

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DO FITOPLÂNCTON NA LAGOA DO PERI, ATRAVÉS DE TÉCNICAS APLICADAS DE SENSORIAMENTO REMOTO.

Bárbara Demarco ¹; Patricia Kazue Uda ² & Leonardo Ruschel Horn ³ & Alexandre dos Santos ⁴

RESUMO – A Lagoa do Peri, constitui o maior corpo de água doce da Ilha de Santa Catarina, além de configurar-se como área de preservação ambiental, integra o sistema de abastecimento da cidade de Florianópolis. Em virtude da sua importância, estudos têm sido conduzidos no local, revelando a presença de cianobactérias produtoras de toxinas, apresentando risco aos seus usos múltiplos, à saúde humana e biota aquática. Desta forma, para compreender a dinâmica de desenvolvimento do fitoplâncton, com baixo custo, resolução espacial e temporal, utilizou-se técnicas geoespaciais, complementando as metodologias tradicionais de monitoramento da qualidade da água. Utilizou-se o pigmento Clorofila *a* como indicador da comunidade fitoplantônica. Assim, foram adquiridos dados de concentração do parâmetro, através de dados fornecidos por projetos da UFSC. A aplicação de técnicas de análise espectral através das curvas de refletância para os diferentes pontos de monitoramento, em diferentes datas, propiciou a avaliação cruzada com dados de concentração da Clorofila *a*, por meio de imagens multiespectrais do sensor LandSat TM5. O método de correlação entre os dados de concentração da Clorofila *a* e da refletância na banda do verde aplicado apresentou um ajuste de r^2 0,685 para os pontos analisados.

ABSTRACT– Lagoa do Peri is the largest body of freshwater on the Island of Santa Catarina. It is also an environmental preservation area and is part of the water supply system of the city of Florianópolis. Because of its importance, studies have been conducted on the spot, revealing the presence of toxin-producing cyanobacteria, posing a risk to its multiple uses, human health and aquatic biota. In order to understand the dynamics of phytoplankton development, with low cost, spatial and temporal resolution, geospatial techniques were used, complementing the traditional methodologies of water quality monitoring. The Chlorophyll *a* pigment was used as an indicator of the phytoplankton community. Thus, parameter concentration data were acquired through data provided by UFSC projects. The application of spectral analysis techniques through the reflectance curves for the different monitoring points at different dates allowed the cross-evaluation with Chlorophyll *a* concentration data by means of multispectral images of the LandSat TM5 sensor. The correlation method between the Chlorophyll *a* concentration and the reflectance in the applied green band presented an adjustment of r^2 0.685 for the analyzed points.

Palavras-Chave – Clorofila *a*, Refletância, Sensoriamento Remoto

INTRODUÇÃO

As lagoas costeiras são corpos d'água terrestres separados do mar por uma barreira de areia ou conectados ao oceano por um ou mais canais. Estas lagoas foram formadas há cerca de 10 mil anos, durante eventos de progressão e transgressão do nível do mar (Kjerfve, 1994).

Esteves (2011), conceitua lagos costeiros como ambientes aquáticos lênticos que se distribuem ao longo da costa, podendo receber influência direta ou indireta do ambiente marinho. São ambientes que apresentam uma grande biodiversidade, representando importância ecológica e comercial, pois são mananciais muito explorados, seja para lazer ou abastecimento da população.

A Lagoa do Peri, objeto de estudo neste artigo, é um lago costeiro e constitui o maior corpo de água doce da Ilha de Florianópolis, em Santa Catarina. Dentro deste contexto, e a fim de proporcionar o atendimento às demandas da população pertencente ao município de Florianópolis, em meados de 2000 a Lagoa do Peri passou a compor o sistema de abastecimento público de água do município (PMISB, 2009).

O gerenciamento dos mananciais de abastecimento público de água, principalmente em regiões urbanizadas, está condicionado a múltiplas variáveis. Por este motivo, uma etapa importante é o monitoramento ambiental dos mananciais, pois uma vez contaminado, pode acarretar dificuldades no tratamento, comprometer o seu uso e ter efeitos sobre a saúde da população abastecida. (Bhattacharyya e Kapil, 2010).

Em 1994, iniciaram-se estudos na Lagoa do Peri, nos quais identificou-se a presença de comunidades fitoplanctônicas, em especial da espécie de cianobactérias, conhecida como *Cylindrospermopsis raciborskii* (Laudares-Silva, 1999; Silva e Senna, 1997).

A presença destes organismos em locais de abastecimento público é preocupante, tanto pelas alterações na cadeia trófica do ambiente, ao risco à saúde humana, como, também, pelas alterações operacionais em sistemas de tratamento de água (Coral, 2012). Assim, no intuito de regulamentar e proporcionar o controle dos índices relacionados à potabilidade e qualidade de água para consumo, a Portaria 2.914/MS/2011 determina procedimentos e medidas relacionados à qualidade de água para abastecimento. A mesma portaria sugere que para Estações de Tratamento de Água o valor máximo permitido de cianobactérias é de 20.000 células/ml.

Considerando a importância da Lagoa do Peri como manancial de abastecimento de uma parcela significativa da população de Florianópolis, e da presença de cianobactérias, a avaliação da composição, ocorrência e densidade da comunidade fitoplanctônica na lagoa deve ser rotina no sistema de monitoramento deste manancial.

Existem diversas formas de conduzir o monitoramento ambiental, dentre elas, destacam-se as técnicas de sensoriamento remoto, que devido à facilidade de aquisição de dados e ao baixo custo, tornaram-se uma ferramenta útil na estimativa de parâmetros qualidade da água (Silva, Coelho e Silva, 2017). Nas últimas décadas, as técnicas de sensoriamento remoto vêm permitindo a análise de fenômenos e características que variam espacialmente, com aplicações para a resolução de questões relacionadas a quantidade e qualidade de recursos hídricos de maneira eficiente. Neste contexto, este artigo busca identificar a ocorrência e proliferação dos organismos fitoplanctônicos na Lagoa do Peri, através de técnicas aplicadas de sensoriamento remoto.

ÁREA DE ESTUDO

Situada no estado de Santa Catarina, a Lagoa do Peri corresponde ao maior corpo de água doce da Ilha de Santa Catarina (Lapolli, 1990). Segundo Castilhos (1997), trata-se de um lago costeiro que se formou devido ao isolamento do mar, pela formação de depósitos de sedimentos. É um local de preservação ambiental, pertencendo ao Parque Municipal da Lagoa do Peri. A Figura 1 apresenta a lagoa em estudo.

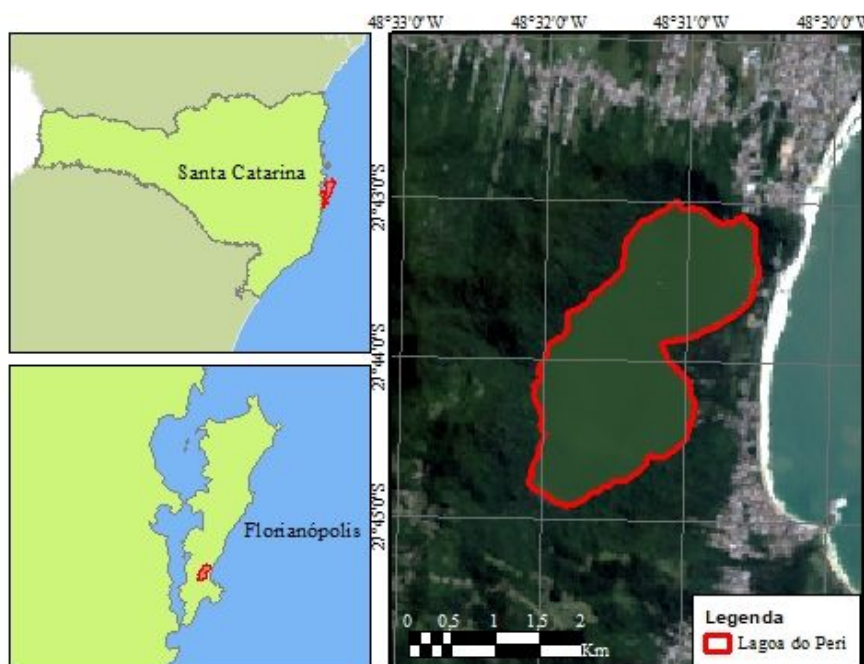


Figura 1 - Localização da Lagoa do Peri.

No parque, localiza-se a Estação de Tratamento de Água Lagoa do Peri, que abastece a porção Costa Leste/Sul de Florianópolis, projeto pertencente à Companhia de Águas e Esgoto de Santa Catarina (CASAN). A vazão de captação do manancial é de 200 l/s, constituindo um importante manancial de abastecimento do município (PMISB,2009).

A qualidade de seu manancial é uma preocupação constante para a operadora do sistema, uma vez que se trata do maior reservatório natural de água doce do município, atendendo até 113.000 habitantes nas altas temporadas de verão (PMISB,2009).

É possível observar um grande número de organismos fitoplanctônicos na Lagoa do Peri, principalmente relacionados à espécie das cianobactérias. A presença da mesma em mananciais de abastecimento de água tem sido destacada como um perigo em potencial para a água destinada ao abastecimento humano (Coral, 2012).

MATERIAIS E MÉTODOS

A aquisição dos dados de qualidade da água no local foi realizada junto ao laboratório de LIMNOS da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, onde foram coletadas amostras desde o ano de 2007 até o ano 2010. O monitoramento foi realizado para cinco pontos distintos ao longo do entorno da lagoa, no P01 – Ponto Central da Lagoa foram realizados coletas em outras 3 profundidades, numeradas pontos 2, 3 e 4 respectivamente, como apresenta a Figura 2.

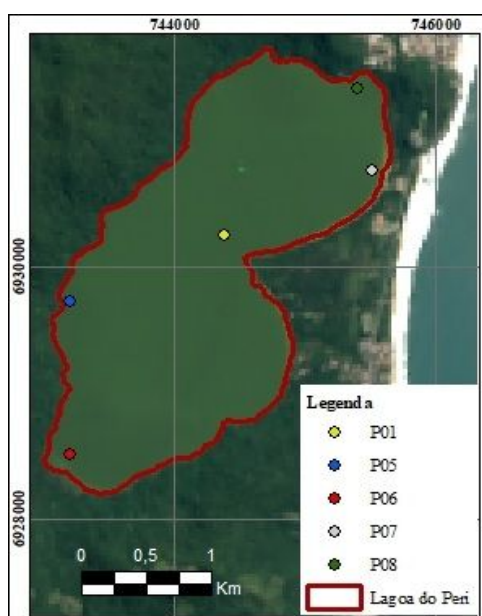


Figura 2 - Localização dos pontos de monitoramento.

Para o processamento e análise dos dados digitais foram utilizados os programas computacionais *ERDAS Imagine versão 2014*, *Envi 5.3*, *ArcGis 10.1* e *Microsoft Office Excel*.

As imagens analisadas, foram obtidas gratuitamente no site do Serviço Geológico Americano (USGS). No desenvolvimento do estudo, foram utilizadas as imagens do satélite LandSat TM5. Estas, possuem resolução radiométrica de 8 bits, resolução espectral com três bandas na região do espectro visível, uma banda no infravermelho próximo - IVP, duas bandas cobrindo o infravermelho médio - IVM, com data de passagem do satélite a cada 16 dias.

Para as imagens multiespectrais analisadas, foi realizado o ajuste geométrico, a calibração radiométrica e a correção atmosférica, com o intuito de adequar imagens para posterior processamento. Assim, utilizou-se o modelo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), no *software* Envi 5.3, para a correção atmosférica e calibração radiométrica. O modelo FLAASH possui duas bases em um modelo de transferência radiativa do tipo MODTRAN4 (*Moderate Resolution Atmospheric Transmission*), e seu algoritmo executa a correção para o efeito de adjacência (mistura de *pixel* devido ao espalhamento da superfície). O modelo FLAASH opera através de uma imagem de radiância do sensor e, a partir dela, obtém a refletância de superfície, derivando os parâmetros atmosféricos como albedo, altitude da superfície, coluna de vapor e água, profundidade óptica de aerossóis e nuvens, temperatura da superfície e da atmosfera.

Após, foram desenvolvidas 3 etapas, possibilitando aferir sobre a ocorrência dos organismos fitoplancônicos na área de estudo. Primeiramente, foram analisados os dados de refletância de diferentes objetos na superfície (vegetação, oceano, área urbana e Lagoa do Peri), objetivando avaliar os resultados de refletância da superfície, obtidas através do FLAASH. Para tanto, foram criados polígonos representativos dos diferentes usos e cobertura do solo, e, para cada imagem de refletância da superfície, foi extraído o valor da refletância média dentro desses polígonos. A Figura 3 mostra os polígonos criados para análise espectral.

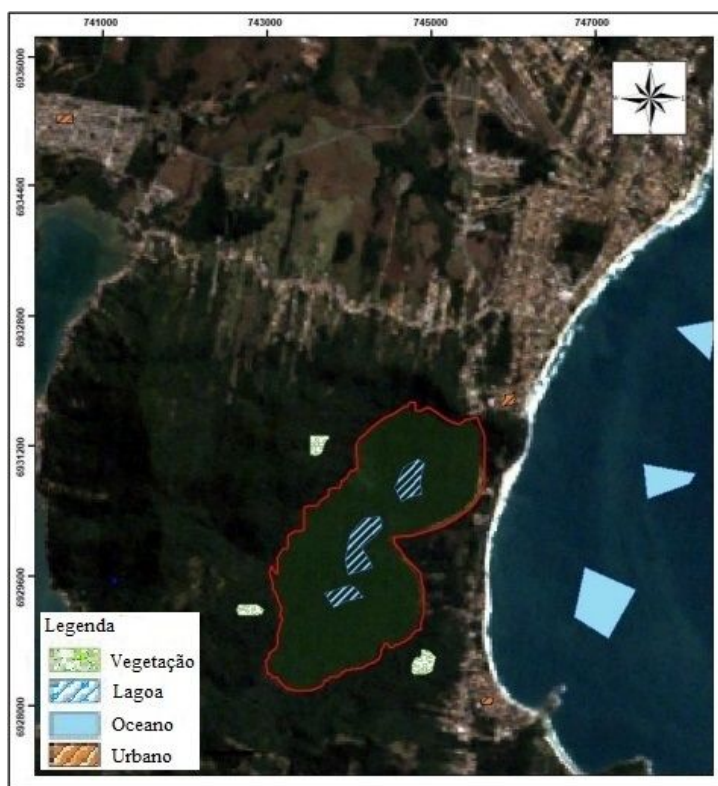


Figura 3 - Amostragem dos polígonos para análise espectral

A segunda etapa consistiu na comparação dos dados de refletância das áreas da Lagoa, representadas pelos polígonos da Figura 3, para as bandas do verde e infravermelho próximo, com as curvas espectrais da água com algas, apresentadas em Jensen (2010), como segue na Figura 4.

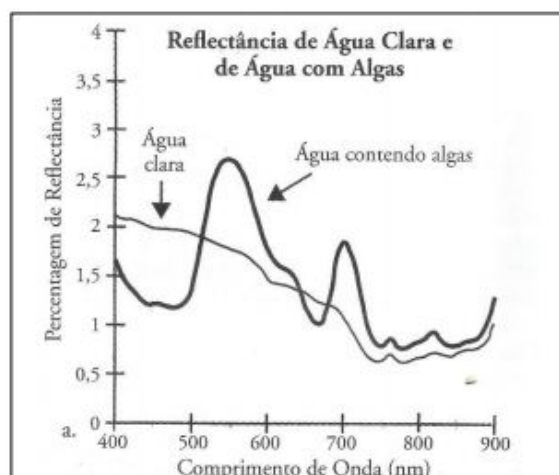


Figura 4 - Análise espectral da água. Fonte: Jensen, (2010).

Finalmente, foi realizada a correlação dos dados de Clorofila-a (medidos pela UFSC nos 5 pontos da Lagoa do Peri), com os dados espectrais das imagens de refletância, especificamente para os *pixels* de mesma localização dos 5 pontos de coleta. Assim, buscou-se compreender se a variação da resposta espectral detectada nas imagens de satélite, para a banda 2, do verde visível, também podiam ser identificadas nos dados de clorofila-a, obtidos nos 5 pontos de coleta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 mostra os os resultados das amostras coletadas realizadas pela UFSC de 2007 a 2010, embora apresentem valores um pouco altos, os resultados das análises estão em conformidade com o limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 no período avaliado.

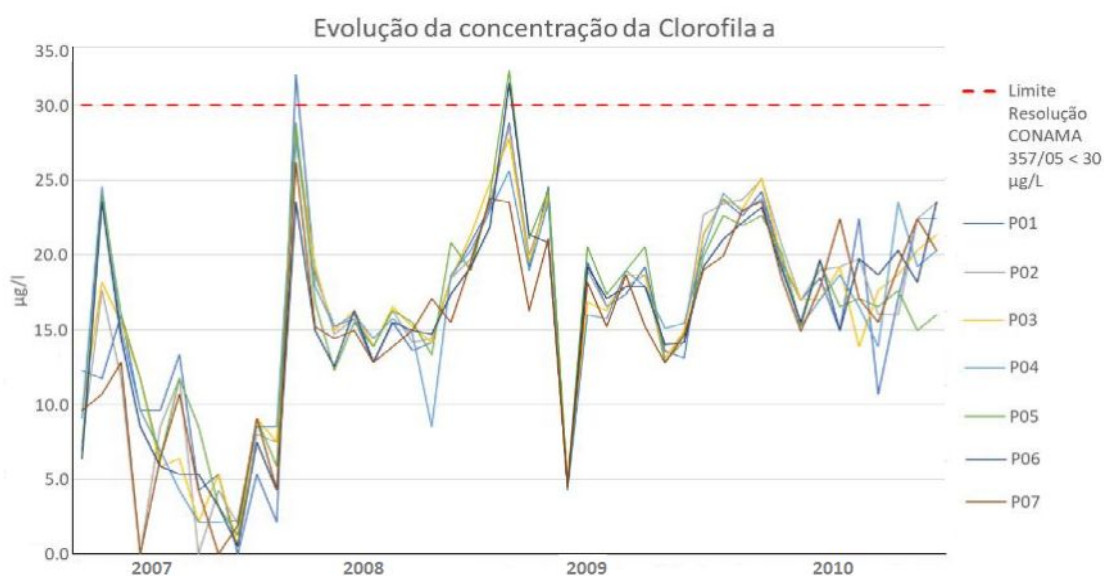


Figura 6 - Evolução das concentrações de Clorofila a.

A Figura 7 mostra os dados de refletância da superfície para vegetação, oceano, área urbana e Lagoa do Peri). Uma vez que os dados se apresentaram dentro das faixas esperadas, considerou-se validadas as informações obtidas.

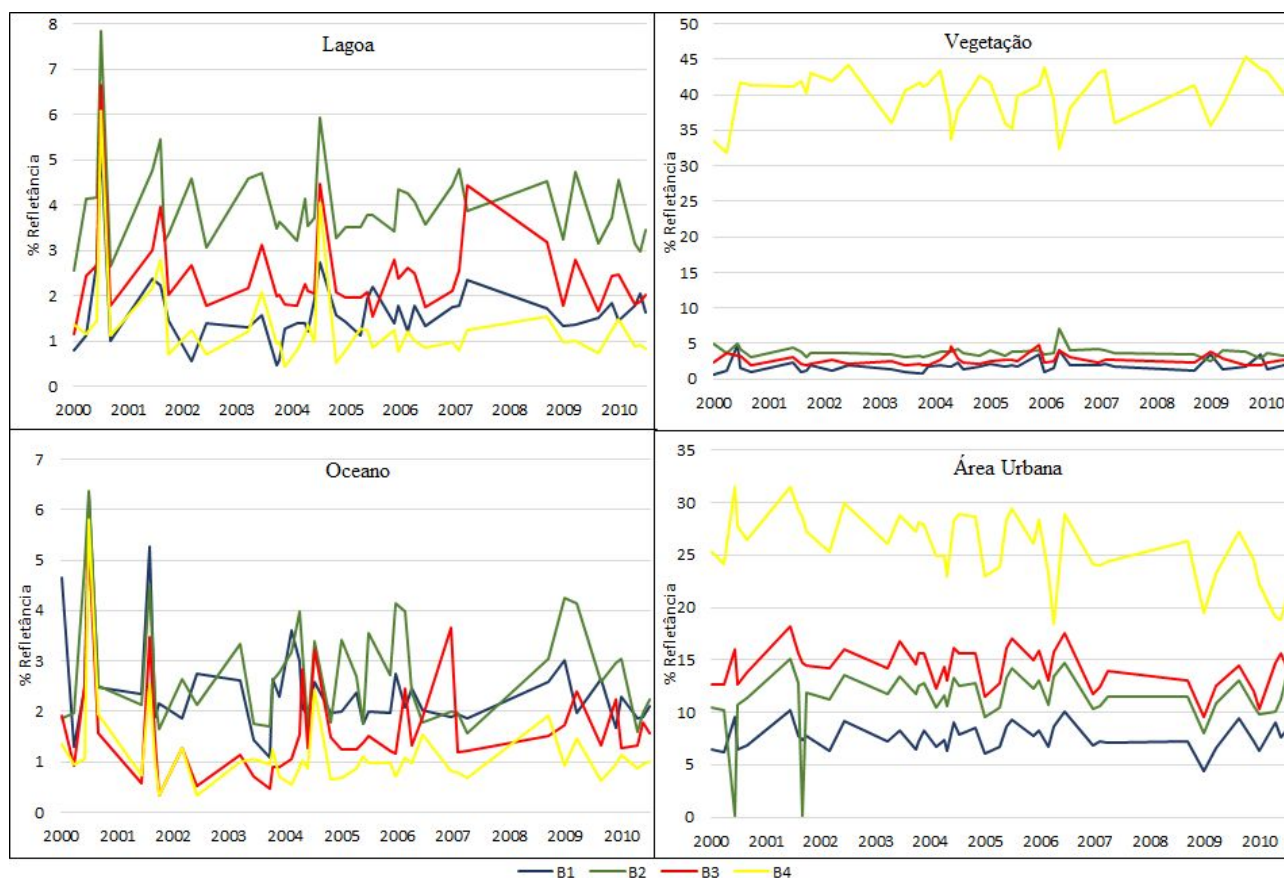


Figura 7 - Respostas espectrais para cada polígono

Os resultados apontam que, para a vegetação, a maior refletância foi verificada na banda 4, que representa a região do infravermelho próximo. Na região do espectro visível, a refletância é menor e há um pico na região do verde. Para área urbana, quanto maior o comprimento de onda, maior se mostrou a refletância apresentando comportamento similar ao teórico. O polígono da lagoa, em geral, apresentou baixas refletâncias na região do espectro visível, com picos na região verde, observada na banda 2, picos proeminentes na região do infravermelho próximo. Na região amostral do oceano observou-se refletâncias mais elevadas na região visível e para a região do infravermelho próximo baixos valores de refletância. Desta maneira, confirmou-se que os resultados do processamento digital das imagens geraram resultados dentro das faixas esperadas.

Na análise da resposta espectral na Lagoa do Peri, utilizou-se da Figura 4 como embasamento teórico, foi realizada a análise das curvas espectrais dos polígonos representativos da Lagoa. Observando os resultados das médias das refletâncias para as imagens analisadas, é possível aferir que na maior parte das imagens, a refletância média da Lagoa do Peri apresentou-se com

valores de 1,52% para a região do azul, 3,73% para região do verde, 2,12% para região do vermelho e 1,12% na região do infravermelho próximo.

Os espectros de refletância gerados para as imagens do estudo, mostram um possível efeito da presença de organismos fitoplanctônicos na Lagoa do Peri. As curvas espectrais de todos os levantamentos mostram que a região espectral com os maiores valores de refletância foi apresentada no verde, entre 525 e 605 nm, em comparação com as demais regiões. Isto pode ser justificado pela relevante presença de cianobactérias, que contém pigmentos de clorofila *a*, alterando a resposta espectral da água, e gerando picos de refletância na região do verde.

Para aferir acerca da correlação entre dados de clorofila *a* e as informações das curvas espectrais extraídas na banda do verde, foram construídos gráficos das curvas de % de refletância para um dos pontos, relativos às datas das imagens mais próximas às datas das campanhas onde foram observados os picos de concentração do parâmetro.

Na Figura 8 foram selecionadas 3 imagens (01/02/2009, 18/04/2010 e 28/11/2010) objetivando a comparação entre os resultados espectrais e as concentrações de clorofila *a*, para cada um dos pontos de monitoramento, no eixo horizontal são apresentados os intervalos correspondente às bandas espectrais e no eixo vertical a porcentagem de refletância para cada ponto.

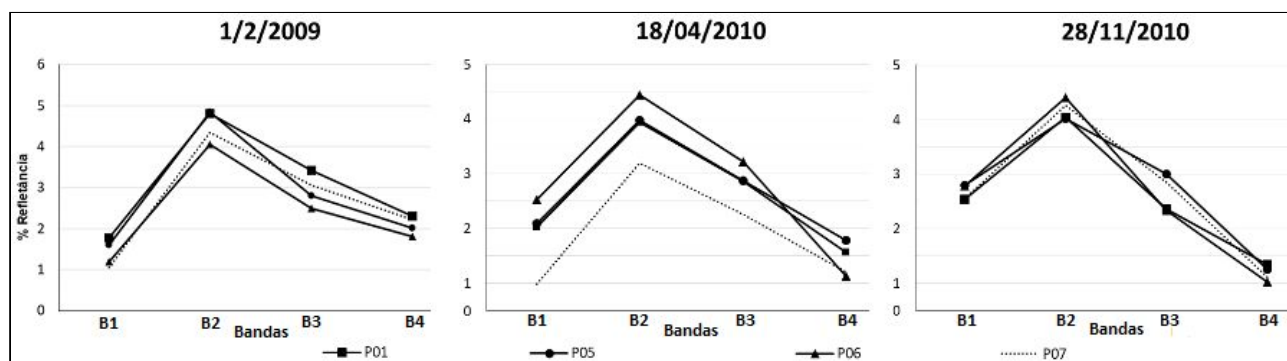


Figura 8 - Curva de refletância para os anos de 2009 e 2010.

Observando as curvas espectrais e os dados de concentração de clorofila *a* para as imagens, é notável o comportamento de absorção na região do azul, o pico de refletância na banda do verde, a absorção da luz vermelha na banda 3 e um pico proeminente de refletância na região do infravermelho próximo, configurando, segundo Jensen (2010), comportamentos de águas contendo algas.

Para as três imagens selecionadas como fator comparativo as datas de maiores valores medidos nas concentrações de clorofila *a* nas amostragens de qualidade de água, buscou-se a relação com os valores de refletância média na Banda 2, verde visível, uma vez que esta região do espectro permite uma boa avaliação do comportamento da clorofila *a*.

Desta forma, foi construída a tabela anexada na Figura 9, a qual traz os resultados relativos à refletância na banda do verde e os dados amostrais para concentrações de clorofila a em cada um dos pontos monitorados pela UFSC.

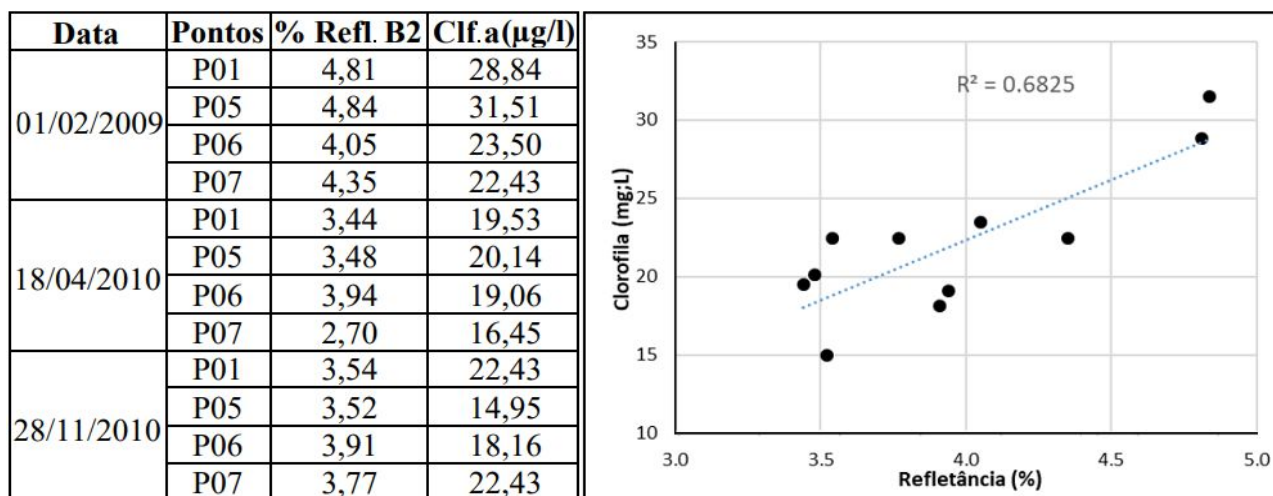


Figura 9 - Tabela de valores de concentração de clorofila e refletância na banda 2 e curva de dispersão.

Uma forma de visualizar a correlação entre duas variáveis é por meio do diagrama de dispersão, no qual os valores das variáveis são representados por pontos em um sistema cartesiano. Desta forma, para aferir acerca da correlação entre dados de clorofila a e as informações das curvas espectrais extraídas na banda do verde, foi construído um gráfico de dispersão, apresentado na Figura 9. O gráfico representa a dispersão linear entre as concentrações de clorofila a medidos nos levantamentos de campo da UFSC e a % de refletância na banda do verde, extraída das imagens.

A partir dos dados apresentados é perceptível que a ocorrência de maiores valores de refletância nos pontos, de modo geral, acontece quando há valores mais elevados para as concentrações de clorofila a.

O gráfico construído para avaliar a correlação entre os dados amostrais de concentração dos pontos de monitoramento da UFSC e a % de refletância na banda do verde, das imagens selecionadas, apresenta um $R^2 = 0,685$, representado uma correlação média para os resultados atingidos.

CONCLUSÃO

Da análise das curvas espectrais das feições características, vegetação, lagoa, oceano e área urbana, para cada uma das imagens analisadas, conclui-se que os resultados obtidos estão adequados, em relação ao comportamento espectral esperados para estas superfícies.

O método de correlação entre os dados de concentração da clorofila a e da refletância na banda do verde aplicado apresentou um ajuste de $R^2 0,685$ para os pontos analisados, que é uma

correlação média dos parâmetros. Isto indica que há potencial para identificação de pigmentos de clorofila-a usando imagens do sensor Landsat TM5, sendo uma ferramenta promissora para a avaliação da ocorrência de organismos fitoplanctônicos em corpos d'água, evidenciando possíveis alterações na comunidade fitoplanctônica na Lagoa do Peri.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHATTACHARYYA, K. G., & KAPIL, N. (2010). “*Impact of urbanization on the quality of water in a natural reservoir: A case study with the Deepor Beel in Guwahati city, India*”. *Water and Environment Journal*, 24(2), 83–96. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00157.x>

CASTILHOS, J. de A. (1997) “*Evolução paleogeográfica da planície costeira da praia da armação - Ilha de Santa Catarina, SC*”. Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis.

CORAL, L.A. (2012). “*Avaliação da pré-ozonização no controle de cianobactérias e de degradação de microcistinas*”. Santa Catarina, Brasil. 216 p. Tese de Doutorado em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis.

ESTEVES, F.A. (2011). “*Fundamentos de Limnologia*”. 3ª Ed. Interciência. Rio de Janeiro, RJ. 826p.

KJERFVE, B. (1994). *Coastal lagoons*. Elsevier oceanography series. Elsevier, p. 1-8.

JENSEN, J. R. (1949) “*Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*” / tradução José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos, SP. 2010.

LAPOLLI, E. M. (1990). “*Carta dos elementos do meio ambiente – Parque da Lagoa do Peri*”. Laboratório associado de sensoriamento remoto de Santa Catarina (LARS/SC), Florianópolis, 24 p.

LAUDARES-SILVA, R. (1999). “*Aspectos limnológicos, variabilidade espacial e temporal na estrutura da comunidade fitoplanctônica da Lagoa do Peri*”, Santa Catarina, Brasil. Tese de Doutorado, Universidade federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, 220 p.

PLANO MUNICIPAL INTEGRADO DE SANEAMENTO BÁSICO – PMISB (2009). “*Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico*”. Florianópolis: SMHSA.

SILVA, E. J., COELHO, F., & SILVA, W. P. da. (2017). “*Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos*”. *Cadernos UniFOA*, pp 121–130.

SILVA, R. L.; SENNA, P. A. C (1997). “*Estudos limnológicos na lagoa do Peri*”. *Aquitaine Ocean*, Florianópolis, SC. v. 3, pp 265-270.