

Aplicabilidade de métodos de sensoriamento remoto na avaliação e monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul (RS)

Renata Pereira ¹
Alois Eduard Schäfer ²
Norma Luíza Würdig ¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 15007, 91540-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
rpereira@ecologia.ufrgs.br; wurdignl@vortex.ufrgs.br

² Universidade de Caxias do Sul - UCS
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - CEP 95070-560 - Caxias do Sul - RS, Brasil
aschafe1@ucs.br

Abstract.

The color and the intensity of the superficial light reflected depend on the color and composition of substances in suspension. The reflectance of the surface of the water body can be gotten through the satellite image. The study area is on the coast north of Rio Grande do Sul (RS), region with high aeolian susceptibility, factor that influences in the transport of sediments for the lagoons and, consequently, its transparency. This work aims to study the applicability of Remote Sensing methods in the evaluation and assessment of the trophic state of coastal lagoons of the RS. In each lagoon was obtained the transparency and a water sample for turbidity and chlorophyll-a. The correlations had not been significant, with exception of the transparency in bands 1, 2 and 3, which had weak correlation. As this ecosystem is a unique natural patrimony, this work counts with the perspective of continuity in the field work and searches of other relations between the trophic state of the lagoon and the reflectance gotten through Remote Sensing.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, limnology, optical properties sensoriamento remoto, processamento de imagens, limnologia, propriedades ópticas.

1. Introdução

Segundo Moreira (2003), a água líquida absorve toda radiação eletromagnético abaixo de 380 nm e acima de 700nm, dessa maneira, a reflectância é zero. Mesmo entre estes valores, a reflectância da água líquida não é muito grande, ao contrário da água gasosa.

A atenuação da luz em corpos de água ocorre por três processos: reflexão, absorção e dispersão. A cor e a intensidade da luz superficial refletida dependem da cor e da composição das substâncias em suspensão na água. A reflectância da superfície do corpo de água pode ser obtida através da imagem de satélite.

Alguns fatores naturais alteram a composição físico-química da água e, conseqüentemente, sua resposta espectral. Os principais fatores que afetam a coloração e, assim, a detecção dos habitats aquáticos pelos métodos de sensoriamento remoto, são a presença de plantas aquáticas, sólidos em suspensão, nível de clorofila e a transparência da água.

Lillesand & Kiefer (1987) indicam que as imagens de Sensoriamento Remoto cumprem um importante papel na avaliação da qualidade da água e gestão de recursos hídricos, especificamente em sistemas lênticos, em áreas relacionadas à identificação das fontes de poluição, áreas hídricas sob processos de eutrofização e avaliação de clorofila, entre outros.

Cor, turbidez, e Concentração de Sedimento Suspensos (CSS), entre outros parâmetros indicadores da qualidade da água têm sido utilizados com sucesso em muitas aplicações. No caso da detecção de clorofila, admite-se que deve-se ao aumento da concentração de algas na água, que implica principalmente, na redução da reflectância da água na faixa do azul, segundo Novo, (1995).

Hedger et al (2002) encontrou uma boa correlação entre reflectância obtida pelo sensor Landsat e absorvência da clorofila-a no lago Leven, Escócia, que permite a estimativa da concentração deste pigmento na água através de Sensoriamento Remoto. Dekker et al. (1992) concluíram que os sensores de satélites possuem resolução espectral e radiométrica suficiente para medir com precisão parâmetros da água.

Uma alternativa viável e adequada para monitoramentos de longo prazo é o uso do sensoriamento remoto, que permite um acompanhamento mais eficiente das modificações tróficas, desde que exista uma base de análises estatísticas da relação entre a reflectância e o estado trófico representado por parâmetros-chave. Inúmeros trabalhos mostraram a utilidade do sensoriamento remoto na avaliação da trofia de lagos e represas a partir da interpretação da reflectância da clorofila-a, da cobertura de macrófitas e da turbidez da água (Froidefond, et al, 2002; Dewidar & Khedar, 2001; Baban, 1999; Hedger et al, 2002; Baban, 1993; Lathrop & Lillesand, 1986; Harrington & Schiebe, 1992; Baban, 1994; Bukata et al, 1981; Dekker et al, 1992; Kloiber et al, 2002).

Baban (1999) diz que o uso de Sensoriamento Remoto no gerenciamento de lagoas se baseia principalmente no fato de que a eutrofização e o aumento na produtividade são associados a mudanças nas propriedades ópticas do corpo de água. A fração refletida e detectada pelo sensor fornece informações sobre as características físicas, químicas e mesmo biológicas do ambiente aquático. A reflectância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda, e as maiores reflectâncias são obtidas na região visível do espectro eletromagnético, especificamente nos comprimentos de onda do azul e do verde, decrescendo gradualmente na direção do infravermelho, limitando-se os estudos de qualidade da água ao espectro visível.

A interpretação de imagens de satélite multi-espectrais no monitoramento de corpos d'água visa complementar os levantamentos em campo e as análises de laboratório e não substituí-los. Na análise de ambientes lênticos pelos métodos do sensoriamento remoto é utilizada a refletância da superfície do corpo de água como base para a identificação do estado trófico. É conhecido que a absorção da clorofila se dá no intervalo da luz azul (0,4 – 0,5 μm) e da luz vermelha (0,6 – 0,7 μm) e a reflexão se dá no intervalo da luz verde (0,5 – 0,6 μm). Após o estabelecimento da correlação da refletância da luz com os valores da concentração da clorofila-a, obtém-se uma ferramenta muito útil para o biomonitoramento das modificações ecológicas das represas, baseado na densidade do fitoplâncton.

Quando a radiação solar penetra na atmosfera terrestre, sofre atenuações causadas por reflexão, espalhamento e absorção pelos constituintes atmosféricos, por partículas dispersas e nuvens, segundo Wetzel, (1983).

O espalhamento ou scattering é um processo físico que resulta da obstrução das ondas eletromagnéticas por partículas existentes nas suas trajetórias, ao penetrarem na atmosfera terrestre. Esta obstrução pode ser tanto da energia incidente quanto da reirradiada (refletida). A intensidade e a direção do espalhamento dependem fortemente da razão entre os diâmetros das partículas presentes na atmosfera e o comprimento de onda da energia eletromagnética incidente e/ou irradiada.

A absorção da radiação solar na atmosfera dá-se por meio de dois processos: dissociação e fotoionização na alta atmosfera; e a vibração e transição rotacional das moléculas.

Há duas formas comuns de realizar a correção atmosférica. A primeira delas aplica o método proposto por Chavez (1988) que é normalmente denominado de Correção Atmosférica pelo Pixel Escuro (Dark Object Subtraction – DOS). Este método utiliza os pixels que na imagem teriam valor zero, que não refletiriam radiação (como sombras na região do visível, por exemplo), absorvem-na totalmente, também implicando valores nulos

de reflexão (corpos de água límpida na região do infravermelho próximo ou médio, por exemplo). Caso estes pixels apresentem valores maiores que zero, o excedente deveria ser explicado pela interferência aditiva do espalhamento atmosférico. Assim, considerando que a interferência atmosférica seja uniforme em toda a cena e ignorando as influências de urbanização, topografia e outras, se define o valor em contadores digitais ou reflectância a ser subtraído de toda a cena. Este método tem fácil aplicação, mas ignora o fenômeno da absorção, considerando apenas a influência do espalhamento.

Outra abordagem consiste nos modelos de transferência radioativa como o *Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum* (6S) publicado por Vermote et al, (1997). Estes e outros modelos permitem a entrada nos programas de dados referentes à caracterização da atmosfera, principalmente em relação às concentrações de vapor d'água, profundidade óptica e tipo de concentração de aerossóis. Existe a possibilidade de informar parâmetros referentes às propriedades espectrais de objetos vizinhos daquele do qual se pretende corrigir o efeito da atmosfera sobre seus valores de reflectância aparente apresentados em imagens orbitais.

Estes modelos de transferência radiativa consideram também o fenômeno da absorção da radiação eletromagnética, implicando geralmente em resultados mais confiáveis quando o interesse é correlacionar os valores de reflectância presentes nas imagens com parâmetros geofísicos ou biofísicos de objetos existentes na superfície terrestre. Como a caracterização da atmosfera no momento de obtenção de dados orbitais é uma tarefa custosa e difícil, é possível aplicar tais modelos adotando algumas condições de contorno e aproximações que têm garantido bons resultados em estudos envolvendo as correlações mencionadas.

Nas lagoas costeiras do RS, a reflectância é influenciada principalmente pelo material em suspensão (turbidez) e pode variar conforme sua cor e concentração, explicam Schwarzbald e Schäfer (1984).

A área de estudo se situa no litoral norte do estado (Figura 1 a e b). A região costeira do estado apresenta uma ampla planície sedimentar cenozóica que encerra um conjunto de feições geomorfológicas sob condições de clima subtropical úmido costeiro. Possui um solo de baixa fertilidade natural e alta suscetibilidade eólica, fator que influencia no transporte de sedimentos para as lagoas e, conseqüentemente, sua transparência.

A região do Litoral Norte é delimitada ao sul pelo município Balneário Pinhal, ao norte pelo rio Mampituba, a leste pelo oceano e, a oeste, delimitada em função de sua formação geológica, relevo, bacia de drenagem e limites políticos, estendendo-se até os limites de São Francisco de Paula.



Figura 1 - Área de estudo.

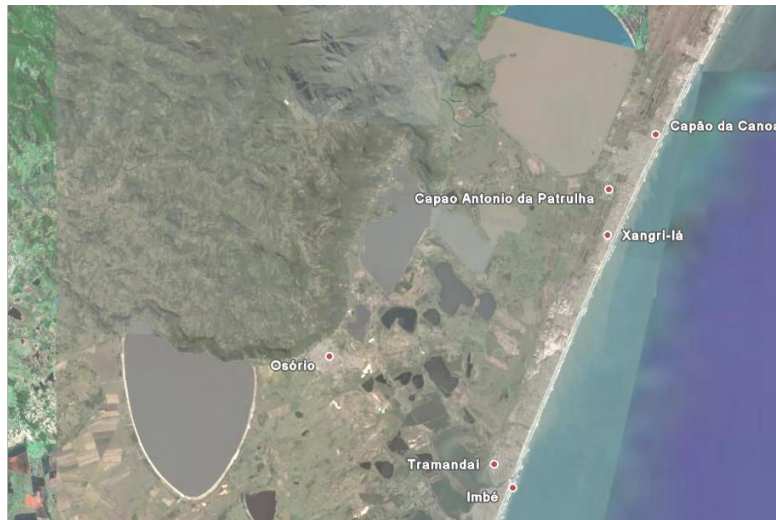


Figura 1 - b. Área de estudo, litoral norte do Rio Grande do Sul.

Schäfer (1985) coloca que as lagoas costeiras do Rio Grande do Sul têm sua origem em um processo exógeno de regressões e transgressões marinhas e, por isso, sua evolução é muito rápida. São lagoas, em sua maioria, rasas e com muito material em suspensão. As lagoas no litoral médio com mais de três metros de profundidade possuem morfologia assimétrica, responsável por certas características peculiares do balanço de substâncias e das comunidades. A planície costeira do Rio Grande do Sul conta com grandes lagoas, como a Laguna dos Patos, com extensão de 9.280 km² e uma seqüência de pequenas lagoas, algumas mais interiores, como a dos Barros e outras menores da região de Osório, a maioria formando uma seqüência de lagoas em rosário, paralelas à linha da costa (Schwarzbold e Schäfer, 1984).. Ainda segundo estes autores, a direção do vento é fator que influencia toda a planície costeira e pode estar relacionada à composição do material em suspensão. Em lagos rasos próximos à águas costeiras, a densidade de plâncton ou a composição mineral do material em suspensão podem afetar a transparência segundo Schäfer (1992). A turbidez e a composição do material em suspensão dependem, além da morfologia da lagoa e da ação do vento, do substrato geológico que varia de áreas de banhado com argila e granulometria mais fina até depósitos de areia fina nos diferentes terraços pleistocênicos e holocênicos.

Constitui-se em uma região de idade geológica recente, cujos ecossistemas apresentam características de fragilidade e raridade, mostrando uma seqüência de ambientes de especial valor paisagístico e produtividade biológica: praias marinhas, barreiras de dunas, banhados, cordão de lagoas doces e salobras e encosta da serra.

Tendo em vista a importância ecológica deste ecossistema e as várias possibilidades oferecidas pelos sensores remotos, este trabalho visa estudar a aplicabilidade de métodos de Sensoriamento Remoto na avaliação e monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul (RS)

2. Material e Métodos

Estão sendo utilizadas imagens captadas pelo sensor CBERS (Chinese Brazilian Environment Remote Sensing), obtidas junto ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e uma imagem Landsat 5, de 01 de novembro de 2005. As imagens foram georeferenciadas com o software SPRING. Foi feita a conversão para reflectância e coletados dados de reflectância os pontos amostrados. Também foi feita a correção atmosférica com o

sistema 6S e tomadas amostras de cada feição representativa (água, vegetação, solo exposto, agricultura para delineamento de curva de resposta espectral a fim de verificar a qualidade da correção atmosférica e ajuste dos parâmetros utilizados.

Foram realizadas 5 coletas em doze lagoas: Barros, Caconde, Lessa, Malvas, Palmital, Passo, Peixoto, Armazém, Cerquinha, Caieira, Fortaleza e Pinguela sendo que, neste trabalho, estão sendo utilizados dados da coleta, realizada em 27 de novembro de 2005, em sete lagoas (Barros, Caconde, Palmital, Peixoto, Caieira, Cerquinha e Pinguela) (Figura. 2).



Figura 2. Lagoas analisadas. Os pontos não se referem ao ponto de coleta.

Em cada lagoa foram coletados os dados de transparência através de disco de Secchi e amostra para turbidez e concentração de clorofila-a que foi feita através da extração de álcool etílico frio e medição monocromática em espectrofotômetro (SCHROEDER, 1994), além da coordenada geográfica com o uso de GPS.

3. Resultados e discussão

Estão sendo utilizados dados da coleta de 27 de novembro de 2005 das sete lagoas, pois nesta data foi obtida a imagem com a melhor qualidade (**Tabela 1**).

Tabela 1. Dados coletados em 27 de novembro de 2005.

Lagoa	Clorofila-a (mg/L)	Transparência Secchi (m)	Turbidez (FAU)
Caieira	45.288	0.45	12
Palmital	41.804	0.48	22
Pinguela	14.312	0.5	22
Caconde	28.416	1.15	15
Peixoto	16.854	1.15	11
Barros	22.354	0.6	106
Cerquinha	2.695	1.2	6

Pode-se perceber a alta turbidez característica da Lagoa dos Barros. A lagoa Cerquinha apresenta a menor produtividade primária apesar da alta transparência e baixa turbidez, levando a inferir que luz não seja o fator limitante.

Foi calculada a correlação entre as variáveis coletadas e a reflectância nos pontos de coleta nas imagens com reflectância aparente, ou seja, com o brilho expresso em reflectância e nas imagens com reflectância de superfície, com correção atmosférica.

Tabela 2. Correlação das variáveis com a reflectância aparente.

imagem	Clorofila-a	Secchi	Turbidez
1	0,047629	-0,65584	0,499799
2	0,037186	-0,6399	0,456632
3	0,044476	-0,61777	0,576562
4	0,094425	-0,15583	0,624737

Tabela 3. Correlação das variáveis com reflectância de superfície.

imagem	Clorofila-a	Secchi	Turbidez
1	0,117801359	-0,608851872	0,416010359
2	0,079928966	-0,594614603	0,481804484
3	-0,017350369	-0,405535325	0,552851201
4	-0,026352275	0,158109852	0,441659117

As correlações obtidas não foram significativas, em sua maioria, com exceção da transparência nas bandas 1,2 e 3, da região do visível, que apresentaram fraca correlação. Estas bandas são usualmente aplicadas, respectivamente, no estudo de: mapeamento de águas costeiras; diferenciação entre solo e vegetação; diferenciação entre vegetação conífera e decídua (azul até verde); reflectância da vegetação verde sadia (verde até amarelo) e absorção de clorofila, diferenciação de espécies vegetais (laranja até vermelho).

4. Considerações

O uso do sensor CBERS foi determinado por este oferecer uma série de vantagens, como boa resolução espacial e temporal, e razoável resolução radiométrica além de distribuição gratuita, tornando a relação custo-benefício muito vantajosa para o usuário. Mas este sensor sofreu falhas técnicas e esteve temporariamente fora de operação no ano de 2006. Além disso, na região em questão existe uma falha de calibração do sensor, caracterizada por uma faixa ao longo da imagem. Apesar destes contratemplos, o CBERS consiste em uma opção válida para a comunidade de usuários de sensoriamento remoto.

Para monitoramento de clorofila, o sensor mais indicado deve ter maior resolução espectral, principalmente no visível, para captar com maior acurácia as variações deste pigmento, presente em todos os grupos de algas de águas continentais. A estimativa de sua concentração é freqüentemente adotada como indicadora de bio-produção dos sistemas aquáticos (Rudorff, 2006). Desta forma, constitui uma variável de alta importância limnológica.

Como colocam Schwarzbold e Schäfer (1984), um fator determinante para as lagoas costeiras gaúchas, em geral rasas, é a ação do vento que acarreta uma ressuspensão de sedimentos, aumentando a turbidez mineral e diminuindo a produção primária pela diminuição da entrada de luz. Assim, neste ecossistema, o aumento da turbidez não está relacionado ao aumento do metabolismo da lagoa.

As lagoas costeiras gaúchas constituem patrimônio natural inigualável. Todos os movimentos no sentido de proteção e conservação são de extrema importância. Faz-se

necessário que todas as pesquisas executadas nesta região contem com o geo-referenciamento dos dados coletados, para possibilitar uma ampla exploração dos dados e qualificar o conhecimento deste ecossistema.

Este trabalho conta com perspectiva de continuidade nas coletas e busca de outras relações entre o estado da lagoa e a reflectância obtida por Sensoriamento Remoto.

5. Referências bibliográficas

- Baban S. M. J. Detecting water quality parameters in the Norfolk Broads, U. K. using Landsat imagery. **International Journal Remote Sensing**, v. 14, 7: 1247 – 1267. 1993.
- Baban, S. M. J. Mapping turbidity, surface temperature and water circulation patterns with the aid of satellite imagery. **J. IWEM**, abr – 8: 197/204. 1994.
- Baban, S. M. J. Use of remote sensing and geographical information systems in developing lake management strategies. **Hydrobiologia**. 395/396: 211 – 226. 1999.
- Bukata, R. P.; Bruton, J. E.; Jerome, J. H.; Jain, S. C.; Zwick, H. H. Optical water quality model of Lake Ontario. 2. Determination of chlorophyll a and suspended mineral concentrations of natural waters from submersible and low altitude optical sensors. **Applied Optics**, v. 20, Issue 9, May 1:1704-1714. 1981.
- Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Dekker, A. G.; Malthus, T. J.; Wijnem, M. M. and Seyhan, E. Remote sensing as a tool for assessing water quality in Loosdrecht lakes. **Hydrobiologia (Historical Archive)**. V. 233, Numbers 1-3. May: 137 – 159. 1992.
- Dewidar, Kh. & Khedr, A. Water quality assessment with simultaneous Landsat - 5 TM at Manzala Lagoon, Egypt. **Hydrobiologia**, 457: 49 – 58, 2001.
- Friedefond, Jean-Marie; Gardel, L.; Guiral, D.; Parra, M. & Ternon, Jean-François. Spectral remote sensing reflectances of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. **Remote Sensing of Environment**, 80: 225 – 232. 2002.
- Harrington, J. A. & Schiebe, E. F. R. Remote sensing of Lake Chicot, Arkansas: monitoring suspended sediments, turbidity, and Secchi depth with Landsat MSS data. **Remote Sensing of Environment**, 39: 15-27. 1992.
- Hedger, R. D.; Olsen, N. R. B.; Malthus, T. J. & Atkinson, P. M. Coupling remote sensing with computational fluid dynamics modeling to estimate lake chlorophyll-a concentration. **Remote Sensing of Environment**, 79:116 – 122. 2002.
- Kloiber, Steven M.; Brezonik, Patrick L.; Olmanson, Leif G.; Bauer, Marvin E.. A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data. **Remote Sensing of Environment**. 82:38–47. 2002
- Lathrop, R G, J R; Lillesand, T M. Use of Thematic Mapper data to assess water quality in Green Bay and central Lake Michigan. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Vol. 52:671-680. 1986.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. John Wiley & Sons, Inc. Second Edition. New York. 1987.
- Moreira, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. Universidade Federal de Viçosa, 2. ed. 2003.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. Editora Edgard Blucher Ltda. APDR. 2a edição. São José dos Campos. 1995.
- Ruddorf, Conrado de Moraes. **Estudo da composição das águas da Planície Amazônica por meio de dados de sensor Hyperion/EO-1 e de reflectância de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.
- Schäfer, Alois. **Fundamentos de Ecologia e Biogeografia das Águas Continentais**. Editora da Universidade UFRGS – GTZ. Porto Alegre. 1985.
- Schäfer, Alois. **Die Küstenseen Südbrasilien. Ein Beitrag zur biogeographischen Raumanalyse der Restinga**. Franz Steiner Verlag. Stuttgart. 1992.

Schöder, R. Relevant parameters to define the trophic state of lakes. **Arch. Hydrobiol.** Stuttgart, 121 – 4:463 – 472. 1991.

Schwarzbold, Albano. & Schäfer, Alois. Gênese e morfologia das Lagoas Costeiras do Rio Grande do Sul. **Amazoniana.** IX – 1:87 – 104. 1984.

Vermote, E.F.; Tanré, D., Deuzé, J. L., Herman, M., Morcrette, J.-J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.** v. 35, n. 3, p. 675– 686, 1997. 781

Wetzel, R.G. **Limnology.** Second Edition. Saunders College Publishing. 860 pp. 1983.