadas. A clorofila *a* também é responsável pela baixa reflectância que ocorre na banda do vermelho, mais especificamente por um pico de absorção que ocorre entre 675nm e 686nm, conhecido como pico “alpha”. Os espectros obtidos nas 11 estações amostrais podem ser visualizados na Figura 4.

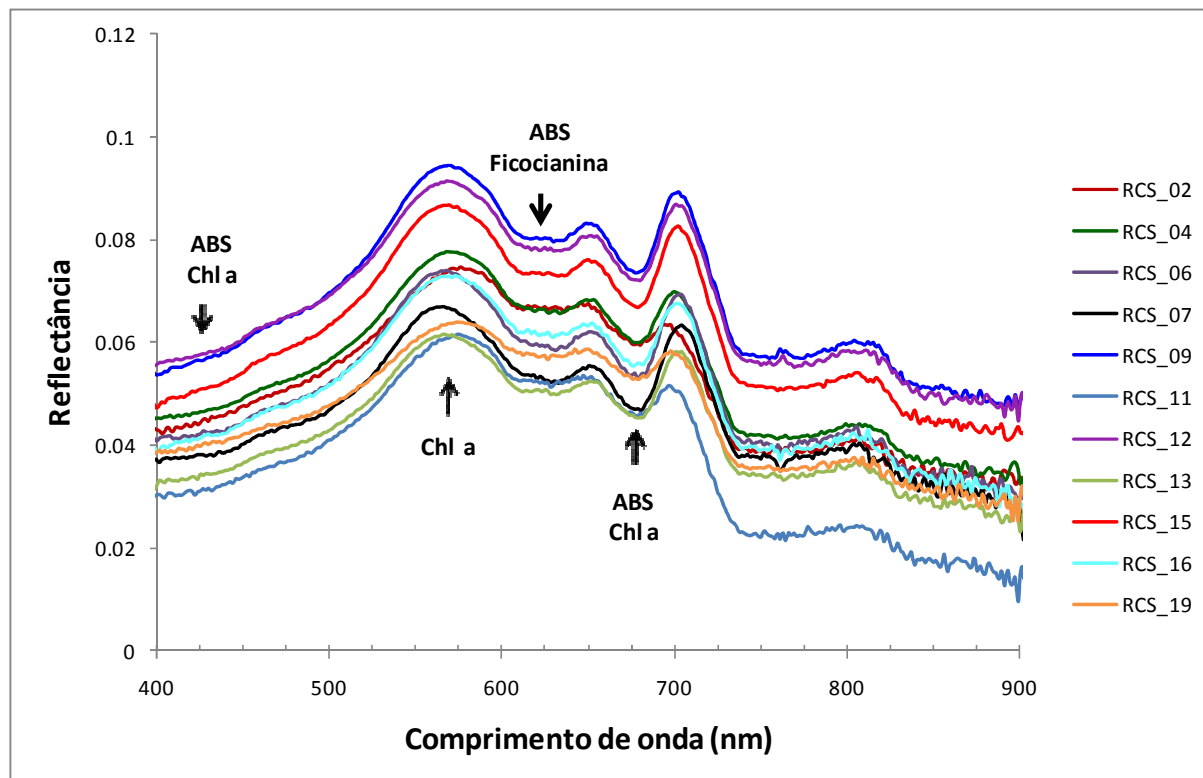


Figura 4. Espectros de reflectância da água, obtidos nas 11 estações amostrais do Reservatório Rodolfo Costa e Silva no dia 13 de janeiro de 2010. Setas indicam as bandas de absorção (ABS) e picos de reflectância para os pigmentos Clorofila *a* (Chl *a*) e ficocianina.

Num comparativo entre os pontos de maior e menor concentração de clorofila *a*, observou-se que a amplitude entre o pico de absorção da clorofila *a* em 675 nm e o pico de reflectância no início da banda do infravermelho próximo (700-710 nm) fica mais evidente quanto maior a concentração de clorofila *a* e menos evidente quanto menor a concentração de clorofila *a*, Figura 5.

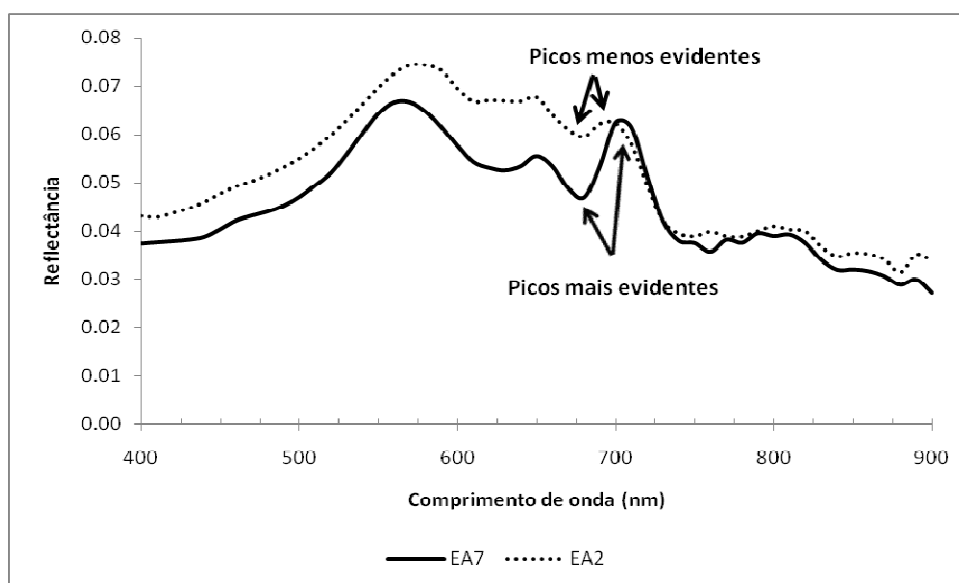


Figura 4. Espectros de reflectância da estação amostral com menor (EA2) e maior concentração de clorofila *a* (EA7). Setas indicam a diferença de amplitude entre os espectros, nas bandas de absorção (675nm) e espalhamento (700-710nm) da clorofila *a*.

4. Conclusões

As feições características da ficocianina (625-630 nm) e da clorofila *a* (670-686 nm), foram identificadas, e revelam a presença de fitoplâncton na água do Reservatório Rodolfo Costa e Silva. Em especial a feição da ficocianina, na qual, qualifica a informação, identificando a presença das cianobactérias. Esta informação é corroborada com a identificação das cianofíceas como classe dominante e por sua elevada concentração de células na água. As elevadas concentrações de gêneros potencialmente tóxicos de cianobactérias nas águas do Reservatório Rodolfo Costa e Silva alertam sobre o risco destes organismos para a população abastecida por este manancial.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), processo 474812/2007-1, pelo auxílio financeiro para realização deste trabalho e ao FIT (Fundo de Incentivo à Inovação Tecnológica) e a Pró Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de Santa Maria pela concessão da bolsa de iniciação à inovação tecnológica (BIT) fornecida ao acadêmico André Luis Domingues.

Referências Bibliográficas

- Bicudo, C.E.B.; Bicudo, D.C. **Amostragem em limnologia**. São Carlos: RiMa, 2004. 371p.
- Calijuri, M. do C.; Alves, M.S.A.; Dos Santos, A.C.A. **Cianobactérias e Cianotoxinas em Águas Continentais**. São Carlos: RiMa, 2006. 109 p.
- Cybis, L.F.; Bendati, M.M.; Maizonave, C.R.M.; Werner, V.R.; Domingues, C.D. **Manual para estudo de cianobactérias pantônicas em mananciais de abastecimento público: caso da represa Lomba do Sabão e lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 64 p.
- Falconer, I.R. An Overview of Problems Caused by Toxic Blue–Green Algae (Cyanobacteria) in Drinking and Recreational Water. **Environ Toxicol**, v. 14, p. 5-12, 1999.
- Kirk, J.T.O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. 509 p.
- Lee, R.E. **Phycology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 614 p.
- Lobo, F. L.; Yunes, J.S.; Barbosa, C.C.; Londe, L.R.; Pereira Filho, W.; Theil, C.I.; Novo, E.M.L.M. Propriedades da reflectância de *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) manipulada em altas concentrações de pigmentos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 4747-4754. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.17.59/doc/4747-4754.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2010.
- Londe, L. R.; Novo, E. M. L. M.; Calijuri, M. do C. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 389-396. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.18.09.49/doc/389.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2010.
- Mackinney, G. Absorption of light by chlorophyll solutions. **J Biol Chem**, v. 140, p. 315–322, 1941.
- Richardson, L.L. Remote Sensing of Algal Bloom Dynamics: New research fuses remote sensing of aquatic ecosystems with algal accessory pigment analysis. **BioScience**, v. 46, n. 7, p. 492-501, 1996.
- Rudorf, C.M.; Novo, E.M.L.M., Galvão, L.S.; Pereira Filho, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 269-280, 2007.

