

Espectros de reflectância da água com diferentes densidades de organismos da espécie *Ceratium furcoides* (LEVANDER) Langhans 1925

Waterloo Pereira Filho ¹
Joceli Augusto Gross ¹
Ana Vestena Cassol ²
Maria Angélica Oliveira ²

^{1,2} Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Caixa Postal - CEP: 97.105-900 – Santa Maria - RS, Brasil

¹Departamento de Geografia: waterloopf@gmail.com; gross_joceli_augusto@hotmail.com;

²Departamento de Biologia: anapvcassol@gmail.com;maria@ufsm.br

Abstract. The goal of the present work was to identify spectral features related to different densities of the phytoplankton species *Ceratium furcoides*. In an additional matter, band ratios were tested to identify the best relationship to the density of these organisms in reservoirs of the high stream on the Jacuí River in the State of Rio Grande do Sul. The samples were collected in three field campaigns in the reservoirs of Ernestina, Passo Real and Itauba. The effects of the density of individuals of *Ceratium furcoides* for every millimeter in the reflectance spectra were analysed. The sampling consisted of 14 collection stations distributed along the reservoirs. The results showed that the shape of the spectra, with a peak of reflectance around 710nm, is associated to higher densities of the aforementioned organisms. In addition, it was noted that there was a shift of the peak of maximum reflectance in the visible spectrum to this wavelength in conditions of high concentrations of this organism. The maximum reflectance in the green band shifted to higher wavelengths as the density of individuals decreased and its magnitude decreased due to the higher density of individuals, with a less steep reflectance peak. The ratio of bands, taking into account near infrared and red, was related to the density of organisms for every millimeter.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; Fitoplâncton; *Ceratium furcoides*; Dinophyceae.

1. Introdução

O uso de recursos de sensoriamento remoto em ambiente aquático encontra diversos desafios entre eles a baixa reflectância relacionada a água, os efeitos atmosféricos, os constituintes da água que imprimem de forma integrada as configurações dos espectros de reflectância. As algas ganham destaque nas feições de absorção associadas as clorofilas. Entretanto a diferenciação algal também se configura nos padrões de resposta espectral da água. Ambientes aquáticos com altas concentrações de algas tendem a proporcionar feições espectrais típicas da clorofila, entretanto as diferentes algas também produzem diferenças espectrais. Em trabalho realizado por Pereira Filho *et al.* (2015) já foi abordado algumas características nos espectros de reflectância relacionados a diferentes grupos algais. Naquele trabalho foram destacadas as principais feições de absorção associadas principalmente as algas do grupo Dinophyceae, Cyanophyceae e Chlorophyceae, as quais apresentaram os maiores números de células por mililitro. Como esperado foi observado um pico de reflectância na faixa verde do espectro, centrado em 575 nm, porém em ambiente com alta concentração de Dinophyceae também foram observados picos de reflectância em comprimentos de onda em torno de 710 nm.

As feições em torno de 710 nm são descritas na literatura como resultado da influência do espalhamento celular das algas e as concentrações de clorofila. Londe, (2008) verificou a feição em 710 nm em espectros no reservatório de Ibitinga-SP com predomínio de Cianobactérias, sendo a densidade de $5,4 \times 10^6$ Cel/mL e concentração de clorofila-a de 201,06 mg.m⁻³. Lobo *et al.* (2009) verificou que a transmitância da água em 710 nm diminui a medida que a concentração de clorofila-a de *Microcystis aeruginosa* (Cianobactéria) cultivada em laboratório (não colonial) aumenta (indicativo de aumento de densidade de organismos),

gerando um pico de reflectância em torno deste comprimento de onda. Em Jensen (2009) é demonstrada a influência de sedimentos em suspensão inorgânicos sobre a reflectância da água contendo algas. Neste experimento, à medida que foi acrescentado maiores concentrações de sedimentos (até 500 mg/L) uma feição de espalhamento estabelecida em 700 nm pelas algas tornou-se mais pronunciada, demonstrando a influência dos sedimentos inorgânicos para o estabelecimento desta feição de espalhamento.

Quibell (1992) estudou as relações entre a reflectância sobre diferentes gêneros de algas de água doce e concentrações de clorofila e concluiu sobre as melhores estimativas de concentração de clorofila a partir de dados da região do infravermelho próximo. Gitelson (1992) descobriu que a magnitude e a posição da máxima reflectância em aproximadamente 705 nm pode ser utilizada para a estimativa da concentração de clorofila. Rundquist *et al.* (1996) e Mittenzway *et al.* (1992) verificaram significativa correlação entre valores da razão entre a reflectância no infravermelho e vermelho e concentrações de clorofila.

Uma forma de interpretar feições espectrais consiste na razão de bandas, pois este procedimento atenua o efeito da intensidade da reflectância associados a outros fatores. A razão entre o infravermelho próximo e vermelho tem sido amplamente utilizada com correlações significativas para identificar a concentração de clorofila na água (RUNDQUIST *et al.*, 1996). Entretanto a avaliação considerando os diferentes grupos de algas ainda não amplamente conhecido.

Diante do exposto o objetivo do presente trabalho foi identificar feições espectrais relacionadas a diferentes densidades da espécie de fitoplâncton *Ceratium furcoides*. De forma complementar testou-se as razões de bandas com melhor relação com a densidade destes organismos em reservatórios no alto curso do rio Jacuí no Estado do Rio Grande do Sul.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo foi definida pelos reservatórios de Ernestina, Passo Real e de Itaúba todos localizados no alto curso do rio Jacuí no Estado do Rio Grande do Sul. Cinco estações amostrais foram definidas para o reservatório de Ernestina, quatro para o reservatório Itaúba e cinco para o reservatório Passo Real. A distribuição espacial das estações de amostragem atendeu ao critério de melhor representação dos diversos compartimentos aquáticos dos reservatórios. As campanhas de campo foram realizadas nos meses de agosto de 2012 (Itaúba), fevereiro de 2016 (Ernestina) e junho de 2016 (Passo Real).

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas, uma, em campo, quando foram coletados os espectros de reflectância e amostras de água, e outra, em laboratório, onde foram identificadas as algas. O trabalho em campo contou com o uso do espectrorradiômetro FieldSpec com capacidade de gerar espectros de reflectância entre 400 a 900 nm com acurácia um nanômetro; garrafa de Van Dorn para coleta de água (capacidade de 3 L) e frascos de vidro âmbar com capacidade de 200 ml, para o acondicionamento das amostras. As amostras foram coletadas em superfície a 30 cm de profundidade e fixadas com adição de 0,5 ml de lugol acético.

A identificação e quantificação dos organismos da espécie *Ceratium furcoides* foi realizada em microscópio invertido (MOTIC - AE31 - 400x) no laboratório de Ficologia do departamento de Biologia da Universidade Federal de Santa Maria. O método de Uthermohl (1958) verificado em Calijuri *et al.* (2006) foi utilizado para a quantificação. Foram considerados 50 campos do microscópio nas campanhas de 2012 e 2013 e 25 campos nas campanhas de 2016.

A densidade (Indivíduos/mL) foi determinada de acordo com APHA (1985) conforme Equação 1.

$$D = (C * ATmm^2)/(AFmm^2 * F * V) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- D = Densidade de indivíduos (indivíduos/mL);
 C = Número de indivíduos contabilizados;
 ATmm² = Volume total da câmara de sedimentação;
 AFmm³ = Volume do campo de contagem;
 F = Número de campos contabilizados;
 V (ml) = Volume da amostra sedimentada.

Os dados foram analisados a partir de espectros de reflectância e suas feições espectrais em relação a densidade de indivíduos da espécie *Ceratium furcoides*. Razões de bandas e seus desempenhos foram testadas a partir de regressão linear, em relação a densidade dos organismos.

3. Resultados e Discussão

A maior densidade de indivíduos de *Ceratium furcoides* (2054,55 ind/ml) foi verificada no reservatório Itaúba, em floração destes organismos (*Bloom* - verificado em campo). A máxima e mínima densidades (Tabela 1) além das médias para cada reservatório representa a grande variabilidade de ocorrência em termos quantitativos, o que provavelmente influenciou para os espectros de reflectância diferenciados, tanto em relação as feições de absorção e picos de reflectância, como em magnitude dos valores de reflectância, conforme mostrado na Figura 1.

Tabela 1 - Densidade de indivíduos da espécie *Ceratium furcoides* por mililitro de água.

Variável	Reservatórios		
	Ernestina	Passo Real	Itaúba
Máximo	17,96	401,09	2.054,55
Mínimo	7,18	21,55	73,73
Média	11,37	180,55	978,69

As principais feições espectrais observadas, estão relacionadas aos picos de reflectância na região do verde e em torno de 710 nm, sendo esta última principalmente nos espectros coletados no reservatório Itaúba (Figura 1a) com as maiores densidades de organismos de *Ceratium furcoides*. Destaca-se que não foram avaliadas amostras de subsuperfície (Profundidade do disco de Secchi ou Zona fótica) que podem ter influenciado os espectros, a exemplo das estações P9 e P12 do reservatório Itaúba para picos de reflectância em torno de 710 nm em relação aos organismos de *Ceratium furcoides*. Outro fator é que picos de reflectância em torno de 710 nm também aparecem mais pronunciados nos espectros das estações P4 e P12 do reservatório Passo Real, onde foram verificadas as maiores densidades de *Ceratium furcoides* neste reservatório (Figura 1b). Na Figura 1c os espectros não exibem a feição em torno de 710 nm influenciados pela baixa concentração, o máximo encontrado foi de 17,959 indivíduos por mililitro.

As amostras com as maiores densidades de *Ceratium furcoides* também mostraram que a reflectância em torno de 710 nm foi definida em uma faixa estreita do espectro, localizada entre 690 a 740 nm. Observou-se também que o deslocamento do pico de máxima reflectância neste intervalo espectral para comprimentos de onda maiores com o aumento da densidade de organismos, sendo o máximo em 710 nm. Esta faixa pertence a borda do vermelho (*REP* - *Red Edge Position*), de 690 a 740 nm (MULLA, 2012). Neste sentido, Londe (2008) destaca em seu trabalho que não foram encontrados estudos relacionados ao efeito da "Red edge" no

fitoplâncton, mas ressaltou o deslocamento desta região em sua pesquisa em decorrência de amostras com domínio de cianobactérias e altas concentrações de clorofila. Esta condição pode estar indicando um padrão em comprimentos de onda em torno de 710 nm.

A reflectância na faixa verde do espectro para amostras coletadas nos reservatórios Passo Real (Figura 1b) e Ernestina (Figura 1c) é proporcionalmente mais intensa quando comparada com aquela adquirida sobre as águas do reservatório Itaúba (Figura 1a) com alta concentração de organismos de *Ceratium furcoides*. Obviamente que os espectros coletados nos reservatórios Passo Real e Ernestina foram mais influenciadas por outras espécies de fitoplâncton as quais provavelmente imprimem outro padrão espectral com exceção para as amostras P4 e P12 que apresentaram maiores concentrações, como mencionado anteriormente. Outro aspecto observado é o deslocamento da máxima reflectância no verde para a comprimentos de onda maiores na relacionado a menores densidades de organismos de *Ceratium furcoides*.

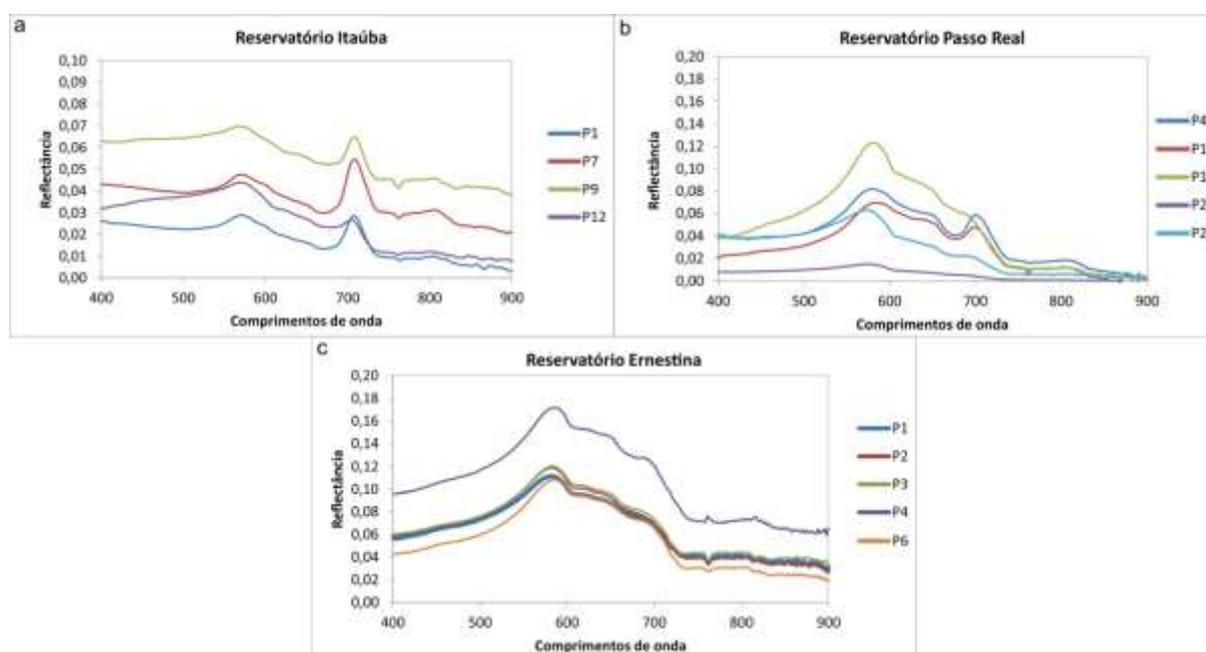


Figura 1: Espectros de reflectância para as estações amostrais dos três reservatórios.

Na Figura 2 são apontadas as principais feições espectrais verificadas em espectro de reflectância coletado em agosto de 2012 no reservatório Itaúba com alta concentração de *Ceratium furcoides*. Em contraste com este espectro a figura também mostra a resposta espectral de uma amostra sem a presença deste organismo fitoplanctônico, coletada em uma campanha de campo realizada em janeiro de 2012 no reservatório de Ernestina. Observa-se que neste caso a faixa em torno de 710 nm não apresenta a feição de reflectância descrita anteriormente, como na maioria dos espectros da Figura 1a. Além disso, o pico de reflectância na faixa do verde é bem mais acentuado.

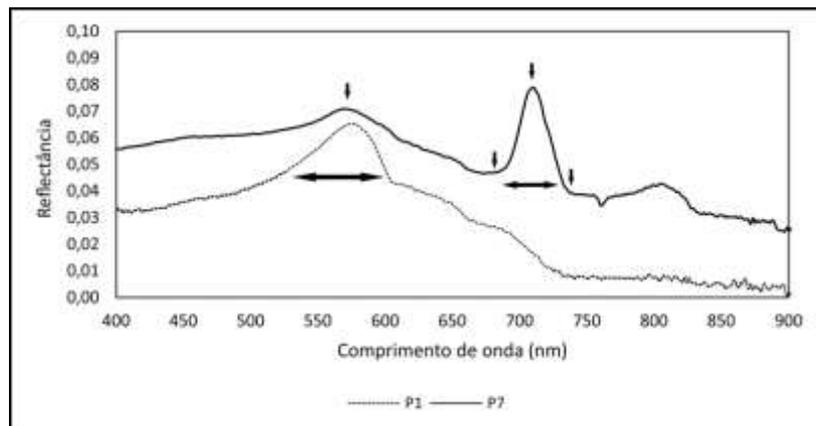


Figura 2. Espectros de reflectância de duas amostras, uma sem a presença de *Ceratium furcoides* (P1) coletada em campanhas de campo realizadas em janeiro de 2012, no reservatório Ernestina, e outra (P7) com 1.509 organismos por mL e coletada em agosto de 2012 no reservatório Itaúba.

A partir das observações supradescritas verificou-se o efeito do aumento da reflectância em comprimentos de onda do infravermelho e borda do vermelho (*REP - Red Edge Position*) como indicadores da ocorrência de *Ceratium furcoides*. Neste sentido, determinou-se as razões entre comprimentos de onda das referidas regiões do espectro eletromagnético com comprimentos de onda do vermelho, em relação as densidades de organismos da espécie *Ceratium furcoides*. A Figura 3 mostra a dispersão entre as variáveis mencionadas. Observa-se que há um agrupamento para densidades inferiores a 500 indivíduos/ml, o que aponta para uma tendência entre a razão dos comprimentos de onda avaliados com a densidade destes organismos. Quando se analisa o conjunto em que se tem as altas densidades, superiores a 1.500 indivíduos/ml nota-se que segue a tendência descrita, porém a equação ficou ajustada para os dois pontos com as maiores densidades de organismos.

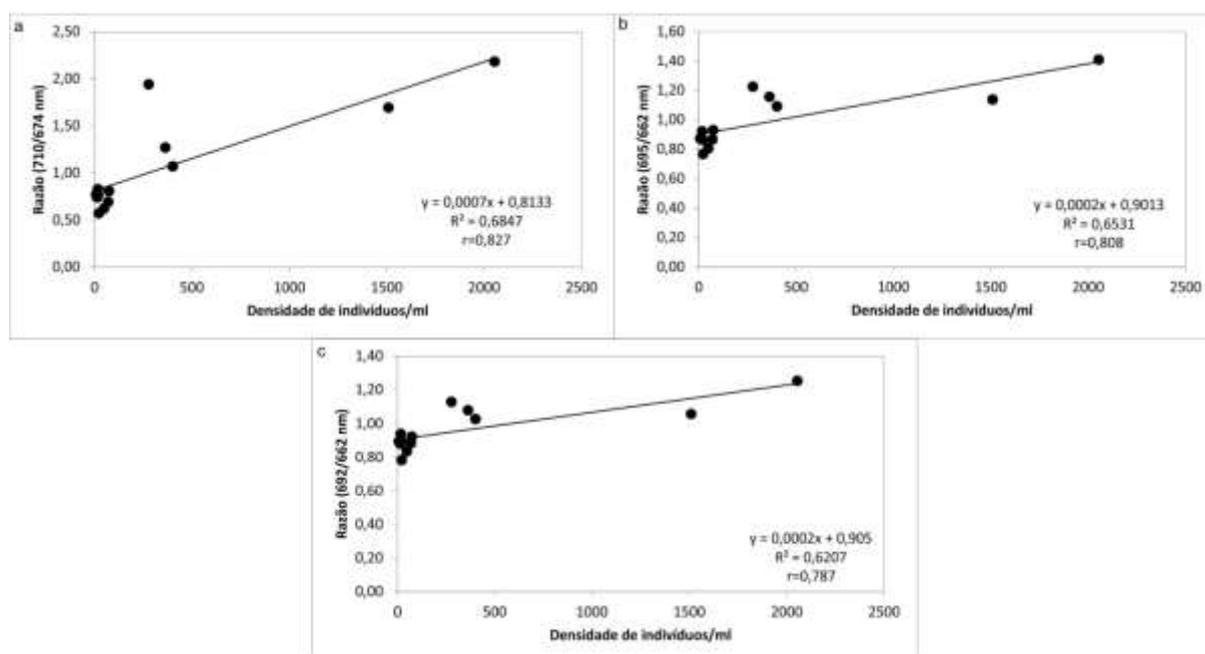


Figura 3: Diagramas de dispersão considerando as razões de bandas entre 710 e 674 nm (a), 695 e 662 nm (b) e entre 692 e 662 nm (c) com a densidade de indivíduos de *Ceratium furcoides* por mililitro.

3. Conclusões

O objetivo do presente trabalho foi identificar feições espectrais e testar razões de bandas em relação a densidade de organismos da espécie de fitoplâncton *Ceratium furcoides* em reservatórios no alto curso do rio Jacuí no Estado do Rio Grande do Sul. A forma dos espectros em torno de 710 nm demonstrou relação com as maiores densidades de organismos avaliadas nos reservatórios estudados, além do deslocamento do pico de máxima reflectância para comprimentos de onda maiores (de 700 para 713 nm) em decorrência do aumento da densidade de organismos. A reflectância máxima na faixa do verde tende a deslocar-se para comprimentos de onda maiores a medida que diminui a densidade de indivíduos e a apresentar menor magnitude de valores em decorrência da maior densidade de indivíduos, com um pico de reflectância menos acentuado. A intensidade dos valores obtidos nas razões de bandas calculadas foi relacionada com a densidade de organismos por mililitro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, processos 478961-2010-3 e 476650/2013-5, pela concessão de recursos financeiros que viabilizaram o desenvolvimento do trabalho e processo 312081/2013-8 por bolsa de produtividade em pesquisa.

Referências Bibliográficas

- APHA - **STANDARD methods for the examination of water and wastewater**. 16th ed. Washington, 1985.
- CALIJURI M. C.; ALVES, M. S. A.; SANTOS A. A. **Cianobactérias e Cianotoxinas em Águas Continentais**. São Carlos, Ed. Rima, 2006.
- GITELSON, A.A. The peak near 700 nm on radiance spectra of algae and water: relationships of its magnitude and position with chlorophyll concentration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, p. 3367-3373, 1992.
- HAN, L. Spectral reflectance with varying suspended sediment concentrations in clear and algae-laden waters. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Vol. 63, Nº 6, junho de 1997, pp 701-705.
- LOBO, F. de L.; YUNES, J. S.; BARBOSA, C. C.; LONDE, L. de R.; PEREIRA FILHO, W.; THEIL, C. I.; NOVO, E. M. L. de M. Propriedades da reflectância de *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria) manipulada em altas concentrações de pigmentos. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4747-4754.
- LONDE, L. de R. **Comportamento espectral do fitoplâncton de um reservatório brasileiro eutrofizado – Ibitinga (SP)**. INPE - São José dos Campos-SP, 2008. Tese de doutorado orientada pela Dra. Evelyn Marcia Leão de Moraes Novo e Dra. Maria do Carmo Calijuri. Acesso em 10 Mar. 2016. Disponível em: <<http://www.inpe.br/resultado.php>>.
- MITTENZWEY, K.H.; GITELSON, A.A.; ULLRICH, S.; KONDRATYEV, K.Y. Determination of chlorophyll-a of inland waters on the basis of spectral reflectance. **Limnology and Oceanography**, v. 37, p.147-149, 1992.
- MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358–371, 2012. IAgE.
- PEREIRA FILHO, W.; CASSOL, A. V.; SANTOS, F. C. dos; OLIVEIRA, M. A. Reflectância associada a diferentes classes de algas. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- QUIBELL, G. Estimating chlorophyll concentrations using upwelling radiance from different freshwater algal genera. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 14, p. 2611-2621, 1992.



RUNDQUIST, D. C.; HAN, L.; 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 & Remote Sensing**, vol. 62, no. 2, 1996, p. 195-200.

UTERMÖHL, H. **Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik**. Mitt. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol. 1958.