IV-082 - CONFIRMAÇÃO ESTATÍSTICA DA HIPÓTESE DO IMPACTO DA SAZONALIDADE NA VARIAÇÃO DA CARGA DE SÓLIDOS TOTAIS E COLIFORMES TERMOTOLERANTES NO RIO SÃO FRANCISCO, EM MINAS GERAIS

Pedro Engler Barbosa[(1)]
Graduando de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Bolsista de iniciação científica da FAPEMIG no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG).
Ana Laura Cerqueira Trindade
Bióloga pela Universidade Federal de Minas Gerais. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (EE/UFMG).
Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira[(2)]
Engenheira Eletricista, Mestre e Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da UFMG.

Endereço[(1)]**:** Av. Antônio Carlos, 6.627 - Campus Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901- Brasil – Tel: +55 (31) 3409-3645 – Fax: +55 (31) 3409-1882 - email: pedroeb@ufmg.br; [(2)]silvia@desa.ufmg.br.

RESUMO

Os corpos d'água atuam como meio de dissolução e transporte de muitos poluentes, sejam eles lançados pontualmente (formas mais constantes de poluição, como lançamento de esgotos), sejam de forma difusa (forma mais sazonal de poluição, como aporte de sólidos ao curso d'água em razão das chuvas). O processo de monitoramento desses níveis de poluição gera um complexo banco de dados, frequentemente subaproveitado por falta de dispositivos que permitam sua interpretação. Este trabalho propõe analisar estes dados por meio de análises estatísticas. Para tal, este trabalho utilizou os dados da rede de monitoramento de qualidade das águas do IGAM, para os parâmetros Sólidos Totais (ST) e Coliformes Termotolerantes (CT), em sete estações selecionadas na calha do rio São Francisco (SF03, SF05, SF19, SF25, SF27, SF29 e SF33), em Minas Gerais, Brasil, buscando avaliar influência da variação climática anual no aporte de poluentes das fontes pontuais, e das fontes difusas, que são mais afetados pela sazonalidade (períodos seco e chuvoso do ano). Em posse dos dados de vazão e concentração foi possível estabelecer a carga de cada poluente em cada data de amostragem na seção do corpo d'água selecionada.
O teste não paramétrico de Mann-Whitney foi aplicado para cada estação para verificar a hipótese de que não existe diferença sazonal significativa em relação às cargas de cada um dos dois poluentes. Foi obtida a confirmação estatística de que a sazonalidade afeta de forma significativa a carga de ST na área de estudo, com o aumento do aporte e transporte desse poluente no período chuvoso. O mesmo efeito pode ser observado para o parâmetro CT, com uma única exceção, a estação SF029.
Para avaliar a evolução da carga dos poluentes ao longo da Calha do rio São Francisco, foi aplicado o teste estatístico de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 5%, comparando os dados de ST e CT das sete estações, nos dois períodos (seco e chuvoso). Esse teste objetivou a verificação da hipótese de que não existe diferença significativa entre as cargas de cada estação e as cargas das demais estações à montante ou jusante, ao longo da calha principal do rio em estudo, e demonstrou que a carga de ST tende a aumentar ao longo da calha do rio São Francisco, enquanto a carga de CT não sofre aumento estatisticamente significativo.

PALAVRAS-CHAVE: Sazonalidade, Qualidade da Água, Análise estatística, Carga de poluentes.

INTRODUÇÃO

Os corpos d'água atuam como meio de transporte e dissolução de muitos compostos, sejam eles lançados pontualmente, como esgotos domésticos e industriais, ou de forma difusa, como agrotóxicos e nutrientes lixiviados do solo e poluentes escoados de ruas e estradas. Esses compostos são responsáveis pela degradação da qualidade das águas (STROOMBERG *et al*. 1995 apud VEGA, 1998).

Porém, enquanto as vazões de esgotos domésticos e industriais podem ser consideradas fontes constantes de poluição (VEGA, 1998), variável e sazonal é o aporte de poluentes transportados pelo escoamento superficial e lixiviados de áreas naturais e urbanas ao corpo d'água.

O monitoramento e a avaliação da qualidade dessas águas são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos. Porém, esse monitoramento origina um complexo banco de dados, contendo diferentes parâmetros, muitas vezes subaproveitado (ZHANG *et al*., 2011), tendo em vista garantir o bom uso das águas na área monitorada, por falta de dispositivos que permitam sua análise e interpretação.

Este trabalho utilizou o banco de dados de qualidade das águas disponibilizado pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas), em estações selecionadas, e interpretou as informações de concentração concomitantemente a dados fluviométricos (ANA/CPRM), que demonstram a variação sazonal da vazão no rio. Essa interpretação conjunta permitiu avaliar a influência da sazonalidade na carga total dos poluentes Sólidos Totais (ST) e Coliformes Termotolerantes (CT) que são transportados pelo corpo d'água, a partir do estudo da influência da variação climática anual no aporte de poluentes das fontes difusas, que são mais afetados pela sazonalidade.

De posse desses dados, este trabalho teve como objetivo comprovar ou refutar a hipótese, com base em testes estatísticos não paramétricos, de que a sazonalidade tem influência sobre a qualidade da água do rio São Francisco em Minas Gerais, estudando a variação de cargas de ST e CT com a alternância entre os períodos seco e chuvoso do ano.

Um objetivo secundário do trabalho foi a análise da evolução da carga desses poluentes ao longo da calha principal do rio São Francisco, nos momentos de cheia e estiagem. Para a realização desse estudo foi necessário o conhecimento da vazão do corpo d'água no local e no momento da coleta de amostras de água para análise de sua qualidade.

METODOLOGIA

Este trabalho analisa a carga de poluentes em sete estações de qualidade da água ao longo da calha principal do rio São Francisco, em seu trecho no estado brasileiro de Minas Gerais, de acordo com a Figura 1.

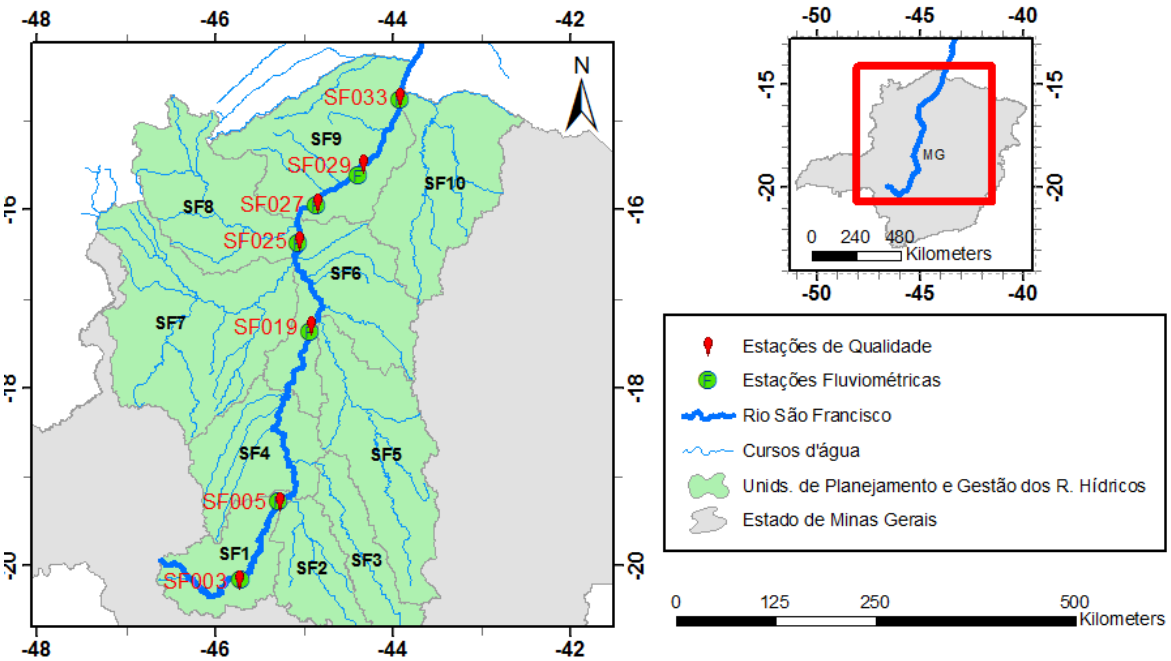

Figura 1: Mapa da área de estudo, com localização das estações de qualidade e fluviométricas.

As estações de qualidade analisadas, considerando os dados de concentração de ST e CT, foram: SF003, SF005, SF019, SF025, SF027, SF029, SF033 (apresentadas de montante para jusante). Os dados de vazão foram obtidos no Hidroweb, elaborado pela Agência Nacional das Águas (ANA), para estações fluviométricas coincidentes com as estações de qualidade selecionadas, conforme a tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1: Estações de Qualidade e suas correspondentes Fluviométricas estudadas.

Estação Qualidade IGAM	Estação Fluviométrica ANA/CPRM	Estação Qualidade IGAM	Estação Fluviométrica ANA/CPRM
SF003	Iguatama	SF027	São Francisco
SF005	Porto das Andorinhas	SF029	Pedras Maria da Cruz
SF019	Pirapora-Barreiro	SF033	Manga
SF025	São Romão		

Para o cálculo de cargas dos parâmetros estudados, a concentração dos mesmos foi multiplicada pela vazão medida no rio, no dia exato das amostragens de qualidade, sendo o período de estudo compreendido entre os anos 2000 e 2011 (12 anos de série histórica).

Os valores de carga dos parâmetros ST e CT, para cada estação de qualidade, foram submetidos ao teste de Normalidade Shapiro-Wilk para verificar se seguiam a distribuição Normal. No teste para as sete estações foram encontrados valores de $p < 0,05$, o que indica a não aderência à distribuição Normal dessas amostras. Este comportamento assimétrico é usual para dados ambientais.

O teste não paramétrico de Mann-Whitney foi então aplicado para cada estação, para verificar a hipótese de que não existe diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso do ano, em relação às cargas de cada um dos dois poluentes. Os valores de carga de ST e CT foram então plotados em gráficos Box-Plot, para as estações SF003 e SF029, que apresentaram comportamento diferenciado quanto às descargas dos poluentes nos dois períodos do ano.

Foram produzidos também gráficos que mostram a evolução da carga de ST e CT ao longo da calha do rio São Francisco. Para avaliar essa evolução foi aplicado o teste estatístico de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 5%, comparando os dados de ST e CT das sete estações, nos dois períodos. Esse teste objetivou a verificação da hipótese de que não existe diferença significativa entre as cargas de cada estação e as cargas das demais estações à montante ou jusante, ao longo da calha principal do rio em estudo.

RESULTADOS

Conforme observado na Tabela 2, que mostra os resultados do teste Mann-Whitney, o valor de p encontrado indica que existe diferença significativa entre os dois períodos para o parâmetro Sólidos Totais (ST) ($p < 0,05$) em todas as comparações. Assim, a carga desse poluente presente em todas as seções do rio São Francisco analisadas é significativamente afetada pela sazonalidade.

Tabela 2: Resultados dos testes de Mann-Whitney, que compararam os dados de ST e CT (cada parâmetro individualmente) dos períodos seco e chuvoso nas estações de monitoramento (nível de significância = 5%).

Estação	Valores de p	
	Sólidos Totais	Coliformes Term.
SF003	0,002804	0,016157
SF005	0,013716	0,012843
SF019	0,000000	0,008275
SF025	0,000000	0,001048
SF027	0,000000	0,000048
SF029	0,000000	0,072853
SF033	0,000000	0,002030

OBS: Valores sublinhados ($p < 0,05$) indicam que há diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso. Para o parâmetro Coliformes Termotolerantes (CT), nota-se que o valor de "p" encontrado indica que existe diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dois períodos em seis das sete estações analisadas. Na estação SF029, que apresenta as maiores cargas de CT nos dois períodos, a sazonalidade não afeta a carga desse poluente de maneira estatisticamente significativa ($p > 0,05$).

Portanto, existe a confirmação, do ponto de vista estatístico, de que a sazonalidade afeta de forma significativa a carga de ST na área de estudo, com o aumento do aporte e transporte desse poluente no período chuvoso, conforme comprovado pelos gráficos Box-Plot apresentados na Figura 2. O mesmo efeito pode ser observado, de acordo com o teste de Mann-Whitney, para o parâmetro CT, com uma única exceção, a estação SF029.

Uma explicação para esse fato pode estar relacionada à localização de SF029, inserida imediatamente a jusante de um ambiente urbano, a cidade de Januária. Dentre as cidades que se encontram logo a montante das estações de monitoramento contempladas nesse trabalho, Januária é a que apresenta a maior população (IBGE, 2012). Isso explicaria a maior presença de CT em fontes que não são significativamente afetadas pela sazonalidade, como lançamento de esgotos (VEGA, 1998). Além disso, esse poluente também pode ser lixiviado e escoado do solo no período chuvoso, por estar presente em fezes de animais, uma vez que o município apresenta forte atividade agropecuária (15% do PIB do município) (IBGE, 2012).

O parâmetro ST, por outro lado, é largamente afetado pela sazonalidade, conforme amplamente divulgado e observado na área ambiental e confirmado estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney. Uma das várias explicações para este fato é o grande aporte desse poluente ao curso d'água, no meio rural, em razão das perdas dos solos, por erosão, oriundas do uso do solo para agricultura (VON SPERLING, 1996), o que está diretamente relacionado à pluviosidade e à sazonalidade.

Para melhor entender o que ocorre com esses dois parâmetros na distribuição tempo-espaço são apresentados gráficos Box-Plot a seguir. Na Figura 2 se compara a carga de ST de cada estação (posicionadas de montante à jusante na calha do São Francisco), para os dois períodos seco (2° e 3° trimestres) e chuvoso (1° e 4° trimestres).

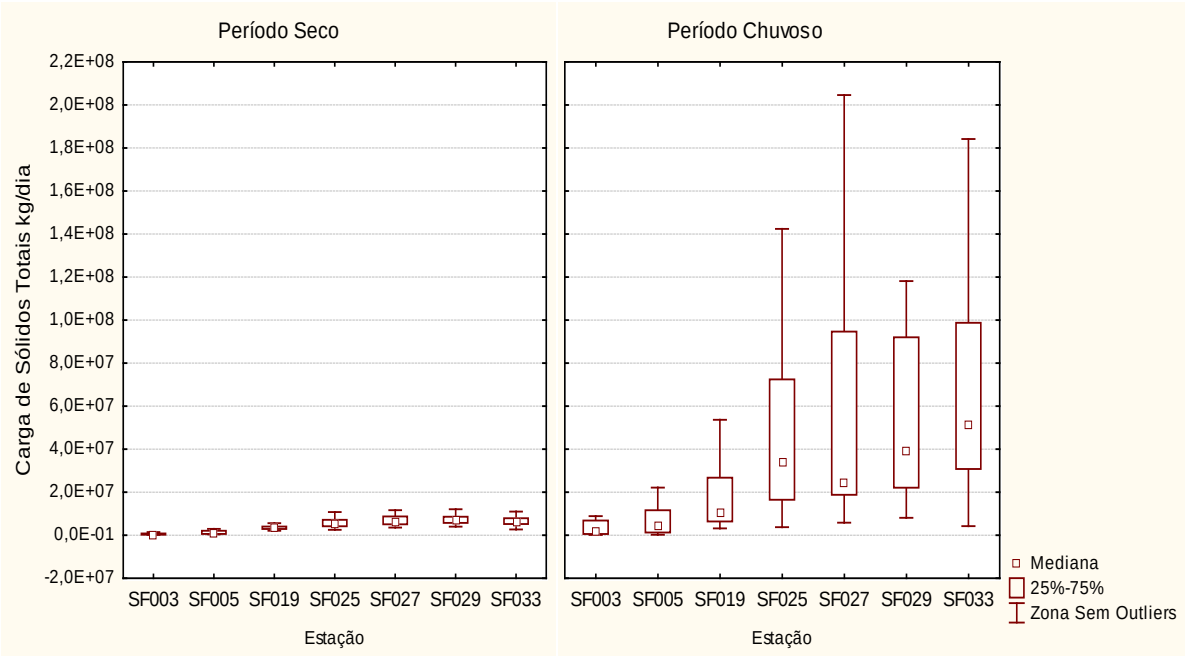

Figura 2: Comparação gráfica de cargas de ST para as sete estações do rio São Francisco, para os dois períodos sazonais.

Conforme observado pelas medianas do gráfico, a carga de ST tende a aumentar ao longo da calha do rio São Francisco. No entanto, a carga se estabiliza a jusante da estação SF025 nos dois período, conforme comprovado pelo teste estatístico de Kruskal-Wallis, ao nível de significância de 5%.

O mesmo perfil, porém plotado para o parâmetro CT, não apresenta o mesmo comportamento claramente crescente, conforme a Figura 3 abaixo. A estação SF029 apresenta uma carga de CT significativamente superior às demais, com exceção da SF019, no período seco. Considerando o período chuvoso, a SF029 apresenta a maior variabilidade nas cargas, ainda que a mediana só seja significativamente diferente das SF003 e SF005.

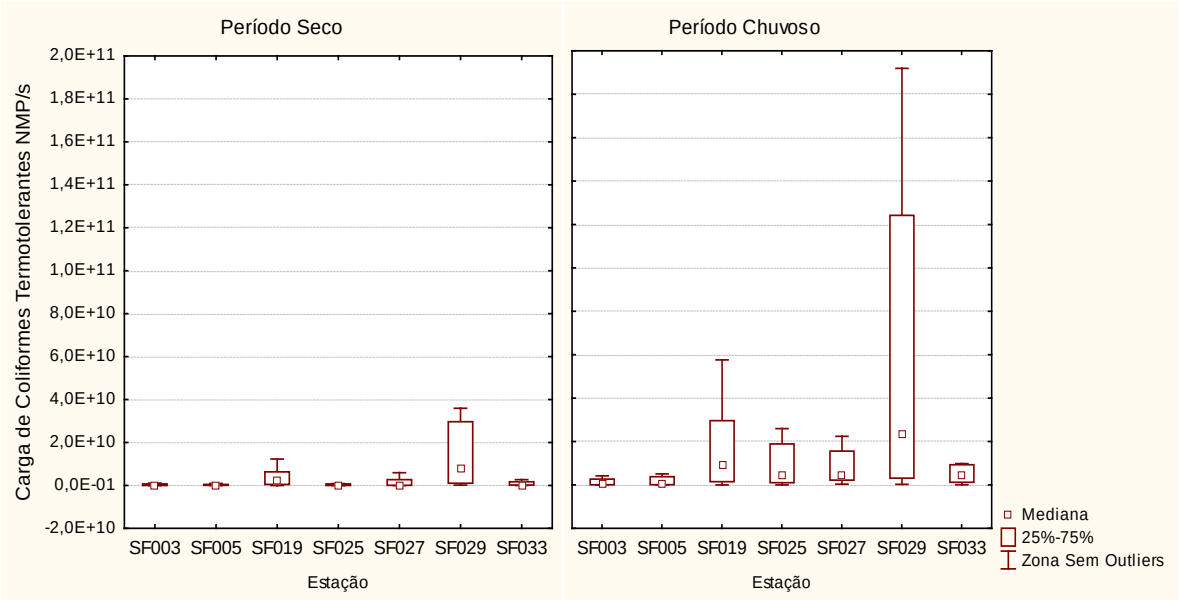

Figura 3: Comparação gráfica de cargas de CT para as sete estações do rio São Francisco, para os dois períodos sazonais.

Esse perfil variado de carga de CT ao longo da calha do rio São Francisco pode ser causado pela própria natureza do parâmetro, mais facilmente degradável, o que justificaria a descontinuidade da carga deste poluente no rio, de montante para jusante, diferente da forma como é observada no parâmetro ST.

Apesar dessa diferença entre o comportamento dos dois poluentes, em ambos se observa uma variação sazonal de carga, tanto para as estações que apresentaram os menores valores (SF003), quanto para aquelas com cargas superiores a todas as outras (SF029). Essa variação é explicitada nas Figuras 4 e 5 a seguir que apresentam, para uma melhor visualização, os valores de cada mediana em cada período. É nítida nessa análise a grande influência da sazonalidade sobre a carga de ST, principalmente na estação com maior vazão afluente (SF029), pois o extremo mínimo dos valores de carga no período chuvoso se encontra praticamente no mesmo patamar do quartil 75% do período seco, com aumento de 5,74 vezes em relação à mediana do período seco, diferença considerada significativa pelo teste de Mann-Whitney.

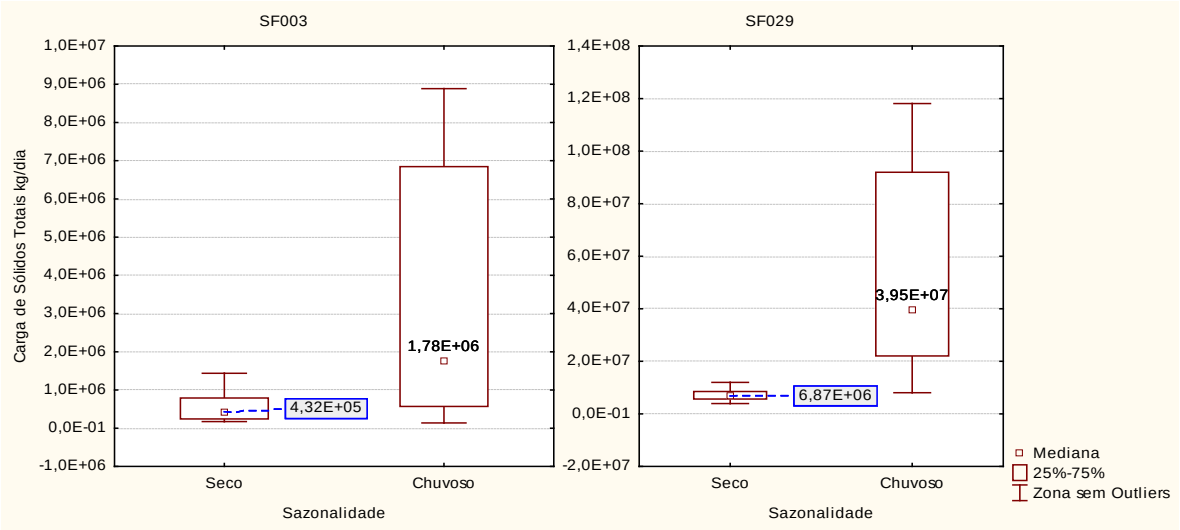

Figura 4: Variação das cargas de ST com a sazonalidade para as estações SF003 e SF029.

Na avaliação feita com os Coliformes Termotolerantes, percebe-se também a influência da sazonalidade, inclusive na estação SF029, ainda que o teste estatístico de Mann-Whitney não tenha identificado diferenças significativas entre os períodos. Mesmo para esta estação, pode-se observar que no período chuvoso ocorre uma variação expressivamente maior de cargas que no período seco. Isto é melhor visualizado pela observação dos intervalos interquartis nos dois períodos.

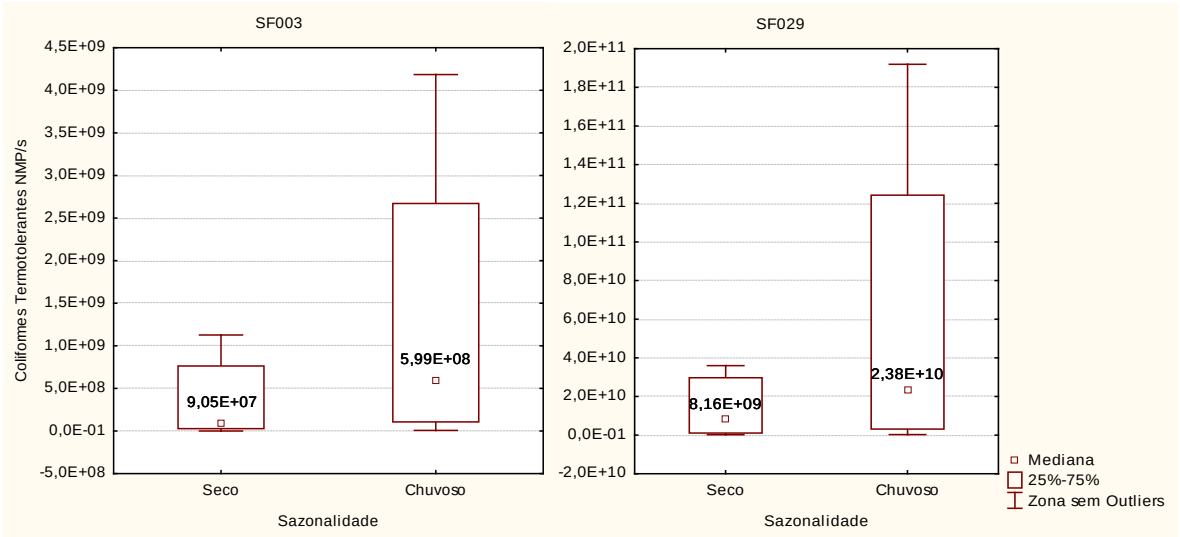

Figura 5: Variação das cargas de CT com a sazonalidade para as estações SF003 e SF029.

CONCLUSÕES

Entre os dois parâmetros analisados, Sólidos Totais foi comprovadamente afetado pela sazonalidade, enquanto Coliformes Termotolerantes, embora também sofra variações sazonais de carga de poluentes, o faz de forma mais discreta do que o primeiro parâmetro.

Conclui-se deste trabalho que para a análise e interpretação de bancos de dados de qualidade das águas são necessários também dados de vazão, que permitem calcular as cargas dos parâmetros nos diversos pontos de amostragem. No entanto, na prática, o que se observa é que raramente existem medições de vazão nas estações de monitoramento de qualidade de águas superficiais, sendo necessário um grande esforço para obtenção destes dados em estações fluviométricas operadas por órgãos diversos.

Outra dificuldade encontrada é relativa à localização dos pontos de monitoramento que, na maioria dos casos, não são coincidentes entre si, sendo necessários estudos, algumas vezes complexos, de determinação de áreas de drenagem que permitam correlacionar os dados de uma estação fluviométrica com os dados de qualidade das águas. Em outros casos, são encontradas situações nas quais dois trechos de um rio, que possuem estações fluviométricas operadas por órgãos distintos, confluem para um ponto de monitoramento de qualidade das águas. Desta forma, a vazão depois da confluência sofrerá amortecimento e translação ao longo dos trechos, sendo modificada pela rugosidade hidráulica e conformação do trecho. Assim, é recomendado que os dados de qualidade da água sejam sempre disponibilizados em conjunto com dados de vazão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) por terem disponibilizados os dados e viabilizado essa pesquisa, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio permanente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2010*. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br/primeiros_dados_divulgados/index.php?uf=31>. Acesso em: 28/09/2012.
2. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *IBGE-Cidades*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=313520#>. Acesso em: 28/09/2012.
3. VEGA, M., PARDO, R., BARRADO, E., DEBAN, L., 1998. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water Research 32, 3581–3592.
4. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996. 246p.
5. ZHANG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; WU, J.; YU, M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. Environmental Monitoring Assessment, n. 173, p. 17-27, 2011.