

4. Capítulo 1. Caracterização física e química da água e dos sedimentos da bacia do rio Monjolinho e tributários

4.1 Introdução

A qualidade da água, assim como a quantidade, são profundamente afetadas espacialmente e temporalmente por causas naturais, como o clima, a geomorfologia, a vegetação e as condições geoquímicas da sua bacia de drenagem e do aquífero que a alimenta, assim como por intervenções antrópicas, como desmatamento de áreas adjacentes aos corpos de água, mudanças no uso do solo, projetos de irrigação, construção de barragens, e despejo de esgotos (ou poluentes) (Meybeck e Helmer, 1992, Salati *et al.*, 2002).

Nos rios, em particular, as características químicas também são dependentes da proporção de águas subterrâneas e de *runoff* (carreamento), do regime hidrológico, da mistura com as águas de tributários qualitativamente diferentes e da entrada de poluentes (Meybeck *et al.*, 1992).

Além disso, os sedimentos são importantes por funcionarem como reservatório de nutrientes para outros compartimentos e também como indicadores das formas e intensidade de impactos que ocorrem nos corpos de água. Muitos poluentes lançados em rios e lagos podem ser acumulados neste compartimento e através de processos como a bioturbação, ressuspensão, dragagem, adsorção ou pela ingestão de sedimentos por espécies que ocasionalmente comportam-se como epibênticas, estes podem ser ressuspensos para a coluna d'água. Em locais em condições anaeróbias, também pode

haver a liberação de uma maior quantidade de nutrientes e de certos contaminantes, devido a sua maior solubilização (Esteves, 1998).

No presente capítulo, são apresentados dados quanto às análises físicas e químicas da água e dos sedimentos do rio Monjolinho e alguns tributários, com a finalidade de caracterizá-los limnologicamente e compará-los com trabalhos anteriormente realizados, avaliando-se as mudanças que ocorreram ao longo do tempo.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Variáveis físicas e químicas da água e dos sedimentos

Com base em visitas preliminares e trabalhos anteriormente desenvolvidos no rio Monjolinho, optou-se pela realização de duas coletas, uma no período chuvoso, no mês de janeiro de 2004, e outra em um período de estiagem, em julho de 2004. Foram selecionados 9 pontos para as análises físicas e químicas da água e dos sedimentos do rio Monjolinho e alguns de seus tributários, sendo 6 deles dentro do próprio rio Monjolinho, e 3 nos seguintes tributários: Córrego do Tijuco Preto, Córrego Santa Maria Madalena e Córrego da Água Fria (Figura 3 e Tabela 1).

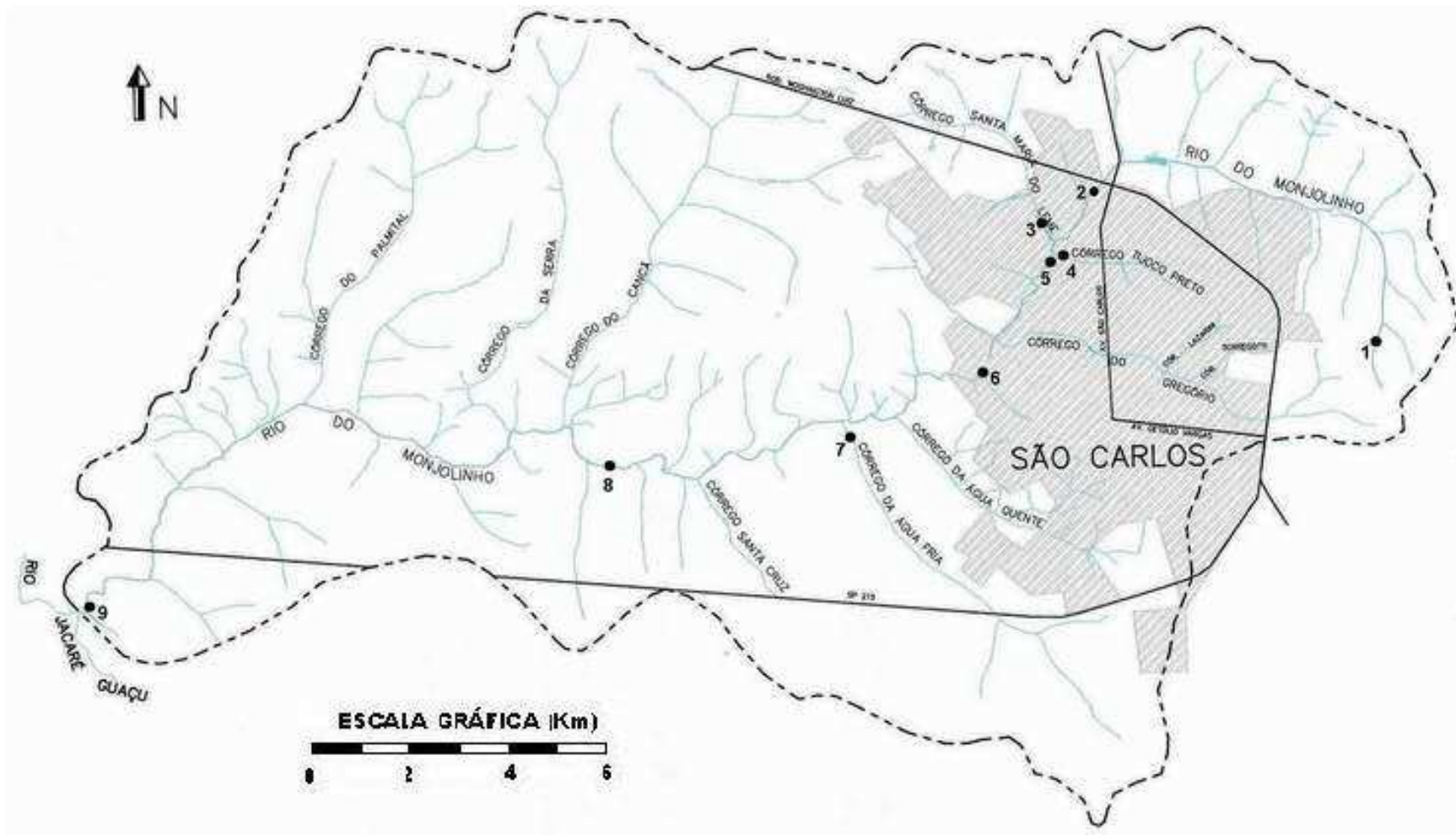


Figura 3 – Pontos de coleta de água e sedimentos para análises físicas e químicas. Adaptado de Almeida, 2001

Tabela 1 - Localização geográfica e descrição dos pontos de amostragem de água e sedimentos

Pontos de coleta	Localização Geográfica	Características do ponto de amostragem
1 - Nascente	S 22° 00'33.0" W 47° 50'07.9" 830m	Aproximadamente 2 km da nascente principal do rio Monjolinho, junto ao fim da mata ciliar.
2 - Federal	S 21° 59'25.2" W 47° 53'29.4" 766m	Aproximadamente 10 km da nascente principal do rio Monjolinho, próximo a um antigo curtume, a jusante da represa Monjolinho, localizada dentro da UFSCar
3 - Madalena	S 21° 59'46,6" W 47° 54'06.9" 827m	Córrego Santa Maria Madalena, a montante da antiga captação de água, no bairro Santa Marta
4 - Tijuco	S 22° 00'14.0" W 47° 53'05.9" 850m	Córrego do Tijuco Preto, área suburbana, já próximo do trecho canalizado.
5 - USP	S 22° 00'10.5" W 47° 54'00.5" 820m	Aproximadamente 14km da nascente do rio Monjolinho, em frente a USP, a poucos metros da foz do córrego do Tijuco Preto.
6 - Usina	S 22° 01'19.5" W 47° 54'50.3" 782m	Distante 17km da nascente, pequeno represamento antes da UHE Alois Partel, após lançamento de grande parte do esgoto, se nenhum tratamento da cidade de São Carlos.
7 - Água Fria	S 22° 02'01.8" W 47° 56'21.4" 690m	Córrego da Água Fria, próximo a foz com rio Monjolinho.
8 - Ponte Caída	S 22° 02'04.3" W 47° 57'25.7" 678m	29,8 km de distância da nascente do rio Monjolinho, ao lado de uma estrada de terra da Usina da Serra, cercado por monocultura de cana, ausência de mata ciliar.
9 - Foz	S 22° 03'31.1" W 48° 05'24.5" 540m	Foz do Rio Monjolinho com rio Jacaré-Guaçú, distando aproximadamente 43km da nascente.

Durante as coletas, foram efetuadas medidas *in situ* de temperatura da água, turbidez, pH, condutividade e oxigênio dissolvido com o auxílio de um multisensor Horiba U-10. Outras análises realizadas com amostras de água coletadas, na superfície da coluna d'água, nos pontos selecionados, assim como suas respectivas metodologias encontram-se na Tabela 2. Com relação aos sedimentos, as amostras analisadas foram

coletadas considerando-se três réplicas por ponto, posteriormente homogeneizadas. Após a secagem das amostras, com auxílio de estufa, foram realizadas as análises citadas na Tabela 3.

Tabela 2 - Variáveis físicas e químicas da água analisadas e respectivas referências metodológicas.

Variável amostrada	Referência
Material em suspensão	Teixeira et al.,1965
Nitrito e nitrato	Mackereth <i>et al.</i> ,1978
Íon amônio	Koroleff ,1976
Nitrogênio orgânico total	APHA, 1995
Fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico e fósforo total	Strickland e Parson, 1960
Cloreto, sulfeto e sulfato	HACH, 1991-1995

Tabela 3 -Análises físicas e químicas realizadas com as amostras de sedimento e respectivas referências metodológicas.

Variável amostrada	Referência
Matéria orgânica	Trindade, 1980
Granulometria	ABNT, 1968
Fósforo total	Andersen, 1976
Nitrogênio orgânico total	APHA, 1995

4.2.2. Medidas de Vazão ou Descarga

A vazão é definida como o volume de água que passa por uma determinada seção do rio por unidade de tempo. Neste estudo, foram feitas secções transversais no rio (Figura 4), onde se mediu, a velocidade da corrente, com o auxílio de um molinete (também denominado correntômetro).

O cálculo da vazão, foi realizado a partir da seguinte equação:

$$q_i = A_i \times V_i$$

$$Q = \sum q_i$$

onde:

A_i - área de cada subseção em m^2 ;

V_i - velocidade de escoamento em cada vertical em $m.s^{-1}$;

Q_i - vazão da área de influência de cada vertical em $m^3.s^{-1}$;

Q - vazão total da seção em $m^3.s^{-1}$.

A velocidade da corrente na maioria dos casos foi medida em 20% e 80% da profundidade local. Este procedimento foi necessário para se obter velocidade mais representativa, já que a velocidade da água não é uniforme em todo o canal, devido ao atrito da água com o leito do rio, tendendo a aumentar das margens para o centro e do fundo para a superfície (Sé, 1992, Martinelli e Krusche, 2004).

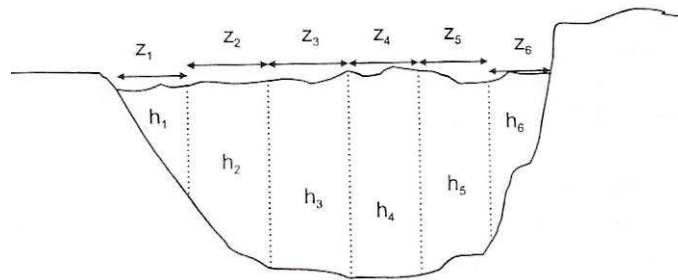


Figura 2 - Esquema da seção transversal do rio em que a soma das vazões de uma das seções resultará na vazão total da seção (Martinelli e Krusche, 2004).

1.2.3. Precipitação pluviométrica e temperatura do ar

A precipitação pluviométrica interfere em vários processos físicos e químicos dos ecossistemas aquáticos, como por exemplo, na vazão, no transporte de sedimentos, na turbidez, na condutividade, no pH, entre outros parâmetros, enquanto a temperatura do ar afeta a temperatura da água, que por sua vez interfere na solubilidade dos gases, como no caso do oxigênio.

As medidas da precipitação pluviométrica e da temperatura média do ar foram obtidas a partir de dados coletados na Estação Climatológica do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada.

4.2.4. Análise Estatística

No presente estudo, foi utilizada a análise de componentes principais (ACP). De acordo com Bini (2004), do ponto de vista limnológico, a ACP procura condensar a informação contida no conjunto de variáveis ambientais físicas e químicas, em uma quantidade menor de variáveis (fatores ou componentes), produzindo menos eixos ortogonais, com uma perda mínima de informação (Hair Jr. *et al.*, 1995).

A análise dos componentes principais procurou indicar as variáveis que melhor explicaram o comportamento do rio Monjolinho ao longo do período estudado, agrupando as variáveis mais representativas dentro do ecossistema na forma de fatores. Quanto mais forte for esta correlação entre os dados maior será o poder de síntese dos componentes principais (ou eixos de ordenação). Estes componentes principais são utilizados para ordenar, por meio de gráfico, as unidades amostrais, proporcionando assim informações acerca das semelhanças ecológicas das unidades amostrais (Valentin, 1995, Bini, 2004).

4.3. Resultados e Discussão

4.3.1. Precipitação pluviométrica e Temperatura do Ar

O clima regional de São Carlos é caracterizado por verões chuvosos e invernos secos, e com temperatura do mês mais quente superior a 22°C (Salami, 1996, Silva *et al.*, 2000). A região apresenta ciclo sazonal bem definido, caracterizado por uma concentração de chuvas entre os meses de dezembro a fevereiro, ou seja, durante o verão, e um inverno com baixos valores de precipitação (Barreto, 1999, Sé, 1992).

No ano de 2004, os maiores valores de pluviosidade ocorreram durante o mês de janeiro, com total de 302,1 mm, o qual esteve acima das médias dos últimos 10 anos citadas por Silva *et al.* (2000), correspondendo a 278,7 mm para este mesmo mês. O mês mais seco foi agosto, em que não houve precipitação. Entretanto, em julho, a precipitação total foi de 56,2mm, valor este também acima da média citada (30,8 mm) por Silva *et al.* (2000).

As médias mensais de temperatura do ar e pluviosidade total para o período de janeiro de 2004 até dezembro de 2004 são mostradas na Figura 5. Pode-se verificar que a temperatura do ar acompanhou as estações chuvosa e de estiagem, com temperaturas mais elevadas durante o período chuvoso (verão) e temperaturas menos elevadas durante o período de estiagem (inverno). Na Figura 6, encontram-se os dados de pluviosidade e temperaturas médias diárias dos meses em que se realizaram as coletas.

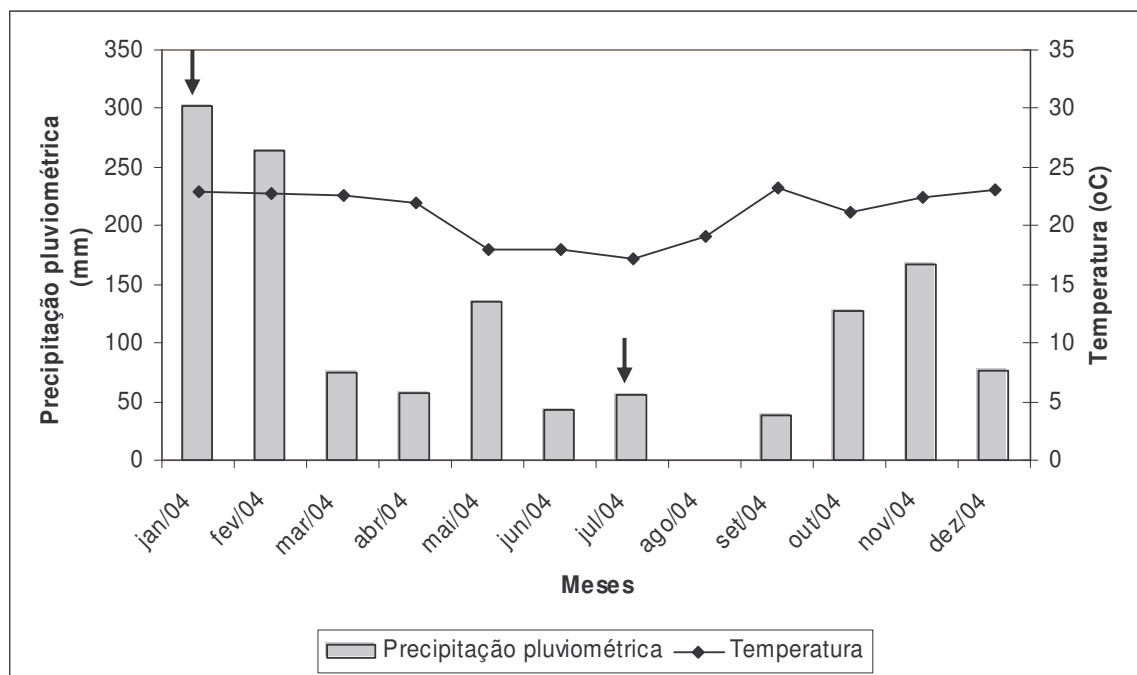


Figura 3 – Precipitação pluviométrica (mm) e temperaturas médias (°C) de 01/01/2004 até 19/12/2004. As setas indicam os meses em que se realizaram coletas.

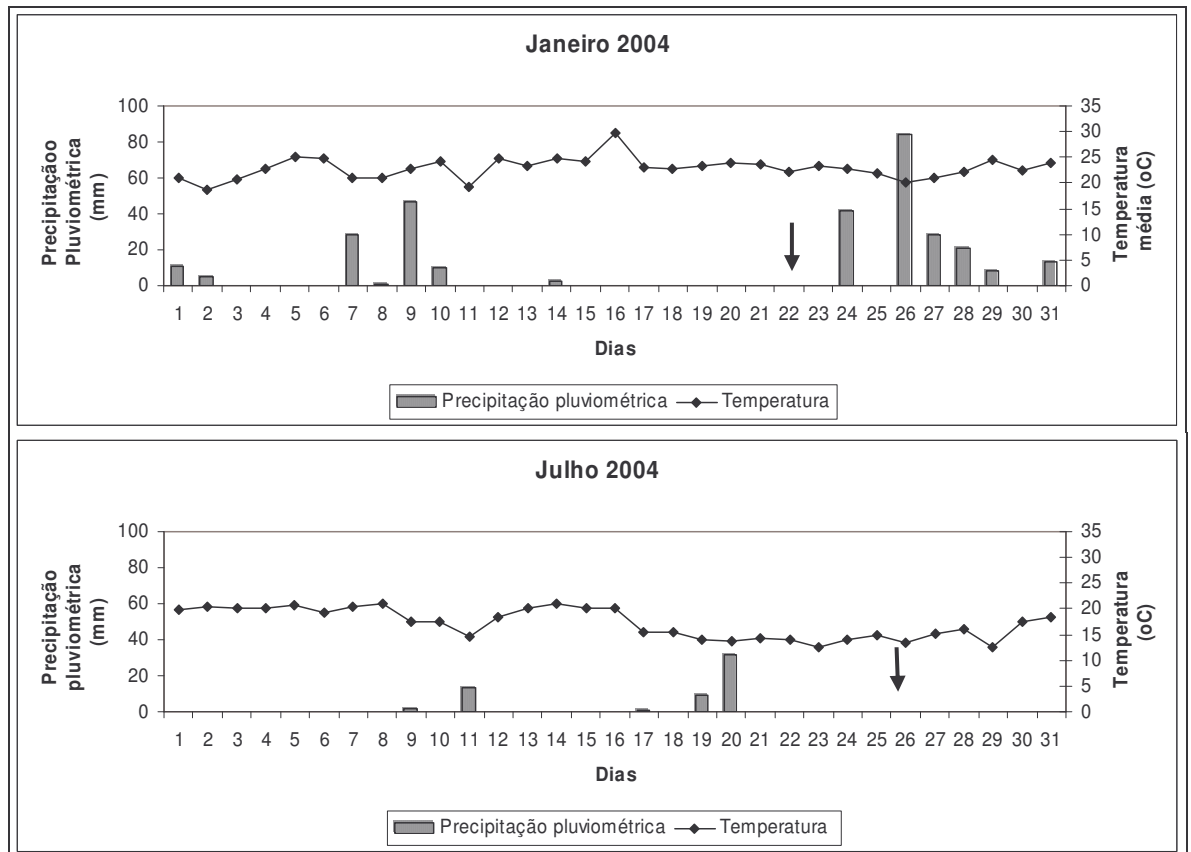


Figura 4 – Precipitação pluviométrica (mm) e temperaturas médias (°C) diárias, dos meses de janeiro de 2004 e julho de 2004. As setas indicam os dias em que se realizaram as coletas.

4.3.2. Vazão

Como esperado, a vazão do rio Monjolinho aumentou de sua nascente em direção a foz (Figura 7). De acordo com Salami (1996), esse aumento é proporcional ao aumento da área de drenagem, a contribuição de seus tributários e também a entrada de efluentes, tanto domésticos como industriais, principalmente após a entrada deste no perímetro urbano, corroborando com a observação feita por autores como Sé (1992) e Barreto (1999).

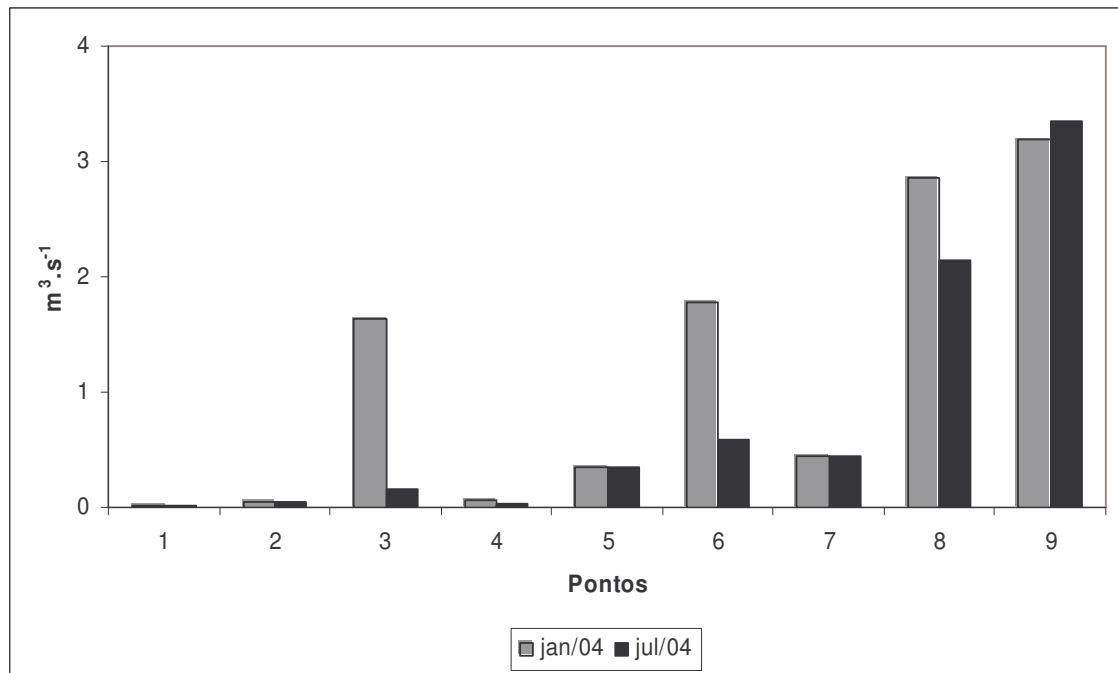


Figura 5 – Vazão ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) em trechos do rio Monjolinho e alguns de seus afluentes nas amostragens de janeiro de 2004 (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem).

Além disso, vazão pode influenciar diversas outras características da água, como a quantidade de materiais em suspensão e dissolvidos, já que a erosão das margens traz mais substâncias naturais com aumento exponencial da concentração em relação à vazão. Substâncias introduzidas artificialmente como materiais orgânicos e elementos-traço tendem a ter suas concentrações diminuídas enquanto a vazão aumenta (Chapman e Kimstach, 1992).

Os maiores valores de vazão tanto para o período de chuvas quanto de estiagem ocorreram no ponto 9 (Foz), correspondendo a $3,19 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $3,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. Dentre os tributários estudados, o córrego Santa Maria Madalena (ponto 3) apresentou o maior valor de vazão durante o período chuvoso ($1,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), enquanto o Córrego da Água Fria (ponto 7) apresentou os mesmos valores de vazão durante os dois períodos de coleta ($0,44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Comparando-se os valores encontrados no presente estudo aos obtidos por Guerreschi (1995), Salami (1996) e Barreto (1999), para ambas as épocas de amostragem, pode-se verificar que todos seguiram o mesmo padrão, com maiores vazões na época chuvosa e menores na estiagem, embora na época de estiagem, o

presente trabalho tenha encontrado valores inferiores de vazão aos citados por Guerreschi (1995) e Barreto (1999).

Cabe ressaltar, que as diferenças encontradas, podem ocorrer já que a vazão é altamente dependente do regime de chuvas (Martinelli e Krusche, 2004) que naturalmente pode variar ao longo dos anos, além das interferências antrópicas que podem acontecer a longo do rio, como represamentos e obras em geral nos trechos que passam dentro da área urbana, causando variações ao longo do rio, como observado nos pontos 5 e 6 (barragem da usina Monjolinho).

4.3.3. Variáveis Físicas e Químicas da água

4.3.3.1. Temperatura

No presente estudo, os valores de temperatura da água variaram de 25,2°C (ponto 4) a 20,4°C (ponto 1) no período chuvoso e de 22,5 °C (ponto 4) a 13,6°C (ponto 9) no período de estiagem (Figura 8).

Nos corpos da água a temperatura normalmente varia conforme a sazonalidade, e em alguns casos mesmo em períodos de 24 horas. A temperatura também é influenciada pela latitude, altitude, hora do dia, circulação do ar, velocidade da corrente da água e profundidade do rio.

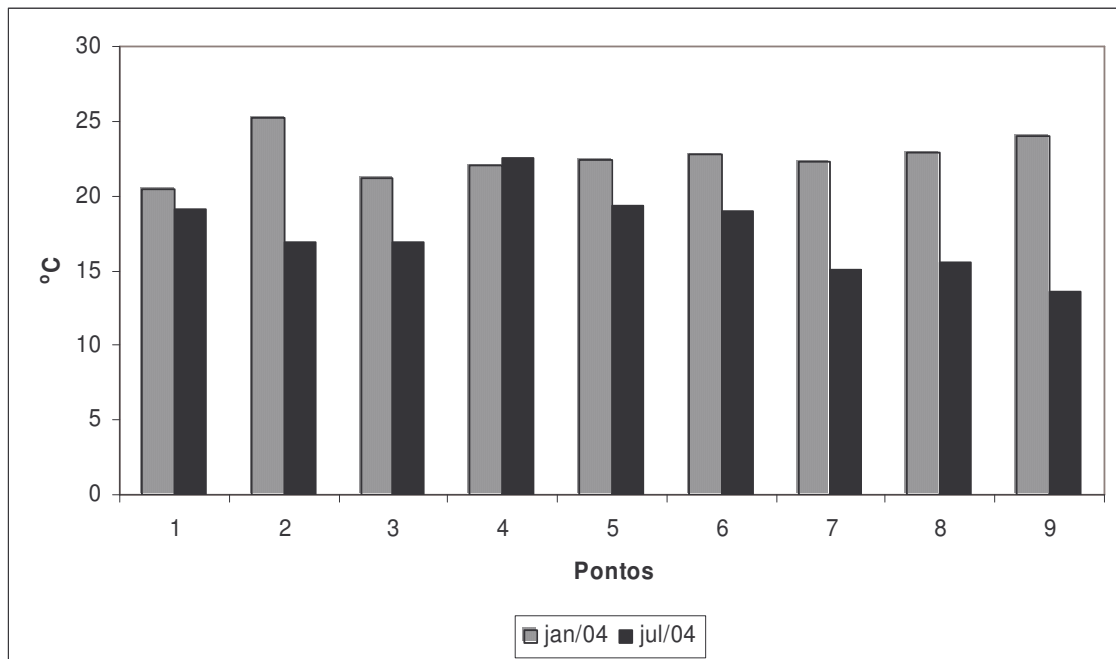


Figura 6 – Valores de temperatura da água (°C) nos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem).

Os valores obtidos neste estudo estiveram relacionados principalmente a sazonalidade, bem como ao horário das coletas, ao grau de sombreamento, proximidade da nascente, vazão e tamanho do leito (profundidade e largura). No mês de janeiro de 2004 a coleta iniciou-se no ponto 1 (nascente) em direção ao ponto 9, enquanto em julho de 2004, o sentido da coleta foi o inverso, do ponto 9 para o ponto 1, devido a questões operacionais da coleta.

Estes mesmos fatores são descritos como determinantes para os resultados obtidos em outros estudos no rio Monjolinho (Sé,1992; Salami,1996; Mendes,1998; Barreto,1999 e Peláez-Rodríguez,2001), e em outros corpos de água da região, como nos córregos e ribeirões da bacia do ribeirão do Feijão (Rios, 1993) e no córrego do Cancã (Oliveira, 2003).

4.3.3.2. Potencial Hidrogeniônico (pH)

A faixa de pH durante o período chuvoso variou de 4,7 (ponto 1) a 7,7 (ponto 4) com valor médio de 6,3, e no período de estiagem variou de 5,8 (ponto 7) a 7,1 (ponto 4), com valor médio de 6,3 (Figura 9). Em geral, o rio Monjolinho apresentou águas que variaram de ligeiramente ácidas a neutras. Essa tendência pode estar relacionada ao fato de que boa parte da bacia do rio Monjolinho drena solos de cerrado, cujo pH é consideravelmente ácido (Fundo Mundial Para Natureza, 1995). Esta mesma observação com relação ao pH da água e o tipo de solos da região foi feito por Sidagis-Galli (1997), para a microbacia do córrego São José e Santos (1993), para os córregos da Água Fria e da Água Quente.

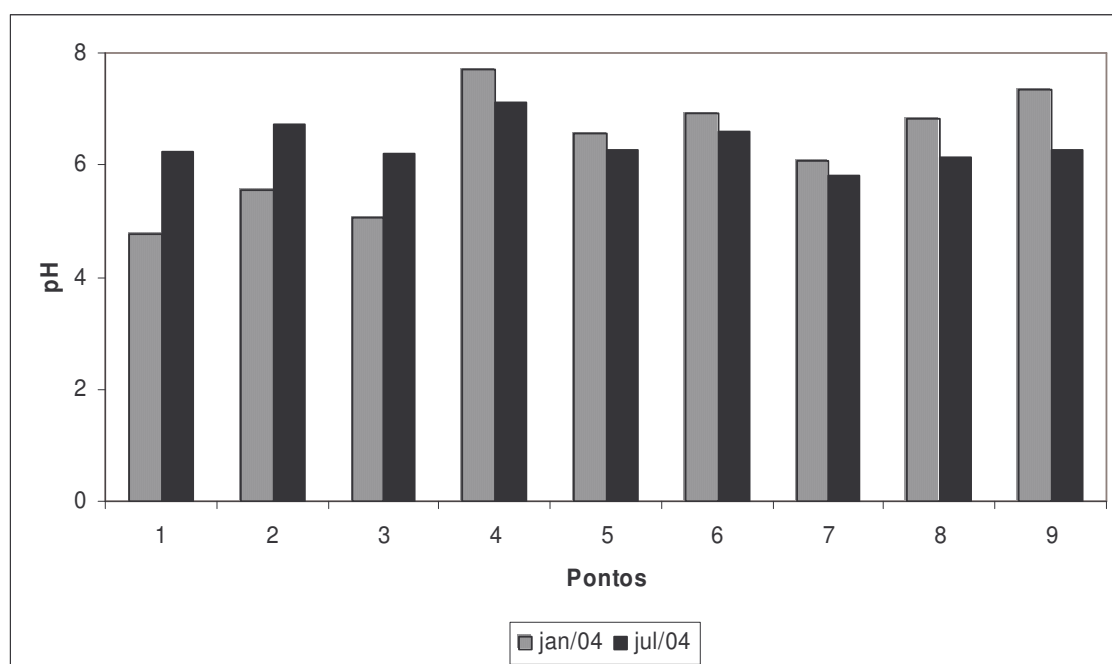


Figura 7 – Valores de pH da água nos pontos amostrados nos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem).

Os valores de pH, em média, foram mais baixos durante a época chuvosa, e a faixa de pH entre os pontos variou mais ($s = 1,02$) do que na estação seca ($s = 0,38$). Entretanto deve-se levar em consideração que a média obtida foi baixa devido aos

pontos 1, 2 e 3, cujas águas estavam com águas mais ácidas, sendo que o ponto 1, fica próximo a uma região de mata ciliar, aumentado assim a quantidade de matéria orgânica em decomposição neste local e neste período. Este resultado corroborou o valor de pH obtido por Peláez-Rodríguez (2001), no mesmo local e na mesma época (chuvosa). (Tabela 21).

A faixa de pH encontrada por outros autores entre os anos de 1989 a 2004 variou de 4,7 a 7,4 no período chuvoso e de 6,0 a 7,6 no período de estiagem. Comparando-se estes valores aos encontrados no presente estudo, pode-se verificar que os valores de pH variaram pouco temporalmente, tanto na estação seca quanto chuvosa.

Na maioria dos dados anteriores, entretanto, os maiores valores de pH ocorreram durante o período chuvoso, no qual o solo que drena a bacia é lavado, carreando para o rio substâncias e íons, refletindo assim a composição do solo adjacente e sua ocupação. (Sé, 1992, Salami, 1996, Mendes, 1998 e Barreto, 1999). Além disso, a concentração de matéria orgânica, que em quantidades mais elevadas poderia abaixar o pH, é menor nesta época devido à diluição provocada pela água das chuvas. Por outro lado, no presente estudo, somente os pontos após 10 km de distância da nascente corroboraram a tendência encontrada por Sé (1992), Salami (1996), Mendes (1998) e Barreto (1999).

4.3.3.3. Condutividade

Os valores de condutividade tanto no período chuvoso, quanto no de estiagem, foram mais elevados a partir do ponto 6 (Figura 10). Estes valores refletiram a entrada, a partir do trecho urbano, de efluentes domésticos e industriais, fato também observado por Sé (1992), Mendes (1996), Guerreschi (1995), Barreto (1999), Peláez-Rodríguez (2001) e Peres (2002). Além disso, após a entrada do Córrego da Água Quente, também há um aumento significativo da condutividade, devido à contribuição deste afluente, que também recebe esgotos da região suburbana de São Carlos (Sé, 1992, Mendes, 1998).

Os menores valores ocorreram nos pontos 1, 7 e 3 ($8\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, $17\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $22\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para o período de chuvas e $11\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, $19\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $24\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período de estiagem, respectivamente). No do ponto 1, na região da nascente, como mencionado por Barreto (1999), os baixos valores de condutividade poderiam ser explicados devido

a influência das águas subterrâneas, com baixas concentrações de eletrólitos, a presença de mata ciliar que auxiliam na preservação das margens, e por fim, o baixo poder erosivo das águas devido a baixa vazão neste ponto.

Com exceção do ponto 4 não se observam grandes diferenças nos valores de condutividade entre os dois períodos, embora como já citado por autores como Peláez-Rodríguez (2001), os valores de condutividade tendem a ser menores durante o período chuvoso devido a diluição pelas águas da chuva. Além disso, verificou-se, que na coleta da época chuvosa a condutividade diminui do ponto 8 para o 9. Isto possivelmente ocorre devido ao efeito diluidor causado pela entrada das águas dos Córregos do Palmital, Serra e Cancan, conforme observado por Sé (1992). De fato, Oliveira (2003) encontrou, no córrego do Cancã, valores de condutividade em média de $48\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ durante o período chuvoso e $51\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período de estiagem, valores muito inferiores aos encontrados nos pontos 8 e 9.

Os resultados de condutividade obtidos por Rios (1993) e Silva Filho (1998) para o ribeirão do Feijão, mostram valores muito inferiores aos do presente trabalho. Para o primeiro autor, os valores mais altos de condutividade foram de $24\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $27,30\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para as estações seca e chuvosa, enquanto para o segundo autor os valores máximos foram de $22,9\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $27,18\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para as estações de estiagem e chuvosa. No córrego São José, Sidagis Galli (1997), considerou que a condutividade da bacia do córrego São José, pode ser classificada de baixa a muito baixa, com exceção apenas de um ponto de coleta no córrego São José, que fica a jusante do córrego que recebe o chorume do aterro sanitário de São Carlos, com média de $79,74\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Em todos estes casos, a baixa condutividade foi explicada pela presença de mata ciliar em boa parte dos cursos destes corpos de água, capaz de absorver boa parte dos íons que poderiam ser carregados para as águas dos rios. Como no rio Monjolinho, há poucos trechos de mata ciliar, e vários trechos onde há entrada de efluentes, a condutividade neste tende a ser mais elevada do que em outros rios da região.

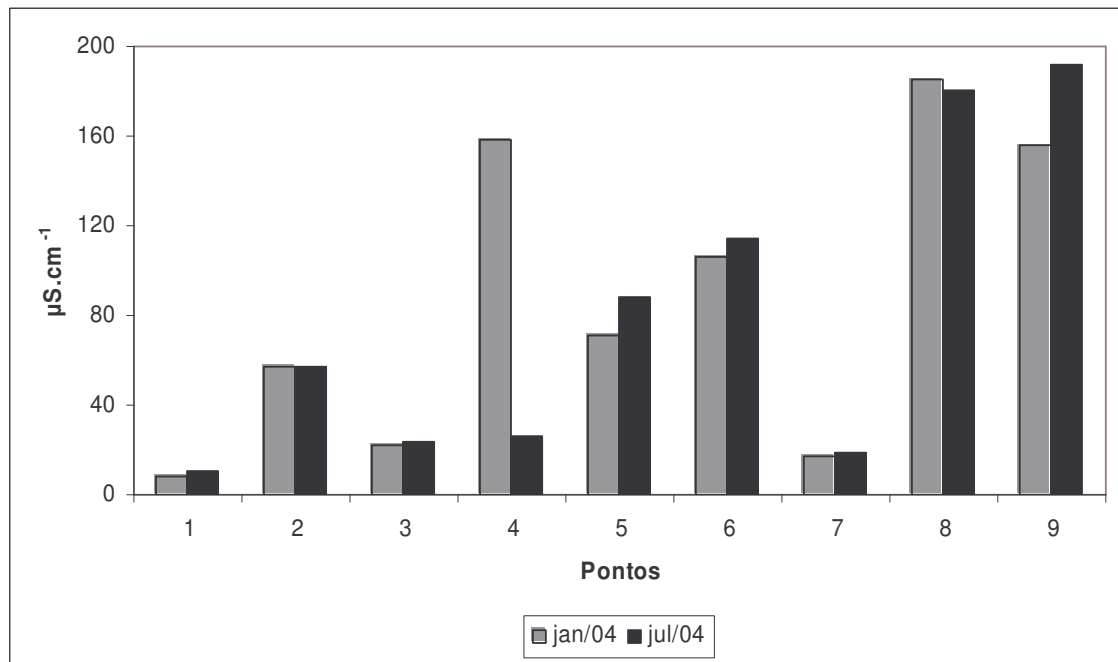


Figura 8 – Valores de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) da água nos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem).

4.3.3.4. Turbidez

Os valores de turbidez da água encontrados são apresentados na Figura 11. Os maiores valores de turbidez foram encontrados no ponto 8 (57,6 UNT e 36 UNT para estação chuvosa e de estiagem, respectivamente).

De acordo com Barreto (1999), os maiores valores de turbidez no rio Monjolinho ocorreram durante o período de chuvas devido à entrada de material alóctone e revolvimento dos sedimentos do fundo pela chuva. No presente trabalho, alguns pontos diferiram desta tendência, principalmente no período de estiagem, devido a intervenções antrópicas nas proximidades, como a construção da nova entrada para a cidade de São Carlos na Rodovia Washington Luís em julho de 2004, que fica a montante do ponto 2. Já no ponto 8, a abertura e fechamento da barragem devido a obras à jusante, pode ter tido alguma influência no aumento da turbidez nesta região. Além disso, o fato de que este ponto está situado logo após o despejo de quase todo o esgoto da área urbana do município, também pode ser levado em consideração para a

explicação desta alta turbidez, uma vez que os níveis de turbidez aumentam em função da poluição de corpos de água com matéria orgânica (Chapman e Kimstach, 1992).

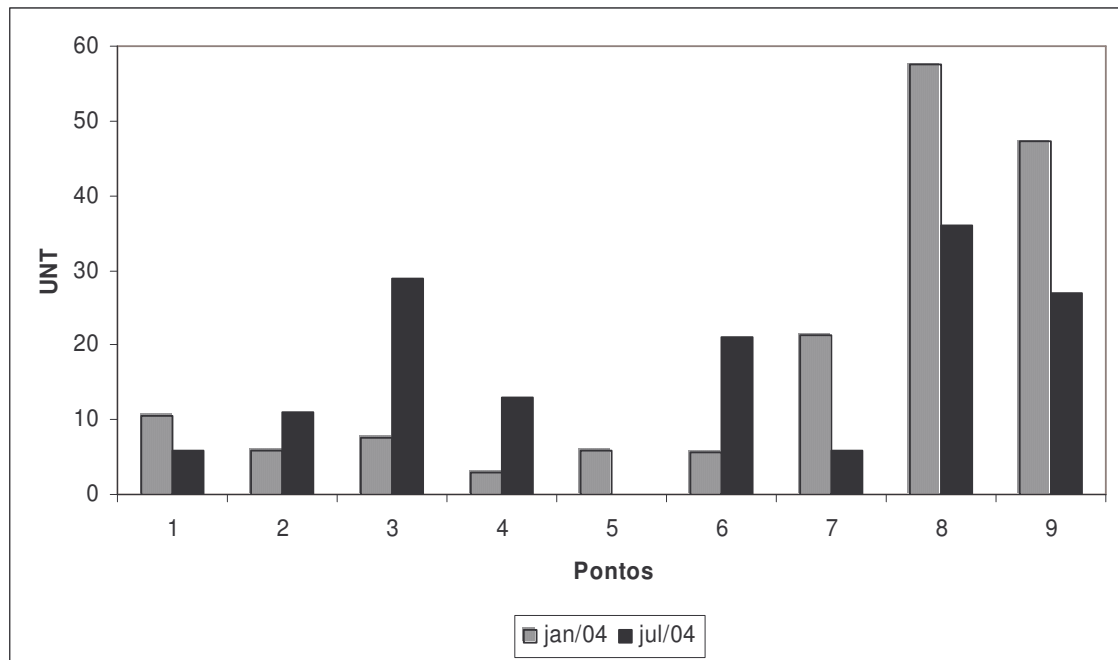


Figura 9 – Turbidez (UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez) da água nos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem)

Corroborando os resultados obtidos por Peláez-Rodríguez (2001), as variações da turbidez também foram menores neste trabalho no período de estiagem (valor máximo encontrado 57,6UNT no ponto 8 e mínimo de 3UNT no ponto 4) do que no chuvoso (valor máximo de 36UNT no ponto 8 e mínimo de 6UNT nos pontos 1 e 7).

4.3.3.5. Oxigênio Dissolvido

Os menores valores de oxigênio dissolvido ocorreram em ambas as estações no ponto 8 ($1,56 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ durante a estação chuvosa e $4,33 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ no período de estiagem), seguido pelos pontos 2 no período chuvoso ($3,29 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$) e 4 ($4,6 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$).

¹⁾ durante a época de estiagem, valor similar ao encontrado por Barreto (1999) em ponto próximo ao deste trabalho no Córrego do Tijuco Preto ($4,3 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$) (Figura 12). Esta queda na concentração de oxigênio deve-se principalmente a entrada de efluentes na área urbana, já que grandes concentrações de matéria orgânica e nutrientes, levam ao aumento da atividade bacteriana e conseqüente consumo de oxigênio disponível (Chapman e Kimstach, 1992, Von Sperling, 1996).

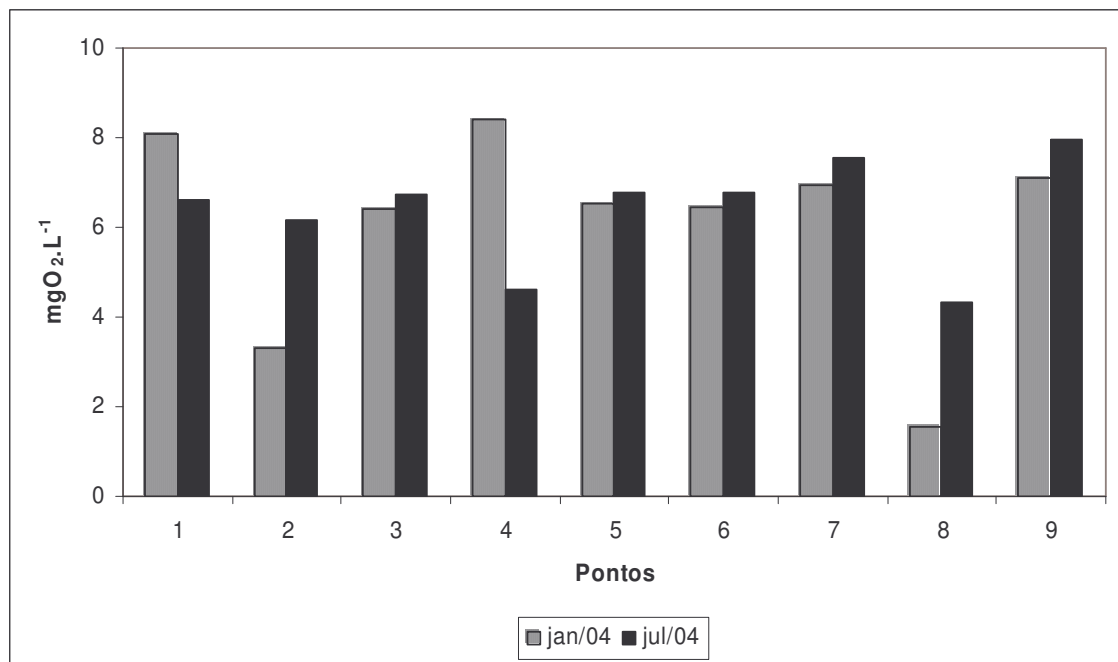


Figura 10 – Valores Oxigênio Dissolvido na água ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$) nos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem)

Observa-se também que após o ponto 8 houve, principalmente na época chuvosa, um aumento considerável, da concentração de oxigênio dissolvido em direção a região da foz do rio Monjolinho, fato também observado por Sé (1992), Mendes (1998) e Barreto (1999), demonstrando que o rio Monjolinho possui alguma capacidade de depuração, que é considerada como baixa por Barreto (1999).

Santos (1993), Rios (1993), Silva Filho (1998) e Oliveira (2003) observaram nas águas dos córregos da Água Fria e da Água Quente, nos córregos da bacia do ribeirão do Feijão e no córrego do Cancã as menores concentrações de oxigênio dissolvido durante o período chuvoso. Estas menores concentrações foram justificadas pelas

maiores temperaturas deste período, uma vez que as quantidades de oxigênio dissolvido na água são dependentes da temperatura e da pressão. Quanto menor a temperatura, maior a solubilidade do oxigênio na água (Chapman e Kimstach, 1992, Von Sperling, 1996). Entretanto, no rio Monjolinho, não se observou este tipo de padrão em todos os pontos amostrados, sendo que em alguns casos, a quantidade de oxigênio dissolvido durante a época chuvosa, onde as temperaturas da água foram mais elevadas, chegaram a ser maiores do que na época de estiagem. Neste caso, a concentração de oxigênio foi mais influenciada pela entrada de matéria orgânica, e provável aumento de sua concentração durante a época de estiagem nos pontos 1 e 4.

4.3.3.6. Material em suspensão

Durante o período chuvoso (Figura 13) os maiores valores de material em suspensão total, foram encontrados nos pontos 8 (60,46 mg.L⁻¹), 7 (33,10 mg.L⁻¹) e 9 (31,91 mg.L⁻¹). Já no período de estiagem (Figura 14), os valores foram em geral menores do que aqueles obtidos durante a época de chuvas, com exceção apenas dos pontos 2, 3 e 4. Os maiores valores foram mensurados nos pontos 3 (17,83 mg.L⁻¹), 8 (20,32 mg.L⁻¹) e 9 (25,12 mg.L⁻¹), enquanto os menores valores, tanto na época chuvosa quanto na estiagem, foram sempre encontrados no ponto 1 (3,57 mg.L⁻¹ e 1,93 mg.L⁻¹, respectivamente).

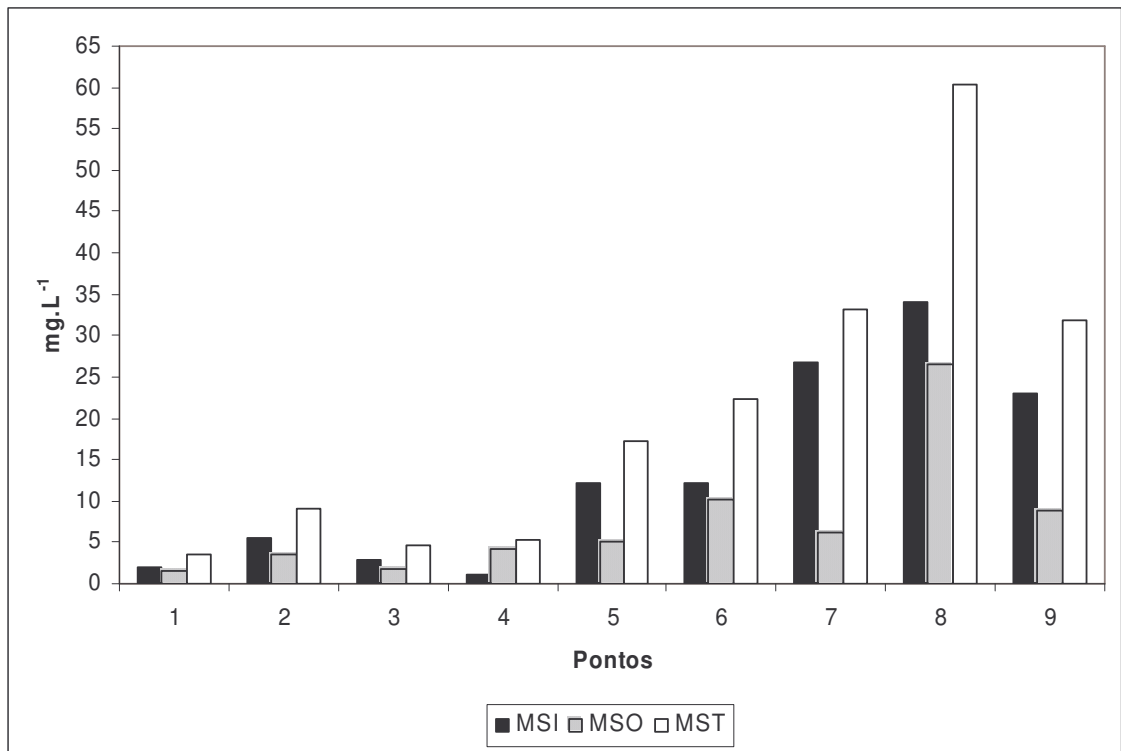


Figura 11 – Valores de material em suspensão inorgânico (MSI), orgânico (MSO) e total (MST), em mg.L⁻¹, nos pontos de amostragem no rio Monjolinho e tributários, em janeiro de 2004.

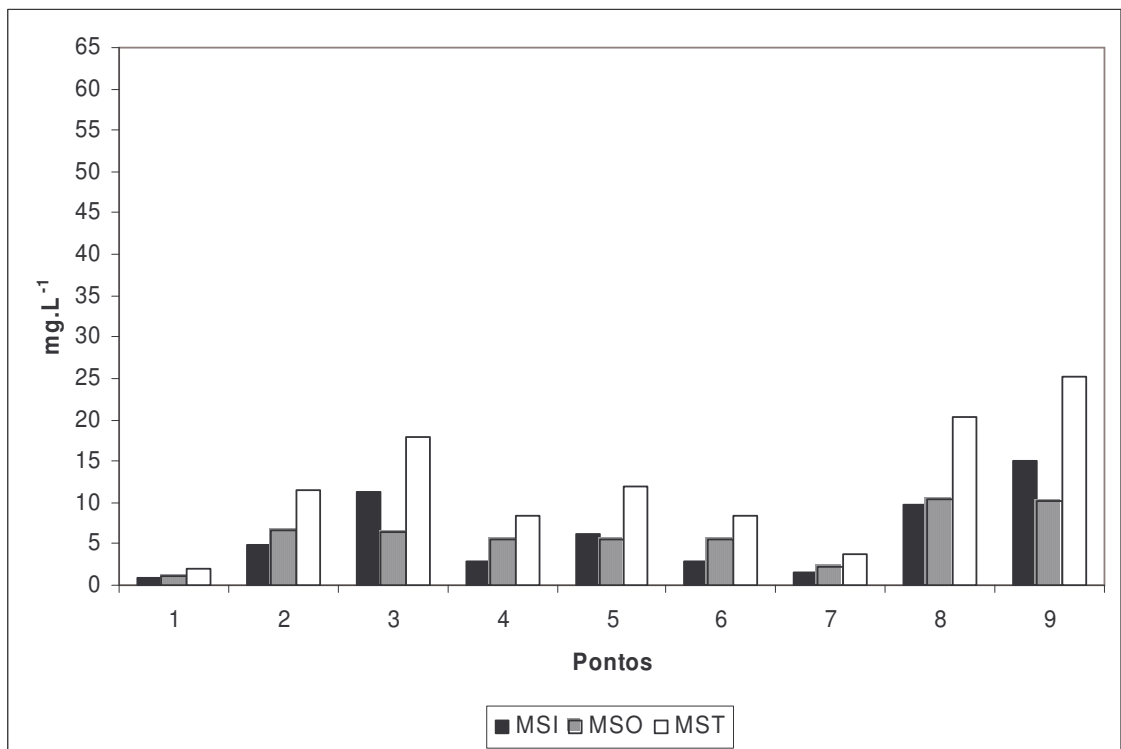


Figura 12 – Valores de material em suspensão inorgânico (MSI), orgânico (MSO) e total (MST), em mg.L⁻¹, nos pontos de amostragem no rio Monjolinho e tributários, em julho de 2004.

Com relação ao material em suspensão inorgânico e orgânico, verificou-se, durante o período chuvoso, predominância do material inorgânico sobre o orgânico, com exceção apenas do ponto 4 (MSI - $1,18 \text{ mg.L}^{-1}$ e MSO - $4,15 \text{ mg.L}^{-1}$). Notadamente, os maiores valores de material inorgânico em suspensão ocorreram nos pontos 8, 7 e 9 ($34,02 \text{ mg.L}^{-1}$, $26,83 \text{ mg.L}^{-1}$ e $23,03 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente), enquanto as maiores concentrações de material em suspensão orgânico foram verificadas nos pontos 8, 6 e 9 ($26,44 \text{ mg.L}^{-1}$, $10,15 \text{ mg.L}^{-1}$ e $8,88 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente).

Os autores Sé (1992), Barreto (1999), Peláez-Rodríguez (2001), Peres (2002) e Souza (2002) encontraram em suas coletas no rio Monjolinho, tanto em períodos chuvosos quanto de seca, os menores valores de material em suspensão total e orgânico na região da nascente, que ocorre provavelmente devido à baixa turbulência e a presença de mata ciliar próxima deste ponto. Os dois primeiros autores enfatizaram também o efeito das chuvas sobre o material em suspensão, havendo maior concentração de material em suspensão inorgânico advindo provavelmente do carreamento e do poder erosivo da vazão no leito do rio, corroborando assim o resultado obtido no presente trabalho.

Silva Filho (1998), também citou um aumento dos sólidos suspensos inorgânicos durante o período de chuvas, e atribuiu as altas concentrações de sólidos em suspensão totais ao uso inadequado dos solos da bacia do Ribeirão do Feijão. Esta mesma situação pode ser observada em alguns trechos do rio Monjolinho, como no caso do ponto 8, onde há ausência de mata ciliar, e toda a área é circundada por plantações de cana-de-açúcar da Usina da Serra.

4.3.3.7. Compostos fosfatados na água

Os resultados das determinações das formas fosfatadas encontram-se nas Figuras 15 e 16, sendo que os resultados de fósforo total, fosfato inorgânico e fosfato total dissolvido do ponto 4, de julho de 2004, foram descartados, devido a erros na leitura.

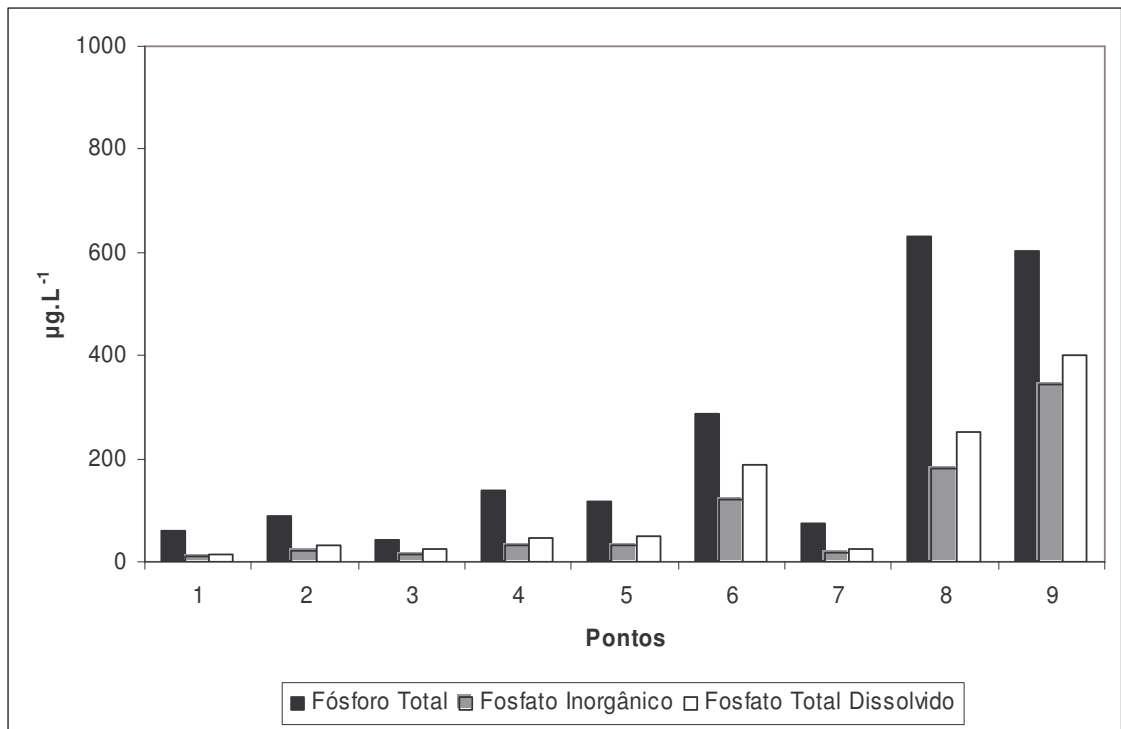


Figura 13 – Concentrações de fósforo total, fosfato inorgânico e fosfato total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água nos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários no mês de janeiro de 2004 (período chuvoso).

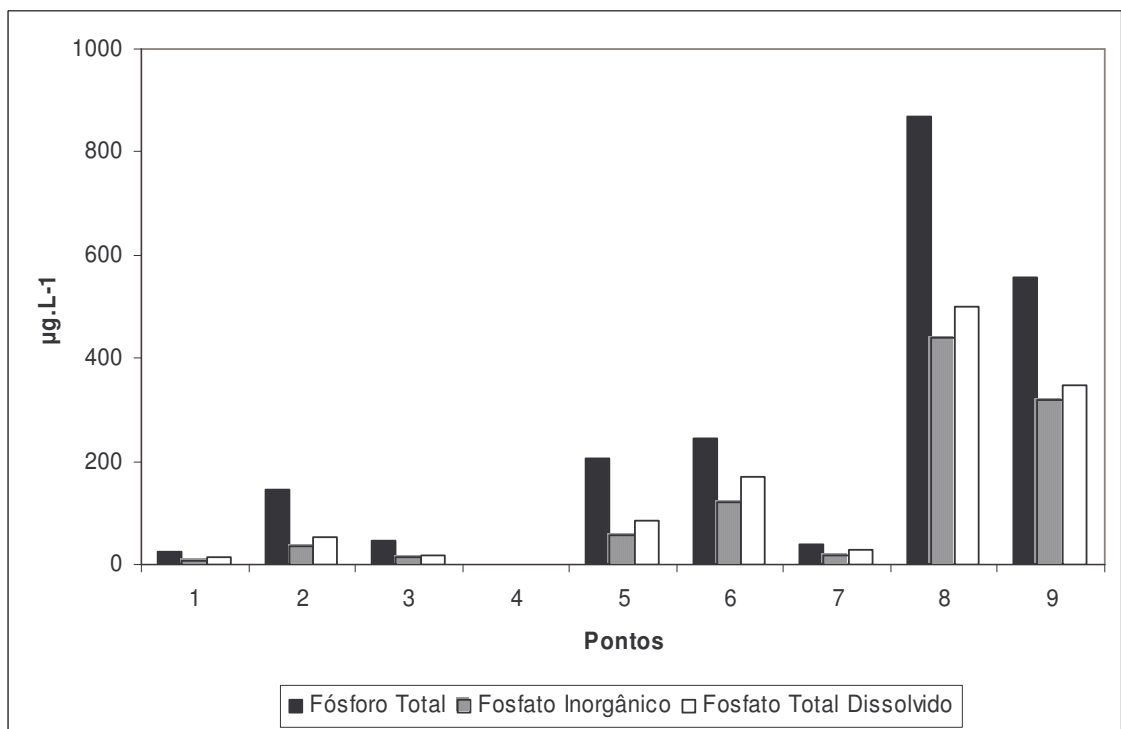


Figura 14 – Concentrações de fósforo total, fosfato inorgânico e fosfato total dissolvido ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água nos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários no mês de julho de 2004 (período de estiagem).

Com relação ao fósforo total, as maiores concentrações de fósforo total foram encontradas no ponto 8 em ambas as estações de amostragem ($632,88 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $868,37\mu\text{g.L}^{-1}$), sendo que os valores variaram de $61,38 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $632,88 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso e de $25,48 \mu\text{g.L}^{-1}$ a $868,37 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período de seca. A média para o período chuvoso foi de $227,08 \mu\text{g.L}^{-1}$ e na estação seca foi de $266,22 \mu\text{g.L}^{-1}$. As menores concentrações ocorreram em ambas as estações no ponto 1 e nos pontos amostrados nos pontos 3 e 7.

Quanto ao fosfato inorgânico dissolvido, as menores concentrações, em ambos os períodos de coleta ocorreram no ponto 1 ($11,99 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $6,63 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente). A maior concentração também foi verificada no ponto 8 durante o período de estiagem ($440,97 \mu\text{g.L}^{-1}$). Em média, as menores concentrações ocorreram no período chuvoso, cuja média foi de $86,07 \mu\text{g.L}^{-1}$. Os pontos 1, 3, 6 e 7, não apresentaram grandes diferenças nas concentrações de fosfato inorgânico entre a estação seca e a chuvosa.

Já os valores de fosfato total dissolvido variaram de $15,80\mu\text{g.L}^{-1}$ (ponto 1) a $399,93\mu\text{g.L}^{-1}$ (ponto 9) no período chuvoso e dos mesmos $15,80\mu\text{g.L}^{-1}$ do ponto 1 a $498,53\mu\text{g.L}^{-1}$ (ponto 8), no período de estiagem. As maiores concentrações de fósforo total dissolvido, tanto no período de chuvas quanto no de estiagem, foram verificadas nos pontos 6 ($187,26\mu\text{g.L}^{-1}$ e $171,72\mu\text{g.L}^{-1}$), 8 ($250,18 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $498,53\mu\text{g.L}^{-1}$) e 9 ($399,90\mu\text{g.L}^{-1}$ e $348,58\mu\text{g.L}^{-1}$). No geral, as concentrações de fosfato total dissolvido no período chuvoso foram menores ou similares às do período de estiagem, exceto no ponto 9, onde ocorreu o inverso.

De acordo com Chapman e Kimstach (1992) e Von Sperling (1996), as principais fontes naturais de fósforo são a decomposição de rochas e a decomposição de materiais orgânicos, enquanto as principais fontes antropogênicas são os despejos domésticos, especialmente aqueles ricos em produtos de limpeza com polifosfatados, como detergentes, despejos de indústrias, particularmente as do setor alimentício, e o carreamento de áreas ricas em fertilizantes.

Deste modo, avaliando-se espacialmente a série fosfatada analisada, verificou-se que as concentrações de fósforo começaram a aumentar significativamente após a entrada na área urbana, em particular no ponto 6, onde quase todo o esgoto da cidade de São Carlos já foi lançado e com os picos de concentração no ponto 8, após o recebimento dos Córregos da Água Quente e Água Fria. Como já observado por outros autores (Sé, 1992, Santos, 1993), o primeiro córrego, em particular, é altamente

impactado por despejos advindos da área suburbana do município de São Carlos, podendo influenciar de forma significativa às concentrações de fósforo no rio Monjolinho (Sé, 1992, Santos, 1993).

Allan (1995), cita que em pequenos rios e córregos as concentrações de nitrato, fosfato, nitrogênio e fósforo total dissolvido tem forte relação com o uso do solo adjacente, e menor influência da geologia local, dependendo do tipo de solo que é drenado. Logo, áreas onde há maior proporção de terras cultivadas, possuem maior concentrações destes nutrientes do que rios circundados por áreas florestadas. Neste sentido, o ponto 1, apesar de ser aquele que apresenta as menores concentrações de formas fosfatadas, está entre os pontos sujeitos a maior carreamento destes nutrientes devido a pequena quantidade de mata ciliar e aos cultivos de cana-de-açúcar, pastagens, hortaliças e milho próximos. Nos pontos 8 e 9 além da influência dos efluentes advindos da área urbana de São Carlos, também há a ausência de áreas florestadas, e o cultivo intenso de cana-de-açúcar no entorno.

Durante o período de chuvas, a maioria dos pontos apresentou teores menores de fósforo comparado ao período de estiagem, com exceção dos pontos 9 e 6 para fosfato total dissolvido e fósforo total e do ponto 1 para fósforo total, onde os menores teores de fósforo ocorreram na época chuvosa. Entretanto, as concentrações de fósforo, em particular durante o período de estiagem, tenderam a aumentar da região da nascente para a foz, com diminuição depois do ponto 8, caracterizando assim uma certa capacidade de recuperação do rio, com relação a este parâmetro, em seu trecho final, fato também observado por Sé (1992), Guerreschi (1995), Barreto (1999), Peres (2002) e Souza (2002). Durante o período chuvoso, verificou-se que as concentrações dos pontos 8 e 9 quase se igualaram, como no caso do fósforo total ou eram maiores neste último ponto, como para os parâmetros fosfato inorgânico e fosfato total dissolvido.

A comparação dos resultados obtidos com os de outros autores, no rio Monjolinho, são apresentados nas Tabelas 18 a 24 do Anexo 1. A maioria dos autores consultados encontrou as maiores concentrações de fósforo a partir de 17km de distância da nascente, correspondendo ao ponto 6 deste trabalho, sendo este aumento justificado pelo lançamento de esgotos do município de São Carlos, como observado por Guerreschi (1995) e Barreto (1999). Também é interessante notar os efeitos nas concentrações de fósforo nos pontos a 22 e 29,8 km de distância da nascente, muito provavelmente como reflexo da entrada do Córrego da Água Quente (Sé, 1992).

Com relação a análise temporal para o fosfato total dissolvido, apenas os pontos localizados após a junção dos Córregos da Água Fria e da Água Quente (22 km de distância da nascente) até a região da foz (\approx 43 km de distância da nascente), apresentaram aumento na concentração ao longo do tempo (entre 1989 e 2004 para o período de estiagem e de 1990 a 2004 para o período de chuvas). Nos demais pontos, a concentração foi variável ao longo dos anos, assim como para as concentrações de fósforo total e fosfato inorgânico.

Estas variações nas concentrações dos nutrientes ao longo dos anos, segundo Goldman e Horne (1983), ocorrem naturalmente em ecossistemas lóticos, principalmente naqueles não perturbados, sendo que estas mudanças não são ainda bem entendidas, por se tratarem de uma combinação de vários fatores que controlam os fluxos de nutrientes no rio.

Comparando-se ainda os resultados do presente estudo com os encontrados em outros rios e córregos da região, a exemplo do córrego da Água Quente (Santos, 1993), verificou-se valores médios de fósforo total similares as concentrações encontradas nos trechos finais do rio Monjolinho (a partir do ponto 8), enquanto no córrego do Cancã (Oliveira, 2003), os valores médios encontrados ($18,68\mu\text{g.L}^{-1}$ e $18,81\mu\text{g.L}^{-1}$, para os períodos de estiagem e seca, respectivamente) foram mais baixos do que os encontrados no presente trabalho.

Neste último trabalho, a autora enfatiza que apesar das atividades agrícolas na bacia hidrográfica e a escassez de matas ciliares, a concentração de nutrientes neste córrego pode ser considerada como baixa. Teixeira (1993) também encontrou valores inferiores ao do presente trabalho nos córregos da bacia do ribeirão do Feijão, enquanto Sidagis Galli (1997), encontrou valores similares para a série fosfatada dos córregos da microbacia do córrego São José. As maiores concentrações das formas fosfatadas analisadas neste trabalho, presentes nos pontos 6, 8 e 9, foram também muito superiores do que os valores máximos encontrados para estas mesmas formas no rio Mogi-Guaçu (Brigante *et al.*, 2003).

4.3.3.8. Compostos nitrogenados na água

Os resultados das concentrações das diferentes formas nitrogenadas analisadas nas amostras de água são apresentadas nas Figuras 17 e 18. Corroborando as observações de Sé (1992), Guerreschi (1995), Mendes (1998), Barreto (1999) e Marinelli (2000), as concentrações das formas nitrogenadas aumentaram, no geral, de forma significativa após a passagem pela área urbana de São Carlos.

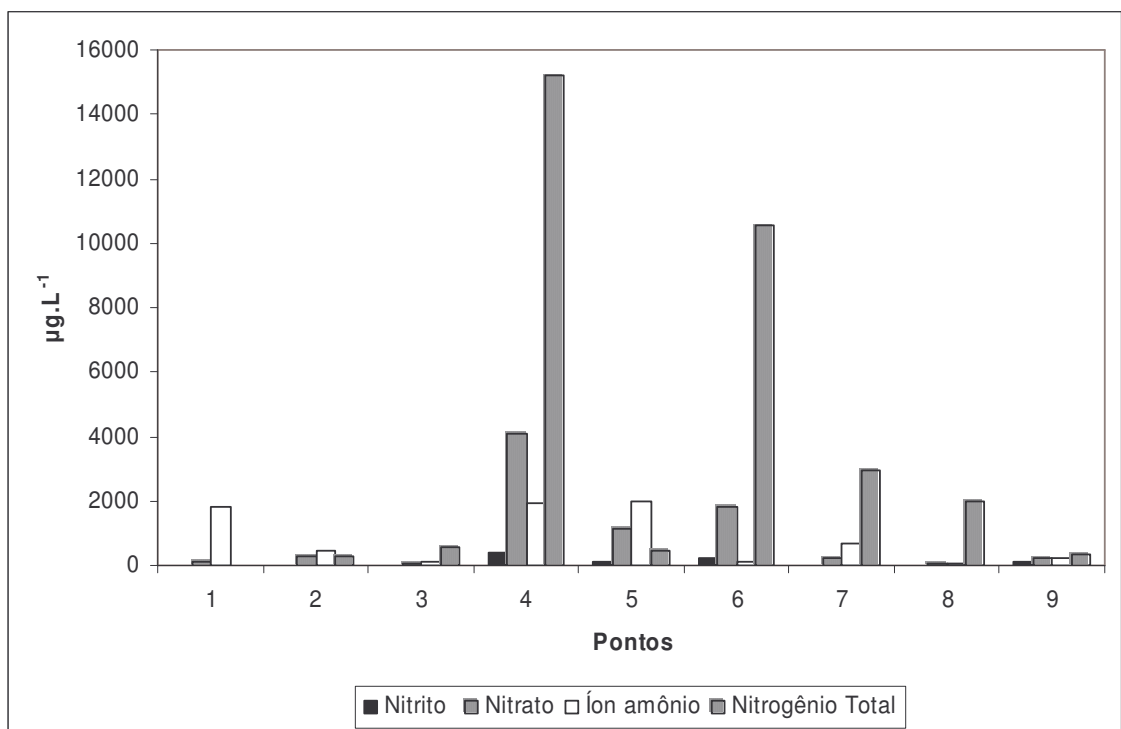


Figura 15 – Concentrações de nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), íon amônio e nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água dos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários no mês de janeiro de 2004 (período chuvoso).

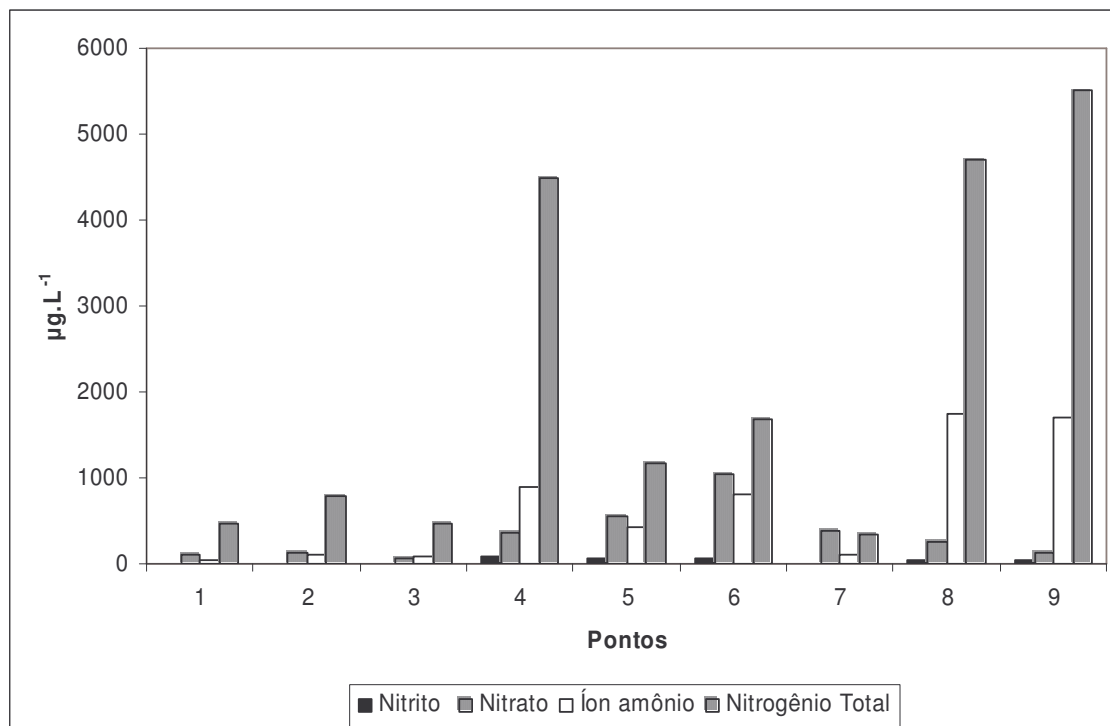


Figura 16 – Concentrações de nitrito (NO_2), nitrato (NO_3), íon amônio e nitrogênio total ($\mu\text{g.L}^{-1}$) na água dos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários no mês de julho de 2004 (período de estiagem).

Os pontos 8 e 9 foram aqueles que apresentaram as maiores concentrações de formas nitrogenadas, em particular de nitrogênio total, embora altas concentrações destas formas também tenham sido encontradas no ponto 4 e 6. As menores concentrações de nitrato, nitrito e nitrogênio total ocorreram nos pontos 1 e 3. Com relação ao íon amônio, as menores concentrações foram encontradas nos pontos 1 ($38,89\mu\text{g.L}^{-1}$) e 3 ($80,60\mu\text{g.L}^{-1}$) no período de estiagem e no ponto 8 ($29,80\mu\text{g.L}^{-1}$) no período chuvoso, sendo que nesta mesma época, verificou-se a elevada concentração de amônio no ponto 1 correspondente a região da nascente ($1815,40\mu\text{g.L}^{-1}$).

Para o nitrato (NO_3), que é a forma combinada mais comum do nitrogênio presente em águas superficiais, verificou-se, em ambos os períodos de coleta, uma tendência de aumento de suas concentrações até o ponto 6 e de diminuição em direção ao ponto 9, sendo que esta queda foi mais acentuada durante o período chuvoso. Fato semelhante foi observado por Oliveira (2003), que encontrou concentrações de nitrato menores que $30\mu\text{g.L}^{-1}$ nas águas do córrego do Cancã, durante a época chuvosa.

De acordo com Sé (1992), esta queda da concentração de nitrato pode ocorrer devido à mistura com as águas do Córrego do Cancã, à sedimentação do nitrogênio orgânico em forma de material particulado e à adsorção das partículas ou absorção biológica. Para o nitrogênio total, essa tendência só foi observada durante o período chuvoso, já que no período de estiagem, as concentrações aumentaram gradualmente, até atingir os valores mais altos na região da foz. Por outro lado, Barreto (1999), cita que mesmo durante o período chuvoso, o aumento da vazão não é suficiente para abaixar as concentrações de nitrogênio total e amônio, e torná-las mais próximas às encontradas na região da nascente.

Em geral dentro dos ambientes aquáticos, a amônia é convertida a nitrito e este por sua vez a nitrato. Entretanto, estas reações consomem uma grande quantidade de oxigênio dissolvido do meio, e o excesso de nitrito e amônio podem ser altamente tóxicos aos organismos aquáticos. Convém ressaltar que no período chuvoso foram encontrados picos de concentração de íon amônio no ponto 1, possivelmente devido à entrada de dejetos de animais próximo ao local de coleta. O ponto 4, no córrego do Tijuco Preto, também apresentou altas concentrações de amônio, as quais puderam explicar os altos valores encontrados no ponto 5, que se localiza a jusante da foz do Córrego do Tijuco Preto. No período de estiagem, as concentrações de amônio tenderam a aumentar em direção a foz, enquanto as de nitrito, aumentaram em direção ao ponto 6 e a partir daí decaíram até a região da foz.

De acordo com Chapman e Kimstach (1992), em áreas não impactadas por atividades antropogênicas, as concentrações de nitrato raramente apresentam valores acima de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ($100 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$), enquanto em áreas influenciadas por estas atividades, normalmente as concentrações podem alcançar valores acima de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$, e raramente abaixo de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Após o recebimento da maior parte dos esgotos do município de São Carlos, no ponto 6, valores acima de $1,00 \text{ mg.L}^{-1}$ foram mensurados ($1823,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $1040,30 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o período chuvoso e de estiagem, respectivamente).

Segundo estes mesmos autores, as concentrações de nitrito também costumam ser muito baixas nas águas superficiais, por volta de $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$, raramente excedendo a concentração de $1,00 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo que altas concentrações de nitrito podem ser indicadoras de lançamento de efluentes industriais. No presente estudo, novamente o ponto 6 apresentou os valores mais elevados deste nutriente ($246,94 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso e $66,49 \text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$ no período de estiagem), e dentre os afluentes estudados, o

ponto 4 apresentou os valores mais altos de nitrito ($386,49 \mu\text{g.L}^{-1}$ no período chuvoso e $92,88$ no período de estiagem). Já Sé (1992) e Mendes (1998) encontraram maiores concentrações de nitrogênio total no período de estiagem, enquanto Barreto (1999) verificou uma sazonalidade nos resultados de nitrogênio total, amônio e nitrito, com um aumento das concentrações durante o período chuvoso. No presente trabalho, as concentrações de todas as formas nitrogenadas analisadas apresentaram em média maiores valores durante a época chuvosa.

As concentrações de nitrito e íon amônio encontrados neste estudo, principalmente nos pontos 4 no período de estiagem, são comparáveis com alguns dos valores encontrados no trecho paulista do rio Mogi-Guaçu. Entretanto, em média, os valores de nitrito e nitrato, encontrados neste mesmo trecho foram superiores as médias do presente trabalho, enquanto no caso da amônia a média foi superior ao encontrado no rio Mogi-Guaçu (Brigante *et al.*, 2003).

No trabalho de Oliveira (2003), realizado no córrego do Cancã, que é um dos afluentes do rio Monjolinho, as concentrações médias das formas nitrogenadas foram muito inferiores às encontradas no presente trabalho, assim como no estudo realizado por Silva Filho (1998) no ribeirão do Feijão, em que as médias encontradas para nitrogênio total, nitrito, íon amônio, em ambos os períodos de coleta, e nitrato no período chuvoso, foram bem inferiores à maioria dos valores encontrados neste trabalho, principalmente aqueles encontrados nos pontos 4 e a partir do ponto 6 até o 9.

4.3.3.9. Íons: Cloreto, Sulfeto e Sulfato

Em média, as maiores concentrações de cloreto foram encontradas durante o período de estiagem ($6,58\text{mg.L}^{-1}$), com as maiores concentrações nos pontos 8 e 9, ou seja, logo após a passagem pela área urbana do município de São Carlos, tanto no período chuvoso quanto no de estiagem, enquanto as menores concentrações tanto na estiagem quanto no período chuvoso ocorreram no ponto 1 ($0,3 \text{mg.L}^{-1}$ no período de estiagem e $0,1 \text{mg.L}^{-1}$, no período chuvoso) (Figura 19). Estes resultados corroboraram os dados obtidos por Peláez-Rodríguez (2001).

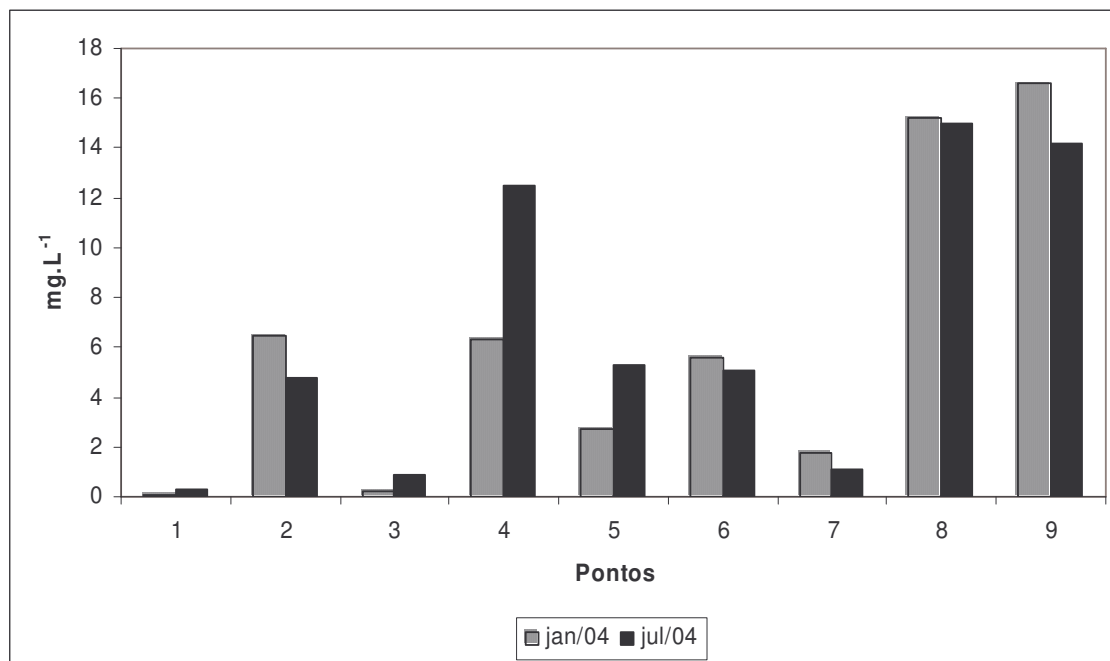


Figura 17 – Concentrações de cloreto (mg.L^{-1}) na água dos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem)

De acordo com Chapman e Kimstach (1992), concentrações de sulfatos entre 2 mg.L^{-1} e 80 mg.L^{-1} podem ocorrer normalmente, porém em regiões áridas com grande quantidade de minerais sulfatados e em locais próximos a descargas de efluentes industriais, níveis acima de 1000 mg.L^{-1} podem ser encontrados. Além disso, concentrações maiores que 400 mg.L^{-1} podem conferir sabor desagradável à água.

No presente estudo, em média, o sulfato apresentou maiores concentrações durante o período o chuvoso ($10,56 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 20). Assim como o cloreto, as maiores concentrações de sulfato ocorreram após a passagem pela área urbana, em ambos os períodos de coleta, fato este também observado por Peláez-Rodríguez (2001). Durante o período chuvoso, a maior concentração de sulfato ocorreu no ponto 8 ($32,0 \text{ mg.L}^{-1}$), enquanto a menor concentração ocorreu nos pontos 4 no período chuvoso e 7 no período de estiagem ($2,0 \text{ mg.L}^{-1}$).

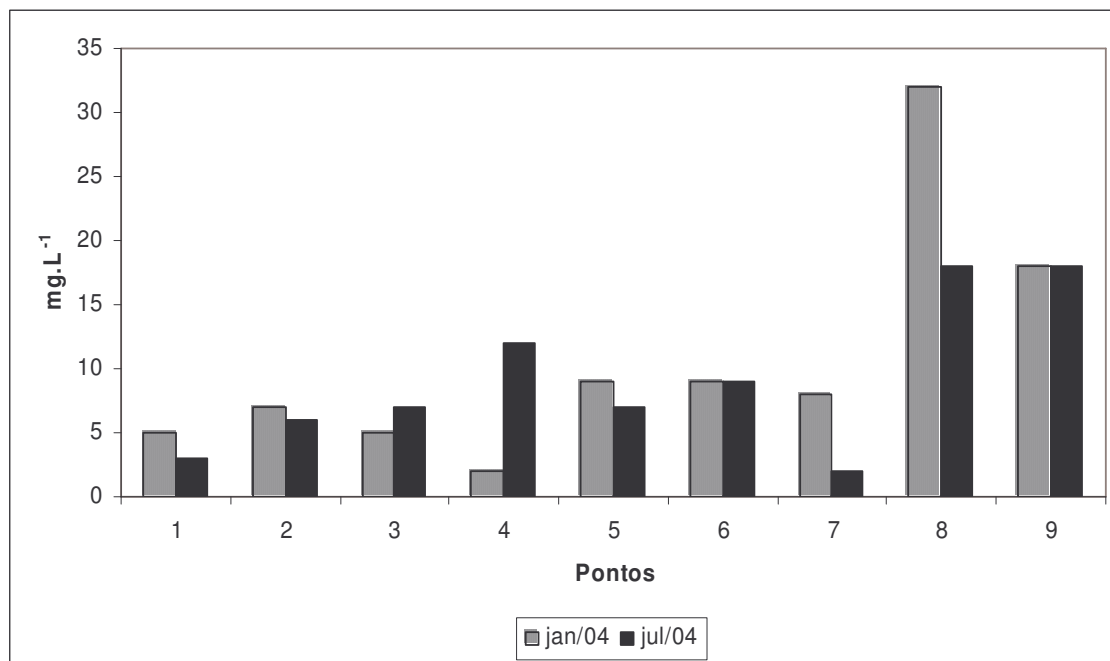


Figura 18 – Concentrações de sulfato (mg.L^{-1}) na água dos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem)

Com relação ao íon sulfeto, a maior concentração foi verificada no ponto 8 ($0,027 \text{ mg.L}^{-1}$) durante o período chuvoso (Figura 21). Entretanto, o mesmo não foi detectado no ponto 7, no período de estiagem. De acordo com o CONAMA 357/05, para as águas de classe 2 o valor máximo de sulfetos permitido é de $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto para as água de classe 3, é de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Neste contexto, portanto, apenas o ponto 7 durante a estiagem se enquadraria na classe 2, já que nos demais pontos as concentrações variaram de $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,027 \text{ mg.L}^{-1}$ durante o período chuvoso e de $0,004 \text{ mg.L}^{-1}$ a $0,015 \text{ mg.L}^{-1}$ durante o período de estiagem. Seguindo o mesmo padrão do cloreto e do sulfato, as concentrações de sulfeto aumentaram significativamente após a passagem pela área urbana.

Barreto (1999), detectou a presença de sulfetos em suas coletas somente uma vez durante uma de suas coletas no período chuvoso, e em todas as coletas no período de estiagem. Entretanto, convém ressaltar que as concentrações encontradas por esta autora foram bem maiores do que os valores encontrados no presente estudo no período de estiagem, tendo havido também aumento significativo dos valores após a passagem pela área urbana.

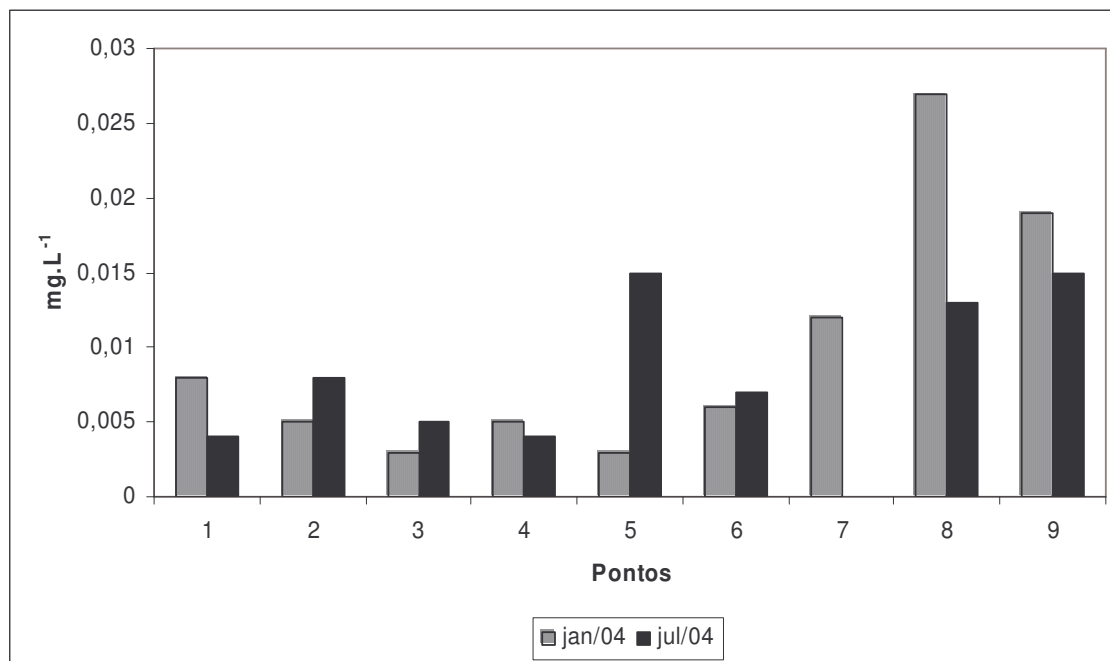


Figura 19 – Concentrações de sulfeto (mg.L^{-1}) na água dos pontos amostrados no rio Monjolinho e seus tributários nos meses de janeiro (período chuvoso) e julho de 2004 (período de estiagem)

4.3.3.10. Enquadramento dos dados limnológicos na Legislação

Analisando-se o enquadramento dos dados limnológicos obtidos na resolução CONAMA número 357 de 17 de março de 2005, verificou-se que apenas os parâmetros pH, oxigênio dissolvido e fósforo total apresentaram valores acima daqueles recomendados para corpos de água de classe 2.

No caso do pH, cujos limites estão estabelecidos entre 6,0 e 9,0, os pontos 1, 2 e 3 (com valores de pH de 4,7, 5,5 e 5,0, respectivamente) no período chuvoso e ponto 7 (5,8) no período de estiagem não se enquadraram nos valores estipulados pela resolução. Entretanto, cabe ressaltar que vários autores encontraram baixos valores de pH em rios e córregos da região de São Carlos (Sidagis Galli, 1997, Silva Filho, 1998), sem que isto tenha sido sinal de interferência antrópica, mas sim de influências do solo da região. O único ponto que apresentou pH acima da média dos demais foi o 4 (sem entretanto ultrapassar o valor máximo estipulado pela resolução), devido muito provavelmente, aos lançamentos de despejos tanto de origem doméstica como industrial.

Quanto aos valores de oxigênio dissolvido, os pontos 8, em ambos os períodos de coleta, 2, durante o período chuvoso e 4, durante o período de estiagem, apresentaram valores de oxigênio dissolvido muito abaixo do mínimo estabelecido pela resolução, correspondente a $5,00 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$.

Para o fósforo total, a concentração máxima permitida para águas de classe 2 em ambientes intermediários, com tempo de residência de 2 a 40 dias (intermediários), e tributários diretos de ambiente lânticos, é de $0,050 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, enquanto para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários, o valor máximo é de $0,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Deste modo, o ponto 6, que pode ser considerado como ambiente intermediário, apresentou valores de fósforo total muito superiores aos estabelecidos por esta resolução, em ambos os períodos de coleta. Da mesma forma, os pontos 5, 8 e 9, em ambas as épocas de amostragem, o ponto 2 na época de estiagem, e o ponto 4 no período chuvoso, também apresentaram valores muito superiores aqueles estipulados para ambientes lóticos.

Os demais parâmetros analisados estiveram abaixo dos limites estabelecidos pela resolução, incluindo-se neste caso, a turbidez; formas nitrogenadas; e íons sulfeto, sulfato e cloreto.

Segundo a legislação, o limite para turbidez corresponde a 100 UNT para águas de classe 2. Quanto às formas nitrogenadas, os limites são de $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para nitrito; para o nitrato é de $10,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para nitrato; e no caso do íon amônio de $3,7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para $\text{pH} \leq 7,5$; $2,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para $\text{pH} > 7,5$ e $\leq 8,0$; $1,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para $\text{pH} > 8,0$ e $\leq 8,5$ e $0,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para $\text{pH} > 8,5$. Apesar dos aumentos dos íons sulfeto, sulfato e cloreto após a passagem pela área urbana, todas as concentrações mensuradas neste estudo, ficaram bem abaixo dos valores máximos estabelecidos pelo CONAMA 357/05, que é de $250,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para sulfato, $0,002 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para sulfeto e $250,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ para cloreto.

No Estado de São Paulo, de acordo com o decreto nº 10.755 de 22 de novembro de 1977, o rio Monjolinho, até sua confluência com o córrego do Gregório é considerado como rio de classe 2, com águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, irrigação e recreação de contato primário. Após a junção do rio Monjolinho com o córrego do Gregório até sua junção com o rio Jacaré-Guaçu, este passa a ser classificado como rio de classe 4, cuja destinação é menos nobre, e só podem ser utilizadas em abastecimento doméstico, após tratamento avançado. Entretanto, esta classificação é prevista, baseada nos critérios determinados pelo decreto

nº 8.468 de 8 de setembro de 1976, que é anterior ainda a resolução CONAMA no. 20/86, necessitando assim de atualização (ANA, 2005).

4.3.3.11. Análise estatística das variáveis físicas e químicas

Os resultados da análise dos componentes principais, realizada com as variáveis físicas e químicas da água, são apresentados na Tabela 4 e Figura 22 para o período chuvoso e na Tabela 5 e na Figura 23 para o período de estiagem.

Para a análise realizada com os dados do período chuvoso os dois eixos explicaram 83,27% da variabilidade dos dados. O primeiro eixo explicou 58,20% da variação e os componentes que mais influenciaram neste eixo em ordem de importância foram o fósforo total, fosfato total dissolvido, fosfato inorgânico, material em suspensão orgânico, material em suspensão total, cloreto, sulfato, sulfeto, vazão, material em suspensão inorgânico, condutividade, pH e turbidez. No segundo eixo, que explicou 25,07 % da variabilidade dos dados, os componentes que mais influenciaram foram o nitrato, nitrito e nitrogênio total.

A Figura 22 mostra claramente as diferenças entre os pontos amostrais. Em um grupo, foram reunidos os pontos 7, 3 e 1; em um segundo grupo foram agrupados os pontos 5 e 2 e por fim outro grupo com os pontos 6, 8 e 9. O primeiro grupo inclui locais com uma melhor qualidade de água, localizados em sua maior parte em área rural. O segundo grupo contém os pontos de amostragem localizados na transição da área rural/suburbana para a área urbana do município de São Carlos, refletindo-se na qualidade da água. No último grupo, os pontos se localizam após a passagem da área urbana, já impactados pela entrada de esgotos industriais e domésticos. O ponto 4, que se encontra isolado, teve seu deslocamento influenciado, no eixo 2, pelos compostos nitrogenados (exceto o íon amônio), uma vez que as concentrações encontradas durante o período chuvoso foram mais elevadas do que as encontradas nos demais pontos.

Tabela 4 – Valores das variáveis analisadas no período chuvoso (janeiro 2004) para os pontos amostrados na bacia do rio Monjolinho

	Componente 1	Componente 2
Fósforo Total	-0,958717	0,149384
Fosfato Total Dissolvido	-0,952363	0,146380
Fosfato Inorgânico	-0,946352	0,129133
Material em Suspensão Orgânico	-0,941794	0,034847
Material em Suspensão Total	-0,876283	-0,171402
Cloreto	-0,861746	0,317239
Sulfato	-0,838142	-0,473939
Sulfeto	-0,801993	-0,416238
Vazão	-0,792089	-0,284641
Material em Suspensão Inorgânico	-0,785297	-0,341416
Condutividade	-0,768623	0,540344
pH	-0,700246	0,655609
Turbidez	-0,694846	-0,634797
Íon Amônio	0,662934	0,356744
Nitrato	0,007315	0,963763
Nitrito	-0,380667	0,885275
Nitrogênio Total Kjeldhal	-0,191898	0,714030

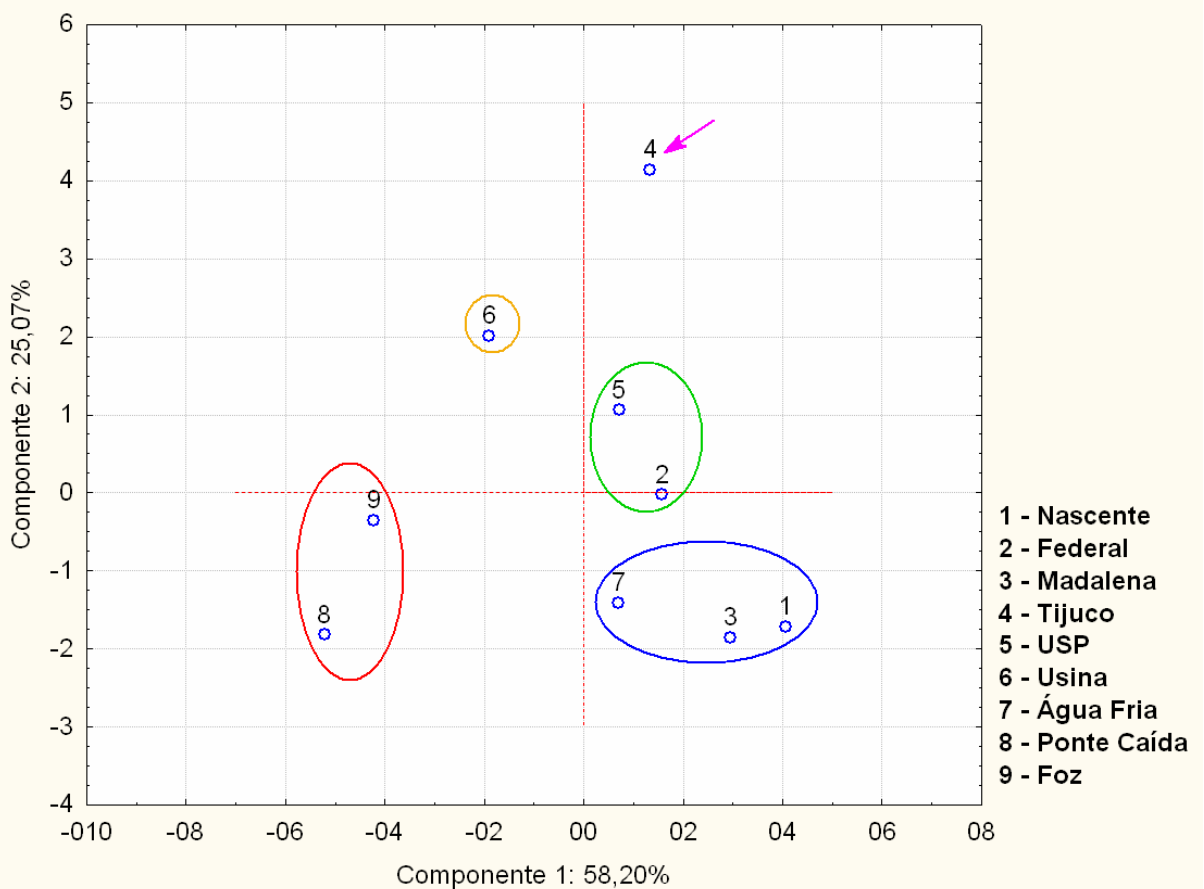


Figura 20 – Representação gráfica da Análise Componentes Principais (PCA) , para o período chuvoso (janeiro de 2004)

Na análise realizada com os dados obtidos durante o período de estiagem, os dois eixos explicaram 85,15% da variabilidade. No primeiro eixo, que explicou 67,58% da variabilidade dos dados, as variáveis que mais influenciaram, em ordem de importância, foram o cloreto, íon amônio, sulfato, fosfato inorgânico, material em suspensão orgânico, material em suspensão inorgânico, nitrito, condutividade, fósforo total, sulfeto e vazão. No segundo eixo, em que 17,57% da variabilidade dos dados foi explicada, os componentes mais importantes foram a temperatura, pH e o oxigênio dissolvido. Nota-se pela Figura 23, que durante o período de estiagem, o ponto 4 continuou isolado dos demais, devido ao deslocamento no eixo 2, influenciado pelo oxigênio dissolvido, temperatura e pH.

Tabela 5 – Valores das variáveis analisadas no período de estiagem (julho 2004) para os pontos amostrados na bacia do rio Monjolinho

	Componente 1	Componente 2
Cloreto	-0,975498	0,117062
Íon Amônio	-0,955355	0,005995
Sulfato	-0,948092	0,039810
Fosfato Inorgânico	-0,944861	0,222552
Material em Suspensão Total	-0,942774	0,023147
Fosfato Total Dissolvido	-0,934020	0,236863
Nitrogênio Total	-0,929269	0,110874
Material em Suspensão Orgânico	-0,928316	0,073209
Material em Suspensão Inorgânico	-0,909440	-0,071674
Nitrito	-0,865754	0,329224
Condutividade	-0,861903	-0,371868
Fósforo Total	-0,824120	-0,443250
Sulfeto	-0,740885	-0,355864
Vazão	-0,701061	-0,640626
Temperatura	0,144314	0,911093
pH	-0,341536	0,811283
Oxigênio Dissolvido	0,410916	-0,611167

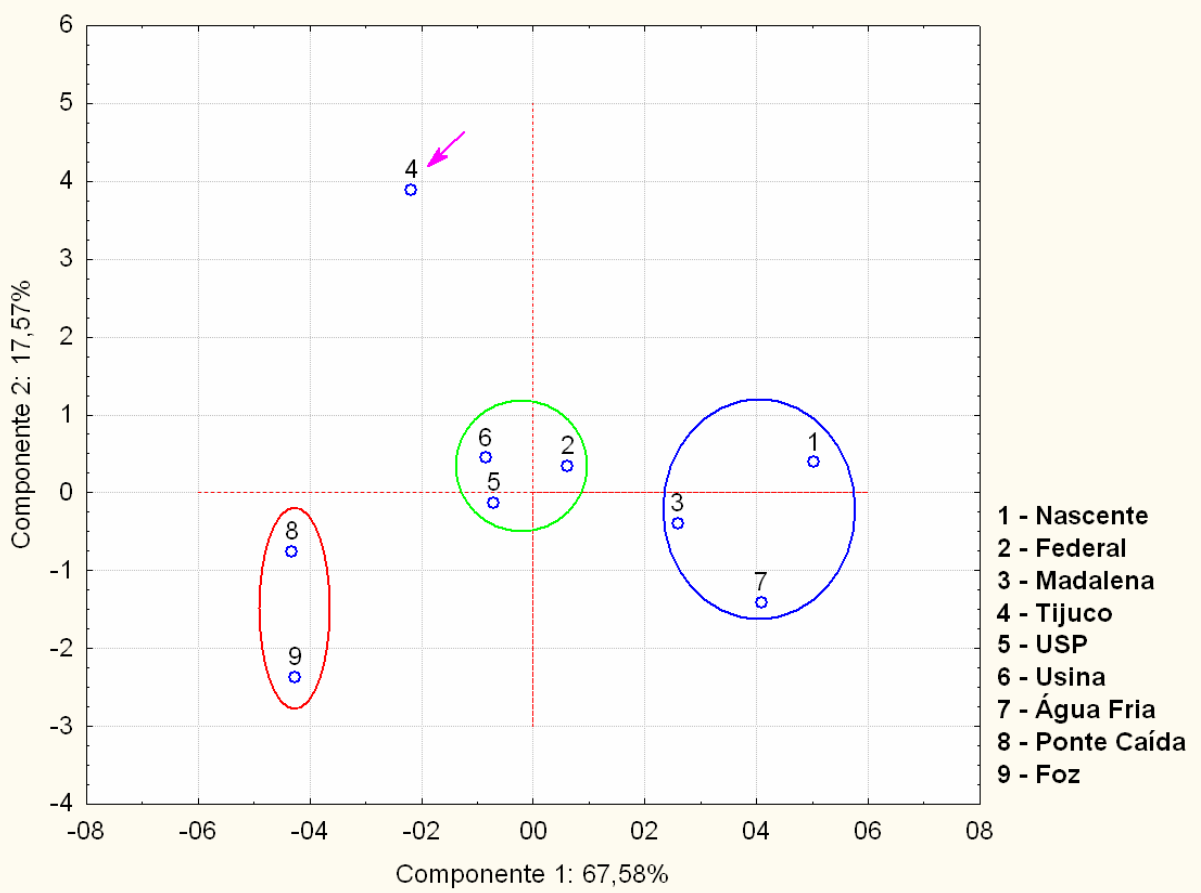


Figura 21 – Representação gráfica da Análise Componentes Principais (PCA) , para o período de estiagem (julho de 2004)

Novamente verificou-se três agrupamentos, o primeiro com os pontos 1, 3 e 7, o segundo com os pontos 2, 5 e 6 e o terceiro com os pontos 8 e 9. Neste caso, estes agrupamentos também puderam ser considerados como transições da área rural/suburbana para área urbana, com o início dos impactos advindos da área urbana como a canalização e despejo de efluentes. Entretanto neste período, diferentemente do anterior, observou-se que o segundo agrupamento, possivelmente esteve relacionado ao fato de que alguns poluentes, como o cloreto, sulfato e da série fosfatada, estiveram mais concentrados neste período, com ausência do efeito diluidor das chuvas, piorando assim a qualidade da água em alguns trechos do rio Monjolinho, como no caso dos pontos USP e Federal.

4.3.4. Caracterização física e química dos sedimentos

4.3.4.1. Teor de matéria orgânica no sedimento

Os teores de matéria orgânica no sedimento foram maiores durante a época de estiagem (Figura 24). Entretanto, apenas o ponto 2 apresentou uma porcentagem de matéria orgânica no sedimento maior que 10%, nos dois períodos de coleta. Segundo a classificação de Naumann (1930) *apud* Esteves (1998)¹, sedimentos, com mais de 10% de matéria orgânica em relação ao peso seco, são caracterizados como orgânicos, sendo, portanto o caso deste último ponto. Quando esta porcentagem é menor que 10%, como ocorreu com a maioria dos pontos considerados neste estudo, considera-se que o sedimento possui baixo teor de matéria orgânica, sendo classificado como mineral.

A fração orgânica nos sedimentos tendeu a aumentar da nascente para a foz, corroborando os resultados obtidos por Guerreschi (1995) e Marinelli *et al.* (2000). De acordo com Barreto (1999), os baixos valores de matéria orgânica nos sedimentos do rio Monjolinho ocorrem devido ao fluxo d'água que transporta a matéria orgânica para locais de remanso, como, por exemplo, o ponto 6, onde há a barragem da UHE Monjolinho.

Comparado ainda com os teores de matéria orgânica encontrados por Brigante *et al.* (2003a), no rio Mogi-Guaçú, verificou-se que estes foram superiores aos encontrados no rio Monjolinho, os quais, entretanto, foram semelhantes aos valores encontrados por Rios (1993), nos córregos e ribeirões da bacia do ribeirão do Feijão, com a predominância de sedimentos representados pela fração inorgânica.

¹ NAUMANN, E. (1930) Einführung im die Bodenkunde der Seen. Stuttgart E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchandlung. 126pp.

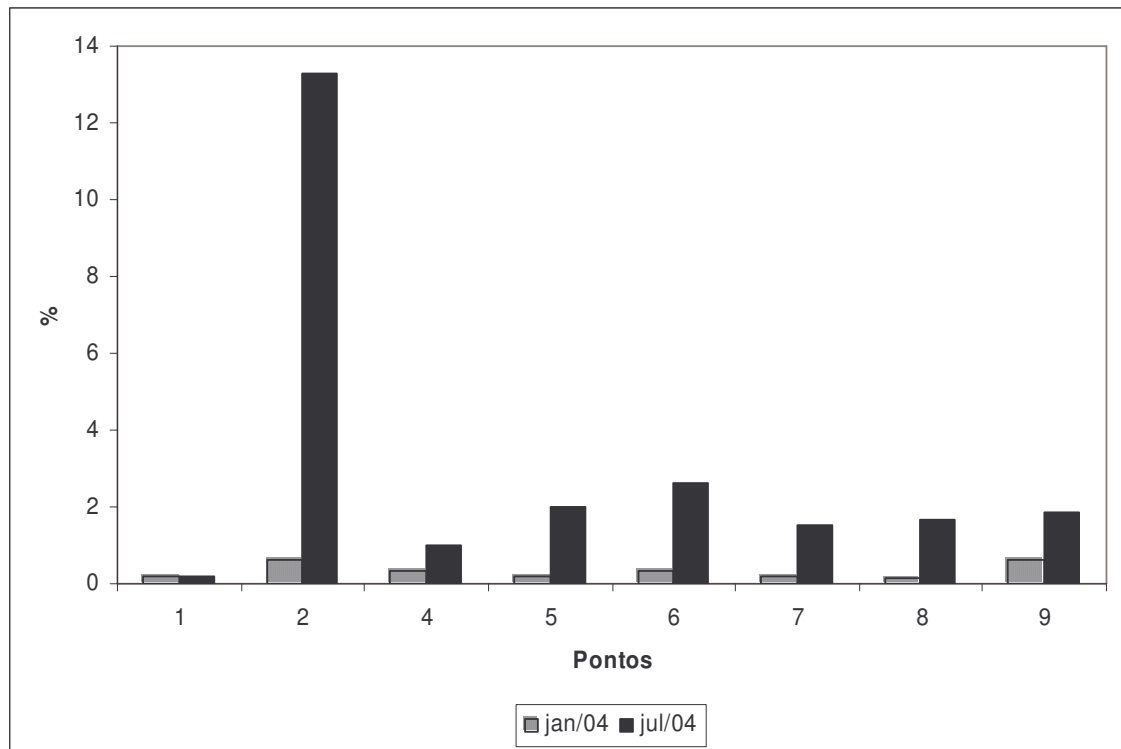


Figura 22 – Teor de matéria orgânica (%) nos sedimentos amostrados no rio Monjolinho e alguns de seus tributários nos períodos chuvoso (janeiro 2004) e de estiagem (julho 2004)

4.3.4.2. Teor de nitrogênio total no sedimento

Os teores de nitrogênio total nos sedimentos são mostrados na Figura 25. Os maiores teores de nitrogênio foram verificados na região da foz tanto no período de chuvas (0,037%) quanto de estiagem (0,058%). Durante o período de estiagem, observou-se um aumento dos teores de nitrogênio da nascente para a foz, com aumento significativo após a passagem pela área urbana. Barreto (1999), considerou que o rio Monjolinho, comparado com outros ecossistemas da região como o rio Jacaré-Guaçu, possui baixas concentrações de nitrogênio nos sedimentos, particularmente no período de estiagem, diferindo, entretanto, dos resultados encontrados no presente estudo, em que as maiores concentrações de nitrogênio ocorreram, em média, durante este período.

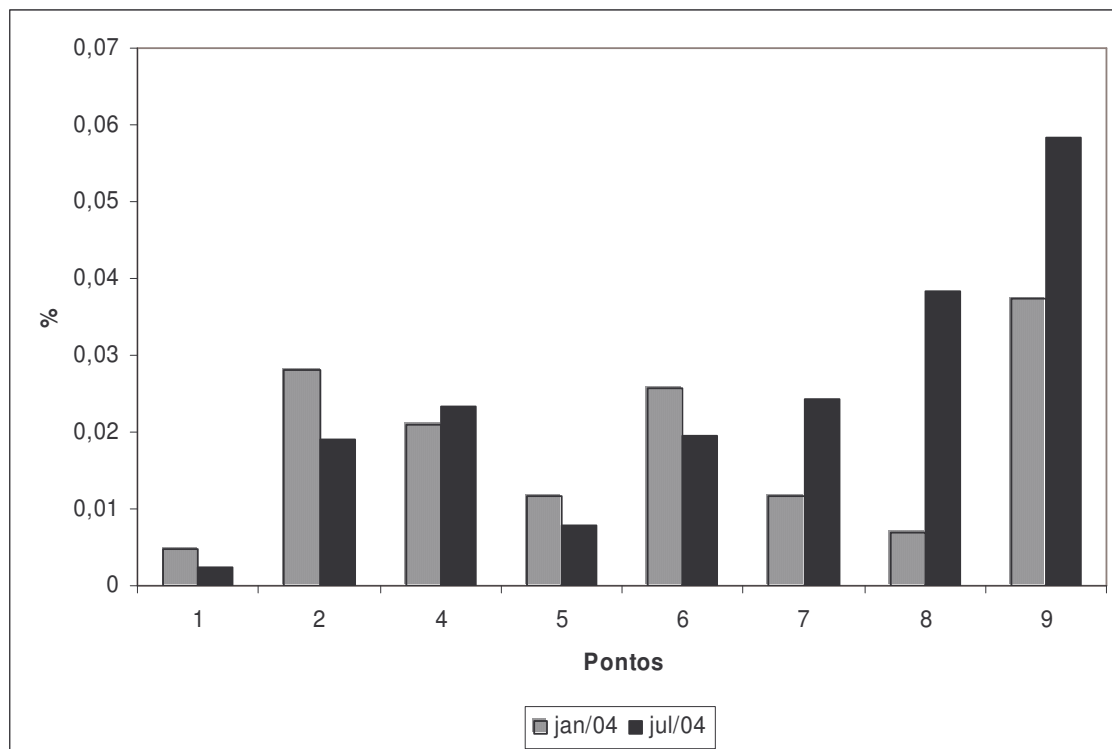


Figura 23 –Teor de nitrogênio nos sedimentos amostrados no rio Monjolinho e alguns de seus tributários nos períodos chuvoso (janeiro 2004) e de estiagem (julho 2004)

4.3.4.3. Fósforo total no sedimento

As concentrações de fósforo total no sedimento foram em todos os pontos maiores durante o período de estiagem (Figura 26), em parte devido a menor precipitação pluviométrica, possibilitando a sedimentação de material particulado contendo fósforo. Assim como no caso do nitrogênio total no sedimento, os maiores valores de fósforo total no sedimento ocorreram na região da foz do rio Monjolinho, em ambos os períodos de coleta ($0,037 \mu\text{g.g}^{-1}$ e $0,058 \mu\text{g.g}^{-1}$, para os períodos chuvoso e de estiagem, respectivamente). Por outro lado, Mendes (1998), verificou que a concentração de fósforo no sedimento foi bem maior do que aquela contida na água, e que este compartimento pode estar sendo a destinação final do fósforo não assimilado pela comunidade biótica. O mesmo foi observado por Brigante (2003a), durante a época de estiagem no rio Mogi-Guaçú.

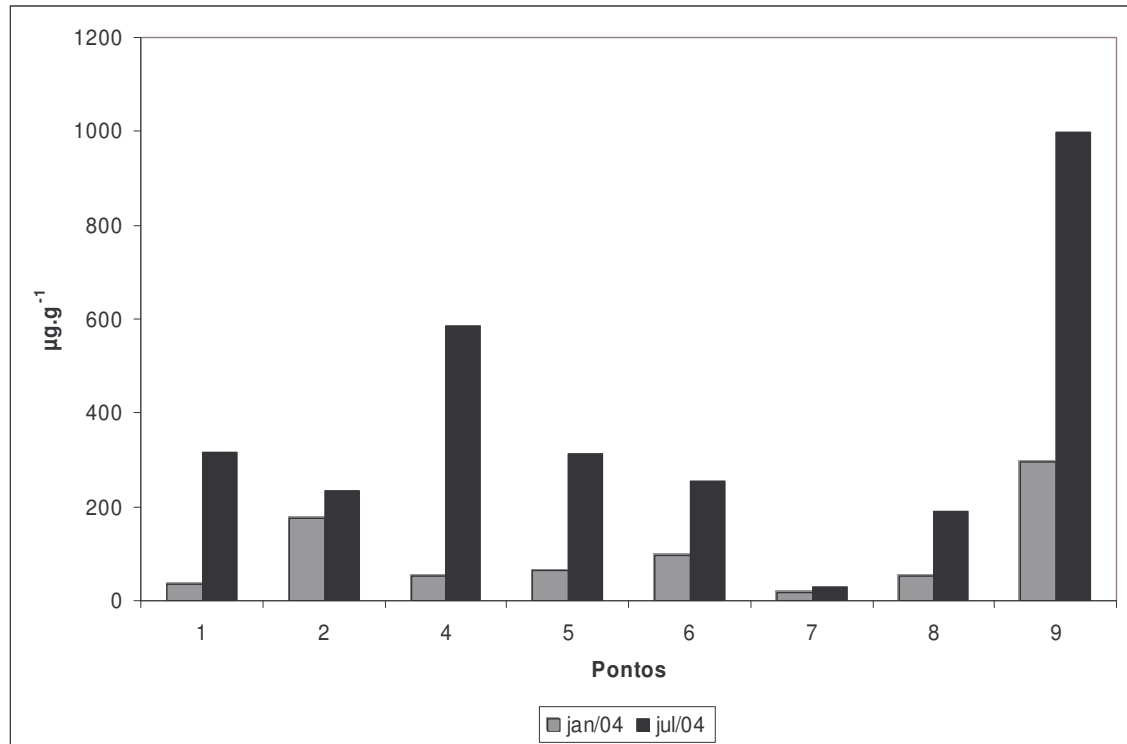


Figura 24 – Concentração de fósforo total ($\mu\text{g.g}^{-1}$) no sedimento amostrado no rio Monjolinho e alguns de seus afluentes

4.3.4.4. Granulometria

Os resultados das análises granulométricas são apresentados nas Figuras 27 e 28. Durante o período chuvoso, a fração areia média foi a predominante até o ponto 8 e após este ponto de coleta, no ponto 9, a fração areia fina passou a ser a predominante. No período de estiagem, houve em praticamente todos os pontos, com exceção apenas do ponto 9, a predominância de frações de areia fina, possivelmente devido à ausência de precipitação pluviométrica.

Estes resultados corroboraram os dados obtidos por Guerreschi (1995), Barreto (1999) e Peláez-Rodríguez (2000), que encontraram na grande maioria dos pontos, em ambos os períodos de coleta, porcentagens das frações de areia maior que 90%, classificando assim os sedimentos como arenosos.

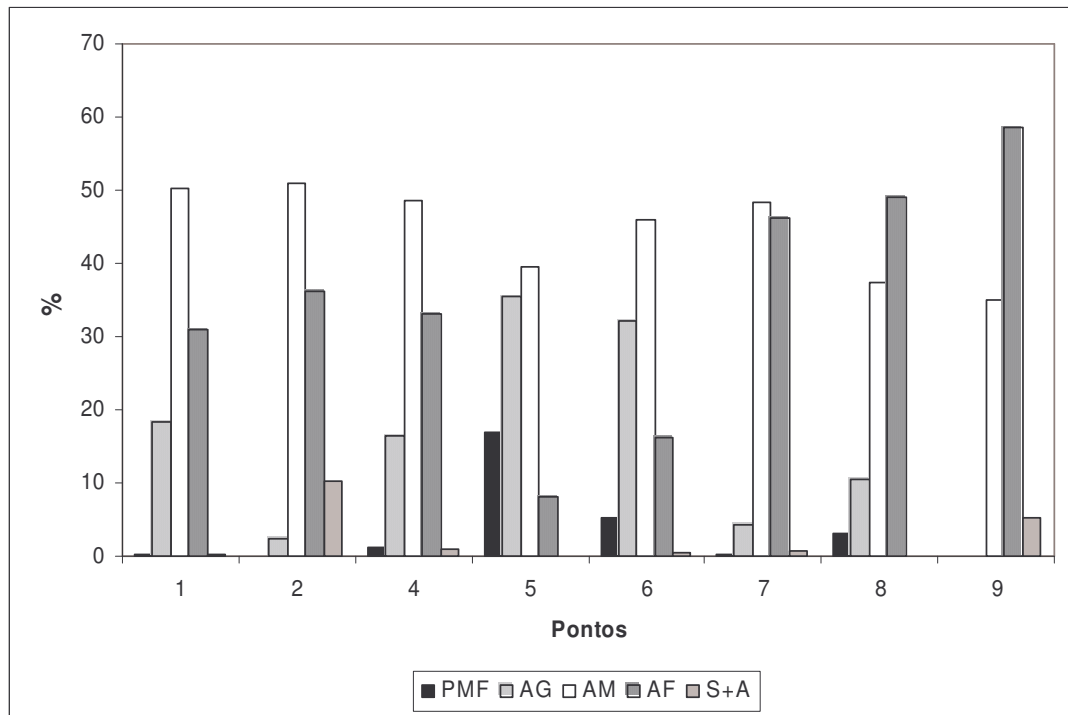


Figura 25 – Análise granulométrica das amostras de sedimento coletadas no rio Monjolinho e alguns de seus tributários durante o período chuvoso (janeiro 2004). (PMF – pedregulho muito fino; AG – areia grossa; AM – areia média, AF – areia fina, S+A – Silte + Argila).

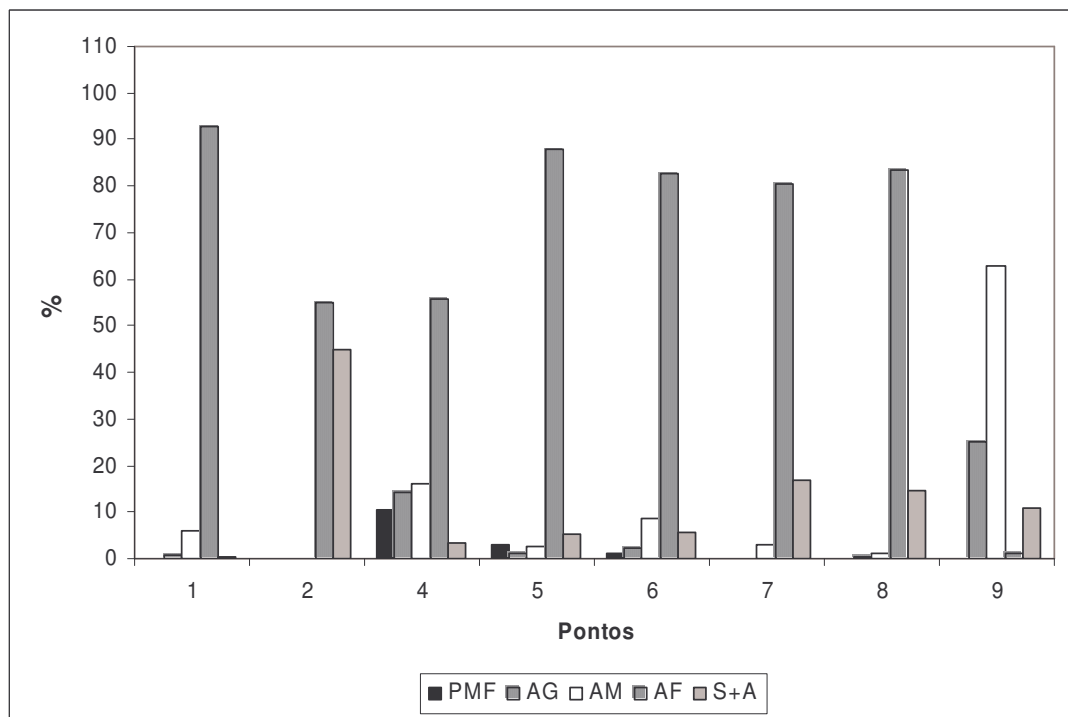


Figura 26 - Análise granulométrica das amostras de sedimento coletadas no rio Monjolinho e alguns de seus tributários durante o período de estiagem (julho 2004). (PMF – pedregulho muito fino; AG – areia grossa; AM – areia média, AF – areia fina, S+A – Silte + Argila).

4.4. Conclusão

- Dentre as variáveis abióticas analisadas, o oxigênio dissolvido, as séries fosfatada e nitrogenada, a condutividade e material em suspensão indicaram o agravamento da qualidade da água após drenar a área urbana, e mais especificamente após a contribuição dos tributários, Córrego do Gregório (a jusante do ponto 6) e o Córrego da Água Quente (a jusante do ponto 8);
- Dentre as variáveis avaliadas, apenas o fósforo total apresentou valores muito superiores àqueles determinados pela resolução do CONAMA 357/05, para as águas de classe 2;
- Através da análise estatística, os pontos de amostragem foram divididos em grupos, conforme o tipo e intensidade de impacto que estes receberam. Durante o período de estiagem, verificou-se o agravamento da qualidade das águas, principalmente nos pontos localizados mais próximos à área urbana, que nesse período ficam mais semelhantes àqueles mais impactados, já dentro da área urbana;
- A comparação dos dados obtidos com outros estudos realizados no rio Monjolinho, não mostrou variações significativas dos parâmetros avaliados, no período de 1989 a 2004, particularmente com relação ao despejo de efluentes domésticos. Entretanto, deve-se levar em conta, que os rios são sistemas altamente variáveis, e que a dinâmica de certas variáveis, como os nutrientes, ainda são pouco compreendidas;
- O presente estudo corroborou muitas das observações anteriormente feitas por outros autores, no que diz respeito ao declínio da qualidade da água da montante em direção à jusante, principalmente nos pontos localizados em trechos urbanos ou imediatamente após estes trechos;

- Os parâmetros oxigênio dissolvido em ambas as estações de coleta, as formas nitrogenadas no período chuvoso e fosfatadas no período de estiagem indicaram capacidade de depuração do rio Monjolinho, já próximo aos trechos finais do rio;
- A avaliação dos sedimentos amostrados no rio Monjolinho mostrou sedimentos predominantemente inorgânicos, com baixos teores de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo.