



## IV-027 – AVALIAÇÃO DA CARGA DIFUSA DA DRENAGEM PLUVIAL URBANA NA BACIA HIDROGRÁFICA CANCELA

**Ana Paula Zubiaurre Brites<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria. Mestre Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFSM.

**Maria do Carmo Cauduro Gastaldini<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil, Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP, Professora Adjunto Doutora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal de Santa Maria

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Vicente do Prado Lima, 554/301 – Camobi - Santa Maria – RS – CEP: 97105-390 – Brasil - Tel: (55)214-3001 ou (55)81118713 - e-mail: [abrites@mail.ufsm.br](mailto:abrites@mail.ufsm.br)

### RESUMO

O acelerado processo de urbanização nas últimas décadas vem ocasionando sucessivas transformações no meio ambiente, onde se observa a necessidade de identificação e quantificação dos fatores que influenciam na sua qualidade para adoção de medidas de controle adequadas. Entre estes fatores as redes de drenagem urbana constituem uma das principais fontes de degradação dos recursos hídricos, através do transporte de cargas poluentes.

O presente trabalho tem como objetivo quantificar a carga difusa transportada pela rede de drenagem pluvial urbana da bacia hidrográfica Cancela, localizada em Santa Maria – RS, através dos parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio, coliformes totais e fecais e sólidos suspensos totais.

A carga poluente para o parâmetro  $DBO_5$  foi 75,06 kg/ha/ano, para coliformes totais e fecais de  $8,9 \times 10^{12}$  e  $6,5 \times 10^{11}$  organismos/ha/ano, respectivamente, e para sólidos suspensos totais de 1685,8 kg/ha/ano.

Foi observada correlação entre carga poluente transportada com intensidade média de precipitação e com o total precipitado, não sendo observada correlação com o período de tempo seco antecedente ao evento.

Os valores obtidos apresentam-se bastante elevados, caracterizando os altos índices de poluentes veiculados pelas redes de drenagem urbana, as quais constituem uma das principais fontes de degradação dos corpos de água.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carga Difusa, Drenagem Pluvial Urbana, Recursos Hídricos.

### INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o intenso e desordenado crescimento urbano tem causado sucessivas transformações ao meio ambiente, alterando as condições de vida da população e afetando a qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

Este processo de urbanização caracteriza-se pela carência da infra-estrutura básica, incapaz de acompanhar ou atender o acelerado desenvolvimento urbano, principalmente, no contexto dos recursos hídricos.

Conforme Novotny (1999) a migração da população rural para áreas urbanas é uma das causas do grande processo de urbanização, onde parte desta população habita locais de baixa renda sem condições apropriadas de saneamento básico. Nos países em desenvolvimento este crescimento urbano leva ao surgimento dos grandes centros urbanos, que são os locais de maiores problemas relacionados a poluição difusa.

As redes de drenagem urbana veiculam elevadas cargas de poluentes, constituindo uma das principais fontes de degradação dos corpos de água. Esta poluição difusa é gerada pelo escoamento superficial em áreas urbanas, proveniente da deposição de poluentes, de maneira esparsa, sobre a área contribuinte da bacia hidrográfica.

Esta poluição apresenta-se de forma bastante diversificada e depende de fatores como uso e ocupação do solo, densidade populacional, estações do ano, topografia, geologia e das características e freqüência das



## 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

precipitações. Segundo Choe et al. (2002) e Line et al. (2002) as concentrações e cargas para cada poluente estão relacionadas com o tipo de uso do solo da bacia hidrográfica e com as condições de precipitação.

Entre as atividades que compreendem a poluição difusa estão as atividades rurais, deposição atmosférica e o escoamento superficial urbano. Ainda englobam-se, nesta poluição, as ligações clandestinas de esgotos e os efluentes de fossas sépticas (Porto, 1995). Sendo estas algumas das principais fontes que contribuem para o aumento das cargas poluidoras transportadas pelas redes de drenagem urbana

Uma característica marcante da poluição difusa é a variabilidade na concentração de poluentes lançados nos corpos d'água, tornando-se difícil o estabelecimento de diferenças na produção de cargas poluentes, pois as concentrações variam em termos de magnitude entre bacias hidrográficas, com diferentes eventos de precipitação, ao longo de um mesmo evento e ainda quanto ao tipo de área urbana, como por exemplo, residencial, industrial ou comercial (Porto, 1995).

A identificação das fontes geradora da poluição difusa, assim como a quantificação das cargas poluidoras afluentes ao corpo d'água, tornam-se de relevante importância para a avaliação correta do seu potencial poluidor, dos impactos gerados e também para a determinação de medidas de controle adequadas.

Este trabalho visa avaliar a produção de cargas poluidoras do escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela, localizada no município de Santa Maria-RS.

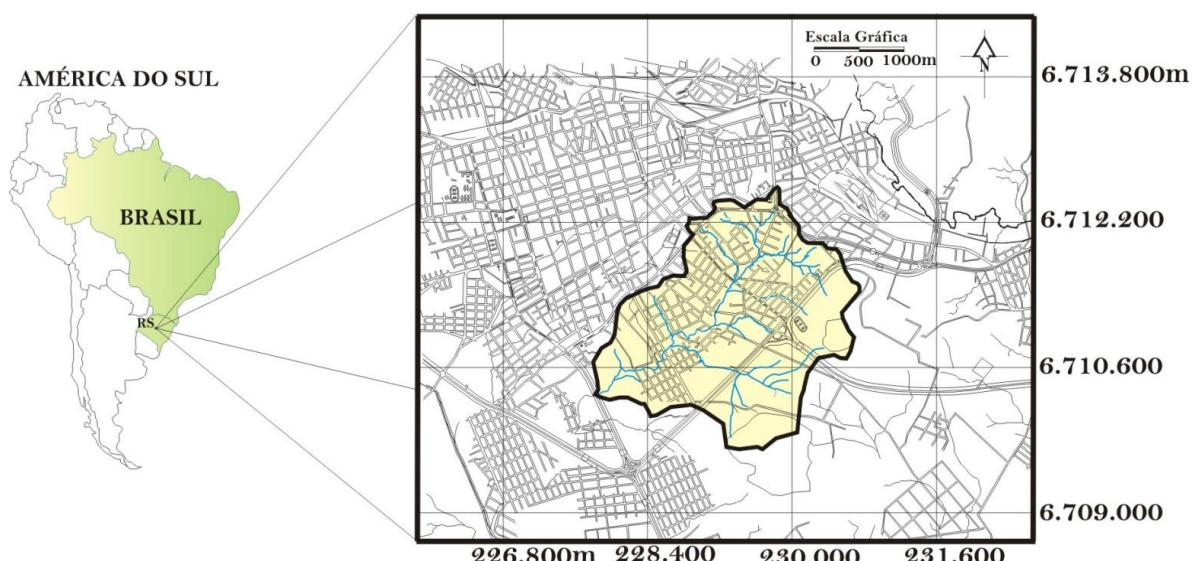
### MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas foram realizadas na Bacia Hidrográfica Cancela, localizada no município de Santa Maria – RS, composta pelos bairros Nossa Senhora de Lourdes e Medianeira, no período de janeiro a dezembro de 2004.

A bacia perfaz uma área de aproximadamente 4,95 km<sup>2</sup>, sendo 56% da área urbanizada e 35% da área total da bacia impermeabilizada, a mesma possui uma população de 18.082 habitantes.

A região encontra-se em avançado estado de degradação ambiental, onde o principal problema está relacionado ao lançamento clandestino de esgoto doméstico.

A figura 1 mostra a localização da bacia hidrográfica Cancela no município de Santa Maria.



**Figura 1:** Localização da bacia hidrográfica Cancela no município de Santa Maria - RS

As amostras de água foram obtidas em duas situações: tempo seco, na ausência de chuva, e tempo úmido, na presença de chuva.



## 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

As coletas de amostras superficiais, tanto de tempo seco quanto úmido, foram realizadas no centro da seção de amostragem, através de recipientes plásticos para posterior transferência para garrafas PET, as quais eram devidamente identificadas.

Nas coletas em tempo úmido também foram utilizados amostradores automáticos de nível, ascendente e descendente, instalados em dois pontos da seção de amostragem. Estes amostradores possibilitaram o monitoramento da variação da qualidade da água durante a passagem da onda de cheia em eventos noturnos ou que não foram possíveis de serem monitorados manualmente. Desta forma todos os eventos representativos, que geraram escoamento, puderam ser analisados para o cálculo da carga poluente total do período monitorado.

Após as amostras foram submetidas às análises dos seguintes parâmetros de qualidade da água: sólidos suspensos, DBO<sub>5</sub>, coliformes totais e fecais. A escolha dos parâmetros justifica-se pela necessidade de avaliar o conteúdo orgânico e a contaminação por microorganismos bacteriológicos presentes no corpo d'água.

O monitoramento da bacia hidrográfica Cancela foi realizado através de uma estação fluviográfica e uma estação pluviográfica, ambas monitoradas pelo grupo GHIDROS.

A figura 2 mostra em detalhe a seção de amostragem da estação fluviográfica na bacia Cancela, onde foram instalados os equipamentos para a realização das coletas de água, ponte hidrométrica e amostradores de nível ascendente e descendente, ANA e AND, respectivamente.



**Figura 2: Estações fluviográfica e de qualidade da água da Bacia Hidrográfica Cancela**

### ANÁLISE DOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO

Para uma avaliação completa das características de qualidade da água, durante a passagem da onda de cheia, adotaram-se pontos iniciais e finais para todos os eventos analisados, assumindo para os mesmos as características de qualidade da água, de tempo seco, do dia mais próximo ao evento. A adoção de pontos iniciais justifica-se pela dificuldade de chegar à estação antes do início da precipitação, pois estas algumas vezes ocorrem em horários imprevistos. A adoção dos pontos finais justifica-se pela extensão de alguns eventos impossibilitando a permanência da equipe em campo.

Para uma avaliação geral das concentrações foi calculada a Concentração Média do Evento (CME), equação 1, pois o uso desta é apropriada para avaliar os efeitos do escoamento superficial nos corpos d'água receptores, uma vez que estes respondem lentamente as vazões pluviais quando comparados com a taxa nas quais as concentrações dos constituintes modificam-se durante um evento de precipitação, portanto, a Concentração Média do Evento torna-se um importante parâmetro a ser analisado (Lee et al., 2000).



## 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{tr} C_t Q_t dt}{\int_0^{tr} Q_t dt} \approx \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t}$$

equação (1)

onde: CME é a concentração média do evento (mg/L); M a massa total de poluente durante o evento (g); V o volume total durante o evento ( $m^3$ ); t o tempo (s); Ct a concentração no tempo t (mg/L); Qt a vazão no tempo t ( $m^3/s$ ) e  $\Delta t$  o intervalo de tempo (s).

As cargas de poluente foram obtidas através da multiplicação do valor da característica de qualidade da água em questão, pela vazão de escoamento superficial no instante considerado. Os valores destas cargas foram sendo acumulados durante todo o evento de precipitação. Como o corpo d'água apresenta uma carga poluente de base, devido ao lançamento clandestino de esgoto e sua vazão de base, este valor foi calculado e descontado do montante, já que objetiva-se avaliar apenas o impacto do escoamento superficial, ou seja, da poluição difusa no recurso hídrico.

No entanto, para obtenção da massa poluente transportada em cada evento, no intuito de obter-se a carga poluente difusa transportada pela drenagem urbana, foi multiplicada a carga, já descontado o valor da carga de base do corpo d'água, pelo intervalo de tempo considerado, como mostra a equação 2.

$$MASSA = Carga \times Tempo$$

equação (2)

onde: Carga é a concentração no tempo t x vazão no tempo t (mg/s); e Tempo o intervalo de tempo entre as coletas (s).

A massa poluente depositada sobre a superfície da bacia no período de estiagem e transportada para o corpo d'água durante o escoamento superficial, pode ser considerada como sendo a massa poluente de contribuição da drenagem pluvial urbana.

Na estimativa da carga difusa somou-se a massa de poluente dos eventos ocorridos no período monitorado e dividiu-se pelo intervalo de tempo, deste período, resultando, portanto, a carga poluente difusa transportada pela drenagem pluvial da área em estudo.

### DISTRIBUIÇÃO MASSA POLUENTE VERSUS VOLUME ESCOADO

A variabilidade da taxa de massa poluente transportada durante eventos de precipitação na rede de drenagem pode ser descrita por duas curvas: hidrograma  $Q(t)$  e polutograma  $C(t)$  para cada poluente considerado, onde, Q representa a vazão ( $m^3/s$ ); e C a concentração (mg/L).

Estas curvas, chamadas de curvas  $M(V)$ , possibilitam uma análise adimensional capaz de confrontar eventos de diferentes características e localização.

Em uma bacia hidrográfica estas curvas podem variar de evento para evento, dependendo dos seguintes parâmetros: intensidade de precipitação, período de tempo seco antecedente ao evento e o total precipitado, condições da rede de drenagem, quantidade de deposição, acúmulo de massa poluente sobre a bacia, características da bacia e da rede de drenagem.

Através de análises gráficas das curvas  $M(V)$  observa-se a posição destas em relação ao bissetor, indicando a distribuição dos poluentes durante todo o evento. Se a curva apresenta declividade de  $45^\circ$  assume-se que os poluentes são distribuídos uniformemente durante o evento. Quando esta permanecer acima do bissetor, curva  $> 45^\circ$ , a ocorrência da carga de lavagem fica evidenciada. Reciprocamente, a carga de lavagem não ocorre quando a curva permanecer abaixo do bissetor, curva  $< 45^\circ$ .

Estas curvas também indicam a ocorrência do fenômeno da carga de lavagem, onde a ocorrência do fenômeno tem sido amplamente definida como sendo a remoção inicial do material acumulado sobre a superfície, no



## 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

período entre chuvas, pelo escoamento superficial transportando-o para a rede de drenagem. Esta remoção de material produz um pico na concentração dos poluentes no início do escoamento superficial.

As figuras 3, 4, 5 e 6 expressam estas curvas para os parâmetros DBO<sub>5</sub>, coliformes totais, coliformes fecais e sólidos suspensos totais, respectivamente, para os eventos monitorados na bacia hidrográfica Cancela.

Os parâmetros DBO<sub>5</sub>, coliformes totais e fecais e sólidos suspensos totais apresentaram as curvas M(V) acima do bissetor, na maioria dos eventos, indicando que a carga poluente, transportada durante os eventos de precipitação, não foi distribuída uniformemente ao longo do volume escoado.

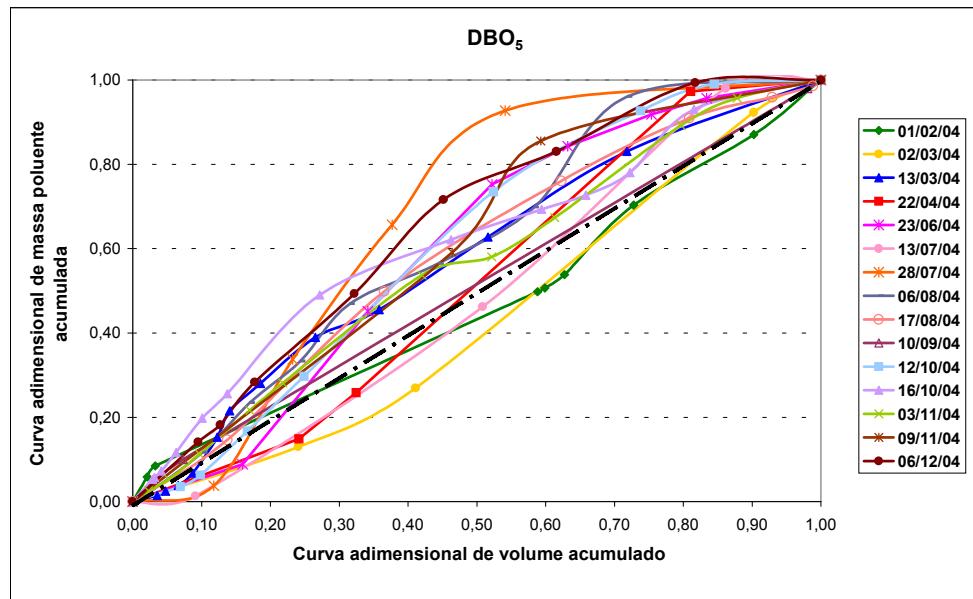


Figura 3: Curvas M(V) do parâmetro DBO<sub>5</sub> dos eventos analisados

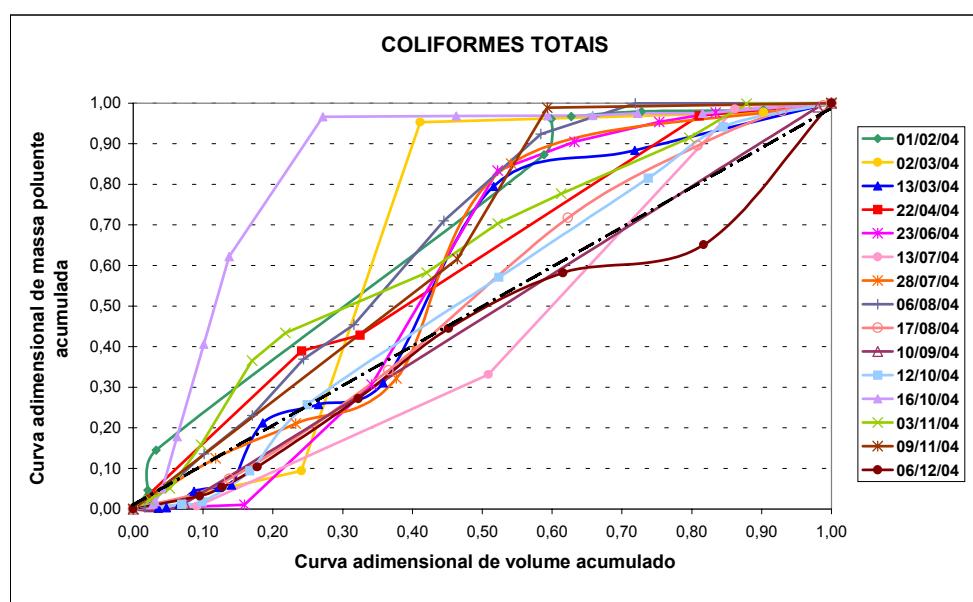
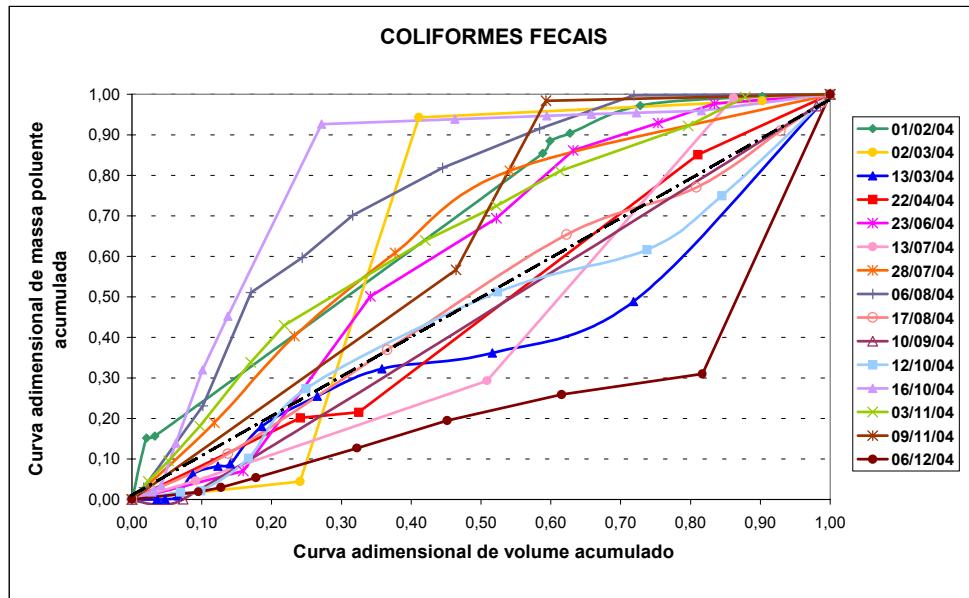
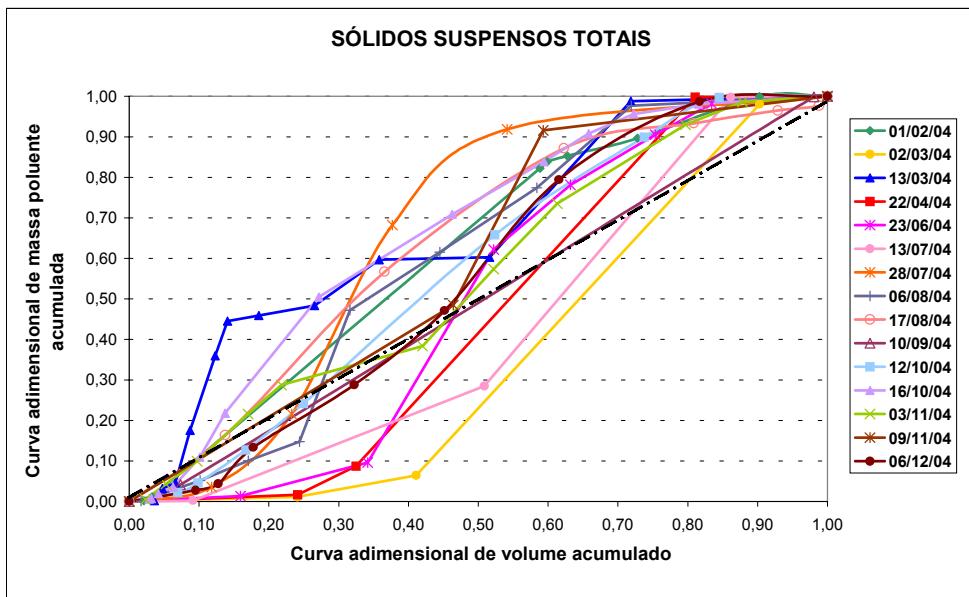


Figura 4: Curvas M(V) do parâmetro coliformes totais dos eventos analisados



**Figura 5:** Curvas M(V) do parâmetro coliformes fecais dos eventos analisados



**Figura 6:** Curvas M(V) do parâmetro sólidos suspensos totais dos eventos analisados

## ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Neste item são apresentados os resultados as características da água em tempo seco e durante os eventos de precipitação.

Analizando os valores das coletas de tempo seco, observou-se que quanto à demanda bioquímica de oxigênio,  $\text{DBO}_5$ , a concentração média dos valores observados foi de 32,9 mg/L, este valor elevado indica a contribuição de esgoto doméstico no corpo d'água. Os valores das concentrações médias dos eventos (CME) apresentaram aumento significativo em relação às concentrações de tempo seco, os quais apresentaram variação entre 20,25 a 244,38 mg/L. Observa-se a grande variabilidade entre as concentrações médias, sendo estas relacionadas com as características de cada evento de precipitação.

O resultado da análise bacteriológica, de tempo seco, indicou a alta contaminação da água de coliformes totais e fecais, onde suas contagens médias foram  $8,3 \times 10^6 \text{ NMP}/100\text{mL}$  e  $1,2 \times 10^6 \text{ NMP}/100\text{mL}$ , respectivamente.



## 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Durante os eventos de precipitação houve variação no número de coliformes totais entre  $3,6 \times 10^5$  e  $5,2 \times 10^7$  NMP/100mL, para coliformes fecais esta variação foi de  $1,2 \times 10^5$  e  $1,6 \times 10^7$  NMP/100mL. Observa-se que os coliformes totais e fecais, entre as coletas de tempo seco e úmido, permaneceram dentro de uma pequena faixa de variação, pois o lançamento de esgoto é independente da existência dos eventos de precipitação, logo o corpo d'água sofre alterações antes da contribuição do escoamento superficial.

O parâmetro sólidos suspensos totais apresentou concentração média de tempo seco de 59,8 mg/L. As concentrações médias dos eventos foram elevadas e variáveis entre os eventos, permanecendo entre 7,53 e 5.803,4 mg/L, estes valores elevados são explicados devido à tendência de desmoronamento observada nas margens do corpo d'água. As concentrações do parâmetro mostraram-se maiores à medida que aumentavam as características da precipitação.

Através das análises entre as concentrações médias, de tempo seco e dos eventos, observou-se a influência do escoamento superficial nas características de qualidade da água do corpo receptor.

### CARGA DIFUSA TRANSPORTADA PELO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A carga poluente transportada, pelo escoamento superficial na bacia hidrográfica Cancela, foi calculada diminuindo a carga de base em cada intervalo de tempo medido.

A tabela 1 apresenta os valores encontrados para a massa poluente total transportada para os parâmetros analisados, no período monitorado para a bacia analisada.

**Tabela 1 – Massa poluente total transportada pelo escoamento superficial, no período monitorado na Bacia Hidrográfica do Cancela.**

Parâmetro	DBO <sub>5</sub> (g)	Coliformes Totais (NMP)	Coliformes Fecais (NMP)	Sólidos Suspensos Totais (g)
Massa Total	$3,2 \times 10^{07}$	$3,7 \times 10^{12}$	$2,8 \times 10^{11}$	$6,8 \times 10^{08}$

Neste período foram desprezados apenas os eventos que produziram pequeno escoamento superficial, e os eventos que apresentaram vários picos sucessivos, com intervalos de tempo menores que um dia. Para eventos noturnos foram utilizados os dados obtidos através de amostradores de nível ascendente e descendente.

A massa poluente transportada nos eventos mostrou tendência a aumentar com a intensidade média do evento e com o total precipitado, não existindo correlação com o período de tempo seco antecedente ao evento.

Para o cálculo da carga difusa foi considerada a área da bacia de 4,95 km<sup>2</sup>, o período monitorado de 310 dias e a população da bacia, aproximadamente, 18.082 habitantes.

A tabela 2 expressa os valores para a carga difusa determinada na bacia para os parâmetros analisados em função da área da bacia e em função do número de habitantes.

**Tabela 2 - Carga difusa total transportada pelo escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Cancela.**

Parâmetro	função da área da bacia	função do número de habitantes
DBO <sub>5</sub>	75,06 kg/ha/ano	2,05 kg/hab/ano
Coliformes Totais	$8,9 \times 10^{12}$ organismos/ha/ano	$2,4 \times 10^{11}$ organismos/hab/ano
Coliformes Fecais	$6,5 \times 10^{11}$ organismos/ha/ano	$1,8 \times 10^{10}$ organismos/hab/ano
Sólidos Suspensos Totais	1685,8 kg/ha/ano	46,36 kg/hab/ano

Observou-se que estes valores estão fortemente relacionados ao tipo de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, pois as atividades desenvolvidas ou as cargas produzidas na superfície da bacia serão transportadas para o corpo receptor durante os eventos de precipitação pelo escoamento superficial.



## 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

### CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a qualidade da água na Bacia Hidrográfica Cancela, através de coletas em tempo seco, na ausência de chuva, e em tempo úmido, na presença de chuva, proporcionando, desta forma, analisar a carga poluente gerada pelo escoamento superficial urbano, através dos parâmetros de DBO, Coliformes Totais e Fecais e Sólidos Suspensos Totais.

Os resultados mostram uma maior contaminação das águas em termos de conteúdo orgânico durante os eventos de precipitação que nos períodos de tempo seco, sendo explicado pela lavagem do solo provocada pelo escoamento superficial. A carga poluente da drenagem urbana de DBO foi 75,06 kg/ha/ano.

Na análise do conteúdo bacteriológico, foi observada elevada contaminação de coliformes totais e fecais, mesmo durante o período de tempo seco sem a contribuição do escoamento superficial, pois a bacia sobre constantemente com o lançamento de esgoto doméstico, portanto não houve uma variação significativa para o parâmetro. A carga poluente para coliformes totais foi  $8,9 \times 10^{12}$  organismos/ha/ano e para coliformes fecais foi  $6,5 \times 10^{11}$  organismos/ha/ano.

O parâmetro sólidos suspensos totais apresentou elevadas variações entre as concentrações de tempo seco e durante os eventos, justificadas pela tendência de desmoronamentos apresentadas junto a seção de amostragem durante os eventos de precipitação. A carga de sólidos suspensos totais na bacia foi 1685,8 kg/ha/ano.

Observou-se um aumento da carga poluente transportada com a intensidade média dos eventos e com o total precipitado, no entanto, não foi observada nenhuma correlação com o período de tempo seco antecedente ao evento.

Os valores obtidos apresentam-se bastante elevados, caracterizando os altos índices de poluentes veiculados pelas redes de drenagem urbana, as quais constituem uma das principais fontes de degradação dos corpos de água.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. LEE, J. H.; BANG, K. W. Characterization of urban stormwater Runoff. Water Resource. Vol. 34, nº. 6, pp. 1773-1780, 2000.
2. PORTO, M.F.A. Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. In: TUCCI,C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995, V.5, p.387-414.
3. NOVOTNY, V. Diffusive Pollution From Agriculture – A Worldwide Outlook. Water Science and Technology, v. 39, n. 3, p. 1-13, 1999.
4. CHOE, J.S.; BANG, K.W.; LEE, J.H. Characterization of SurfaceRunof in Urban Areas. Water Science and Technology, v.45, n. 9, p. 249-254, 2002.
5. LINE, D.E.; WHITE, N.M.; OSMOND, D.L.; JENNINGS, G.D.; MOJONNIER, C.B. Pollutant Export from Various Land Uses in the Upper Neuse River Basin. Water Environment Research, v. 74, n. 1, p. 100-108, 2002.