

INPE-5331-PRE/1729

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE DOIS TIPOS DE SEDIMENTO
EM SUSPENSÃO SOBRE A COLORIMETRIA E
REFLECTÂNCIA DA ÁGUA**

**R.B. de Souza
I.M. Felix
J.E. Mantovani
E.M.L.M. Novo**

**INPE
São José dos Campos
Setembro de 1991**

**SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

INPE-5331-PRE/1729

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE DOIS TIPOS DE SEDIMENTO
EM SUSPENSÃO SOBRE A COLORIMETRIA E
REFLECTÂNCIA DA ÁGUA**

**R.B. de Souza
I.M. Felix
J.E. Mantovani
E.M.L.M. Novo**

**Aceito para publicação no V Simpósio Latino Americano de
Percepção Remota, Cuzco, Peru, 28 Oct. a 01 Nov. de 1991**

**INPE
São José dos Campos
Setembro de 1991**

**EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE DOIS TIPOS
DE SEDIMENTO EM SUSPENSÃO SOBRE A
COLORIMETRIA E REFLECTÂNCIA DA ÁGUA**

R.B. de Souza, I.M. Felix, J.E. Mantovani e E.M.L.M. Novo
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 - São José dos Campos, SP
BRASIL

ABSTRACT

A laboratory study was made to assess the effect of suspended sediment concentrations on water colorimetry and reflectance. Two kinds of sediment were used, each with similar silt and clay proportions. These sediments originated from TE (Terra Roxa Estruturada) and PV (Podzólico Vermelho-Amarelo) soils. The suspensions were prepared by mixing known amounts of sediment into a filled 825 liter experimental tank. The concentrations varied from 0 to 80 mg/l for PV sediment and from 0 to 160 mg/l for TE sediment. Measurements of the water spectral reflectance in the 370-900 nm interval were made by using a SPECTRON SE-590 spectroradiometer, and a 1000 W lamp. Colorimetric classifications were made using the C.I.E. (Comission Internacional d'Eclairage) method. The results show that the water reflectance was greater in the TE suspensions for all concentrations. The peaks of maximum reflectance for TE suspensions were also displaced toward the red portion of the spectrum. This spectral shift was also observed in the results of the colorimetric classifications. The color and the reflectance of different sediments suspended in water may play an important role in the relationships between sediment concentrations and corresponding color differences measured by satellite sensors.

INTRODUÇÃO.

O material inorgânico em suspensão é um dos parâmetros que influenciam as características óticas aparentes de um corpo de água (Jerlov, 1976; Maul, 1985; Kirk, 1986). Nos ambientes aquáticos, tanto marinhos, como límnicos ou estuarinos, a concentração do sedimento total em suspensão na água depende das características hidrodinâmicas do sistema, e das características do próprio sedimento, como a forma, fração granulométrica, e peso específico (Mabesoone, 1983).

Vários autores têm estudado a correlação entre concentração de material inorgânico em suspensão e níveis digitais em imagens orbitais, geralmente obtendo correlações altas e positivas entre estas duas variáveis (Sydor, 1980; Braga, 1988; Pereira Filho, 1990). O mesmo tipo de resultado é obtido quando as correlações são efetuadas entre diferentes concentrações de determinado tipo

de sedimento em suspensão e a reflectância da água, medida através de radiômetros não-imageadores (Whitlock et al., 1977; Novo et al., 1988; Cabral et al., 1990).

É crescente a utilização de imagens orbitais no estudo da distribuição de material em suspensão em diferentes sistemas aquáticos, a fim de descrever aspectos hidrodinâmicos e de qualidade de água (Bartolucci, 1977; Khorran, 1985; Braga, 1988; Vertucci e Likens, 1989; Pereira Filho, 1990). A grande vantagem da aplicação do sensoriamento remoto para esta finalidade é a possibilidade de repetitividade temporal na aquisição dos dados e seu caráter sinótico (Robinson, 1985; Novo e Tundisi, 1988).

Para uma boa compreensão dos ambientes aquáticos utilizando-se o Sensoriamento Remoto, é imprescindível, portanto, que se conheça o comportamento espectral dos diferentes tipos de componentes em suspensão ou dissolvidos na água. No caso dos sedimentos em suspensão, seu comportamento espectral é influenciado pela geometria de aquisição e por fatores como a concentração, distribuição de tamanho e mineralogia de suas partículas (Jerlov, 1976; Maul, 1985; Novo et al., 1989; Cabral et al., 1990), sendo que esta última afeta a cor do sedimento.

O presente trabalho tem por objetivo estudar o comportamento espectral da água e de sua variação colorimétrica quando sujeita ao aumento da concentração de dois diferentes tipos de sedimento em suspensão. Os sedimentos utilizados para gerar as suspensões são comuns nos rios da região Centro-Oeste do Estado de São Paulo (Brasil).

MATERIAL E MÉTODOS.

O experimento foi desenvolvido em laboratório utilizando-se dois tipos de sedimento, a saber: Solo Podzólico Vermelho-Amarelo (PV) e Terra Roxa Estruturada (TE). Estes dois tipos de sedimento foram coletados na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, e classificados nas frações grosseira (areia) e fina (silte e argila), sendo que neste trabalho apenas a fração fina foi utilizada. As características de granulometria e conteúdo de ferro dos sedimentos PV e TE utilizados neste experimento estão dispostas na Tabela 1. Considerações sobre a distribuição geográfica no Estado de São Paulo, sub-grupos (ou unidades de mapeamento), e composição química e granulométrica destes sedimentos podem ser encontradas no Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (1960).

Amostras com pesos conhecidos de cada sedimento foram separadas em frascos independentes, e então adicionadas uma a uma a um tanque de paredes pretas e rugosas com 825 litros de água pura. Tal procedimento foi efetuado para os dois tipos de sedimento de maneira independente, resultando em dois dias de experimento. Para cada adição de sedimento à água, foi produzida a homogeneização desta utilizando-se um agitador eletro-mecânico

acoplado ao tanque. As concentrações obtidas variaram aproximadamente entre 0 e 80 mg/l no caso do sedimento PV, e entre 0 e 160 mg/l no caso do sedimento TE, com acréscimos constantes de cerca de 6 mg/l. As maiores concentrações geradas para o sedimento TE deveram-se simplesmente ao fato da maior quantidade deste sedimento disponível no laboratório.

Para cada concentração gerada, após a agitação cessar, as leituras de reflectância da água, na faixa de 370 a 900 nm foram tomadas utilizando-se um espectrorradiômetro marca SPECTRON SE-590. A unidade de leitura com FOV de 6 graus foi colocada no nadir. Todas as leituras foram tomadas à noite utilizando-se uma fonte halógena de luz com 1000 W de potência, colocada a um ângulo zenital de 45 graus. Mantendo-se esta mesma geometria de aquisição, e utilizando-se amostras secas, também foram obtidos os espectros dos sedimentos originais.

A Figura 1 ilustra a disposição geométrica dos equipamentos utilizados, conforme metodologia empregada por Cabral et al. (1990).

Os fatores de reflectância bidirecional (FRB) foram obtidos utilizando-se uma placa padrão de Sulfato de Bário como referência, através da razão entre a reflectância da água e a reflectância da placa.

Através do método C.I.E. (Comission Internacional de l'Eclairage) determinou-se o comprimento de onda dominante (COD), a pureza e a saturação da água para cada concentração e tipo de sedimento em estudo, e também para os sedimentos secos. O iluminante C (Hardy, 1936) foi tomado como referência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO.

As curvas do fator de reflectância bidirecional para as concentrações crescentes de sedimento em suspensão na água estão dispostas nas Figuras 2 e 3. As figuras mostram, para os dois tipos de sedimento, um conjunto de curvas incrementais em amplitude, em função do aumento da concentração do material em suspensão na água. Estas curvas representam os espectros de reflectância da água pura e das suspensões. Estes espectros resultam da variação na razão espalhamento/absorção da radiação eletromagnética pela coluna d'água, em função da variação do número e tipo de partículas espalhadoras. Segundo Novo et al. (1988) menores tamanhos de sedimentos em suspensão na água ocasionam uma elevação da reflectância desta na região do visível e infra-vermelho próximo. Considerando-se que as percentagens de silte e argila entre os dois tipos de sedimento utilizados são praticamente as mesmas (Tabela 1), para uma mesma concentração destes na água, as diferenças nos espectros estariam relacionadas somente a variações na mineralogia e cor entre os sedimentos PV e TE.

Para a água pura, verifica-se que o fator de reflectância bidirecional na região do infravermelho próximo (700 a 900 nm) é muito próxima a zero. Este fato comprova a eficiência das condições experimentais deste estudo e evidencia a mínima influência da geometria do experimento sobre a reflectância da água ao longo da faixa espectral estudada.

Analisando-se as Figuras 2 e 3 em conjunto, observa-se que a variação do fator de reflectância bidirecional da água é detectada com pequenos acréscimos na concentração do material em suspensão, tanto para o sedimento PV quanto para o TE. O aumento da reflectância da água, porém, é diferenciado para os dois tipos de sedimento. Para uma mesma concentração, o sedimento TE resulta num fator de reflectância aproximadamente duas vezes maior que o PV nos comprimentos de onda acima da faixa do azul.

A água com sedimento PV apresenta uma taxa de aumento da reflectância conforme o aumento da concentração de sedimento proporcionalmente maior que o TE na região do azul. Em outras palavras, no caso da água com o sedimento TE, a região do azul é menos sensível ao aumento da concentração de sedimento do que no caso do PV. Este fato pode estar associado ao maior teor de ferro metálico presente no TE, o qual é responsável pelo aumento da absorção por partículas inorgânicas na faixa do azul.

Na região do azul do espectro eletromagnético, os dois tipos de sedimento estudados apresentam saturação da reflectância em concentrações maiores que 30 mg/l, o que não ocorre nos outros intervalos espectrais (verde, vermelho e infra-vermelho próximo). Este fato demonstra que a confiabilidade da correlação entre a concentração destes sedimentos na água e a reflectância desta varia em função do comprimento de onda, conforme evidenciado por Novo et al. (1989). Para os sedimentos analisados, uma maior confiabilidade desta correlação seria obtida na faixa espectral compreendida entre 600 e 680 nm.

Para a concentração de 78.8 mg/l, o máximo de reflectância do TE encontra-se aproximadamente em 680nm, enquanto no PV este máximo está em 630nm. A curva do TE apresenta seu pico de reflectância máximo nitidamente mais deslocado para os maiores comprimentos de onda do que o PV, para as mesmas concentrações na água. Estas diferenças no espectro de reflectância dos dois tipos de sedimento também são notadas nos resultados das análises colorimétricas.

Embora os dois tipos de sedimento seco tenham uma cor semelhante, a classificação colorimétrica C.I.E. disposta nas Tabelas 2 e 3 demonstra que o sedimento TE tende mais para o vermelho. Para este sedimento o COD foi de 588.2 nm, enquanto que, no caso do sedimento PV o COD foi igual a 585.8 nm.

As figuras 4 e 5 demonstram a evolução das características colorimétricas da água para cada um dos sedimentos de acordo com o acréscimo da concentração destes.

As variações de cor na água causadas pelos sedimentos TE e PV foram distintas. A variação do COD para concentrações crescentes (entre 6.1 e 78.8 mg/l) de sedimento PV esteve entre 574.3 e 581.4 nm, enquanto que para o sedimento TE este COD esteve entre 580.1 e 585.4 nm. Os valores de COD maiores para as mesmas concentrações de sedimento TE em relação ao PV indicam a maior tendência em direção à faixa do vermelho na cor da água com sedimento TE do que com sedimento PV. Este resultado demonstra que a maior percentagem de ferro em TE contribui para que a cor da água seja distinta para cada um destes dois tipos de sedimento em suspensão.

CONCLUSÕES.

A concentração e o tipo de sedimento determinam variações nos espectros de reflectância da água e em sua classificação colorimétrica.

A mineralogia do sedimento tem efeito determinante sobre os espectros de reflectância da suspensão, quando são mantidas iguais as concentrações e a granulometria dos sedimentos.

No caso dos sedimentos estudados, a faixa espectral de 600 a 680 nm mostrou-se mais sensível às variações de concentração na água, com picos de máxima reflectância diferenciados para mesmas concentrações entre os dois sedimentos.

Levando-se em conta a importância do estudo de ambientes aquáticos naturais através de Sensoriamento Remoto, diferenças no comportamento espectral da água causadas por variações nos tipos de sedimentos nela contidos devem ser melhor entendidas. Este trabalho serve de base para estudos em que se pretende inferir relações entre concentração destes sedimentos na água e níveis colorimétricos obtidos por imagens de satélites ambientais na faixa do visível e infra-vermelho próximo.

AGRADECIMENTOS.

Os autores gostariam de agradecer aos senhores Carlos Alberto Steffen e Lélío Ribeiro de Sá pelo apoio dispensado neste experimento. Agradecemos também ao Laboratório de Radiometria do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (LARAD - INPE) pelas facilidades fornecidas. Este trabalho foi financiado pela FAPESP (Processo - Geologia 88/4016-5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Bartolucci, L.A.; Robinson, B.F.; Silva, L.F. Field measurements of the spectral response of natural waters. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 43 (5): 595-598. 1977.

Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Rio de Janeiro, 12, 1960. 634p. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo.**

Braga, C. Z. F. **Utilização de imagens dos satélites Landsat-5 e NOAA 9 na identificação de parâmetros físico-químicos da água na Baía de Guanabara.** São José dos Campos, INPE, 1988, 115p. (INPE - 4761-TDL/349).

Cabral, A.P.; Mantovani, J.E.; Costa, M.P.F.; Lima, R.A.F.; Novo, E.M.L.M. Efeitos da concentração e da granulometria na assinatura espectral do material inorgânico em suspensão. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - 6**, Manaus, 24 - 29 Jun. 1990 V.1, p. 496-504.

Hardy, A.C. **Handbook of Colorimetry.** Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, 1936. 85p.

Jerlov, N.G. **Marine Optics.** Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing, 1976. 241p.

Khorran, S. Development of water quality models applicable throughout the entire San Francisco bay and delta. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 51 (1): 53-62, 1985.

Kirk, J.T.O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems.** London, Cambridge University, 1986. 401p.

Mabesoone, J.N. Processos sedimentares. In: Mabesoone, J.N. **Sedimentologia.** 2.ed. Recife, Editora Universitária. 1983. p. 177-212.

Maul, G.A. **Introduction to satellite Oceanography.** Dordrecht, Martinus Nighoff, 1985. 606p.

Novo, E.M.L.M.: Tundisi, J.G. Sensoriamento remoto de águas interiores: perspectivas. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - 5.**, Natal, 11 - 15 out. 1988. Anuais. São José dos Campos, INPE, 1988. v.1, p. 13-21.

Novo, E.M.L.M.: Hanson, J.D.; Curran, P.J. the effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentration. **International Journal of Remote Sensing**, 10(7): 1283-1289, 1989.

Pereira Filho, W. **Integração de dados de campo e sensoriamento remoto no estudo das características de bacias de captação na concentração de sólidos em suspensão em reservatórios.** São Jose dos Campos, INPE, no prelo (tese de mestrado).

Robinson, I.S. **Satellite oceanography. An introduction for oceanographers and remote sensing scientists.** Chichester, Ellis Horwood, 1985. 455p.

- Sydor, M. Remote sensing of particulate concentrations in water. **Applied Optics**. 19 (16): 2794-2801, 1980.
- Vertucci, F.A.; Likens, G.E. Spectral reflectance and water quality of Adirondack mountain region lakes. **Limnology and Oceanography**, 34(8): 1656-1672. 1989.
- Whitlock, C.H.; Ursy, J.W.; Witte, W.G.; Garganus, E.A. Laboratory measurements of upwelled radiance and reflectance of Calvert, Ball, Jordan and Feldspar soil sediments. (**Nasa Technical Paper 1039**) Washington, 1977.

TABELA 1. Granulometria e Conteúdo de Ferro dos Sedimentos PV e TE.

Percentuais	TE	PV
Ferro	12.7	3.3
Silte	35	30.5
Argila	65	69.5

TABELA 2. Classificação Colorimétrica C.I.E. da Água com Crescentes Concentrações de Sedimento TE.

Concentração (mg/l)	Brilho (%)	Pureza (%)	C.O.D. (nm)
sedimento seco	9.3	54.0	588.2
0	0.1	13.2	484.0
6.1	0.4	27.5	580.1
12.1	0.6	36.7	581.4
18.2	0.8	42.5	582.0
24.2	1.0	45.7	582.6
30.3	1.2	48.3	583.0
36.4	1.3	50.5	583.5
42.4	1.5	52.5	583.9
48.5	1.5	53.9	584.2
54.5	1.6	54.9	584.4
60.6	1.7	56.0	584.8
66.7	1.8	56.9	585.0
72.7	1.8	58.2	585.2
78.8	1.8	58.6	585.4
84.8	1.9	59.6	585.7
90.9	1.9	59.7	585.7
103.0	2.0	61.1	586.1
115.1	2.1	61.7	586.5
127.3	2.2	62.2	586.6
139.4	2.2	62.9	586.8
151.5	2.3	63.2	587.0
157.6	2.4	63.3	587.0

TABELA 3. Classificação Colorimétrica C.I.E. da Água com Crescentes Concentrações de Sedimento PV.

Concentração (mg/l)	Brilho (%)	Pureza (%)	C.O.D. (nm)
sedimento seco	11.0	46.2	585.8
0	0.1	7.4	489.1
6.1	0.3	14.5	574.3
12.1	0.5	19.3	576.7
18.2	0.6	25.6	577.5
24.2	0.8	28.9	578.1
30.3	0.9	30.8	578.8
36.4	1.0	32.6	579.1
42.4	1.1	35.1	579.7
48.5	1.2	36.8	580.1
54.5	1.3	37.8	580.4
60.6	1.4	39.7	580.8
66.7	1.4	40.1	581.0
72.7	1.4	41.0	581.1
78.8	1.5	42.1	581.4

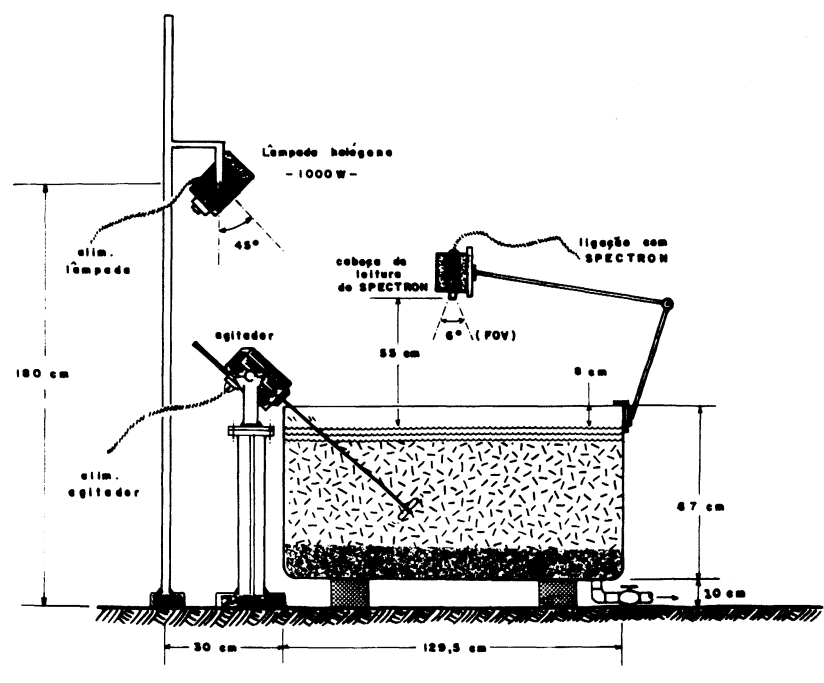


FIGURA 1. Disposição Geométrica dos Equipamentos.
Fonte: Cabral et al. (1990)

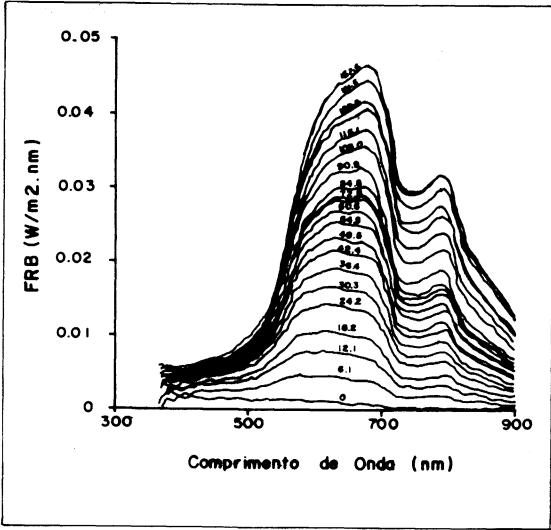


FIGURA 2. Resposta Espectral da Água com Concentrações Crescentes de Sedimento Tipo PV.

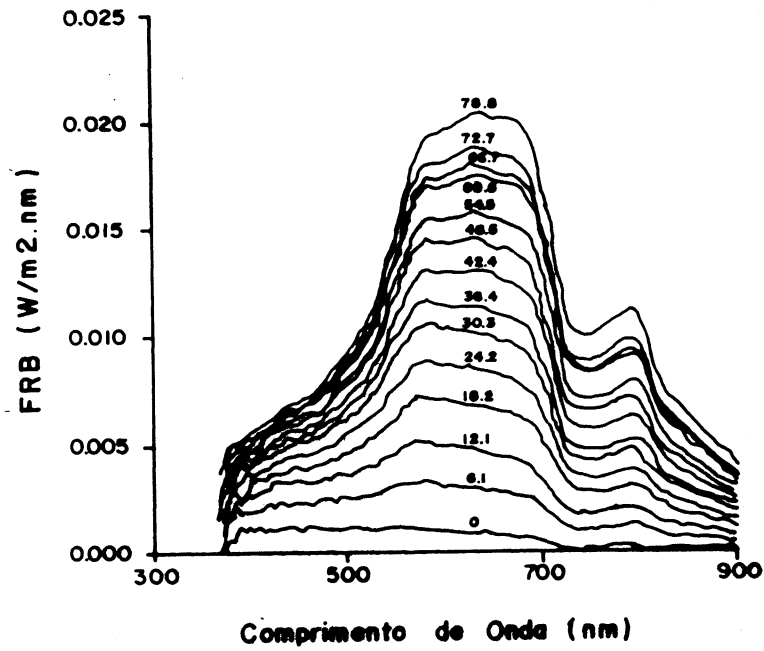


FIGURA 3. Resposta Espectral da Água com Concentrações Crescentes de Sedimento Tipo TE.

ESPECIFICAÇÃO COLORIMÉTRICA
CIE 1931 - 2 DEG - ILUMINANTE C

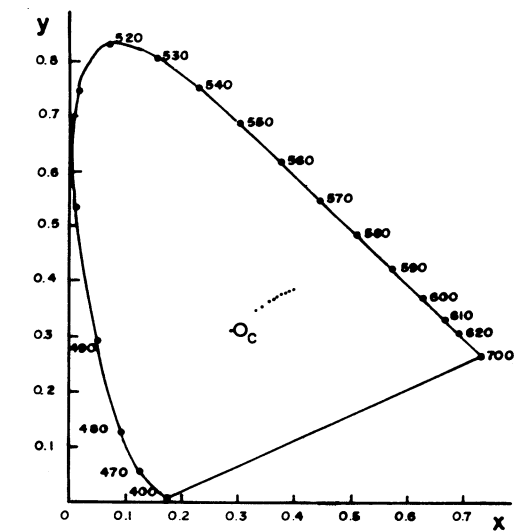


FIGURA 4. Classificação Colorimétrica C.I.E. da Água com Concentrações Crescentes de Sedimento Tipo PV.

ESPECIFICAÇÃO COLORIMÉTRICA
CIE 1931 - 2 DEG - ILUMINANTE C

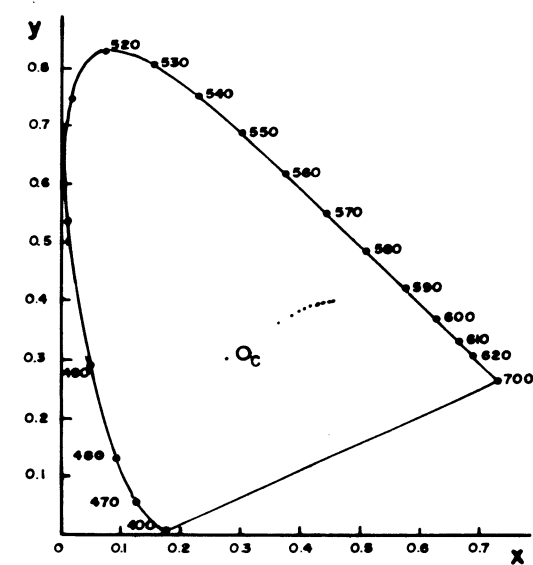


FIGURA 5. Classificação Colorimétrica C.I.E. da Água com Concentrações Crescentes de Sedimento Tipo TE.