

## Análise da resposta espectral da água em estações de tratamento para comprimentos de onda dentro do visível

Edison Espig Moraes<sup>1</sup>  
Marco Ivan Rodrigues Sampaio<sup>1</sup>  
Valéria Quevedo Garcia<sup>1</sup>  
Paulo de Tarso Gonçalves Severo<sup>1</sup>  
Maurício Alonso<sup>1</sup>  
Luis Garcia Guimarães<sup>1</sup>  
Rudiney Soares Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria - UFSM/CCR/Departamento de Engenharia Rural - Prédio 42 - 97105-900 - Santa Maria - RS, Brasil  
{edison.em, sammarco18, vqgarcia}@hotmail.com;  
{paulodetarsogsevero, alonsonline}@gmail.com;  
luisgarciaquima@yahoo.com.br; rudiney@smail.ufsm.br

**Abstract.** The present work proposes a study of the reflection of water in an interval of length of the wave for the visible in a station of water treatment (CORSAN-RS) in Santa Maria – RS, with the use of a portable spectroradiometer, where were collected spectral data of water from its arrival in a brute state and in the different stages of the treatment, until its effective availability to consumption. The hypothesis found were that the reflection would be different in the several stages of treatment converging to our specific objective which was to study the spectral behavior of the different stages of the water treatment. For such aim, we collected spectral samples of brute water, chloride water and in different sections of decantation tanks, in a total, it was collected 54 samples in the wave strip between 400nm and 700nm, which after that were statistically treated. The observed results show that the greater amount of reflection occurs in the brute water, in the chloride water and in the last, in the decantation tanks respectively, being the variables in those tanks of decantation present meaningful differences in this strip of wave length. The study showed that the effectiveness of the analysis of water reflection in the length of the wave for the visible, this way, it is possible to detect different levels of purity. Those data prove the efficiency of the spectroradiometer in the verification of the process of water treatment.

**Keywords:** remote sensing, spectroradiometer, water quality, reflectance, sensoriamento remoto, espectralradiômetro, qualidade da água, reflectância.

### 1. Introdução

O desenvolvimento das atividades antrópicas tem causado efeitos danosos sobre o meio natural. Atividades como agricultura, pecuária, indústrias e o próprio processo de expansão urbana, gerando impactos ambientais sobre os recursos hídricos superficiais.

As intervenções humanas implicam em constantes modificações no espaço terrestre, proporcionando uma demanda por constantes atualizações das informações obtidas em campo. No entanto, a utilização da tecnologia do Sensoriamento Remoto, tem proporcionado o monitoramento da superfície terrestre ao longo do tempo, possibilitando desta maneira, a obtenção de dados sobre a transformação de áreas de forma sistemática. (Florenzano, 2002).

O avanço célere da urbanização, sem o acompanhamento de uma política urbana integrada à gestão ambiental, tem emergido a imperiosa necessidade de se planejar racionalmente a utilização dos espaços e uso dos recursos naturais, gerando a necessidade do controle da qualidade da água.

A deficiência dos serviços de fornecimento de água potável advém da contaminação dos recursos hídricos, em face de ocupação desordenada de suas margens e a retirada das matas ciliares, de forma descontrolada, provocando um processo de assoreamento intenso, reduzindo o volume de água dessas coleções hídricas.

Nas questões urbanas que envolvem o meio ambiente, o espectroradiômetro está entre o mais moderno instrumento para o auxílio ao controle das águas e seu monitoramento, uma vez que, entre as principais aptidões encontra-se a de simular e interrelacionar eventos de natureza intrinsecamente espacial. Esta ferramenta permite a projeção de cenários para efeito de planejamento, bem como o modelamento de funções de correlação e a interação de dados de monitoramento para efeito de controle, supervisão e obtenção de diagnósticos.

Assim este trabalho tem como objetivo preponderante demonstrar que a partir da análise de gráficos oriundos da coleta de dados espectrais bem como de um estudo estatístico dos mesmos é possível auxiliar na avaliação do tratamento de água implementado, levando-se como base a reflectância nas principais fases de tratamento.

Com a análise desses dados são possíveis as investigações sistemáticas de todas as unidades de tratamento por parte dos órgãos competentes a fim de averiguarem o padrão de qualidade bem como quanto a fiscalização do cumprimento de normas pertinentes a este setor. A qualidade da água de um reservatório tem implicações diretas no processo de tratamento e no seu custo, visto que é utilizada para abastecer uma cidade, como por exemplo, Santa Maria. A pesquisa tem demonstrado que dados na região óptica do espectro eletromagnético para o caso da água, trazem diferenças quando existem junto materiais como solo, vegetação e impurezas e produtos químicos, afetando no comportamento espectral da água.

## **2. Revisão bibliográfica**

Um dos campos de estudo que está diretamente ligado ao desenvolvimento tecnológico é o Sensoriamento Remoto. Ele é utilizado, principalmente na área tecnológica, para obtenção de informações à distância, sem contato físico com o alvo, possibilitando o estudo do ambiente terrestre em suas diversas manifestações. Souza (1997) comenta que as técnicas de Sensoriamento Remoto, são utilizadas com a finalidade de avaliar e monitorar os recursos naturais, presente em todas as áreas do conhecimento, especialmente nas áreas ligadas ao meio físico, busca verificar os conflitos de uso do solo, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais, a poluição de rios, áreas de risco nos centros urbanos, modificações ambientais, entre outras.

A coleta de dados espectrais da 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, como referência também à geometria de visada. Os procedimentos de aquisição de dados espectrais, em corpos d'água, envolvem diversas situações que nem sempre podem ser controladas. Dentre estas, estão as condições do tempo durante a coleta de dados, que alteram o campo de luz incidente e 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). Os trabalhos desenvolvidos em laboratório permitem o controle das condições de iluminação e de visada pelo detector, o que possibilita a verificação de uma boa resposta espectral (Mantovani e Cabral, 1991) e no controle das variáveis da água avaliadas.

A água que chega a uma estação de tratamento provém de um reservatório e a sua qualidade está relacionada com a conservação da vida nos ambientes terrestre e aquático e depende das condições da área inundada, ou seja, poluição decorrente de dejetos humanos, algas provenientes até mesmo da não remoção de florestas antes da formação do reservatório de água, entre outros.

Os sedimentos em suspensão são um dos componentes que fazem variar a resposta espectral da água, podendo ser opacos ou transparentes, coloridos ou incolores e estão diretamente relacionados com a disponibilidade de luz neste ecossistema (Barbosa, 2003).

Retornando ao sensor remoto em questão, o espectroradiômetro, existem fatores que interferem no comportamento espectral dos alvos medidos por este sensor, como a água. Segundo Fiorio (2004) podemos citar o nível de aquisição, a geometria de aquisição dos dados, os parâmetros atmosféricos e os parâmetros relativos ao alvo. O nível de aquisição diz respeito ao fato de haver uma diferença na resposta espectral quando os dados são coletados no campo (reservatórios) ou em laboratório, pois a curva espectral que indica a reflectância apresenta alterações. Quanto à geometria de aquisição leva-se em consideração o IFOV (ângulo de visada) do espectroradiômetro, o seu ângulo quanto a posição vertical e a inclinação solar no momento da coleta. O aumento desta inclinação gera uma diminuição da irradiância solar sobre o alvo o que reduz a quantidade de energia que é refletida. Já o IFOV sendo maior acarretará no aumento do componente de radiância da atmosfera na energia refletida.

Para este mesmo autor, o comportamento espectral da água no estado líquido apresenta resposta mais considerável entre 380nm e 700nm, absorvendo cada vez mais energia acima de 700nm. Entretanto em outros estados físicos esta resposta é diferente. A reflectância é atenuada ou acentuada de acordo com os elementos químicos ou partículas em suspensão que estão presentes na água. E isto faz com que no presente trabalho seja possível verificar a distinção da resposta espectral em cada ponto do reservatório.

Além disso, Decker et al. (1993) verificou a qualidade da água em ambientes aquáticos continentais pelo sistema MSS, sugerindo o uso das faixas entre 600 e 700 nm para estimar a quantidade de detritos orgânicos, algas e matéria dissolvida.

Sólidos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes e matéria orgânica são os principais componentes responsáveis pelo comportamento espectral da água. (Barbosa, 2003).

Para Kirk (1994), quanto aos dados espectrais, destaca que, os aumentos dos sólidos em suspensão proporcionam um aumento na reflectância.

Assim, o estudo da assinatura espectral da água permite a seleção de intervalos de comprimento de onda para análise e obtenção de conclusões importantes.

Vejamos também que ao chegar a uma estação de tratamento, os seguintes processos são efetuados para que a água seja adequada ao consumo, segundo a CORSAN:

**1 – Cloração:** consiste na adição de cloro. Este produto é usado para destruição de microorganismos presentes na água;

**2 – Floculação:** processo onde a água recebe uma substância química chamada de sulfato de alumínio. Este produto faz com que as impurezas se aglutinem formando flocos para serem facilmente removidos (o sulfato de alumínio pode ser inserido juntamente com o cloro);

**3 – Decantação:** como os flocos de sujeira são mais pesados do que a água caem e se depositam no fundo do decantador;

**4 – Filtração:** a água passa por várias camadas filtrantes onde ocorre a retenção dos flocos menores que não ficaram na decantação. A água fica livre das impurezas;

**5 – Fluoretação:** é uma etapa adicional. O produto aplicado tem a função de colaborar para redução da incidência da cárie dentária.

### 3. Metodologia de trabalho

Considerando o período que foi realizado o trabalho de campo, registra-se que os dados foram coletados no dia 29 de agosto de 2008, em horário de inclinação solar superior a 45°, entre 10 e 12 horas com temperatura ambiente de 16° C, em condição de atmosfera limpa. As coletas foram realizadas com o espectroradiômetro Field Spec R3.

Em primeiro lugar, nessa etapa, foi realizada a calibração do espectroradiômetro fazendo-se uma aferição do mesmo com base em uma superfície lambertiana ideal nas mesmas condições de iluminação e observação que foram realizadas as medidas. A leitura com o espectroradiômetro deu-se com o posicionamento do equipamento em uma altura média de

0,60 m em relação à superfície da água, com um campo de visada angular fixo em 25°, e uma inclinação de 45° com a vertical. A primeira coleta foi feita na água bruta que chega a estação de tratamento, sendo parte originária do Reservatório Rodolfo Costa e Silva - São Martinho da Serra - RS e do Reservatório do DNOS – Santa Maria - RS. A segunda coleta foi feita no tanque de cloração. Nesta fase de tratamento já estava adicionado o sulfato de alumínio e cloro, nas dosagens de (15mg/l) e (1,5mg/l) respectivamente, sendo neste ponto coletadas três amostras.

Conforme mostra a tabela 1 abaixo, os dados coletados foram obtidos nos tanques de decantação T1, T2 e T3, na forma bruta quando a água chega à estação de tratamento e com a água acrescida de cloro e sulfato de alumínio. Em cada tanque houve as medições nas secções S1, S2 e S3, levando-se em consideração apenas o espectro eletromagnético com comprimento de onda dentro do visível.

Tabela 1 – Tabela de pontos de coleta dos dados e secções

Espectro Eletromagnético Visível			
Pontos de Coleta	Secções		
	S 1	S 2	S 3
T 1	VT1S1	VT1S2	VT1S3
T 2	VT2S1	VT2S2	VT2S3
T 3	VT3S1	VT3S2	VT3S3
Bruta	VBRUTA		
Cloro/ $Al_2(SO_4)_3$	VCLORO		

Convém ressaltar que a água que alimenta os tanques de decantação é oriunda de nove flocculadores que é a fase anterior a decantação. A água pura foi coletada na saída para o abastecimento e colocada dentro em recipiente sobre um papel de sulfite com coloração branca, aonde foram coletadas amostras. Com base nos dados coletados, foi possível a elaboração dos gráficos de radiância *versus* comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a análise espectral da água na unidade de tratamento da CORSAN-SM.

Finalizamos esta seqüência com uma análise estatística dos dados coletados a fim de expormos conclusões mais verossímeis. Trabalhamos estatisticamente com o software R 2.8.0 através do qual se obteve o valor médio das médias, a variância e outras informações aplicando-se os testes F, Bartlett, Shapiro-Wilk e Tukey HSD.

Abaixo, na figura 1, mostramos a imagem da estação de tratamento da CORSAN, especificando os pontos onde foram efetuadas as coletas das amostras.



Figura 1 – Estação de tratamento da CORSAN em Santa Maria - RS

#### 4. Análise e discussão dos resultados

Quando aplicamos testes estatísticos sobre as médias das amostras espectrais dentro do visível, em cada ponto de coleta (já descrito acima), passamos a confirmar e a identificar a seqüência do tratamento da água.

O valor médio entre as médias das reflectâncias de cada posição de coleta nos indica que a maior reflectância ocorre com a água bruta, seguida da água clorada e pela posição T3S3 (tanque 3 – secção 3), demonstrando que em pontos de maior concentração de sólidos em suspensão há maior reflectância. Nos tanques, já fica evidenciado que os flocluladores são redutores do número de sólidos em suspensão, pois inclusive as médias das reflectâncias entre os tanques indicam que no tanque 3 existe maior reflectância que no tanque 1, pois a água que chega até ele passa por um número maior de flocluladores. Já entre as secções, analisando o valor médio das reflectâncias, também é possível notar o processo de decantação cumprindo a sua finalidade, pois a reflectância é menor na secção 1 com relação a secção 3 (maior número de sólidos em suspensão).

A maior variância entre as amostras ocorreu com a média do tanque 3 - secção 1 e que a menor variância ocorreu com as médias do tanque de inserção de cloro e também de sulfato de alumínio.

A partir da aplicação do teste F na tentativa de verificar se a variância maior era significativamente diferente da menor se concluiu que não há nenhuma variância significativamente diferente das demais.

Já através do teste de Bartlett mostrou-se que houve homogeneidade entre as variâncias analisadas, dando assim maior credibilidade aos dados originados das amostras.

Numa seqüência estatística, se aplicou o teste de Normalidade das observações (reflectâncias) nos diferentes tratamentos com a finalidade de determinar se estas variáveis

aleatórias são variáveis aleatórias normais. O teste de Normalidade aplicado foi o Shapiro-Wilk devido ao fato de indicar se as reflectâncias poderiam ter vindo de uma distribuição normal de amostras. Na aplicação do teste Shapiro-Wilk constatou-se que todos os dados amostrais (reflectâncias dentro do visível) colhidos nos variados tanques de decantação encontram-se dentro da normalidade, ou seja, provém de uma população normal de amostras.

Ao aplicarmos a análise da variância para verificar se há diferenças em reflectâncias médias entre as diferentes posições de leitura, verificou-se que são altamente significativas. Assim, afirma-se que há diferença significativa entre as reflectâncias médias em todas as posições de leituras, como podemos observar no gráfico 1.

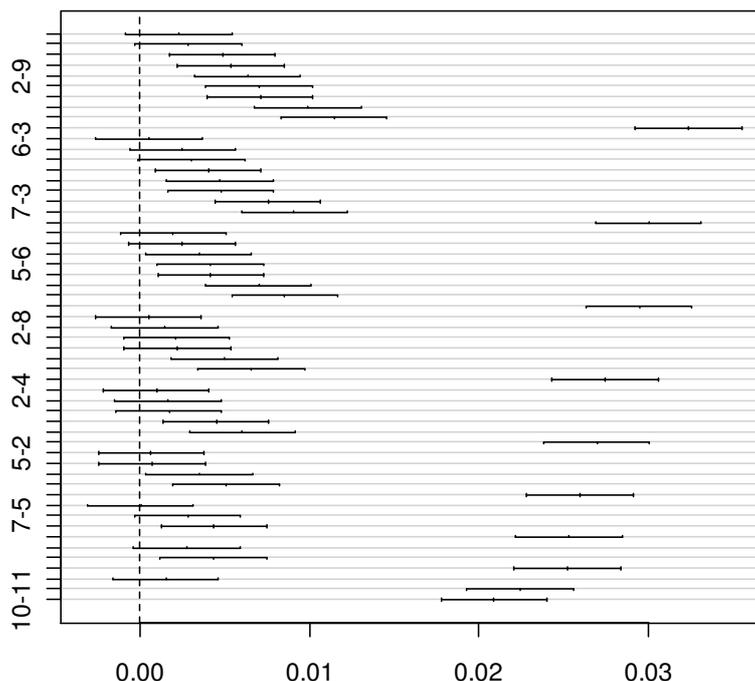


Gráfico 1 – Gráfico de comparações *versus* razão das diferenças entre níveis médios

Através da aplicação do teste de Tukey HSD para compararmos as posições de leitura onde ocorreram diferenças significativas, como mostradas no gráfico anterior, chegamos às observações abaixo descritas:

1 – em todas as comparações realizadas com a água bruta, esta apresentou maior diferença significativa comprovando que quanto maior o número de sólidos em suspensão maior é a reflectância, pois esta água não apresenta nenhum tratamento;

2 – quando se utilizou a média das amostras da água clorada (além de inserção de sulfato de alumínio) com as demais amostras, na seqüência do processo de tratamento da água, verificou-se que esta apresentava sempre maior reflectância, entretanto, quando comparada a fase anterior (água bruta) a sua reflectância era menor, indicando que a água clorada já possui menos sólidos em suspensão;

3 – observou-se que comparando as médias das amostras de reflectância dentro de cada tanque de decantação não apresentaram diferença significativa em 88% dos resultados. O restante pode ter apresentado diferença significativa causada por uma mudança na geometria de coleta dos dados com o espectrorradiômetro;

4 – analisando apenas os pontos de coleta na seção S3, notou-se que há diferença significativa entre todos os tanques e que este módulo é mais intenso entre os tanques T3 e T1. Isto se explica pelo fato da água que chega a seção S3 do tanque T3 passar por um número menor de flocluladores e que com isso retém menos sólidos em suspensão.

5 – na secção S2 não havia diferença significativa entre 66% das amostras comparadas entre elas, enquanto que se verificou em 33% das amostras comparadas entre elas, na secção S1 de cada tanque, diferença significativa na resposta espectral. Isto pode estar relacionado com o aparente estado de repouso que a água encontra-se na secção S2, mas não podemos tirar uma conclusão definitiva;

6 – a maior reflectância dentro do tanque de decantação sempre foi verificada no tanque 3 - secção3 e a menor sempre foi no tanque1 - secção1.

Podemos observar significativas diferenças entre as amostragens, principalmente entre a reflectância da água bruta e as demais, mas já nas amostragens das médias entre cada secção dos tanques a partir da análise do gráfico 2 abaixo.

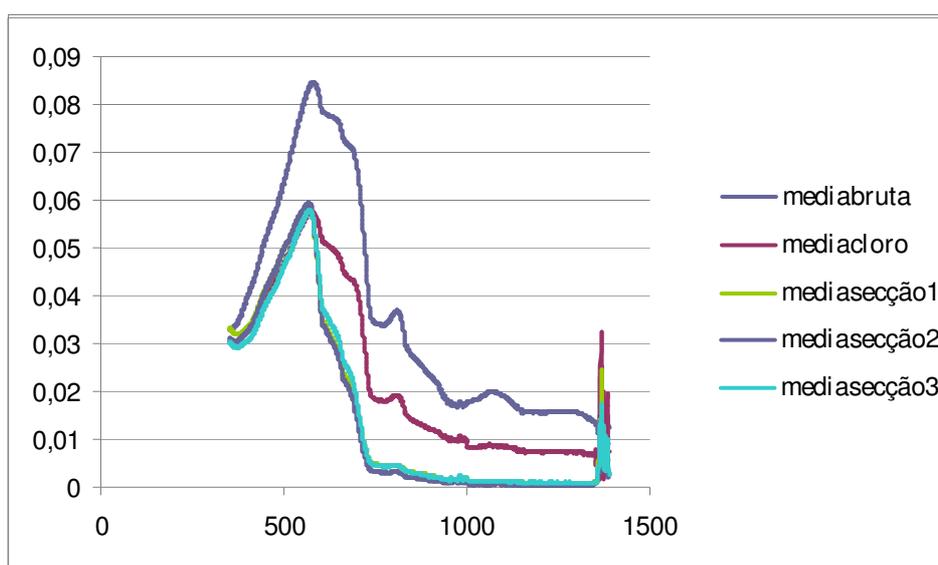


Gráfico 2: Gráfico reflectância *versus* comprimento de onda

Quando analisado o gráfico fica evidente um pico de reflectância em torno de 550nm, bem como que é no intervalo de comprimento de onda do visível que podemos observar significativa resposta espectral.

A curva espectral da média da água bruta apresenta características muito próximas a citada na literatura no que se refere à presença de fitoplanctons, sugerindo uma significativa probabilidade da existência desse componente na água que chega a estação de tratamento.

Podemos verificar com a análise do gráfico que em todos os comprimentos de onda a reflectância vai diminuindo com a redução de sedimentos, material orgânico, clorofila e solos em suspensão, tendo o seu ápice com a água bruta. Assim sendo, o tratamento da água nas fases em que fizemos a coleta, a reflectância vai diminuindo com a limpeza da mesma. Outro aspecto interessante, é que o incremento não é linear dessa radiação, sendo menor em comprimentos de onda maior. Na fase de cloração, vimos que esse nível de reflectância começa a diminuir, tendendo ao mínimo quando ela passa para pura, ou melhor, quando ela sai da estação de tratamento. É bom ressaltar que a água em seu estado líquido apresenta maior reflectância entre 0,38 microns a 0,70 microns mais ou menos.

Quanto à água pura, embora tenhamos coletado amostras espectrais estas não apresentaram o resultado esperado devido a interferência do papel sulfite e com isso descartamos estes dados estatísticos, pois deveriam apresentar reflectância menor dentro do espectro visível.

## 5. Consideração final

As condições ótimas de aquisição de espectros de reflectância, com sol na superfície da água nos pontos de coleta, permitiram uma avaliação dos dados com seus valores absolutos. Os sedimentos em suspensão são um dos componentes que fazem variar a resposta espectral da água, podendo ser opacos ou transparentes, coloridos ou incolores. A reflectância é atenuada ou acentuada de acordo com os elementos químicos ou partículas em suspensão que estão presentes na água. O comportamento da água bruta atingiu índice elevado de reflectância. Após passar pelo primeiro tanque de tratamento (cloro), a água bruta tende a baixar a reflectância, mas não de forma sucessiva até o último processo de filtração da mesma. Assim, verificou-se que o estudo da assinatura espectral da água permite a seleção de intervalos de comprimento de onda para análise e obtenção de conclusões importantes, não apenas nos comprimentos do visível. Portanto, em uma estação de tratamento, os pontos de entrada de água bruta representarão pontos de maior reflectância, levando-nos a identificar a seqüência do processo de tratamento e com isso exportar essa conclusão para qualquer outra estação de tratamento que apresente a mesma configuração, permitindo a aferição de um processo de tratamento.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) ao qual desejamos agradecer. O grupo também estende à Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) o seu agradecimento pelo apoio e atenção despendida para que os dados fossem coletados da maneira desejada.

## Referências bibliográficas

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.

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.

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

Fases do processo de tratamento da água. Disponível em: <[http://www.corsan.com.br/sistemas/trat\\_agua\\_etapas.htm](http://www.corsan.com.br/sistemas/trat_agua_etapas.htm)>. Acesso em: 10 out. 2008.

Fiorio, P.R. **Tópicos Básicos de Comportamento Espectral de Alvos**. 2004. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Material Didático).

Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p.

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.

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

Sousa, E.B.; Candeias, A.L.B.; Vertamatti, E. Caracterização e extração das feições associadas aos solos lateríticos, através do sensoriamento remoto e das técnicas de processamento de imagens aplicadas às imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. I, p.51-56, 1997.

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.