

Reflectância associada a diferentes classes de algas

Waterloo Pereira Filho¹
Ana Vestena Cassol¹
Felipe Correa dos Santos²
Maria Angelica Oliveira¹

Laboratório de Geotecnologias do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria
(LABGEOTEC/UFSM)

¹{waterloopf; anapvcassol; angelcure}@gmail.com

²{felipecorrea_rs}@hotmail.com

Abstract: The color of the water is one of the main variables of aquatic environments that can be evaluated by remote sensing resources. The presence of algae defines, in a general way, a coloring associated to vegetation patterns. This work had the goal of identifying variations on the spectral responses of water associated to different types of algae. The study was developed in the Hydroelectric Power Plant of Itaúba in the Jacuí river in the state of Rio Grande do Sul. Two field missions were performed, in which water samples were collected and their reflectances identified. The field missions were performed in August 31, 2012 and in February 27, 2013. Based on the water samples, taxonomical analysis of the phytoplankton communities were carried out and the number of cells per mL were quantified. In the august mission, there has been a majority of the *Dinophyceae* class along with the registration of an unseen case of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans blooming, and in the mission of February the highest density was of *Cyanophyceae*. The reflectance spectra registered significant differences in the patterns of spectral curve in function to different algae classes domainance. The most intense presence of *Dinophyceae* and *Chlamydomphyceae* showed a pattern of spectral response in the region of 710 and 806 nm.

Palavras-chave: reservóir, remote sensing, algae, reservatório; sensoriamento remoto, algas.

1. Introdução

A proliferação de algas representa uma ameaça significativa e crescente para os sistemas aquáticos, uma vez que deteriora a qualidade da água para usos humanos e ecológicos. Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para detectar as propriedades ópticas das algas (Brando e Dekker, 1993; Han e Rundquist, 1997; Kutser, 2004). A utilização de imagens de sensores remotos e em campo para estudar florações de algas é baseada no fato de que os pigmentos de algas afetam a cor da massa de água (Folkestad et al., 2007; Lobo et al., 2009). A cor da água em lagos resulta principalmente do material orgânico e inorgânico presente no volume de água.

A presença de algas é uma das principais situações que proporciona a determinação da cor da água. Sendo a clorofila-*a* um dos principais responsáveis pela fotossíntese, o conhecimento de sua concentração pode dar indicações da biomassa do fitoplâncton (Rundquist et al., 1996; Esteves, 1998). Em trabalhos realizados por Rundquist et al. (1996), Han (1997) é destacado que a clorofila define uma feição de absorção definida região espectral centrada em 690 nm. Outras faixas espectrais também são apresentam padrões associadas a presença de clorofila, como é o caso da também forte absorção na faixa espectral correspondente ao azul de 400 a 500 nm e, ainda, na faixa do visível o aumento de reflectância no verde em relação aos demais comprimentos de onda desta faixa espectral, com pico de reflectância em 550 nm (Gitelson 1992). Em condições de altas concentrações de clorofila também é observado aumento de reflectância entre 690 a 700 nm (Rundquist et al. 1996). Gitelson (1992) destaca, ainda, que ocorre um deslocamento em direção de comprimento de onda maior em função do aumento na concentração de clorofila-*a* na vizinhança de 700 nm.

As algas absorvem de forma diferenciada a energia de cada comprimento de onda em função dos grandes grupos aos quais pertencem. Somente a variável clorofila pode não

explicar completamente as feições de absorção e a intensidade de reflectância em cada comprimento de onda. Diante do exposto, o presente trabalho teve o objetivo de identificar as principais características espectrais associadas a diferentes classes de algas.

2. Metodologia de Trabalho

O estudo foi desenvolvido no reservatório da Usina Hidroelétrica (UHE) de Itaúba Este pertence a uma série em cascata do rio Jacuí localizado no Rio Grande do Sul. A UHE Itaúba pode gerar 500 MW e possui 13,29 Km² de área alagada (CEEE, 2014).

As missões de campo foram realizadas nos dias 31 de agosto de 2012 e 27 fevereiro de 2013. Nos trabalhos de campo foram coletadas amostras de água em quatro estações amostrais. Em cada estação foram obtidas amostras em sub-superfície. Em laboratório foi realizada taxonomia e a determinação da densidade de algas em células por mL. Em campo, ainda, foram levantados os espectros de reflectância. Para um melhor desempenho das leituras espectrais os trabalhos foram realizados entre 10:00 e 15:00 horas. Os dados espectrais foram obtidos com o uso do espectrorradiômetro *FieldSpec® HandHeld* com faixa de operação entre 325 nm a 1.075 nm e *Field of View* (FOV) de 25°. A metodologia de coleta dos espectros de reflectância para a superfície da água seguiu o procedimento descrita em Steffen (1996). A aquisição da reflectância respeitou a inclinação de 45° em relação à superfície da água e 90° em relação ao azimute do sol. O processamento dos dados espectrais foi realizado com o uso do programa computacional ViewSpecPro versão 5.6.

A amostragem do reservatório foi realizada a partir de quatro estações de coleta de dados. A distribuição espacial das estações amostrais obedeceu ao critério de representar os diferentes compartimentos aquáticos do reservatório. Duas estações amostrais representam o leito principal, uma próxima ao dique e outra em setor intermediário do lago. As outras duas estações foram assim distribuídas: uma localizada na parte alagada do rio Ivaí e outra do rio Jacuí. A distribuição espacial das estações amostrais pode ser verificada na Figura 1.

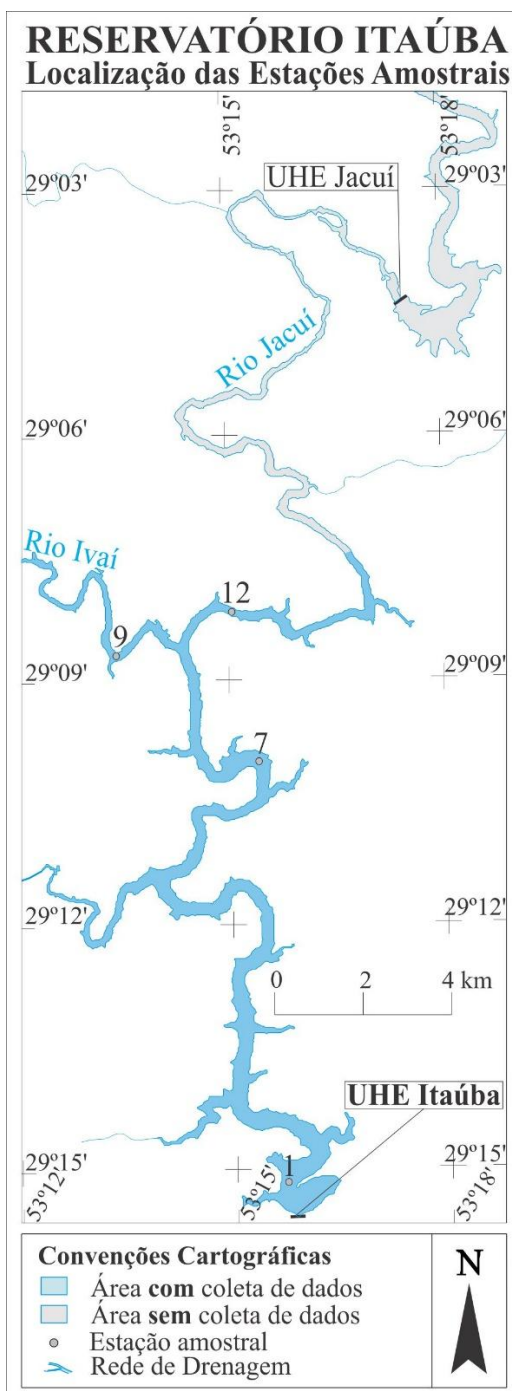


Figura 1. Distribuição espacial das estações amostrais no reservatório Itaúba – Rio Jacuí - RS

3. Resultados e Discussão

A realidade encontrada em cada missão de campo foi diferenciada quanto à riqueza de microalgas. Em agosto houve o domínio de *Dinophyceae* enquanto que em fevereiro houve o domínio de *Cyanophyceae* sobre as demais classes. A estatística básica das principais classes de algas é apresentada no Quadro 1. Observa-se que na missão de agosto destacam-se em maiores números a *Dinophyceae*, *Cyanophyceae*, *Chlamydomphyceae* e na missão de fevereiro foram *Cyanophyceae*, *Chlorophyceae*, *Chlamydomphyceae*, *Dynophyceae* e *Bacillariophyceae*. Portanto, em agosto ocorre a concentração em três principais classes enquanto em fevereiro em cinco.

Quadro 1. Classes de algas identificadas em missões de campo realizadas em agosto de 2012 e fevereiro de 2013 no reservatório de Itaúba. As unidades correspondem ao número de células por mL, representando as densidades.

Estação amostral	Agosto 2012				Fevereiro 2014			
	Média	D. P.	max	min	Média	D. P.	max	min
<i>Dinophyceae</i>	978	957,5	2.054	73	334	247,9	618	72
<i>Bacillariophyceae</i>	60	44,8	109	8	263	60,2	345	200
<i>Chlorophyceae</i>	73	85,7	172	1	736	266,0	1.100	472
<i>Cyanophyceae</i>	402	786,2	1.581	1	4.313	1.272,2	5.972	2.909
<i>Cryptophyceae</i>	23	27,5	63	0	82	44,0	118	18
<i>Chlamydomyceae</i>	255	288,2	527	0	518	777,8	1645	0

Destaca-se o fato de que em agosto a classe *Dinophyceae* ter sido a que apresentou maior número de células em todas as estações amostrais e com grande amplitude, com variação de 2.054 a 73 cel/mL presentes nas estações 1 e 12, respectivamente. Embora a classe *Cyanophyceae* tenha sido encontrada, sua concentração foi expressiva apenas na estação amostral 1, com 1.581 cel/mL. Nas demais estações foram registrados sempre números inferiores a 12 cel/mL. Outro ponto que chama a atenção na missão de agosto é o fato da classe *Chlamydomyceae* ser encontrada nas estações 7 e 9 com contagem em torno de 500 cel/mL. Na estação 1 esta classe não foi encontrada e na estação 12 foi inferior a 25 cel/mL.

Na missão de fevereiro encontra-se um quadro diferente em relação ao de agosto quanto à densidade de cada classe. Houve o domínio de *Cyanophyceae* com o número de células cinco vezes maior do que a que aparece em segundo lugar, *Chlorophyceae*. A classe *Chlamydomyceae* aparece com valor mais elevado na amostra nove com 1.645 cel/mL, com zero na estação 12 e com números na ordem de 400 cel/mL nas estações 1 e 7.

A espécie *Ceratium fucooides* foi a dominante em todas as amostras do trabalho de agosto entre todas as espécies da comunidade fitoplantônica. Cassol et al. (2014) destacam que a partir desta missão de campo foi realizado o primeiro registro de *C. fucooides*.

Os espectros de reflectância mostram claramente o efeito do domínio das diferentes classes de algas nas duas situações avaliadas. O domínio de *Dinophyceae*, principalmente de *C. fucooides*, imprimiu feições muito específicas nos espectros de agosto. A Figura 2a mostra os espectros das quatro estações amostrais para esta missão. Observa-se principalmente que há um pico de reflectância em 710 nm com a intensidade de reflectância nesta faixa espectral superior ao encontrado na faixa do verde. Este efeito foi bem definido nas amostras 1, 7 e 9, as quais apresentam concentrações superiores a 270 cel/mL desta classe. A amostra 12, com 74 cel/mL encontrada em amostra de sub-superfície, não apresentou este efeito, provavelmente devido ao baixo índice de células encontrado. Este baixo índice provavelmente não foi suficiente para registrar este efeito. O pico de reflectância na faixa próxima a 710 nm foi dependente da alta concentração de células da classe *Dinophyceae* e baixa das classes *Cyanophyceae* e *Chlorophyceae*. A presença de alta concentração de *Chlamydomyceae* potencializou a presença desta feição, como foi o caso observado nas amostras 7 e 9. A medida que houve aumento no domínio de *Dynophyceae* e *Chlamydomyceae* houve um deslocamento no pico desta feição, para os dados observados, oscilou de 708 até 713 nm. A intensidade deste pico esteve relacionada com a porcentagem de *Dinophyceae* em relação as demais classes. Outro ponto observado na missão de agosto foi o fato de que há aumento de reflectância entre 763 e 806 nm justamente nas amostras em que foi encontrado *Chlamydomyceae*. A feição ocorre em maior faixa espectral, mas destaca-se que o pico em 806 nm ficou fixo em todas as amostras. A presença de *Cyanophyceae* produziu maior reflectância em 400 do que em 500 nm. Esta foi a situação observada na amostra 1 em que se

obteve 1.581 cel/mL e nas demais amostras o valor encontrado na superfície foi sempre inferior a 19 cel/mL, sendo que na amostra 12 foi de 1 cel/mL e a reflectância em 400 foi menor do que em 500 nm.

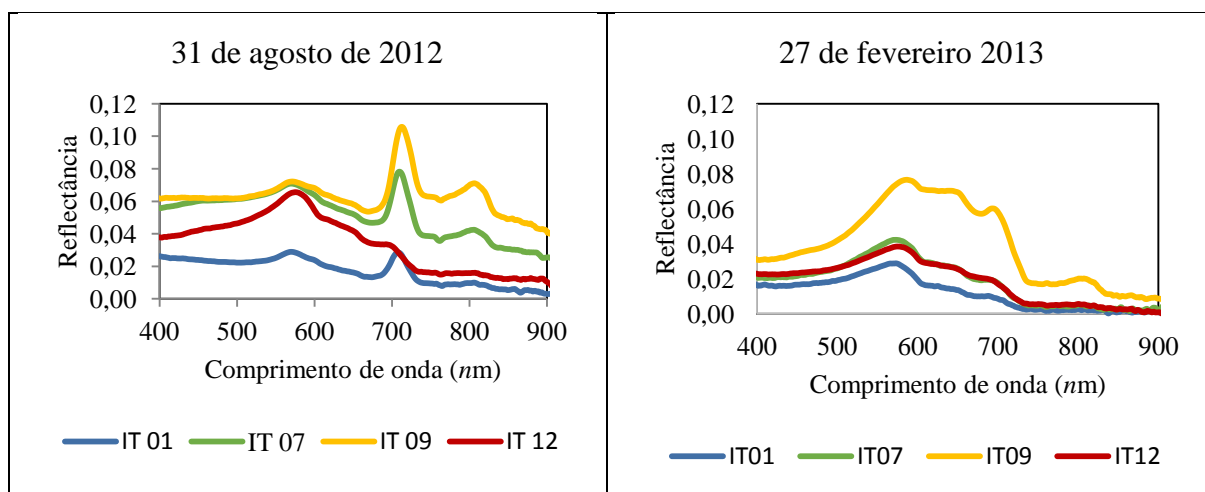


Figura 2. Espectros de reflectâncias das missões de campo de 31 de agosto de 2012 (a) e de 27 de fevereiro de 2013 (b).

As três amostras que apresentaram feição de absorção centrada em 670 nm mostraram a tendência de diminuir o comprimento de onda de máxima absorção em função da presença dominante de *Dinophyceae* e *Chlamydoephyceae* e quase ausência de *Cyanophyceae*. Os picos de absorção oscilaram entre 669 e 674 nm. O pico de reflectância registrado na faixa do verde, em torno de 570 nm, mostrou que a menor concentração de células proporciona máxima reflectância em comprimento de onda maior e que concentrações acima de 800 cel/mL o pico de reflectância não alterou de posição sendo fixo em 570 nm. Nas amostras avaliadas este efeito oscilou entre os comprimentos de ondas de 570 a 575 nm.

Os espectros de reflectância da missão de fevereiro mostraram-se diferentes dos de agosto principalmente na faixa do verde, em 710 e em 806 nm do espectro eletromagnético (Figura 2b). A presença de *Chlamydoephyceae*, na amostra 9, com 19% em relação ao número total de células, produziu aumento de reflectância em 710 nm e em 806 nm. O pico de reflectância em 710 nm foi ausente em três das quatro amostras e a que registra este efeito mostrou-se com pouca amplitude, quando comparado com os dados de agosto. Embora na missão de fevereiro tenha sido encontrada *Dinophyceae*, inclusive com valores absolutos superiores a algumas amostras obtidas em agosto seus valores percentuais foram baixos, sempre inferiores a 13 %, e não proporcionou as feições típicas encontradas nos dados de agosto. Provavelmente os altos índices encontrados de *Cyanophyceae*, superiores a 60% obliteraram a feição em 710 nm. A amostra 9 apresenta mais claramente a feição em 710 nm. Apesar de ter sido encontrado 70% de *Cyanophyceae* a presença de *Chlamydoephyceae* (19%) foi suficiente para aparecer a feição de absorção nesta faixa espectral. Portanto, a feição em 710 nm foi dependente da presença de *Chlamydoephyceae* sendo mais intensa à medida que aumenta sua concentração, nesta amostra foi registrado 1.645 cel/mL na sub-superfície. Nesta amostra também foi observado o aumento na reflectância a partir de 760 até 806 nm, o que evidencia a influência desta classe de algas nesta região espectral.

A concentração de *Cyanophyceae* variou de 2.909 a 5.972 cel/mL em fevereiro. Este quadro proporcionou em todos os espectros um pico de reflectância centrado no verde. O comprimento de onda máxima reflectância oscilou entre 573 e 587 nm e observa-se que há uma tendência de que o posicionamento deste pico esteja relacionado com as porcentagens de cada classe de alga presente na amostra. O pico de reflectância da amostra 9 foi em 587 nm

nas demais amostras localizou-se entre 573 e 575 nm. A condição diferenciada da concentração algal da amostra 9 em relação às demais amostras definiu o posicionamento de máxima reflectância em comprimento de onda maior nesta faixa espectral.

4. Considerações Finais

As densidades diferenciadas de algas encontradas nas duas missões de campo produziram espectros de reflectâncias também diferenciados. Os efeitos nos espectros de reflectância foram dependentes da classe de algas e de sua concentração. Em condições de domínio da classe *Cyanophyceae* o efeito no espectro foi na faixa do verde, onde há um pico de reflectância em 573 nm. A presença de *Dinophyceae* e/ou de *Chlamydoephyceae* imprimiu feições espectrais específicas na faixa verde do espectro, em 710 e 806 nm. No verde tanto o posicionamento do pico de reflectância quanto a sua intensidade foi associada à concentração de algas e a classe de alga dominante. Em 710 nm registrou-se um pico de reflectância associado à presença de *Dinophyceae* e *Chlamydoephyceae*. Este pico é mais proeminente na medida em que há o domínio destas duas classes. Observou-se que não foi o número absoluto que definiu mais claramente esta feição e sim seu domínio relativo. Um quadro semelhante também foi observado em relação ao domínio destas duas classes no aumento na reflectância entre 760 a 806 nm. As feições e intensidade de reflectância foram dependentes da classe de algas, do número absoluto de células por mL e da proporção de cada classe no conjunto que compõe as condições da amostra quanto às algas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento deste trabalho, processo 478961-2010-3.

Referências

Brando, V. E.; Dekker, A. G. Satellite hyperspectral remote sensing for estimating estuarine and coastal water quality. **IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing**, vol. 41, no. 6, 2003, p. 1378-1387.

CEEE - Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica
<http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/archives/solo/jacui/Reservatorio_Itauba.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2014.

Esteves, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

Folkestad, A., et al. Inter-comparison of ocean colour data products during algal blooms in the Skagerrak. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 28, no. 3, 2007, p. 569-592.

Gitelson, A. The peak near 700 nm on radiance spectra algae and water: relationship of its magnitude and position with chlorophyll concentration. **International Journal of Remote Sensing**, Vol. 13, no. 17, 1992, p. 3367-3373.

Han, L.; Rundquist, D. C. Comparison of NIR/RED ratio and first derivative of reflectance in estimating algal-chlorophyll concentration: a case study in a turbid reservoir. **Remote Sensing of Environment**, 62, 1997, p. 253-261.

Kutser, T. Quantitative detection of chlorophyll in cyanobacterial blooms by satellite remote sensing. **Limnology and Oceanography**, vol. 49, no. 6, 2004, p. 2179-2189.

Lobo, F. L. et al. Mapping potential cyanobacterial bloom using Hyperion/EO-1 data in Patos Lagoon estuary. **Acta Limnologica Brasiliensis**, 2009, vol. 21, no. 3, p. 299-308.

Rundquist, D. C. et al. Remote Measurement of Algal Chlorophyll in Surface Waters: The Case for the First Derivative of Reflectance Near 690 nm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, vol. 62, no. 2, 1996, p. 195-200.

Steffen, C. A.; Moraes, E. C. Introdução à radiometria. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 7, 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. Artigos p. 2-12.