

Características limnológicas da bacia do Alto Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais

NECCHI, O. Jr.¹, BRANCO, L.H.Z.¹ & BRANCO, C.C.Z.²

¹ Universidade Estadual Paulista, Departamento de Botânica, Caixa Postal 136 - 15001-970 - São José do Rio Preto, SP. Endereço eletrônico: orlando@bot.ibilce.unesp.br.

² Centro Universitário de Rio Preto, Departamento de Ciências Biológicas, R. Yvette G. Atique, 45 15025-400 - São José do Rio Preto, SP

RESUMO: Características limnológicas da bacia do alto rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. Em 12 pontos de amostragem foram analisadas trimestralmente (uma amostragem em cada estação do ano) as características limnológicas da bacia do alto rio São Francisco, situada dentro da área do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. As águas da bacia do Rio São Francisco apresentaram características muito peculiares, quais sejam: valores moderados de temperatura, velocidade da correnteza e oxigênio dissolvido; condutividade, turbidez e pH baixos; e valores relativamente altos de cor (tons de amarelo a marrom) e DQO. Os resultados indicaram que pH, cor e DQO (indicativo do conteúdo de material orgânico dissolvido) estiveram estreitamente relacionados entre si e constituíram variáveis-chave para explicar as condições da água predominantes na bacia. Em termos sazonais, houve diferenças significativas entre as estações do ano para temperatura, cor, N total e pH. Na primavera houve maiores discrepâncias, em relação às demais épocas, atribuíveis a chuvas ocorridas na véspera, particularmente devido aos valores mais elevados de condutividade, velocidade da correnteza, cor, nitrogênio total e DQO e aos menores de pH. Os resultados de PCA mostraram a formação de três grupos de pontos de amostragem caracterizados, principalmente, pelos valores de inclinação, velocidade, cor, pH e oxigênio dissolvido. Exceto por algumas características, especialmente físicas, exclusivas de trechos ou pontos de amostragem específicos, as variáveis que melhor caracterizaram a bacia de drenagem do rio São Francisco foram aquelas apontadas como indicadoras de águas húmicas (baixos valores de pH, condutividade e nutrientes inorgânicos livres e altos de cor da água e material orgânico dissolvido).

Palavras-chave: bacia de drenagem, campo de altitude, parque nacional, rio.

ABSTRACT: Limnological characteristics from upper region of São Francisco River basin, Serra da Canastra National Park, Minas Gerais State. 12 sampling sites were analyzed quarterly (one sampling in each season) aiming at describe the limnological characteristics of the upper region of São Francisco River basin, located inside of the Serra da Canastra National Park, Minas Gerais State, southeastern Brazil. The waters from the basin presented very peculiar characteristics: moderate values of temperature, current velocity and dissolved oxygen; low values of specific conductance, turbidity and pH; and high values of water color (yellow to brown) and COD. Results indicated that pH, color and COD (indicative of dissolved organic matter) were closely related one another and represented key variables to explain the predominating water conditions in the basin. On a seasonal basis, significant differences were found among sampling dates for temperature, color, total N and pH. In Spring we found the highest discrepancies in comparison to the other seasons, which were ascribable to the rains that occurred on the day before the sampling, particularly due to the higher

values of conductance, color, total N and COD and lower of pH. Results of Principal Components Analysis revealed three groups of sampling sites, differentiated mainly by the values of slope, current velocity, color, pH and dissolved oxygen. Except for few characteristics, especially some physical ones, unique of some specific stream segments or sampling sites, the variables that best characterized the São Francisco drainage basin were those pointed out as indicator of humic waters (low values of pH, conductance and free inorganic nutrients and high ones of water color and dissolved organic matter).

Key words: drainage basin, highland grassland, national park, river.

Introdução

Estudos limnológicos em bacias de drenagem no Brasil geralmente tratam de grandes rios, tais como o Amazonas (Sioli, 1975, 1984) e o Paraná (Szikszay, 1973; Bonetto, 1986). Pesquisas envolvendo bacias de drenagem de menor porte são comparativamente mais escassas (Branco & Necchi, 1997; Necchi et al., 1996; Rios & Calljuri 1995; Walker, 1995). Investigações em regiões montanhosas tropicais permitem analisar padrões de variação ambiental em condições climáticas e de altitude bastante contrastantes, variando desde subtropical ou de baixa altitude até temperada/subalpina ou de grandes elevações. Estudos deste tipo são relativamente escassos em escala mundial (Pentecost et al., 1997). Pesquisas limnológicas em ecossistemas lóticos de regiões montanhosas, particularmente em campos de altitude, são ainda virtualmente inexistentes no Brasil. Necchi et al. (1996) sugerem a realização de análises limnológicas em regiões subtropicais e temperadas (áreas montanhosas), de modo a permitir comparações e o estabelecimento de gradientes (tropical, subtropical e temperado) com relação aos padrões de variação em ecossistemas lóticos brasileiros.

Considerando a carência de trabalhos limnológicos em regiões montanhosas do Brasil, iniciamos este trabalho, como etapa de uma abordagem mais ampla e que deverá incluir outras áreas de campos de altitude da região sudeste do Brasil. O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de descrever as características limnológicas da bacia do alto rio São Francisco, situada dentro da área do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais.

Caracterização da área estudada

As informações apresentadas a seguir foram sumariadas a partir dos dados de Poupard et al. (1981) que sintetizam, virtualmente, toda a informação publicada disponível atualmente.

Localização

O Parque situa-se na região sudoeste do Estado de Minas Gerais (Fig. 1), entre as coordenadas 20°05'-20°20' S e 46°15'-47°00' W, compreendendo partes dos municípios de São Roque de Minas, Delfinópolis e Sacramento. Abrange área total de 71.525 ha, delimitada por perímetro de 173,4 km.

Drenagem e topografia

O Parque apresenta uma rede de drenagem bastante extensa, constituída em sua maioria por rios de pequeno porte. Dois sistemas de drenagem localizam-se em seu interior: as bacias do São Francisco e do Paraná, sendo que a própria nascente do rio São Francisco situa-se dentro do Parque. Como forma fisiográfica principal destaca-se o Chapadão da Serra da Canastra, continuando como Chapadão da Zagaia,

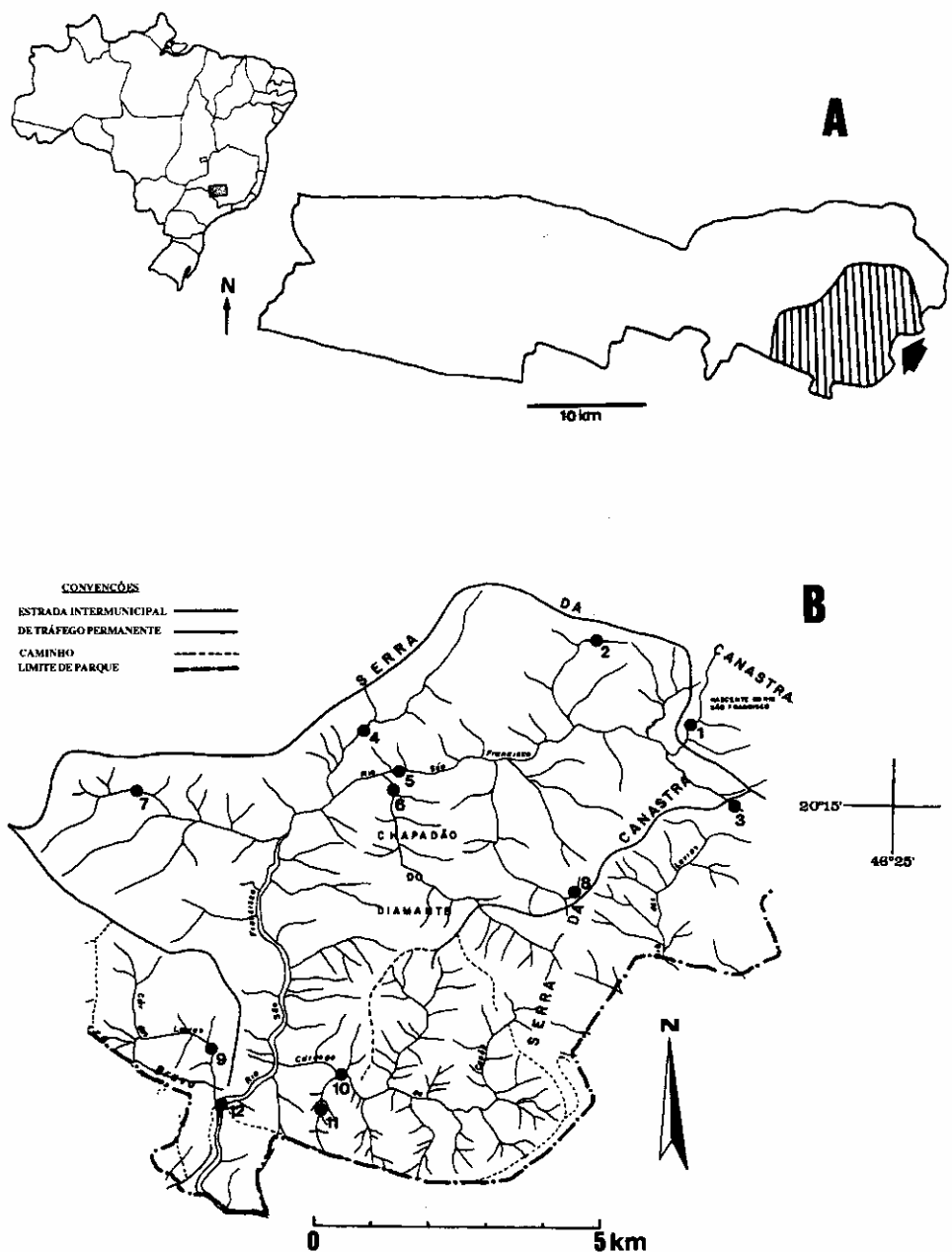


Figura 1: A. Localização do Parque Nacional da Serra da Canastra no estado de Minas Gerais e representação geral da área do Parque destacando a bacia de drenagem do rio São Francisco. B. Detalhe da bacia do rio São Francisco indicando os pontos de amostragem. A descrição detalhada da localização e características dos pontos de amostragem são apresentadas na Tab.I.

e o Chapadão das Sete Voltas, que atuam como divisores de águas entre as bacias do São Francisco e do Paraná. O nível das águas atinge seu maior volume no período que se estende de dezembro até fevereiro, iniciando-se em abril a vazante, que atinge seu máximo em agosto-setembro. Pouco ou nada se conhece sobre a hidrologia do Parque, tendo em vista a ausência de estudos. A topografia do Parque é caracterizada por dois chapadões, o da Canastra e o das Sete Voltas, com um vale entre eles. Existem vários pontos com altitudes maiores que 1.450m na parte oriental; a elevação máxima é 1.496 m no alto da Serra Brava. Há vários pontos de menores elevações, com aproximadamente 900 m, onde os cursos d'água deixam os limites do Parque. Em função do relevo, os rios da região apresentam os mais diversos graus de declividade e é freqüente a presença de corredeiras e cachoeiras.

Clima

A temperatura média anual situa-se em torno de 21°C e a do mês mais frio (julho) é inferior a 18°C. A média de temperatura do mês mais quente (fevereiro) não ultrapassa 23°C, em função da altitude. Esses dados referem-se aos municípios da área do Parque (São Roque de Minas e Sacramento). O índice pluviométrico varia entre 1.300 e 1.700mm anuais, com estação chuvosa no verão e inverno seco.

Geologia e geomorfologia

A área do Parque é importante pela presença de rochas pré-cambrianas médias do Grupo Canastra, com predominância de quartzitos ou de micaxistos. A Serra da Canastra, formada pelos quartzitos, apresenta-se com superfícies onduladas e com aspecto ruiforme em determinados locais. Seus contatos com rochas mais macias, como os siltitos ou micaxistos, são notáveis pela presença de escarpamentos de até 200 m de desnível. O levantamento semi-detalhado de solos reconhece várias unidades e associações, destacando-se a associação de afloramentos e maciços rochosos e litossol quartzito, que representa entre 35 e 40% da área do Parque.

Vegetação

Grande parte da área do Parque é coberta por vegetação campestre que, geralmente, se desenvolve em solos ácidos e mal drenados, em altitudes superiores a 800m. A vegetação na área estudada é típica de campos rupestres, desenvolvendo-se em meio a afloramentos rochosos, com predominância das famílias típicas desses ambientes (Compositae, Cyperaceae, Eriocaulaceae, Poaceae, Xyridaceae e Velloziaceae). Áreas de florestas são escassas (menos de 1% da área do Parque) e ocorrem geralmente às margens dos cursos d'água de maior porte.

Material e métodos

Descrição dos pontos de amostragem

Os estudos foram desenvolvidos em 12 pontos da bacia de drenagem do rio São Francisco (Tab. I, Fig. 1). A locação dos pontos de amostragem foi feita de maneira a cobrir a área de drenagem de forma representativa, considerando a acessibilidade e a aplicabilidade das técnicas de amostragem (presença de massa d'água com profundidade mínima de alguns centímetros a máxima de 1m).

As medições das variáveis ambientais foram realizadas ao longo de um ano,

Tabela 1: Descrição dos pontos de amostragem na bacia do Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da

No.	Localização	Altitude (m)	Inclinação (°)	Substrato (%)	Sombreamento	Largura (m) [*]	Profundidade (cm) [*]
1	Rio São Francisco, próximo de nascente 20°18'07" S, 46°30'22" W	1.340	0,5	80-93 rocha 5-35 macrófitas 2-19 outros	parcialmente sombreado 90% irradiação incidente	2,10-4,10 (2,80)	35-52 (44)
2	Afluente da margem direita do Rio São Francisco 20°17'50" S, 46°31'19" W	1.400	3,5	85-99 rocha 1-15 outros	parcialmente sombreado 67% irradiação incidente	0,50-0,85 (0,70)	15-20 (17)
3	Afluente da margem esquerda do Rio São Francisco 20°15'25" S, 46°28'13" W	1.350	5,0	70-82 rocha 0-20 matacão 3-10 outros	sombreado 52% irradiação incidente	0,30-0,60 (0,50)	10 (10)
4	Afluente da margem direita do Rio São Francisco 20°14'28" S, 46°30'01" W	1.300	5,0	85-100 rocha 7-8 outros	parcialmente sombreado 90% irradiação incidente	2,10-3,20 (2,80)	12-48 32
5	Rio São Francisco, trecho médio 20°14'52" S, 46°29'49" W	1.280	0,5	variável: 5-70 areia, 30-90 cascalho, 0-30 matacão, 0-5 outros	parcialmente sombreado 88% irradiação incidente	5,90-8,35 (6,10)	18-93 (52)
6	Afluente da margem esquerda do Rio São Francisco 20°14'56" S, 46°29'50" W	1.280	0,5	variável: 20-40 mat., 20-35 seixo, 18-25 rocha, 10-25 casc., 5-12 macrófitas	sombreado 48% irradiação incidente	2,50-3,35 (2,80)	27-37 (29)
7	Afluente da margem direita do Rio São Francisco 20°15'03" S, 46°32'09" W	1.315	2,0	90-100 rocha 0-10 outros	parcialmente sombreado 70% irradiação incidente	1,45-2,10 (1,80)	12-18 (16)
8	Afluente da margem esquerda do Rio São Francisco 20°18'03" S, 46°27'34" W	1.350	2,0	60-70 rocha 10-15 matacão, 5-15 outros	parcialmente sombreado 75% irradiação incidente	0,75-0,90 (0,80)	15-18 (16)
9	Córrego das Lavras, afluente da margem direita do Rio São Francisco 20°17'40" S, 46°31'20" W	1.185	2,0	65-70 rocha, 5-25 matacão, 5-15 outros	parcialmente sombreado 70% irradiação incidente	1,85-2,65 (2,40)	17-26 (22)
10	Córrego do Capão, afluente da margem esquerda do Rio São Francisco 20°17'46" S, 46°30'10" W	1.180	3,0	60-85 rocha, 10-30 matacão, 1-10 outros	parcialmente sombreado 78% irradiação incidente	1,35-2,25 (1,70)	37-48 (43)
11	Afluente do Córrego do Capão, margem esquerda do Rio São Francisco 20°18'07" S, 46°30'22" W	1.205	14,0	100 rocha	parcialmente sombreado 74% irradiação incidente	1,10-1,60 (1,30)	3-4 (3)
12	Rio São Francisco, alto da Casca D'Anta 20°17'50" S, 46°31'19" W	1.175	2,5	100 rocha	aberto 100% irradiação incidente	1,50-2,25 (1,80)	24-47 (33)

* Valores em parênteses representam a média.

através de quatro amostragens, uma em cada estação do ano: 26 a 29 de maio (outono), 04 a 07 de setembro (inverno), 04 a 06 de novembro (primavera) e 04 a 07 de fevereiro (verão). As observações e medições das variáveis limnológicas foram feitas dentro de uma transeção de 10 metros de extensão (Burkholder & Sheath 1985, Necchi et al. 1995), subdividida em cotas iguais de 1 metro, ao longo das margens de cada rio/riacho estudado.

Análises ambientais

As seguintes variáveis ambientais foram registradas em cada ponto de amostragem: latitude, longitude e altitude, inclinação, largura e profundidade médias dos trechos analisados, tipo de substrato, velocidade da correnteza, temperatura da água, turbidez, sombreamento, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, cor da água (Hazen), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e nutrientes (nitrogênio total, amônio, nitrato, nitrito, ortofosfato, potássio, cálcio e ferro). Todas as variáveis, exceto cor, DQO e nutrientes, foram medidas em campo, com o auxílio dos seguintes aparelhos: latitude e longitude - marcador de trilha GPS Magellan; altitude - altímetro Altitronic Traveller; velocidade da correnteza - fluxômetro mecânico General Oceanics 2030R, a 5 cm de profundidade nos pontos médios; temperatura, turbidez, pH e oxigênio dissolvido - controlador de qualidade de água Horiba U-10; condutividade - condutivímetro Alem Mar 901. Cor, DQO e nutrientes foram medidos, em laboratório, com uso de espectrofotômetro Merck SQ 118 e reagentes Merck Spectroquant específicos para cada parâmetro. As amostras de água foram imediatamente congeladas após a coleta e mantidas congeladas por um período máximo de 30 dias até a realização das análises.

A estimativa do tipo de substrato foi feita em termos percentuais por análise visual do leito do rio/riacho e comparação do material observado com as classes de tamanho de partículas descritas em Gordon et al. (1992): areia-argila, areia, cascalho, seixo, matacão, rocha. Foram acrescidos, ainda, substratos como: troncos e galhos, macrófitas e outros. A inclinação foi medida com clinômetro Sokkiska, tomando-se como referência dois pontos situados à montante e à jusante dos trechos amostrados.

Os dados de sombreamento foram tomados com o objetivo de se verificar a quantidade de luz incidente que atinge a superfície da água. A análise desta variável é feita segundo o procedimento descrito em Denicola et al. (1992) adaptado, onde 4 classes de sombreamento (aberto, parcialmente sombreado, sombreado e fortemente sombreado) são claramente distintas e facilmente definíveis. Para caracterização do sombreamento em cada ponto de amostragem, foram efetuadas medições de irradiância na superfície dos corpos d'água (imediatamente acima da lâmina d'água) em cinco pontos ao longo da transeção com uso de quantômetro Li-Cor, mod. LI-189 e sensor de quantum esférico Li-Cor, mod. LI-193SA. Os valores foram comparados com medição feita em local aberto e os resultados expressos em termos percentuais. As medições foram realizadas às 12:00 ± 2 h. Por fim, para as estimativas das dimensões de cada trecho de rio/riacho foram feitas 5 medidas de largura e profundidade em pontos equidistantes ao longo da transeção.

Análise dos dados

Os resultados numéricos foram submetidos inicialmente à estatística descritiva e, posteriormente, às análises estatísticas paramétricas especificadas abaixo. A correlação das variáveis entre si foi determinada através do coeficiente de correlação, *r* de Pearson (Sokal & Rohlf, 1981). A existência de diferença significativa entre as variáveis para os pontos de amostragens foi avaliada através de análise de variância, ANOVA - uma via (Sokal & Rohlf, 1981). A avaliação da influência de um conjunto de variáveis sobre outra variável foi efetuada através de análise de regressão múltipla (Digby & Kempton, 1987). A associação entre os pontos de amostragem

com base nos parâmetros limnológicos foi feita através de Análise dos Componentes Principais (PCA), aplicando-se o coeficiente de correlação, r de Pearson (Digby & Kempton, 1987). Todos os testes foram realizados com o uso do pacote estatístico Minitab, versão 10 (Ryan et al., 1985).

Resultados e discussão

Dos 12 pontos de amostragem, dez (83%) apresentaram substrato predominantemente constituído por leito rochoso (Tab. I), o que se coaduna com as características de campos rupestres da área amostrada. Dez pontos de amostragem foram parcialmente sombreados ou abertos (67 a 100% de irradiância incidente) e apenas os pontos 3 e 6 foram considerados sombreados (48 a 52% de irradiância incidente). Esta característica deve-se ao tipo de vegetação marginal (predominantemente arbustivo-herbácea) e à forma do canal dos rios/riachos (geralmente pouco profundos). Os pontos de amostragem situaram-se em altitudes de 1.175 a 1.400m. A inclinação nos locais de amostragem foi bastante heterogênea, incluindo trechos com pouca declividade (0,5° de inclinação) até alguns fortemente inclinados (5-14°).

Os pontos de amostragem incluíram desde segmentos de riachos muito pequenos (1ª ordem), com larguras menores do que 1 metro (pontos 2, 3 e 8) até trechos relativamente largos do rio principal ou dos afluentes maiores (pontos 4, 5, 6 e 9; Tab. I). As profundidades foram bastante variáveis, incluindo desde trechos rasos, com profundidades ≤ 20 cm (pontos 2, 3, 7, 8 e 11) até aqueles relativamente profundos (≥ 35 cm, pontos 1, 5 e 10). Três pontos de amostragem (2, 3 e 8) encontravam-se totalmente secos ou apenas com água estagnada (pequenas poças) no inverno e, por essa razão, não foram amostrados nesta época.

As águas da bacia do Rio São Francisco apresentaram características muito peculiares (Tab. II-IV), quais sejam: valores moderados de temperatura, velocidade da correnteza e oxigênio dissolvido; condutividade, turbidez e pH baixos; e valores relativamente altos de cor e DQO. A temperatura, além de moderada, apresentou variação relativamente pequena. A turbidez da água foi baixa, indicando pouco material em suspensão, mas os valores de cor foram altos (tons de amarelo a marrom), indicando alta concentração de material dissolvido, especialmente orgânico. O pH ácido e o teor moderado de oxigênio dissolvido podem ser atribuídos à drenagem deficiente dos ambientes de campos rupestres, provocando acúmulo de material parcialmente decomposto, especialmente ácidos orgânicos (húmicos e fúlvicos) e consumo de oxigênio (Wetzel, 1975). As propriedades físicas e químicas das substâncias húmicas incluem forte capacidade de adsorção e ligação com nutrientes orgânicos e inorgânicos (Münster, 1999). Conseqüentemente, substâncias húmicas têm impactos severos sobre a disponibilidade de nutrientes orgânicos e inorgânicos para a nutrição de organismos como bactérias, fungos e a maioria das algas. A limitação de macronutrientes essenciais (como fósforo, nitrogênio, carbono e enxofre) e micronutrientes tem influência significativa no crescimento, reprodução, biomassa e interações da cadeia alimentar em águas húmicas.

Os seguintes valores significativos de correlação ($p < 0,001$) foram encontrados: pH com oxigênio ($r = 0,54$), com cor ($r = -0,76$) e com DQO ($r = -0,64$); DQO com cor ($r = 0,81$), com oxigênio ($r = -0,37$, $p < 0,05$) e com nitrogênio total ($r = 0,47$, $p < 0,01$). A análise de regressão múltipla revelou que: a) 68% das variações de pH estiveram associadas com as oscilações de oxigênio, cor e DQO; b) do total das variações nos valores de cor, 78,5% foram relacionadas às oscilações de pH e DQO; c) 65% das variações de DQO estiveram correlacionadas às flutuações de pH e cor. Estes resultados indicam, portanto, que pH, cor e DQO estão estreitamente relacionadas entre si e constituem variáveis-chave para explicar as condições da água predominantes na bacia do Rio São Francisco. Tais condições, por sua vez, estão fortemente asso-

ciadas às concentrações presumivelmente altas de material orgânico dissolvido. Características especiais de águas húmicas incluem: baixos valores de irradiância (e dominância da faixa vermelha do espectro), pH, alcalinidade, condutividade e de nutrientes inorgânicos livres (especialmente P, N e Ca) e altos de cor da água e carbono orgânico dissolvido (Arvola et al., 1999).

Os baixíssimos valores de condutividade encontrados indicariam, a princípio, concentrações muito baixas de substâncias inorgânicas. Porém, a análise química da água revelou, paradoxalmente, valores típicos ou até elevados de vários nutrientes inorgânicos (Tab. II-IV), particularmente, nitrato, ortofosfato, potássio e ferro, exceto cálcio, cujos valores estiveram abaixo do limite de detecção na maioria das amostragens. A maioria dos parâmetros situou-se dentro ou mais elevada do que as faixas de valores reportadas para ecossistemas lóticos do estado de São Paulo (Rios & Calijuri 1995, Necchi et al. 2000). Por outro lado, a quantidade de matéria orgânica foi alta, indicada pelos valores elevados de DQO. Outro dado indicativo da grande quantidade de substâncias orgânicas foi a proporção relativamente

Tabela II: Valores globais e de cada estação do ano (média \pm desvio-padrão) das variáveis físicas e químicas dos pontos de amostragem na bacia do Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra. nd - não detectável.

Variável	Global (N=45)	Outono (N=12)	Inverno (N=9)	Primavera (N=12)	Verão (N=12)
Temperatura (°C)	20,3 \pm 1,7	18,8 \pm 0,9	19,8 \pm 1,1	20,2 \pm 1,0	22,4 \pm 1,2
Condutividade (μ S cm ⁻¹)	3,2 \pm 3,0	2,9 \pm 0,8	1,3 \pm 1,8	4,7 \pm 4,0	3,3 \pm 3,5
Turbidez (UTN)	1 \pm 1	1 \pm 1	1 \pm 1	1 \pm 0	1 \pm 1
Velocidade (cm s ⁻¹)	39 \pm 35	29 \pm 32	32 \pm 28	53 \pm 41	40 \pm 37
pH	5,2 \pm 0,3	5,2 \pm 0,3	5,5 \pm 0,4	5,0 \pm 0,3	5,2 \pm 0,3
Oxigênio dissolvido (% sat.)	50 \pm 6	49 \pm 6	50 \pm 4	51 \pm 7	52 \pm 4
Cor (Hz)	12 \pm 13	7 \pm 6	5 \pm 6	22 \pm 19	11 \pm 9
N total (μ g l ⁻¹)	559 \pm 525	391 \pm 353	244 \pm 224	1208 \pm 483	300 \pm 230
Nitrato (μ g l ⁻¹)	78 \pm 70	66 \pm 42	104 \pm 122	70 \pm 30	77 \pm 71
Nitrito (μ g l ⁻¹)	5 \pm 5 ^a	6 \pm 5	4 \pm 5	7 \pm 5	4 \pm 4
Amônio (μ g l ⁻¹)	14 \pm 12 ^b	14 \pm 16	8 \pm 9	17 \pm 11	10
Ortofosfato (μ g l ⁻¹)	182 \pm 220	154 \pm 128	420 \pm 285	193 \pm 216	19 \pm 10
Cálcio (mg l ⁻¹)	8 \pm 7 ^c	10 \pm 7	2	nd	nd
Potássio (mg l ⁻¹)	432 \pm 96	400 \pm 63	367 \pm 50	450 \pm 67	492 \pm 131
Ferro (mg l ⁻¹)	43 \pm 27	24 \pm 10	62 \pm 31	34 \pm 17	57 \pm 28
DQO (mg l ⁻¹)	10,8 \pm 8,2	—	9,4 \pm 3,4	16,1 \pm 10,7	6,6 \pm 4,5

a. N=42; b. N=31; c. N=6.

baixa (8-48%, média de 27%) das formas inorgânicas (nitrato, nitrito e amônia) em relação ao conteúdo total de nitrogênio e também a relação entre o fósforo inorgânico (ortofosfato, 25-80%, média de 48%) e fósforo total, na amostragem realizada no verão. Estes dados nos permitem inferir que a maior parte dos íons esteja combinada com substâncias orgânicas, formando complexos orgânicos em solução e, dessa maneira, não detectada pela condutividade. A maior parte destes nutrientes inorgânicos complexados não está, em regra, disponível para os organismos (Münster, 1999). Este padrão é comumente encontrado em águas húmicas, tais como em ambientes de "peat bogs" (de altitude elevada, solos mal drenados e águas marrons; Moss, 1988) ou lagos boreais (Arvola et al., 1999). Situação semelhante é encontrada também em rios e riachos de águas pretas da bacia do Rio Negro (Walker, 1995), nos quais são reportados pH ácido (3,9-5,2), condutividade muito baixa (5,6-11,0 μ S cm⁻¹),

alto teor de substâncias húmicas (5,4-51,5 mg l⁻¹) e, freqüentemente, alta concentração de íons, tais como magnésio, potássio e sílica.

Em termos sazonais, o teste de ANOVA mostrou diferenças significativas (p<0,01) entre as estações do ano para as seguintes variáveis: temperatura (F=4,0, p<0,05), cor (F=4,4), N total (F=17,2), pH (F=4,0, p<0,05) e DQO (F=5,4). Na primavera houve maiores discrepâncias em relação às demais épocas, particularmente devido aos valores mais elevados de condutividade, velocidade, cor, nitrogênio total e DQO e aos menores de pH (Tab. II). Isso pode ser atribuído à ocorrência de chuvas fortes na véspera das amostragens, provocando maior entrada de material alóctone e aumento da vazão. Em termos espaciais, os pontos de amostragem situados mais próximos das nascentes (pontos 1, 2, 3 e 8) apresentaram os menores valores de pH e oxigênio e os mais altos de cor (amarela escura a marrom) e DQO (Tab. III-IV). Isto indica uma maior influência do ambiente circundante, especialmente através do aporte de material alóctone (com carga elevada de substâncias orgânicas parci-

Tabela III: Valores (média ± desvio-padrão) das variáveis físicas e químicas dos pontos de amostragem na bacia do Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra, nas amostragens realizadas nas quatro estações. N=4, exceto quando especificado de outra forma.

Ponto	Temperatura (°C)	Condutividade (µScm ⁻¹)	Turbidez (UTN)	Velocidade (cm s ⁻¹)	(pH)	Oxigênio Dissolvido (% saturação)	Cor (Hz)
1 ^a	20,3 ± 1,7	9,4 ± 5,0	2 ± 1	8 ± 15	4,6 ± 0,2	40 ± 6	38 ± 25
2 ^a	19,5 ± 1,2	5,1 ± 2,8	1 ± 1	3 ± 5	4,8 ± 0,1	48 ± 2	19 ± 13
3	20,7 ± 1,5	3,8 ± 2,2	1 ± 0	18 ± 24	5,0 ± 0,2	50 ± 2	12 ± 10
4	19,6 ± 1,6	1,8 ± 1,1	1 ± 0	42 ± 18	5,4 ± 0,1	49 ± 1	2 ± 1
5	20,2 ± 1,5	1,7 ± 1,1	1 ± 0	8 ± 4	5,5 ± 0,3	53 ± 1	9 ± 7
6	19,5 ± 2,0	1,5 ± 0,6	1 ± 0	31 ± 10	5,4 ± 0,1	53 ± 4	7 ± 4
7	19,5 ± 1,3	1,8 ± 1,1	1 ± 0	39 ± 14	5,3 ± 0	50 ± 3	4 ± 2
8 ^a	20,0 ± 0,9	6,2 ± 2,5	1 ± 0	1 ± 2	4,8 ± 0,2	46 ± 10	20 ± 9
9	21,0 ± 2,0	1,9 ± 1,2	2 ± 2	68 ± 28	5,5 ± 0,3	56 ± 2	6 ± 4
10	21,5 ± 1,5	2,0 ± 1,6	1 ± 0	57 ± 18	5,4 ± 0,3	56 ± 1	8 ± 7
11	20,6 ± 2,4	2,4 ± 0,9	2 ± 2	60 ± 28	5,2 ± 0,1	48 ± 6	7 ± 3
12	21,6 ± 2,1	1,8 ± 1,2	1 ± 1	111 ± 15	5,5 ± 0,3	55 ± 5	9 ± 6

a. N=3

Tabela IV: Valores (média ± desvio-padrão) das variáveis químicas dos pontos de amostragem na bacia do Rio São Francisco, Parque Nacional da Serra da Canastra, nas amostragens realizadas nas quatro estações. N=4, exceto quando especificado de outra forma.

Ponto	Temperatura (°C)	Condutividade (µScm ⁻¹)	Turbidez (UTN)	Velocidade (cm s ⁻¹)	(pH)	Oxigênio Dissolvido (% saturação)	Cor (Hz)
1	20,3 ± 1,7	9,4 ± 5,0	2 ± 1	8 ± 15	4,6 ± 0,2	40 ± 6	38 ± 25
2 ^a	19,5 ± 1,2	5,1 ± 2,8	1 ± 1	3 ± 5	4,8 ± 0,1	48 ± 2	19 ± 13
3 ^a	20,7 ± 1,5	3,8 ± 2,2	1 ± 0	18 ± 24	5,0 ± 0,2	50 ± 2	12 ± 10
4	19,6 ± 1,6	1,8 ± 1,1	1 ± 0	42 ± 18	5,4 ± 0,1	49 ± 1	2 ± 1
5	20,2 ± 1,5	1,7 ± 1,1	1 ± 0	8 ± 4	5,5 ± 0,3	53 ± 1	9 ± 7
6	19,5 ± 2,0	1,5 ± 0,6	1 ± 0	31 ± 10	5,4 ± 0,1	53 ± 4	7 ± 4
7	19,5 ± 1,3	1,8 ± 1,1	1 ± 0	39 ± 14	5,3 ± 0	50 ± 3	4 ± 2
8 ^a	20,0 ± 0,9	6,2 ± 2,5	1 ± 0	1 ± 2	4,8 ± 0,2	46 ± 10	20 ± 9
9	21,0 ± 2,0	1,9 ± 1,2	2 ± 2	68 ± 28	5,5 ± 0,3	56 ± 2	6 ± 4
10	21,5 ± 1,5	2,0 ± 1,6	1 ± 0	57 ± 18	5,4 ± 0,3	56 ± 1	8 ± 7
11	20,6 ± 2,4	2,4 ± 0,9	2 ± 2	60 ± 28	5,2 ± 0,1	48 ± 6	7 ± 3
12	21,6 ± 2,1	1,8 ± 1,2	1 ± 1	111 ± 15	5,5 ± 0,3	55 ± 5	9 ± 6

a. N=3

almente decompostas, especialmente húmicas) proveniente do solo mal drenado. Thomas (1997) mencionou que as concentrações de substâncias húmicas são, em geral, excepcionalmente altas (> 80% do carbono orgânico dissolvido) em riachos ácidos e distróficos de cabeceiras, devido à grande contribuição de material alóctone em áreas de drenagem com turfeiras e charcos. Além disso, a importância relativa das fontes alóctones tende a decrescer ao longo da extensão de ecossistemas lóticos.

Os resultados de PCA (Fig. 2), incluindo todas as variáveis analisadas, mostraram a formação de três grupos de pontos de amostragem (denominados A, B e C). O grupo A incluiu 6 pontos de amostragem (3, 4, 7, 9, 10 e 12), caracterizados principalmente por valores baixos de cor e elevados de inclinação, velocidade, pH e oxigênio dissolvido (Tab. I e III). Porém, o ponto 3 foi um pouco destoante para algumas dessas variáveis, especialmente cor e pH. O grupo B consistiu de dois pontos de pequeno porte (2 e 8), que apresentaram valores altos de cor e baixos de velocidade, pH e oxigênio. O grupo C incluiu os pontos 5 e 6, situados na parte média da bacia e que apresentaram substrato variável (não rochoso), grandes dimensões, pouca inclinação e velocidades baixas. Os segmentos I e II não se agruparam com nenhum dos demais. No ponto 1 foram encontrados os valores mais baixos de pH e oxigênio e os maiores de cor, além de baixa inclinação e velocidade. No ponto 11, a maior inclinação e velocidade elevada foram observadas. Excetuando-se algumas características, especialmente físicas, peculiares de trechos ou pontos de amostragens específicos, as variáveis que melhor permitiram a caracterização da bacia de drenagem do Rio São Francisco, foram aquelas apontadas por Arvola et al. (1999) como indicadoras de águas húmicas.

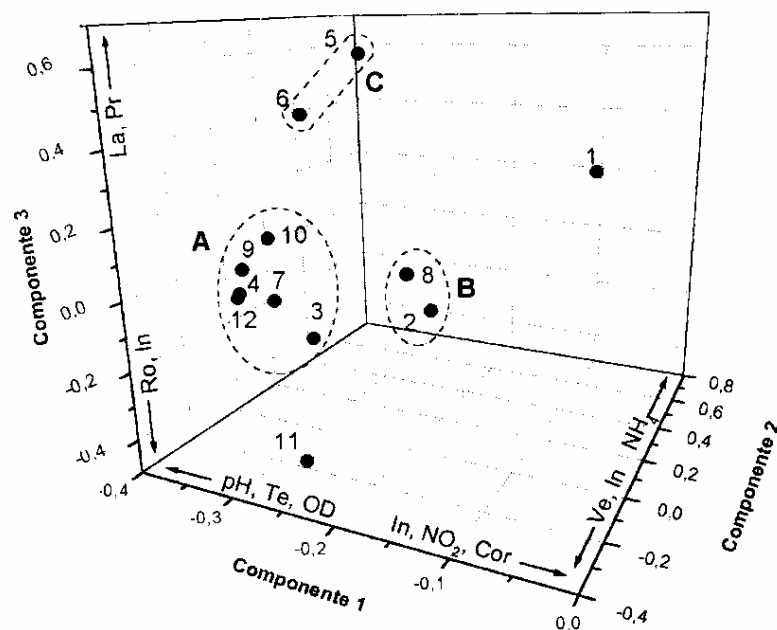


FIGURA 2: Resultado de PCA para os pontos de amostragem na bacia do rio São Francisco com base em todas as variáveis analisadas, mostrando a formação de três grupos (A, B e C). Os três componentes representados explicam 82,7% da variação observada (Componente 1 = 57,3 %, Componente 2 = 15,2 %, Componente 3 = 10,2 %). As setas indicam a direção crescente das variáveis mais influentes para cada componente. In = Inclinação; La = Largura; NH₄ = Amônio; NO₂ = Nitrito; OD = oxigênio dissolvido; Pr = Profundidade; Ro = Substrato rochoso; Te = Temperatura; Ve = Velocidade.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu apoio financeiro da FAPESP, Auxílio à Pesquisa (Proc. 98/01108-8) e do CNPq, Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Proc. 300379/86-2), concedidos à ONJ, e Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq (Proc. 520551/96-6), concedida à LHZB. Os autores agradecem ao IBAMA pela autorização para realização do projeto; ao diretor e aos funcionários do Parque pela colaboração e facilidades durante as excursões; a Marcelo Ribeiro Zucchi e Jeferson Luiz Pereira pelo auxílio no trabalho de campo; e à Maria Helena Carabolante pela colaboração na análise das amostras em laboratório.

Referências citadas

- Arvola, L., Eloranta, P., Järvinen, M., Keskitalo, J. & Holopainen, A.L. 1999. Phytoplankton. In: Keskitalo, J. & Eloranta, P. (eds.) *Limnology of humic waters*. Backhuys Publ., Leiden. p.137-171.
- Bonetto, A.A. 1986. The Paraná River system. In: Davies, B.R. & Walker, K.F. (eds) *The ecology of river systems*. Dr W. Junk Publ., Dordrecht. p.541-555.
- Branco, L.H.Z. & Necchi, O. Jr. 1997. Variação longitudinal de parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a diferentes bacias de drenagem na região noroeste do Estado de São Paulo. *Acta Limnol. Bras.*, 9:165-177.
- Burkholder, J.M. & Sheath, R.G. 1985. Characteristics of soft-water streams in Rhode Island, I. A comparative analysis of physical and chemical variables. *Hydrobiologia*, 128:97-108.
- Denicola, D.M., Hogland, K.D. & Roemer, S.C. 1992. Influences of canopy cover on spectral irradiance and periphyton assemblages in a prairie stream. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 11:391-404.
- Digby, P.G.N. & Kempton, R.A. 1987. *Multivariate analysis of ecological communities*. Chapman and Hall, London. 206p.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A. & Finlayson, B.L. 1992. *Stream hydrology, an introduction for ecologists*. John Wiley & Sons, Chichester. 526p.
- Moss, B. 1988. *Ecology of fresh waters, man and medium*. 2. ed. Blackwell, Oxford. 417p.
- Münster, U. 1999. Bioavailability of nutrients. In: Keskitalo, J. & Eloranta, P. (eds.), *Limnology of humic waters*. Backhuys Publ., Leiden. p.77-94.
- Necchi, O. Jr., Branco, C.C.Z. & Branco, L.H.Z. 2000. Distribution of stream macroalgae in São Paulo State, southeastern Brazil. *Algol. Stud.*, 97:43-57.
- Necchi, O., Branco, C.C.Z., Simão, R.C.G. & Branco, L.H.Z. 1995. Distribution of stream macroalgae in the northwest region of São Paulo State, southeastern Brazil. *Hydrobiologia*, 299:219-230.
- Necchi Jr., O., Branco, L.H.Z. & Branco, C.C.Z. 1996. Análise nictemeral e sazonal de algumas variáveis limnológicas em um riacho no noroeste do estado de São Paulo. *Acta Limnol. Bras.*, 8:169-182.
- Pentecost, A., Bailey, R.G., Busulwa, H.S. & Williams, A. 1997. Epilithic algal communities of the Bujuku-Mubuku River system, Rwenzori Mountains, Uganda. *Arch. Hydrobiol.*, 139:479-493.
- Poupard, J.P., Pimentel, A.P.M., Comastri, E.R.M., Griffith, J.J., Souza, O.C., Soares, O.A. & Brock, T.J. 1981. *Plano de Manejo: Parque Nacional da Serra da Canastra*. IBDF/FBCN, Brasília. 96p.
- Rios, L. & Calijuri, M.C. 1995. A bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão: uma proposta para ordenação das sub-bacias através de variáveis limnológicas. *Acta Limnol. Bras.*, 7:151-161.

- Ryan, B.F., Joiner, B.L. & Ryan Jr., T.A. 1985. Minitab handbook. Duxbury Press, Boston. 374p.
- Sioli, H. 1975. Tropical river: the Amazon. In: Whitton, B.A.. (ed.), River Ecology. Blackwell, Oxford. p.461-488.
- Sioli, H. 1984. The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. W. Junk, Dordrecht. 763 p.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1981. Biometry. W.H. Freeman, New York. 859p.
- Szikszay, M. 1973. Dados hidrogeoquímicos de rios da bacia do Paraná. Bol. Inst. Geocienc. USP, 4: 97-108.
- Thomas, J.D. 1997. The role of dissolved organic matter, particularly free amino acids and humic substances, in freshwater ecosystems. Freshwater Biol., 38:1-36.
- Walker, I. 1995. Amazonian streams and small rivers. In: Tundisi, J.G., Bicudo, C.E.M. & Matsumura-Tundisi, T. (eds.), Limnology in Brazil. Brazilian Academy of Sciences, Rio de Janeiro, p.167-193.
- Wetzel, R.G. 1975. Limnology. W.B. Saunders, Philadelphia. 743p.