

SAZONALIDADE ÓPTICA NAS ÁGUAS DO RIO PARAÍBA DO SUL (CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ): REFERENCIAIS MÉTRICOS PARA O MONITORAMENTO DE ÁGUAS NATURAIS?

Thiago Benevides Fernandes¹, Wendel Carlos de Sá Azevedo² & Paulo Pedrosa^{3*}

¹ M.Sc. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (LCA, CBB, UENF)

² M.Sc. Programa de Pós-Graduação em Biociências e Biotecnologia (LCA, CBB, UENF)

³ D.Sc. Laboratório de Ciências Ambientais (LCA), Centro de Biociências e Biotecnologia (CBB), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Av. Alberto Lamego, 2000. Parque Califórnia. CEP 28013-602. Campos dos Goytacazes, R/J. Brasil.

* E-mail: pedrosa@uenf.br

RESUMO

Este estudo investiga em dois períodos sazonais distintos o comportamento das propriedades ópticas inerentes (POIs) da matéria orgânica dissolvida cromófora (MODC) no rio Paraíba do Sul, em Campos dos Goytacazes (RJ). Cada conjunto sazonal de dados integrou 12 amostras semanais, perfazendo um total de 24. As POIs da MODC — aqui operacionalmente referidas como variáveis ópticas — foram caracterizadas via coeficientes de absorção (a_{MODC} e a^*_{MODC}) e de inclinação espectral (S), entre 280 e 700nm. A partir destas análises foram comparados os comportamentos sazonais, os quais subsidiaram a elaboração de um modelo conceitual relacionado à dinâmica da matéria orgânica dissolvida (cromófora) no ecossistema. Embora descritivo este estudo ilustra como a emergência de padrões ópticos pode contribuir para a caracterização de um ecossistema aquático, o que representa potencial interesse para o monitoramento e gestão de águas naturais.

Palavras-chave: Matéria orgânica dissolvida cromófora (MODC), coeficientes ópticos a_{MODC} , a^*_{MODC} e S , rio Paraíba do Sul.

ABSTRACT

SEASONAL OPTICS IN THE PARAÍBA DO SUL RIVER WATERS (CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ): METRIC REFERENCES TO MONITORING NATURAL WATERS? This study investigates the spring-winter seasonal behavior of the inherent optical properties (IOPs) of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Paraíba do Sul river, at Campos dos Goytacazes (Rio de Janeiro state, Brazil). In each season 12 samples were collected weekly, resulting in 24 samples as a whole. The IOPs of CDOM – herein referred to as optical variables – were characterized through coefficients of absorption (a_{CDOM} and a^*_{CDOM}) and spectral slope (S) at 280-700nm. The results served as a template for building a conceptual model about the dynamics of chromophoric dissolved organic matter in the studied ecosystem over the seasons. Albeit descriptive the present study illustrates how emerging optical patterns can contribute to the characterization of an aquatic ecosystem, which is of potential interest for the management and monitoring of natural waters.

Keywords: Chromophoric dissolved organic matter, optical coefficients a_{CDOM} , a^*_{CDOM} and S , Paraíba do Sul river.

INTRODUÇÃO

Em águas naturais, a matéria orgânica dissolvida (MOD) constitui-se no mais abundante *pool* de carbono orgânico. Esta pode formar organo-complexos com nutrientes e poluentes (ex. metais pesados) e, dessa forma, afetar a solubilidade, biodisponibilidade, transporte e ciclagem de tais elementos no ambiente hídrico. A fração cromófora da matéria orgânica dissolvida (MODC), também denominada substância amarela,

gelbstoff ou *gilvin* (Bricaud et al. 1981, Kirk 1994), atua, por sua vez, como o principal componente absorvedor de luz em ecossistemas aquáticos (Kowalczuk et al. 2003). Esta propriedade óptica tem importante implicação energética e adaptativa para os organismos aquáticos, em função dos processos fotossintéticos e dos possíveis efeitos deletérios da radiação ultravioleta aos sistemas biológicos.

Do ponto de vista molecular, os cromóforos orgânicos dissolvidos em águas naturais são constituídos

por uma mistura variada de polímeros aromáticos e alifáticos derivados, principalmente, da decomposição da matéria orgânica vegetal (Kirk 1994, Stedmon et al. 2000, Stedmon & Markager 2003), sendo a fração húmica a principal responsável pela absorção de luz (Strome & Miller 1978). As propriedades ópticas inerentes (POIs) da MODC podem ser caracterizadas via coeficientes de absorção (a_{MODC}) e de inclinação espectral (S), os quais servem à quantificação e caracterização de *pools* orgânicos cromofóricos, dissolvidos em águas naturais (Stedmon & Markager 2003). Estes coeficientes ópticos têm sido utilizados com relativo sucesso no inferenciamento de fontes (autóctones e alóctones) (Stedmon & Markager 2001), tipos (lábil e recalcitrante) (Del Castillo *et al.* 1999), e alterações da matéria orgânica dissolvida (Waiser & Robarts 2004), assim como na identificação de massas de água (Stedmon & Markager 2003, Kowalczyk *et al.* 2003), em monitoramento de acidente ambiental (Pedrosa 2007), e no ajuste de algoritmos aplicados a estimativas de biomassa fitoplanctônica (clorofila) via sensoriamento remoto (Carder *et al.* 1989, IOCCG 2000, Gin *et al.* 2002).

Por derivarem e/ou resultarem de processos biológicos, químicos e físicos, gerados externa e internamente nos ecossistemas aquáticos, as propriedades ópticas da MODC suportam informações associadas às propriedades totais do ambiente aquático, podendo também variar sazonalmente (Del Castillo & Coble 2000). Esse conhecimento, assim como a sua indexação, representa uma possibilidade de estudo (inter) sistêmico (incluindo conectividades entre ecossistemas terrestre e aquático), certamente útil à formação de programas de monitoramento ambientalmente integrados, e para diagnósticos organizativos acerca da caracterização de recursos hídricos em bacias e sub-bacias hidrográficas. Considerando o valor integrativo das POIs e o valor de se pesquisar novos referenciais métricos para a caracterização de águas naturais, o presente estudo objetivou investigar, numa escala sazonal, o comportamento da MODC no rio Paraíba do Sul, em Campos dos Goytacazes (RJ).

ÁREA DE ESTUDO

O rio Paraíba do Sul e seus afluentes correspondem à maior bacia hidrográfica da região sudeste, com aproximadamente 55.000Km². Situado entre os para-

lelos 20°26' e 23°38' e os meridianos 41°00' e 46°30', o RPS origina-se na serra da Bocaina (SP) e percorre cerca de 1.137km até sua foz no município de São João da Barra. O sistema serve ainda como fonte de abastecimento para cerca de 14 milhões de pessoas, mas, ao longo de seu percurso, observam-se diversas ações antrópicas como a existência de barragens e represas, despejos de esgotos domésticos e efluentes industriais não tratados, desmatamentos da vegetação marginal, erosão e assoreamentos.

MATERIAL E MÉTODOS

OPERACIONAL

As amostragens, realizadas semanalmente, foram sazonalmente agrupadas em períodos climáticos associados às estações de primavera, entre 30 de setembro e 18 de dezembro de 2003, e inverno, entre 8 de junho e 13 de setembro de 2005. As variáveis precipitação pluviométrica, radiação solar, e temperatura do ar, obtidas junto a estação meteorológica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, indicaram valores relativamente maiores no período correspondente à primavera, confirmando a sazonalidade climática na região (Figura 1). Em função dos valores de precipitação pluviométrica, os períodos estudados foram operacionalmente referidos como úmido e seco.

Em cada período foram coletadas 12 amostras de água de superfície com auxílio de um balde (ca. 6 litros) em um ponto fixo sobre uma ponte no centro da cidade de Campos dos Goytacazes (RJ). As amostras coletadas foram transferidas para garrafas de polietileno (ca. 2 litros) e conservadas em gelo até serem processadas no laboratório.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

In situ, parâmetros físico-químicos como temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido foram medidos usando-se equipamentos potenciométricos. As profundidades foram registradas como uma função das leituras de quota hídrica local.

No laboratório, a alcalinidade total (método de Gran 1952) foi determinada por acidimetria através de um titulador semi-automático. A fração dissolvida de cada amostra de água (obtida por filtração a vácuo em filtros GF/C (1,2µm)) foi utilizada para se determinar o carbono orgânico dissolvido (COD) e as POIs da MODC.

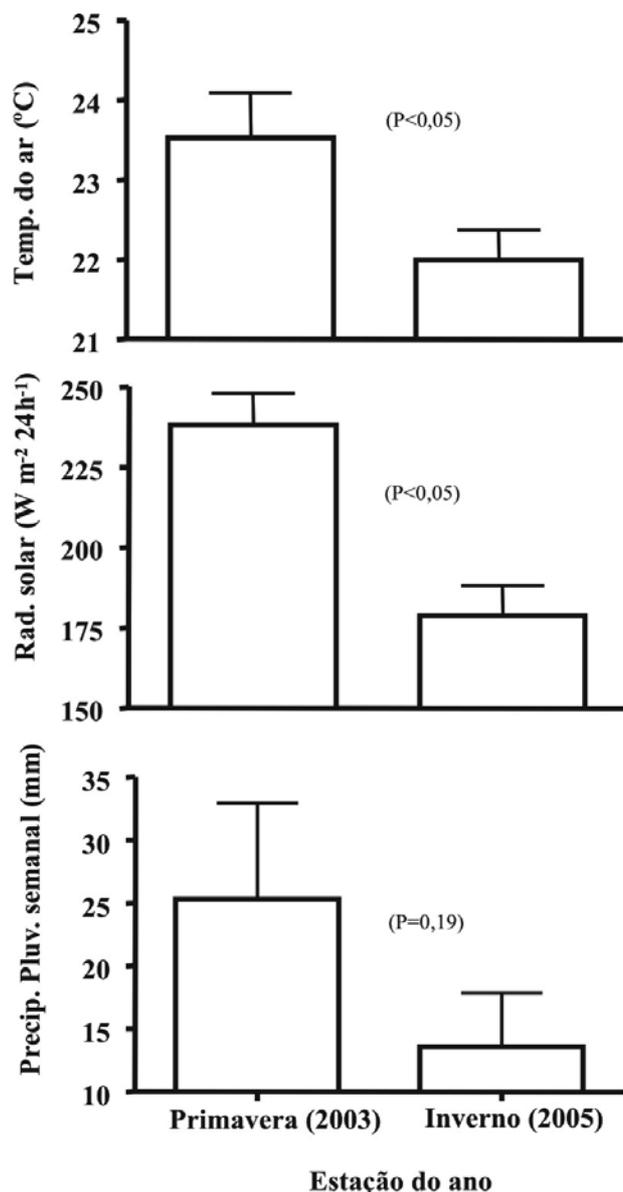


Figura 1. Médias e desvios-padrão para as variáveis meteorológicas temperatura do ar (°C), radiação solar ($W m^{-2} 24h^{-1}$) e precipitação pluviométrica (mm) nos períodos correspondentes à primavera (2003) e inverno (2005). Os valores de P referentes ao Teste t são mostrados nos histogramas.

Figure 1. Mean values and standard deviation (vertical bars) of the meteorological variables air temperature (°C), solar radiation ($W m^{-2} 24h^{-1}$) and rain precipitation (mm) over the spring 2003 and winter 2005. P values of the t test are shown in the histograms.

ANÁLISES ÓPTICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA CROMÓFORA

Medidas de absorvância foram realizadas na fração dissolvida das amostras, usando um espectrofotômetro de duplo feixe UV-Vis. Os coeficientes $a_{MODC}(\lambda)$ foram calculados de acordo com a Eq. 1 e os resultados convertidos em médias (\bar{a}_{MODC}), considerando os intervalos espectrais ultravioleta B (280-315 nm), A (315-400 nm), B

+ A (280-400 nm) (simplesmente referido como UV), e radiação fotossinteticamente ativa (RFA, 400-700 nm). Os coeficientes S foram estimados de acordo com Stedmon *et al.* (2000) via ajuste não linear da Eq. 2, usando-se um método iterativo no programa Statistica (StatSoft, Inc. 1984-2000). Para este coeficiente, além dos intervalos espectrais acima mencionados, foi incluído um intervalo genérico, entre 300-650nm.

$$a_{MODC}(\lambda) = 2,303 A_{MODC}(\lambda) L^{-1} \quad (\text{Eq 1})$$

Onde: $a_{MODC}(\lambda)$ e $A_{MODC}(\lambda)$ representam, respectivamente, o coeficiente de absorção e a absorvância da MODC em um comprimento de onda λ , e L é o caminho óptico da cubeta em metros.

$$a_{MODC}(\lambda) = a_{MODC}(\lambda_0) e^{-S(\lambda_0 - \lambda)} + K \quad (\text{Eq 2})$$

Onde: $a_{MODC}(\lambda)$ é o coeficiente de absorção em um comprimento de onda λ e λ_0 é um comprimento de onda referente. S é o coeficiente de inclinação espectral que define a taxa de decréscimo de $a_{MODC}(\lambda)$ em função do aumento de λ . K é uma constante associada a alterações de linha de base não relacionadas ou influenciadas pela matéria orgânica dissolvida (cromófora).

Para se verificar a proporcionalidade entre os coeficientes ópticos ao longo de cada espectro de absorção gerado, razões $a_{MODC}(\lambda)$ e S foram realizadas considerando os intervalos espectrais UV-B, UV-A e RFA. A atividade óptica da MODC foi avaliada através do cálculo dos coeficientes de absorção específicos, $a^*_{MODC}(\lambda)$ ($m^2 \cdot g^{-1} \text{ COD}$), obtidos pela normalização dos coeficientes $a_{MODC}(\lambda)$ (m^{-1}) pela concentração de COD ($g \cdot m^{-3}$) em cada amostra de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim como observado para o ar, a temperatura da água foi significativamente maior no período úmido. Por sua vez, as demais variáveis físico-químicas, bem como o COD, não apresentaram diferenças significativas entre os períodos estudados (Tabela 1).

Em relação às variáveis ópticas, o efeito da sazonalidade climática foi especialmente claro na região da RFA, com valores de \bar{a}_{MODC} e \bar{a}^*_{MODC} cerca de 5-vezes e 3-vezes maiores no período úmido, respectivamente (Tabela 2). As maiores atividades ópticas verificadas no período úmido foram associadas a valores de S mais baixos que os observados no período seco, sendo cerca de 3 vezes menor na região do UV-A. Considerando as concentrações médias muito semelhantes de

COD nos períodos úmido e seco (Tabela I), pode-se sugerir que as variações observadas nas POIs da MODC tenham sido mais relacionadas a uma modificação sazonal qualitativa do que quantitativa, no caso, provavelmente associada a diferentes contribuições de MOD alóctone-autóctone nas águas do RPS. Suhett *et al.* (2006) também inferiram (em função do aumento de foto-oxidação) um aumento de compostos de origem alóctone (húmicos, aromáticos) no início do período úmido na lagoa Comprida (RJ). Também no período úmido, comparativamente ao período seco, Amado *et al.* (2006) observaram um aumento da cor da água ($a_{MODC}(430)$) no rio Caranã (PA). Lindell *et al.* (2000) observaram dois picos foto-reativos de COD em lagos temperados ao longo do ano, sendo um deles relacionado com a entrada de material orgânico alóctone trazido pelo degelo propiciado pela primavera-verão. Consistentemente, S baixos e a_{MODC} elevados têm sido associados a *pools* orgânicos cromofóricos ricos em polímeros policíclicos aromáticos, tipicamente originados de MOD alóctone (Battin 1998, Keith et al. 2002, Kowalczyk et al. 2003). Os valores de S , significativamente menores no período úmido, reforçam dessa forma a idéia de ter havido uma importante contribuição alóctone de MOD neste período. Ainda no período úmido, as razões S/\bar{a}_{MODC} significativamente menores nas regiões do UV-A e UV (Tabela 2), também sugerem uma maior contribuição de MOD alóctone (Stedmon & Markarger 2001). As razões

$\bar{a}_{MODC}/\bar{a}_{MODC^*}$ por sua vez, embora não tenham apresentado diferenças sazonais estatisticamente significativas, mostraram valores consistentemente menores no período úmido, indicando uma maior absorção relativa de luz na região da RFA em relação às regiões do ultravioleta A, B, e UV.

A observação de correlações positivas e significativas entre \bar{a}_{MODC} assim como \bar{a}_{MODC^*} e a profundidade do RPS, em ambos os períodos (Figura 2), indica a importância da água receptada como transferidora de MODC alóctone ao RPS. Entretanto, apenas no período úmido foram encontradas correlações positivas e significativas entre COD-profundidade e \bar{a}_{MODC} -COD (dados não mostrados); isto é, no período seco não foi possível observar qualquer correlação entre estas variáveis. Estas respostas relacionais indicam ter havido, no período úmido, importantes alterações qualitativas e quantitativas de MOD no ecossistema, enquanto, no período seco, estas pareceram ter sido essencialmente qualitativas.

A partir destes dados foi possível, considerando os períodos sazonais estudados, elaborar um modelo conceitual acerca da dinâmica da MOD(C) no RPS (Figura 3). Aparentemente, então, os maiores índices de precipitação pluviométrica no período úmido ocasionaram a entrada de material alóctone, repercutindo em maiores valores de \bar{a}_{MODC} e \bar{a}_{MODC^*} e menores valores de S nas águas do RPS.

Em síntese, percebe-se que os efeitos da variação

Tabela I. Valores médios e desvios padrão e, entre parênteses, valores mínimos, medianas, e máximos das variáveis físico-químicas analisadas no RPS, em períodos climáticos relativamente úmido e seco (**Diferenças estatisticamente significativas = $p < 0,05$).

Table I. Mean values, standard deviation and minimal records, medians and maximum records (all latter three given in parentheses) for the physico-chemical variables analysed of Paraíba do Sul river in relatively dry and wet periods (Significance level = $p < 0,05$).

Variável	Períodos	
	Úmido	Seco
Temp. da água (°C) **	27,6 ± 1,6 (24,6 - 27,9 - 30,2)	23,6 ± 1,8 (20,2 - 23,8 - 27,1)
Profundidade (m)	7,07 ± 0,66 (6,30 - 7,05 - 8,28)	6,98 ± 0,20 (6,70 - 6,99 - 7,26)
pH	7,62 ± 0,29 (7,08 - 7,61 - 8,30)	7,34 ± 0,68 (6,05 - 7,37 - 8,58)
Condutividade (mS cm ⁻¹)	0,065 ± 0,005 (0,057 - 0,066 - 0,071)	0,070 ± 0,005 (0,065 - 0,068 - 0,081)
Alcalinidade (mEq L ⁻¹)	0,401 ± 0,028 (0,355 - 0,407 - 0,447)	0,418 ± 0,032 (0,384 - 0,411 - 0,505)
O _{2sat} (%)	84,4 ± 4,5 (78,0 - 83,2 - 94,0)	94,8 ± 4,1 (88,0 - 95,4 - 99,7)
COD (mg L ⁻¹)	3,56 ± 0,87 (2,45 - 3,52 - 5,09)	3,26 ± 1,94 (1,73 - 2,87 - 8,66)

** Diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$).

** Diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,05$).

Tabela II. Valores médios e desvios padrão e, entre parênteses, valores mínimos, medianas, e máximos das variáveis ópticas analisadas no RPS, em períodos climáticos relativamente úmido e seco (**Diferenças estatisticamente significativas = $p < 0,05$).

Table II. Mean values, standard deviation and minimal records, medians and maximum records (all latter three given in parentheses) of the optical variables analysed of Paraíba do Sul river in relatively dry and wet periods (Significance level = $p < 0.05$).

Variável	Período		Variável	Período		
	Úmido	Seco		Úmido	Seco	
\bar{a} (m^{-1})	(UV-B)**	39,6 ± 28,3 (8,98 - 28,4 - 95,7)	12,2 ± 8,1 (5,90 - 8,47 - 29,4)	(UV-B)	10,5 ± 5,32 (5,00 - 8,75 - 21,3)	-
	(UV-A)**	22,5 ± 17,7 (3,81 - 15,3 - 57,9)	5,87 ± 4,47 (2,25 - 3,78 - 14,7)	(UV-A)**	5,01 ± 2,59 (2,53 - 4,20 - 11,6)	15,3 ± 3,89 (12,5 - 14,2 - 22,0)
	(UV)**	27,5 ± 20,8 (5,32 - 19,2 - 68,9)	7,72 ± 5,53 (3,33 - 5,15 - 18,7)	(UV)**	8,15 ± 2,78 (5,18 - 7,61 - 13,9)	10,7 ± 3,20 (6,80 - 10,7 - 16,5)
	(RFA)**	5,22 ± 4,34 (0,82 - 2,97 - 14,3)	1,10 ± 0,93 (0,27 - 0,82 - 3,53)	(RFA)	13,5 ± 3,56 (10,2 - 12,2 - 22,1)	-
\bar{a}^* ($m^2 g^{-1}$)	(UV-B)**	10,5 ± 6,1 (3,49 - 7,46 - 21,7)	3,96 ± 2,64 (1,10 - 2,76 - 9,32)	(300-650)**	12,4 ± 1,76 (10,4 - 12,4 - 16,5)	16,3 ± 2,35 (12,8 - 15,8 - 20,1)
	(UV-A)**	5,88 ± 3,87 (1,48 - 4,02 - 12,6)	1,90 ± 1,52 (0,52 - 1,06 - 5,14)	(UV-B/RFA)	9,59 ± 2,56 (6,71 - 8,40 - 15,3)	13,3 ± 4,85 (7,58 - 12,5 - 22,0)
	(UV)**	6,09 ± 4,65 (1,42 - 4,75 - 15,3)	2,32 ± 1,67 (0,69 - 1,66 - 6,36)	(UV-A/RFA)	5,13 ± 0,90 (4,06 - 4,72 - 7,00)	5,89 ± 1,65 (3,56 - 5,99 - 8,40)
	(RFA)**	1,34 ± 0,94 (0,34 - 0,85 - 3,02)	0,380 ± 0,37 (0,09 - 0,22 - 1,23)	(UV/RFA)	6,43 ± 1,38 (4,84 - 5,72 - 9,44)	8,06 ± 2,56 (4,85 - 7,98 - 12,4)
S/\bar{a}	(UV-B)	0,547 ± 0,691 (0,07 - 0,33 - 2,37)	-	(UV-B)	0,547 ± 0,691 (0,07 - 0,33 - 2,37)	-
	(UV-A)**	0,571 ± 0,844 (0,06 - 0,26 - 3,04)	1,90 ± 1,25 (0,85 - 1,49 - 3,91)	(UV-A)**	0,571 ± 0,844 (0,06 - 0,26 - 3,04)	1,90 ± 1,25 (0,85 - 1,49 - 3,91)
	(UV)**	0,618 ± 0,632 (0,080 - 0,375 - 2,10)	2,17 ± 1,49 (0,43 - 2,17 - 4,14)	(UV)**	0,618 ± 0,632 (0,080 - 0,375 - 2,10)	2,17 ± 1,49 (0,43 - 2,17 - 4,14)
	(RFA)	6,01 ± 7,48 (0,72 - 4,30 - 26,9)	-	(RFA)	6,01 ± 7,48 (0,72 - 4,30 - 26,9)	-

**Diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

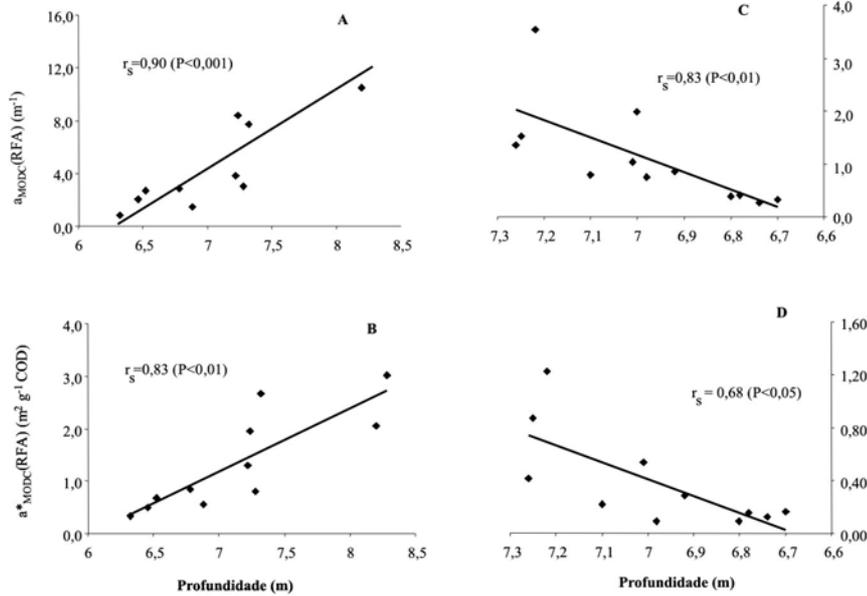


Figura 2. Correlação entre $\bar{a}_{MODC}(RFA)$ e a profundidade e $\bar{a}^*_{MODC}(RFA)$ e a profundidade nos períodos úmido (A e B) e seco (C e D).
Figure 2. Relationship between $\bar{a}_{MODC}(RFA)$ and depth, and between $\bar{a}^*_{MODC}(RFA)$ and depth over the wet (A and B) and dry (C and D) periods.

sazonal foram em geral, comparativamente às demais variáveis mensuradas neste estudo, mais claramente associados às propriedades ópticas da MODC; dessa forma, suportando informação relacional com as variações climáticas e hidrológicas sofridas pelo RPS. No contexto da bacia de drenagem como um todo, imagina-se, esse tipo de informação poderá ser trabalhado considerando-se a identificação de relacionamentos óptico-ambientais escalonados em tempos e

espaços específicos. Associações entre características ópticas inerentes da MODC e estado de conservação e antropização de rios, clima, hidrologia, qualidade das águas, comportamento de plumas estuarinas e possíveis alterações de estado ('natural') das águas fluviais (ex. acidentes ambientais) representam, portanto, importantes aspectos ambientais para a racionalização atual e futura de estudos científicos interessados na caracterização de bacias hidrográficas. O potencial

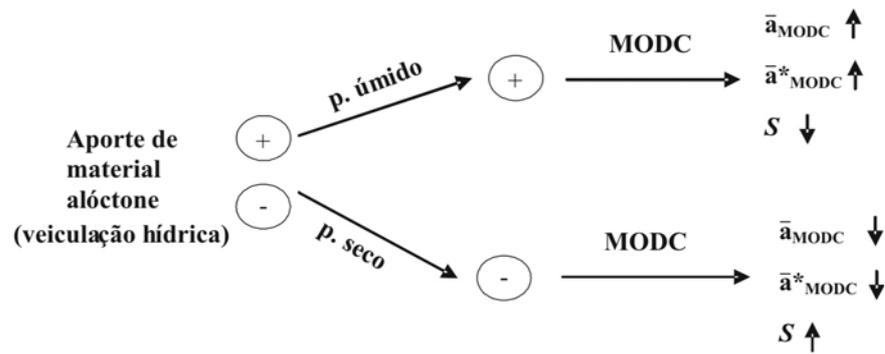


Figura 3. Modelo conceitual para a produção de MODC no RPS no período úmido e seco.

Figure 3. Conceptual model for the production of chromophoric dissolved organic matter in Paraíba do Sul river over the wet and dry periods.

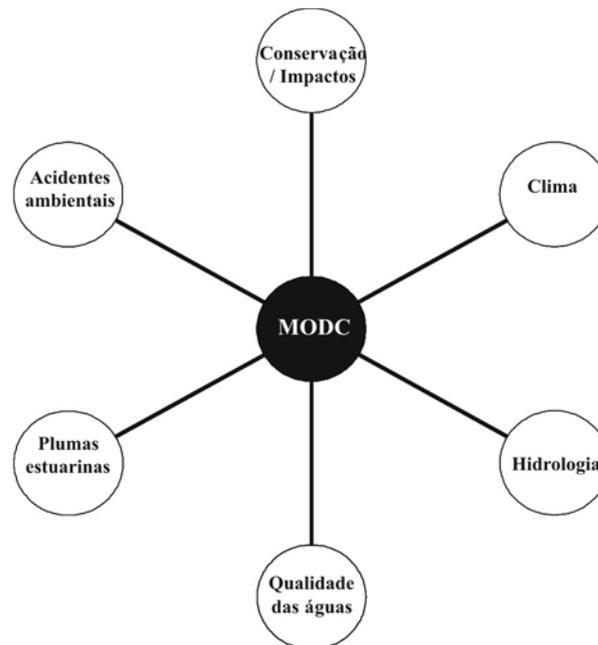


Figura 4. Potencial relacional entre POIs da MODC e diferentes aspectos ambientais.

Figure 4. Potential relationships between inherent optical properties of chromophoric dissolved organic matter and different environmental aspects.

relacional (aqui sugerido) entre as POIs da MODC e os aspectos ambientais acima mencionados é representado na Figura 4.

Como conclusão, assume-se que a sazonalidade óptica de águas naturais, como reportado neste estudo para o RPS, exemplifique informação útil, potencialmente aplicável ao mapeamento, sistematização, monitoramento e gestão de bacias e sub-bacias hidrográficas. Tal sazonalidade indicou que a principal força ambiental referente à variação qualitativa da MODC esteve associada à maior ou menor entrada de material cromóforo alóctone em função dos períodos úmido e seco. Mas, apesar do padrão observado no presente estudo corroborar outros padrões já descritos na literatura, acredita-se

que seja necessária a formação de um consistente banco de dados espaço-temporais para que se possa, efetivamente, utilizar as POIs como referenciais métricos de águas naturais. Tal banco de dados poderá alimentar um sistema de modelagem para descrever variações potamológicas, naturais e antropogenicamente mediadas, considerando tendências associativas entre águas naturais e contextos ambientais, incluindo possíveis efeitos relacionados a mudanças climáticas locais e globais.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem as contribuições referentes às recomendações do revisor (anônimo), as quais certamente contribuíram ao enriquecimento do artigo. Também gostaríamos de agradecer a CAPES (bolsa de mestrado para TBF), à UENF-FAPERJ (bolsa de mestrado para WCSA) e ao CNPq via apoio Projeto Instituto do Milênio Estuários.

REFERÊNCIAS

- AMADO, A.M.; FARJALLA, V.F.; ESTEVES, F.A.; BOZELLI R.L.; ROLAND F. & ENRICH-PRAST, A. 2006. Complementary pathways of dissolved organic carbon removal pathways in clear-water Amazonian ecosystems: photochemical degradation and bacterial uptake. *Aquatic Microbial Ecology*, 56: 8-17
- BATTIN, T.J. 1998. Dissolved organic matter and its optical properties in a blackwater tributary of the upper Orinoco river, Venezuela. *Organic Geochemistry*, 28: 561-569.
- BRICAUD, A. ; MOREL, A., PRIEUR, L. 1981. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnology Oceanography*, 26: 43-53.
- CARDER, K. L.; STEWART, R. G.; HARVEY, G. R. & ORTNER, P. B. 1989. Marine humic and fulvic acids: Their effects on remote sensing of ocean chlorophyll. *Limnology and Oceanography*, 34, 68-81.
- DEL CASTILLO, C.E.; COBLE, P.G.; MORELL, J.M. & CORREDOR, J.E. 1999. Analysis of the optical properties of the Orinoco River plume by absorption and fluorescence spectroscopy. *Marine Chemistry*, 66:35-51.
- DEL CASTILLO, C.E. & COBLE, P.G. 2000. Seasonal variability of the colored dissolved organic matter during the 1994-95 NE and SW monsoons in the Arabian Sea. *Deep-Sea Research*. 47: 1563-1579.
- GIN, K.Y.-H.; KOH, S.T.; LIN, I.I. & CHAN, E.S. 2002. Application of Spectral Signatures and Colour Ratios to Estimate Chlorophyll in Singapore's Coastal Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 719-728.
- IOCCG. 2000. Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters. In: S. Sathyendranath. (ed.) Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, Dartmouth, IOCCG, p. 140.
- KEITH, D.J.; YODER, J.A. & FREEMAN, S.A. 2002. Spatial and temporal distribution of coloured dissolved organic matter (CDOM) in Narragansett Bay, Rhode Island: Implications for phytoplankton in coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55: 705-717.
- KIRK, J.T.O. 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. 2nd ed., *Cambridge University Press*.
- KOWALCZUK, P.; COOPER, W.J.; WHITEHEAD, R.F.; DURAKO, M.J. & SHELDON, W. 2003. Characterization of CDOM in an organic-rich river and surrounding coastal ocean in the South Atlantic Bight. *Aquatic Science*, 65: 384-401.
- LINDELL, M.J.; GRANALI, W.; BERTILSSON, S. 2000. Seasonal photoreactivity of dissolved organic matter from lakes with contrasting humic content. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57:875-885.
- PEDROSA, P. 2007. Optical resilience of the Paraíba do Sul River (Brazil) during a toxic spill of a wood-pulping factory: the Cataguazes accident. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129:137-150.
- STEDMON, C.A.; MARKAGER, S. & KAAS, H. 2000. Optical properties and signatures of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Danish coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 51: 267-278.
- STEDMON C.A. & MARKAGER, S. 2001. The optics of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Greenland Sea: An algorithm for differentiation between marine and terrestrially derived organic matter. *Limnology Oceanography*, 46(8): 2087-2093.
- STEDMON, C.A. & MARKAGER, S. 2003. Behaviour of the optical properties of coloured dissolved organic matter under conservative mixing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57: 973-979.
- STROME, D.J. & MILLER, M. C. 1978. Photolytic changes in dissolved humic substances. *Internationale Vereinigung fuer Theoretische und Angewandte Limnologie Verhandlungen* 20:1248-1254.
- SUHETT, A.L.; AMADO, A.M.; BOZELLI, R.L.; ESTEVES, F.A. & FARJALLA, V.F. 2006. O papel da foto-degradação do carbono orgânico dissolvido (COD) nos ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis*, 10 (2): 186-204.
- WAISER, M.J. & ROBARTS, R.D. 2004. Photodegradation of DOC in a shallow prairie wetland: evidence from seasonal changes in DOC optical properties and chemical characteristics. *Biogeochemistry*, 69: 263-284.

Submetido em 24/06/2008.

Aceito em 11/08/2008.