

Influência das condições do tempo em espectros de reflectância da água

Waterloo Pereira Filho¹
Claudio Clemente Faria Barbosa²
Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo²

¹ Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Geociências - Prédio 17 – 97111-970 – Santa Maria – RS, Brasil
waterloo@base.ufsm.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
claudio@dpi.inpe.br; evlyn@ltd.inpe.br;

Abstract. This paper shows how weather affects radiometric measurements taken on the ground. Spectral data were collected at Lago Grande de Curuai – PA in June 2004 in the 400 to 900 nm range using a Spectron-590-SE. Concurrently to spectral data, total suspended solids (organic and inorganic) and chlorophyll concentrations at sub surface were also sampled. Ground samples were organized into three sets according to weather conditions: overcast sky, clear sky, windy days. As expected the best results were obtained under clear sky. Wind conditions were less detrimental than overcast sky conditions.

Palavras-chave: remote sensing, spectroradiometry, limnology, sensoriamento remoto, espectrorradiometria, limnologia.

1. Introdução

A coleta de dados espectrais em campo, principalmente de água, tem sido uma questão que envolve vários fatores que podem tornar complexa a interpretação dos espectros obtidos. Steffen (1996) propõe um procedimento de coleta de dados espectrais que visa normalizar as condições de obtenção de dados de campo, no que tange principalmente à geometria de visada. Os procedimentos de aquisição de dados espectrais, em corpos d'água, envolvem diversas situações que nem sempre são passíveis de ser controladas. Dentre estas, estão as condições do tempo durante a missão de campo, que alteram não apenas o campo de luz incidente, mas também as características da rugosidade da superfície da água pela ação do vento.

Os efeitos de absorção e espalhamento, sobre a reflectância espectral da água são apresentados em Curran e Novo (1988), Dekker (1993) e Kirk (1994). Já Barbosa et al. (2003) e Carvalho et al. (2003) mostram bons resultados entre as curvas espectrais e as imagens de satélite em estudo realizado em um lago da Amazônia e resultado semelhante é exposto por Froidefond et al. (2002) em água costeira sob influência do rio Amazonas na Guiana Francesa.

Os trabalhos desenvolvidos em laboratório permitem o controle das condições de iluminação e de visada pelo detector. Em trabalhos realizados por Mantovani e Cabral (1991) e Novo et al. (1991) sob essas condições é verificada boa resposta, no que diz respeito ao comportamento espectral e ao controle das variáveis da água avaliadas, tais como a concentração e a natureza dos sedimentos em suspensão.

O objetivo deste trabalho é identificar como as condições de campo, relacionadas às condições do tempo (iluminação e vento), podem interferir na reflectância da água.

2. Metodologia

Os dados foram obtidos em ambiente lótico amazônico, especificamente, em lagos localizados na planície aluvial do rio Amazonas. O lago Grande de Curuai foi utilizado para amostragem durante a primeira quinzena do mês de junho de 2004. As variáveis limnológicas utilizadas foram: sedimentos totais em suspensão (STS), sedimentos inorgânicos em suspensão (SIS), sedimentos orgânicos em suspensão (SOS) e clorofila. As amostras da água foram coletadas em condições de sub-superfície. Em campo, foram observadas as condições do tempo, tais como vento e presença do sol, e as condições da superfície aquática. Os dados espectrais foram obtidos com o espectrorradiômetro Spectron SE-590, sendo o espectro armazenado, a partir da média de quatro medidas de reflectância sem o uso de filtro polarizador.

Neste trabalho, os espectros de reflectância, obtidos em campo, foram reunidos de acordo com as seguintes realidades de campo: a) em condições adequadas, isto é, com sol, sem vento ou com brisa e com a superfície da água lisa ou com pequenas ondulações; b) com sol, com vento médio, com a superfície da água com ondulações pequenas e médias; c) nublado com vento fraco, com a superfície da água com ondulações pequenas.

A análise dos dados foi assim conduzida: primeiro, foi realizada uma análise exploratória dos espectros de reflectância, considerando os três contextos de aquisição dos dados; segundo, foi avaliado o impacto do tempo sobre as feições espectrais.

3. Resultados

O trabalho de campo apresentou condições heterogêneas na obtenção dos dados. Destaca-se, nesse sentido, a irradiância, já que alguns espectros foram obtidos com a presença de nuvens. Outra importante situação, presente em campo, envolve a ocorrência de ventos. Durante o trabalho de campo, boa parte dos dias apresentavam pelo menos alguma brisa leve. O primeiro conjunto de amostras avaliado corresponde à condição considerada adequada à obtenção de dados espectrais. Os resultados obtidos são apresentados na **Tabela 1**. Neste conjunto de dados, o sol estava presente em todas as amostras, também foi possível obter duas amostras sem vento e sem ondulações, as demais apresentaram brisa e ondas muito pequenas.

Tabela 1 – Variáveis limnológicas para amostras obtidas em condições adequadas.

Amostra	Cond. Céu	STS (mg/l)	SIS (mg/l)	SOS (mg/l)	Clorofila (ug/l)	Vento	Ondas
pcj42	sol	16,343	6,314	10,029	48,121	ausente	ausente
pcj43	sol	16,789	4,704	12,084	61,491	brisa	muito peq.
pcj44	sol	18,079	6,614	11,465	52,415	ausente	ausente
pcj45	sol	15,580	8,661	6,919	26,210	brisa	muito peq.
pcj46	sol	20,525	10,673	9,853	44,343	brisa	muito peq.

STS: sedimentos totais suspensos; SIS: sedimentos inorgânicos suspensos; SOS: sedimentos orgânicos suspensos.

Observa-se que as amostras pcj42 e pcj44 apresentam aumento na reflectância do azul, considerando os comprimentos de onda de 400 a 430 nm (**Figura 1**). As duas amostras foram obtidas em condições de ausência de vento e de onda na água. Já os demais espectros obtidos

com um pouco de vento, classificado como brisa, e com ondas muito pequenas não apresentaram este resultado.

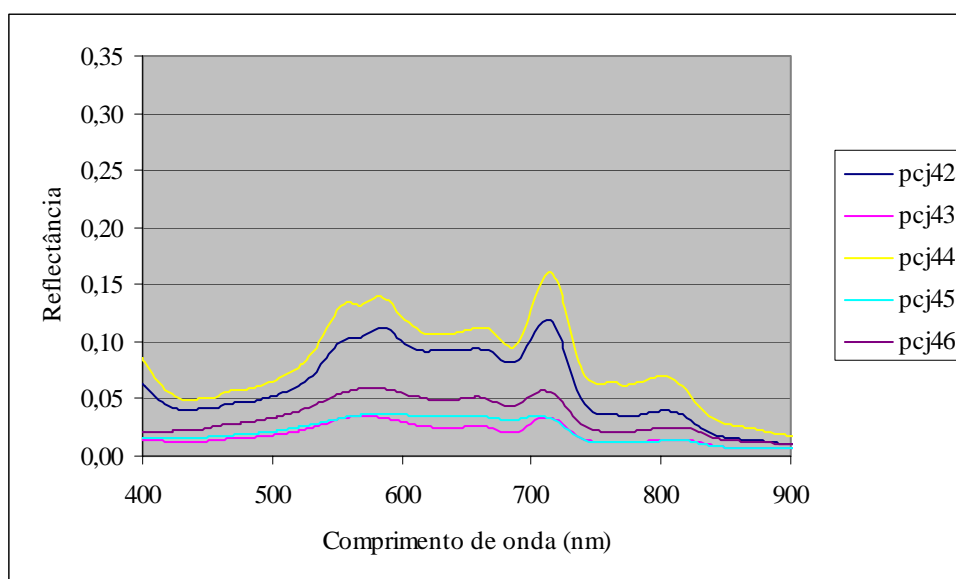


Figura 1 – Reflectância de amostras em condições adequadas de campo.

Considerando-se o albedo, verifica-se uma tendência de comportamento semelhante àquele observado na faixa do azul do espectro, ou seja, os mesmos espectros que apresentaram influência no azul também mostram maiores albedos. As amostras pcj42 e pcj44 foram obtidas em ótimas condições de tempo, seus valores de STS foram de 16,34 e 18,01 mg/l, respectivamente. Nessas condições, o albedo foi relacionado com o STS.

Outra observação realizada, no conjunto de amostras, foi a existência de feições de absorção em comprimentos próximos a 570 nm. Esse efeito foi verificado também nas amostras anteriormente analisadas. Destaca-se que, embora a amostra pcj43 tenha apresentado maior concentração de clorofila (61,49 $\mu\text{g/l}$), não foi observada a feição de absorção. Nesse caso, ou ela não apresenta a feição de absorção ou a feição foi obliterada pela presença de brisa e ondas pequenas. A presença de alto valor de partículas inorgânicas também poderia produzir o mesmo efeito, mas não no caso dessa amostra que apresentou 4,704 mg/l de SIS, o mais baixo de todo o conjunto de amostras.

Mesmo não apresentando os maiores valores de clorofila as amostras pcj42 e pcj44 apresentam um pico de reflectância na faixa verde do espectro com valores acima de 10%. Ainda em relação a estas amostras observa-se que as amplitudes espectrais entre o vermelho e infra-vermelho próximo foram maiores em relação às demais amostras. É possível que o material orgânico ou as condições da superfície da água estejam atenuando esta feição na amostra pcj43. Porém o valor de material orgânico desta amostra (**Tabela 1**) não é muito diferenciado em relação as anteriores, o que sugere ser a condição de ondas muito pequenas na superfície da água o principal fator responsável. Mesmo a presença de brisa e ondulações da superfície muito pequenas foi suficiente para alterar algumas características dos espectros de reflectância.

No segundo conjunto de amostras, obtido com vento e ondas médias, verifica-se não só que as três primeiras amostras formam um conjunto com valores de STS, aproximados entre si, mas também que a última apresenta valores distantes das médias (**Tabela 2**). A amostra pcj112 se diferencia das demais, pois ela possui o menor valor de STS e de clorofila do conjunto.

Tabela 2 – Variáveis limnológicas para amostras obtidas em condições de tempo ventoso.

Amostra	Cond. Céu	Sts (mg/l)	Sis (mg/l)	Sos(mg/l)	Clorofila (ug/l)	Vento	Ondas
pcj61	sol	15,710	8,921	6,789	31,092	médio	médias
pcj64	sol	16,527	9,433	7,094	21,984	médio	médias
pcj108	sol	13,176	4,438	8,73875	41,463	médio	médias
pcj112	sol	6,548	3,510	3,038	10,631	médio	pequenas

STS: sedimentos totais suspensos; SIS: sedimentos inorgânicos suspensos; SOS: sedimentos orgânicos suspensos.

Nesse conjunto de amostras, observou-se o efeito dos STS sobre o albedo (**Figura 2**). Houve uma relação direta entre eles, ou seja, valores menores de STS apresentaram menores albedos. A variação na concentração de clorofila ficou bem relacionada com o registrado nos espectros. As amostras com maiores concentrações de clorofila apresentaram pico de reflectância no verde e pico de absorção no vermelho. A amostra pcj112, com menor concentração de clorofila (10,63 ug/l), não produziu o pico de absorção bem definido no vermelho.

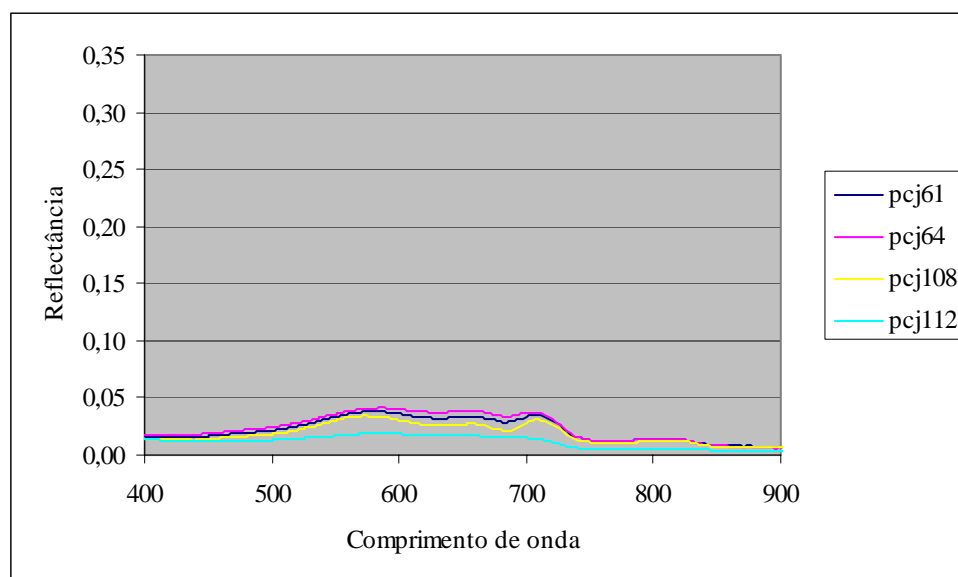


Figura 2 - Reflectância de amostras em condições de tempo ventoso

Em relação ao efeito provocado na faixa azul, observa-se que, nesse conjunto de amostras, não houve aumento de reflectância como no das amostras pcj42 e pcj44. A presença de vento, possivelmente, atenuou o efeito. A principal observação sobre os espectros de reflectância constatada no segundo conjunto de amostras foi a significativa atenuação do albedo. Em todas as amostras, independentemente dos valores das variáveis limnológicas, houve baixa reflectância, sempre inferior a 5%, similar às amostras com brisa do primeiro conjunto.

No terceiro conjunto de dados, obtido em tempo nublado, a amostra pcj84 foi a que apresentou ondas pequenas a médias (**Tabela 3**). Essa amostra exhibe dados limnológicos com valores próximos aos da amostra pcj82; no entanto, ela foi obtida em superfície com ondas pequenas. A amostra pcj81 é a que apresenta maior valor de STS e, também, de clorofila no conjunto de amostras.

Tabela 3 – Variáveis limnológicas para amostras obtidas em condições de tempo nublado.

Amostra	Cond. Céu	Sts (mg/l)	Sis (mg/l)	Sos(mg/l)	Clorofila (ug/l)	Vento	Ondas
pcj81	nublado sem sol	18,473	7,572	10,902	52,140	fraco	pequenas
pcj82	nublado sem sol	12,134	8,160	3,974	13,674	fraco	pequenas
pcj83	nublado com sol	16,450	10,017	6,433	17,773	fraco	pequenas
pcj84	nublado sem sol	13,086	8,531	4,555	12,049	fraco	pequenas a médias

STS: sedimentos totais suspensos; SIS: sedimentos inorgânicos suspensos; SOS: sedimentos orgânicos suspensos.

Nas condições presentes para as amostras da **Tabela 3**, observou-se um comportamento de resposta espectral, na faixa azul, semelhante àquele encontrado para o conjunto de amostras obtidas com sol. Para as amostras obtidas com ondas pequenas, ocorreu a reflectância em 400 nm maior do que em 430 nm (**Figura 3**) e somente para a amostra pcj84, obtida ainda com vento fraco e com ondas de pequenas a médias, não houve esse efeito. A variação de albedo não seguiu a variação de STS, pois o albedo parece estar vulnerável às condições de rugosidade da superfície da água, já que, na presença de vento fraco e sob ondas pequenas e médias, a reflectância tende a ser menor em todo o espectro. Num sentido oposto, o céu nublado produziu espectros com maior albedo. Esse efeito deve ter origem no irradiância difusa do céu, que proporciona um efeito aditivo nos espectros.

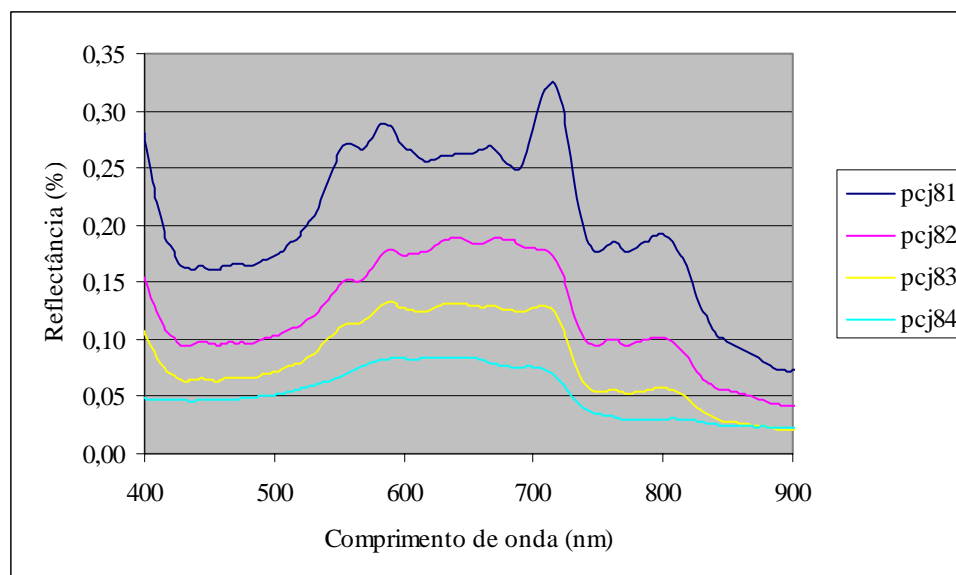


Figura 3 – Reflectância de amostras em condições de tempo nublado.

O céu nublado causou um efeito oposto no espectro de reflectância em relação à condição de vento e ondas médias. Sob ondas médias, houve uma diminuição do albedo; sob céu nublado, houve aumento. Esse padrão foi observado tanto considerando o SIS quanto a clorofila. A distribuição do albedo em relação ao SIS e à clorofila pode ser observada na **Figura 4**. O efeito negativo mais intenso parece ser em relação à clorofila, para espectros sob

vento, visto que sua distribuição não indica tendência entre tais variáveis. A média do albedo, em condições normais, foi de 24; sob vento, foi 11 e sob nuvens, 64.

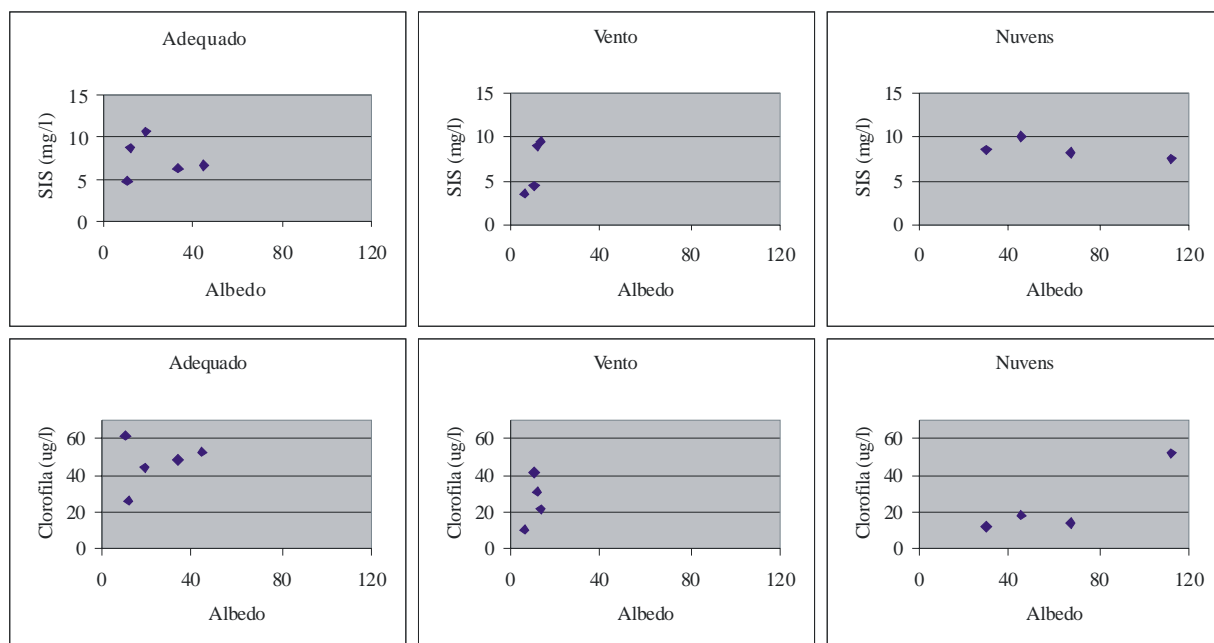


Figura 4 - Variação de albedo em função das condições do tempo.

Em vista das oscilações de reflectância dada às condições do tempo, avaliou-se o impacto sobre uma das mais importantes feições de absorção da clorofila. Nesse sentido, foi medida a diferença e a razão entre 714 e 690 nm. Como as variações nas condições do tempo interferem nos valores absolutos, a diferença entre os comprimentos de onda apresentou menor correlação (0,70; $p=0,01$) do que a razão (0,95; $p=0,00$). Isso se deve ao fato de que a razão entre canais avalia as feições de forma relativa. A **Figura 5** mostra a dispersão entre a diferença (**Figura 5a**) e a razão (**Figura 5b**) dos dois comprimentos de onda e a clorofila. O coeficiente de determinação da regressão foi de 0,90 para a razão e 0,50 para a diferença.

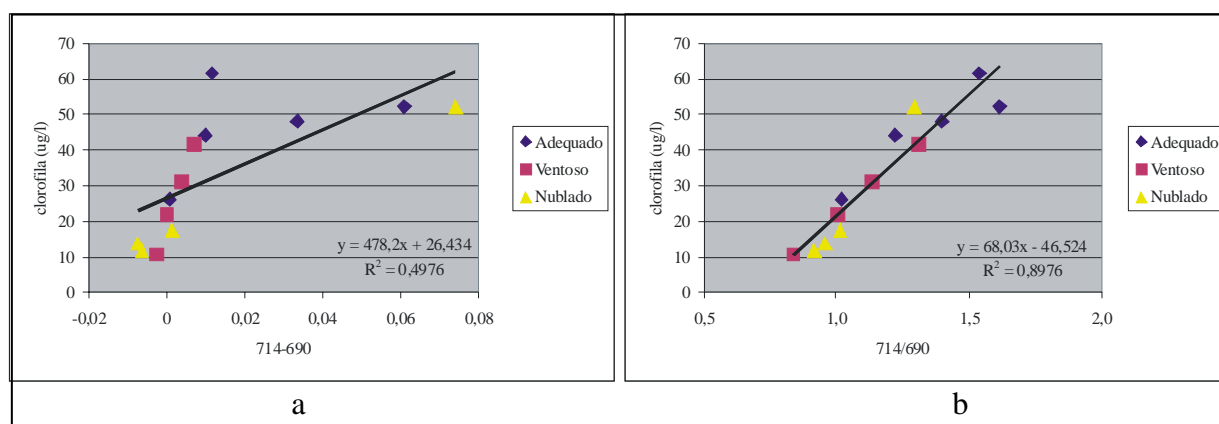


Figura 5 – Dispersão entre a diferença de reflectância em 714 e 690 nm e clorofila em “5a” e entre a razão em 714 e 690 nm e clorofila em “5b”.

Embora o grau de liberdade seja pequeno, observou-se, na **Figura 5b**, o melhor ajuste das amostras obtidas em condições de vento. Em segundo lugar, as amostras em tempo nublado e, finalmente, as amostras oriundas de condições consideradas como adequadas. O último

conjunto foi identificado em situação heterogênea. As condições sem vento e sem ondulações e com brisa e ondulações muito pequenas foram suficientes para modificar o padrão de resposta entre as amostras.

Em relação aos sólidos inorgânicos em suspensão, foi observado um efeito semelhante ao ocorrido em relação à clorofila, no que se refere aos valores absolutos e relativos. A **Figura 6a** mostra a dispersão dos dados em relação à diferença entre os comprimentos de ondas de 550 e 700 nm e seu baixo valor de regressão (0,11) para essas amostras a correlação não foi significativa, apresentando valor de -0,34 ($p=0,26$). Na **Figura 6b**, por outro lado, adotando-se a razão entre os comprimentos de ondas, observa-se o aumento da regressão. A regressão foi de 0,47 e a correlação de -0,69 ($p=0,01$).

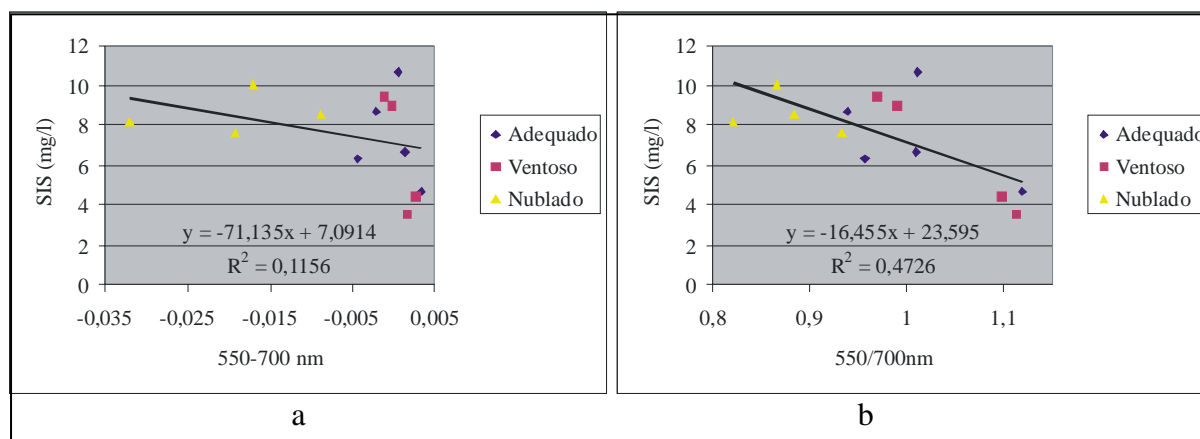


Figura 6 – Sólidos inorgânicos em suspensão (SIS) e a diferença entre 550 e 700 nm em “a” e razão em “b”.

Considerações finais

Condições ótimas de aquisição de espectros de reflectância, isto é, com sol e superfície da água sem ondas, permite uma avaliação dos dados com seus valores absolutos. A presença de vento e céu nublado produz consequências opostas nos espectros de reflectância. O vento diminui o albedo; já o céu nublado, aumenta o albedo. Superfícies com ondas obliteram feições de absorção na faixa verde do espectro e diminuem a amplitude da feição de absorção associada à clorofila, para comprimentos de onda de 690 e 714 nm. A presença de ondas prejudicou também as correlações com o sedimento inorgânico em suspensão. De um modo geral, o vento interferiu no efeito especular da água, no que diz respeito ao espalhamento no azul. Nesse sentido, é indicado o uso de filtro polarizador para atenuar tal efeito. O céu nublado proporcionou um efeito aditivo, oriundo da irradiância difusa da atmosfera, em toda a faixa espectral trabalhada. Por outro lado, nem a superfície com ondas nem o céu nublado comprometeu a avaliação quando realizadas análises com valores relativos dos espectros.

Agradecimento

Agradecemos a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro, sob o processo nº 2002/00785-3, para a realização desta pesquisa.

Referências

Artigo em Revista:

Curran, P. J.; Novo, E. M. M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. **Journal of Coastal Research**, 1988. v. 4, n. 3, p. 351-368.

Froidefond, J.-M.; Gardel, L.; Guiral, D.; Parra, M.; Ternon, J.-F. Spectral remote sensing reflectance of coastal waters in French Guiana under the Amazon influence. **Remote Sensing of Environment**, 2002. v. 80, p. 225-232.

Mantovani, J. E.; Cabral, A. P. Tank depth determination for water radiometric measurements.. **International Journal of Remote Sensing**, 1991. v.13, n.14, p.2727 - 2733.

Novo, E. M. L. M., Steffen, C. A., Braga, C. Z. F. Results of a Laboratory Experiment Relating Spectral Reflectance to Total Suspended Solids. **Remote Sensing of Environment**. 1991.

Livro:

Kirk, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems** Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 2ed. 509p.

Dekker, A.G. **Detection of Optical Water Quality Parameters for Eutrophic Waters by High Resolution Remote Sensing**. Amsterdam: University of Amsterdam, 1993.

Eventos:

Barbosa, C.C.F.; Novo, E.M.L.M.; Carvalho, J.C.; Pereira Filho, W.; Mantovani, J.E. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003. p. 1099-1106. Disponível na biblioteca digital URLib:<http://iris.sid.inpe.br:1908/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.20.11/doc/18_329.pdf>. Acesso em: 13 out. 2004.

Carvalho, J.C.; Barbosa, C.C.; Novo, E.L.M.; Melack, J.; Mantovani, J.E.; Pereira Filho, W. Applications of Quantitative Analysis Techniques to Monitor Water Quality of Curuai Lake, Brazil. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM 2003, 21 up to 25 July, Toulouse, France, 2003. **Proceedings of the IGARSS'03**, vol. IV, p. 2362 - 2364. Meio de divulgação: CD ROM.

Steffen, C. A. Técnicas radiométricas com o Spectron SE-590. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 14-19 abr. 1996, Salvador. **Anais...** 1996. Artigos, p. 9-14. CD-ROM. Publicado como: INPE-6163-PRE/2252.