

# ANÁLISE DE DESCARGAS ACIDENTAIS NO RESERVATÓRIO DE SALTO CAXIAS

Andréa Dalla Nora<sup>1</sup> & Maurício Dziedzic<sup>2</sup>

**Resumo** - A possibilidade de uma massa poluente ser derramada acidentalmente em um corpo de água a montante de uma tomada de água é um problema que deve ser levado em conta no planejamento da operação de reservatórios. No presente estudo desenvolveu-se um modelo matemático-computacional para prever o transporte de uma massa poluente acidentalmente derramada na bacia hidrográfica do rio Iguaçu, na região da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, fornecendo como resultados curvas de resposta do poluente no corpo de água, na forma de tempos de percurso e concentração. O modelo é baseado em um método empírico de estimativa do comportamento de poluentes, que necessita de poucos dados. Para o rio Iguaçu, o modelo é implementado juntamente com o método analítico do modelo de dispersão Fickiana. Como resultado final, é fornecida a envoltória das curvas de resposta obtidas pelos dois métodos. Apresenta-se no final deste artigo dois exemplos da utilização do modelo na região em estudo.

**Abstract** - The possibility of a pollutant being accidentally spilled upstream of a water intake poses a difficult problem in the planning and operation of reservoirs. In the present study, a computational model was developed to predict the transport of an accidentally spilled pollutant on the Iguaçu River basin, in the region of the Salto Caxias Hydro Plant. Results are given in terms of travel time and concentration. The model is based on an empirical method for estimating pollutant behaviour, which does not require extensive data. The analytical Fickian dispersion model is also applied, and the final result of analysis for a given problem is presented as an envelope of all response curves obtained with the two methods. Finally, two short examples of model application in the region of interest are presented.

---

<sup>1</sup> Engenheira Civil da RDR Consultores Associados Ltda.

Av. Visconde de Guarapuava, 45. Curitiba-PR. Tel: (41) 362-1057. E-mail: dallanora@terra.com.br.

<sup>2</sup> Coordenador do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Positivo - UnicenP

Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300. Curitiba-PR. Tel (41) 317-3036. E-mail: dziedzic@unicenp.br.

**PALAVRAS-CHAVE** - mistura em rio, reservatórios, dispersão, descargas acidentais.

## **INTRODUÇÃO**

Muitos dos problemas ambientais estão relacionados a derramamentos de massas poluentes em corpos hídricos. Os derramamentos geralmente ocorrem de forma acidental, provocando a este meio, e àqueles interrelacionados, danos de difícil e morosa recuperação. Por esta razão, a possibilidade de uma massa poluente ser derramada acidentalmente em um corpo de água a montante de uma tomada de água é um problema que deve ser levado em conta no planejamento da operação de reservatórios.

Na região de implantação da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, essas massas poluentes, em sua maioria, têm maior probabilidade de serem oriundas de indústrias, transporte rodoviário e transporte ferroviário.

O derramamento acidental do poluente pode ser diretamente no corpo hídrico ou no solo, próximo às margens do rio, onde, por percolação ou por carreamento pela água da chuva, o poluente é transportado até o rio. É necessário, para tanto, o conhecimento do transporte destes poluentes no corpo receptor, como por exemplo a sua taxa de diluição e o seu tempo de percurso ao longo do escoamento, podendo, assim, apontar alternativas de minimização da ação destes poluentes no corpo hídrico.

Uma previsão de transporte de poluentes derramados acidentalmente em rios pode ser feita através de modelos numéricos. Existem hoje excelentes modelos disponíveis para estimar tempos de percurso e dispersão de poluentes ao longo do escoamento de um rio e todos necessitam de calibração e verificação das características do rio a ser modelado antes de sua utilização para que sejam adaptados aos locais analisados. Porém, as informações necessárias para a calibração, como a geometria detalhada do rio, informações hidráulicas e coeficientes de resistência ao escoamento, geralmente não estão disponíveis.

Estudos específicos de tempos de percurso e de determinação de coeficientes de dispersão longitudinal na região de interesse seriam mais adequados e subsidiariam os modelos computacionais, porém a realização destes estudos de campo é bastante onerosa, em função dos equipamentos, dos materiais e mão de obra necessários, inviabilizando, muitas vezes, a metodologia. Deste modo, modelos matemáticos desenvolvidos para determinadas regiões, baseados na equação de transporte por difusão/advecção, são largamente utilizados para simular o comportamento de corpos hídricos que possuam características semelhantes a essas regiões.

Os modelos matemáticos-computacionais são ferramentas cada vez mais utilizadas na análise e na previsão do comportamento de poluentes derramados em corpos hídricos. A informação

rapidamente obtida destes modelos agiliza o atendimento e contenção destas substâncias poluentes de maneira a minimizar sua ação no meio ambiente.

## **OBJETIVO**

O objetivo do estudo foi analisar a ocorrência a dispersão de descargas acidentais na região do reservatório da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, utilizando um modelo matemático-computacional baseado em um método de estimativa do comportamento de um poluente no rio, com poucos dados.

A base conceitual do método foi desenvolvida por Jobson (1996), que compilou um grande número de estudos de tempos de percurso e de dispersão, gerando relações com boa aplicabilidade.

O modelo computacional desenvolvido (Dalla Nora, 2001) baseia-se nas relações e conceitos propostos por Jobson (1996) e nas equações de transporte, características dos processos de dispersão. O modelo fornece uma estimativa do comportamento de um poluente acidentalmente derramado em um determinado ponto do rio até um ponto desejado, a partir de poucos dados hidráulicos e geométricos do rio em estudo. Como resposta o modelo fornece valores de tempos de percurso, concentração e permanência do poluente no local analisado.

## **LOCALIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO DA UHE SALTO CAXIAS**

A UHE Salto Caxias está localizada no rio Iguaçu, na região sudoeste do Estado do Paraná, a aproximadamente 482 km de Curitiba, na divisa dos municípios de Capitão Leônidas Marques e Nova Prata do Iguaçu, nas coordenadas 25° 32' 35" S e 53° 29' 43" W. Dista cerca de 204 km da foz do rio Iguaçu.

O rio Iguaçu, um dos maiores afluentes do rio Paraná, tem suas nascentes nas proximidades de Curitiba e sua bacia desenvolve-se basicamente no sentido Leste-Oeste. Drena uma área de 67.300 km<sup>2</sup> até Salto Cataratas, próximo à sua foz, em um percurso de aproximadamente 1.100 km de extensão.

Os principais afluentes do rio Iguaçu que são parcialmente inundados pelo reservatório são os rios Tormenta, Adelaide e Guarani na margem direita e Jaracatiá e Chopim na margem esquerda.

Os municípios cujos territórios foram afetados pelo reservatório são: Capitão Leônidas Marques, Boa Vista da Aparecida, Três Barras do Paraná e Quedas do Iguaçu, na margem direita, e Nova Prata do Iguaçu, Salto do Lontra, Boa Esperança do Iguaçu, Cruzeiro do Iguaçu e São Jorge do Oeste, na margem esquerda.

Os efeitos da ocupação do solo desta área (esgoto doméstico, efluentes industriais, etc) são sentidos no rio Iguaçu, que é o receptor final de todas as cargas de poluição hídrica provenientes desta região.

## **TRANSPORTE DE CARGAS PERIGOSAS NA REGIÃO**

No estado do Paraná o principal meio de transporte de cargas é o rodoviário, seguido pelo ferroviário. Na região da Usina Hidrelétrica de Salto Caxias, trecho compreendido entre as cidades de Guarapuava e Cascavel, a linha férrea ali compreendida pertence à concessionária Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. – FERROESTE. O percurso de 249 km segue aproximadamente o mesmo traçado existente da rodovia BR-277, aproximando-se de diversos rios afluentes do rio Iguaçu.

Nas rodovias, o índice de acidentes envolvendo cargas perigosas é alto. Segundo estatísticas realizadas pela Coordenadoria estadual de Defesa Civil do Paraná, entre 1998 e 2001 aconteceram 220 acidentes em todo o estado, sendo que cerca de 25% destes ocorreram na região em estudo. Os principais produtos transportados são líquidos inflamáveis, gases, corrosivos químicos e substâncias tóxicas.

Apesar de não existir ocorrência de nenhum tipo de acidente de percurso na ferrovia desde o início da sua operação, o risco não pode ser descartado.

Com isso, os riscos ambientais existentes em acidentes rodoviários de cargas podem ser estendidos também ao transporte ferroviário que estão expostos, da mesma forma, a eventuais acidentes de percurso que possam resultar em sérios danos ambientais.

Da mesma forma as indústrias representam riscos ambientais em acidentes desta natureza. São geralmente instaladas em áreas próximas aos recursos hídricos, onde podem, com maior facilidade, aduzir grandes volumes de água para sua produção e despejar seus efluentes.

Os acidentes nas indústrias não ocorrem apenas no seu sistema de tratamento de efluentes, como, por exemplo, um colapso em seu sistema que venha a lançar diretamente no rio, quase instantaneamente, uma grande quantidade de efluente, mas também em todo o seu parque industrial. O risco de ocorrerem acidentes também existe em outras etapas de sua produção, seja pelo transporte de insumos ou combustíveis ou mesmo por uma má conservação dos equipamentos utilizados que possam provocar, por exemplo, o rompimento em alguma tubulação do seu sistema industrial, causando acidentes que da mesma forma possam resultar em derramamento de substâncias poluentes nos rios.

De acordo com o Instituto Ambiental do Paraná, IAP, na região da área de influência do reservatório de Salto Caxias, existem doze indústrias potencialmente poluidoras da água, que se

localizam em grande parte na bacia do rio Chopim. Estas indústrias possuem sistema de tratamento de efluentes líquidos e são, em sua maioria, indústrias de produção de alimentos.

## MODELAGEM

As relações empíricas desenvolvidas por Jobson (1996) e utilizadas neste estudo para prever o transporte de poluentes foram obtidas através de diversos estudos de tempos de percurso que representam as mais variadas condições de misturas em rios devido às diferentes características de cada rio em estudo. As relações desenvolvidas baseiam-se na teoria de difusão Fickiana e no conceito do pico de concentração.

De acordo com o modelo de dispersão de Fischer, o pico de concentração deve se atenuar com o tempo de acordo com a relação:

$$C_{up} \propto t^{-\beta} \quad (1)$$

onde  $C_{up}$  é o pico unitário de concentração,  $t$  é o tempo decorrido desde a injeção do poluente e  $\beta$  um coeficiente, função do tempo de dispersão. Valores maiores de  $\beta$  indicam que a mistura longitudinal acontece mais rapidamente e vice-versa.

Os dados obtidos em vários estudos de tempos de percurso e dispersão realizados, foram compilados e analisados por Jobson (1996), que definiu equações de previsão da velocidade do pico de concentração da nuvem de poluente, do tempo de percurso e pico unitário de concentração. A equação que prevê a velocidade do pico, em metros por segundo, baseada nesta análise, é:

$$V_p = 0,094 + 0,0143 \times (D'_a)^{0,919} \times (Q'_a)^{-0,469} \times S^{0,159} \times \frac{Q}{D_a} \quad (2)$$

Para a velocidade máxima provável, a equação é:

$$V_{mp} = 0,25 + 0,02 \times (D'_a)^{0,919} \times (Q'_a)^{-0,469} \times S^{0,159} \times \frac{Q}{D_a} \quad (3)$$

Estas são as equações mais completas e usadas quando se dispõe de todos os dados de entrada. Jobson definiu também equações de previsão da velocidade do pico de concentração para serem utilizadas quando não se dispõe dos valores da declividade do trecho em estudo e para ser utilizada quando se dispõem apenas de dados de áreas de drenagem e vazão do rio no momento do derramamento de poluente.  $D'_a$  e  $Q'_a$  são formas adimensionais da área de drenagem e vazão afluente, respectivamente.

O tempo de chegada do pico de concentração ( $T_p$ ), em horas, é calculado dividindo-se a velocidade do pico de concentração pelo comprimento do percurso. O tempo de chegada da nuvem de poluente ( $T_l$ ) é estimado em função do  $T_p$  pela seguinte relação:

$$T_l = 0,890 \times T_p \quad (4)$$

e o tempo de passagem da nuvem no local analisado é estimado em função do pico unitário de concentração que é definido como o tempo necessário para que a concentração no local atinja 10% do valor do pico de concentração e é estimado pela seguinte relação:

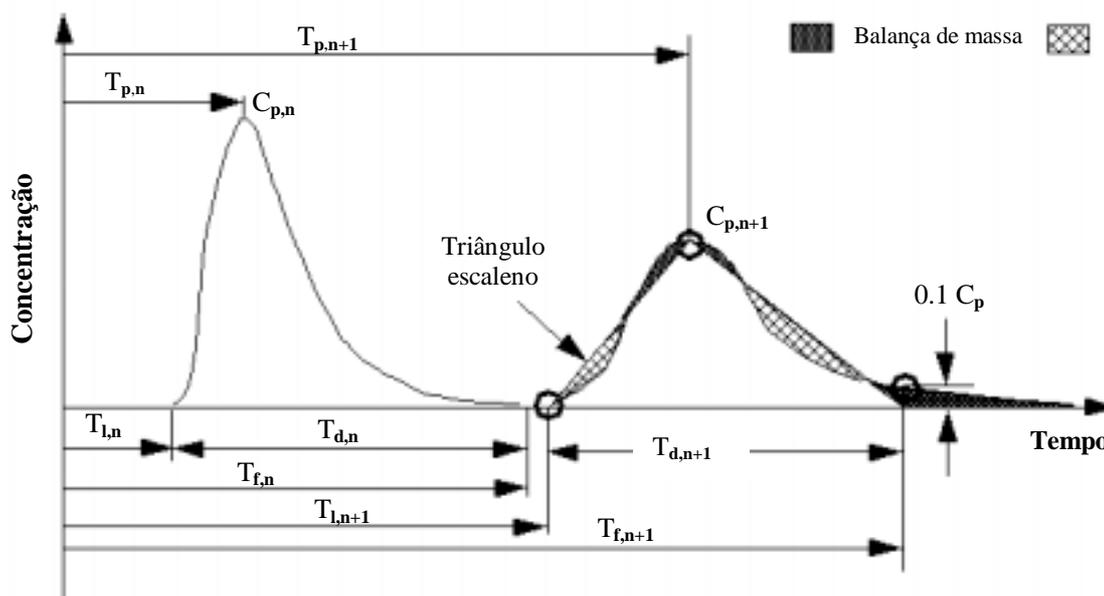
$$T_{10d} = \frac{2 \times 10^6}{C_{up}} \quad (5)$$

O método fornece, como resposta ao derramamento, valores médios e máximos do pico de concentração, da velocidade e do tempo de percurso.

Para o caso de situações acidentais, é recomendável trabalhar com valores de velocidades máximas, pois estas fornecerão os tempos mínimos e as mais altas concentrações. Não existindo medidas de vazões nos locais em estudo, utilizam-se dados de uma estação fluviométrica mais próxima e pela proporcionalidade em relação à área de drenagem obtêm-se as vazões nos pontos desejados. Foram também obtidas relações para a simulação do transporte de poluentes sem a utilização de dados de declividades do fundo do rio.

A análise considera ainda que as substâncias sejam solúveis e também que sejam conservativas, i. e., que sua massa total não varie com o tempo.

A maneira convencional de exibir a resposta de um rio a uma injeção de um traçador é relacionando a variação da concentração do traçador com o tempo decorrido desde o seu lançamento, denominada de curva de resposta do traçador. Esta relação geralmente é feita para várias seções transversais a jusante do lançamento, como ilustrado na figura 1.



**Figura 1** - Curvas de Resposta do Traçador Concentração x Tempo (Jobson, 1996)

Na figura 1, os símbolos utilizados são:

$T_l$  – Tempo para a nuvem do poluente chegar no local de análise;

$T_p$  – Tempo para o pico de concentração da nuvem de poluente chegar no local de análise;

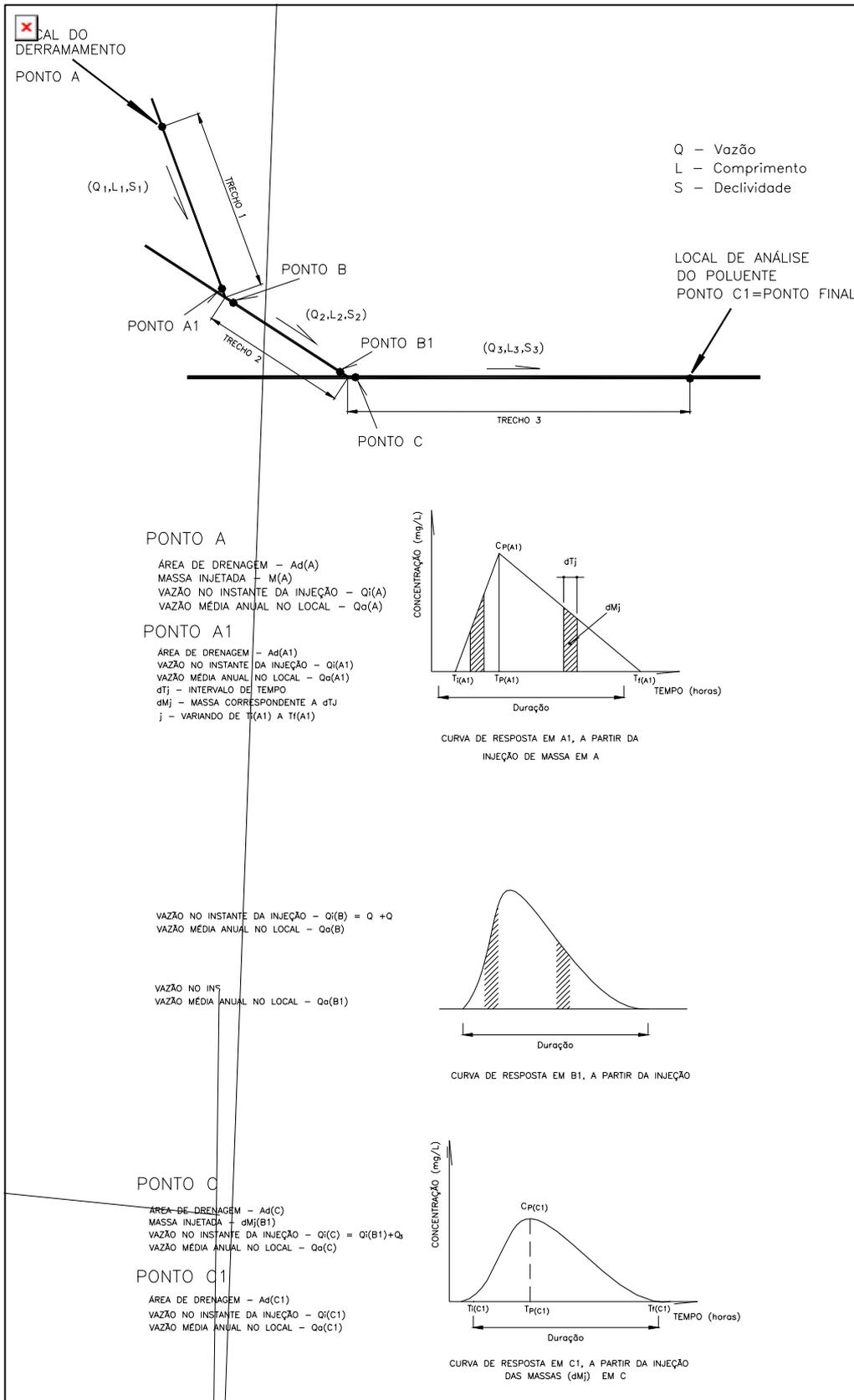
$T_f$  – Tempo para a nuvem toda passar pelo local de coleta da amostra;

$T_d$  – Duração da nuvem de poluente ( $T_t - T_l$ );

$C_p$  – Pico de concentração da nuvem de poluente;

$n$  – Número de locais de análise a jusante do lançamento

O modelo foi desenvolvido de maneira a fornecer respostas para derramamentos instantâneos de poluentes e para derramamentos variando ao longo do tempo, com a possibilidade de subdividir a extensão do rio analisado em trechos de iguais ou diferentes comprimentos. É recomendável que esta divisão seja feita conforme o número de afluentes existentes nesta extensão, pois as vazões nestes pontos aumentam consideravelmente e também a mistura torna-se mais eficiente, atenuando assim o pico de concentração. Se uma determinada extensão do rio for dividida em trechos, a resposta obtida do primeiro trecho será dado de entrada do trecho subsequente e assim sucessivamente, como mostrado no esquema da Figura 2, a seguir.



**Figura 2 – Esquema da Divisão em Trechos da Extensão Percorrida pelo Poluente**

Para a extensão do rio Iguaçu, na região em estudo, utilizou-se também o método analítico de dispersão fickiana para a previsão do transporte de poluentes, pois existem dados geométricos e hidráulicos para 29 seções ao longo de todo o percurso. Com o auxílio das equações de Manning, obteve-se relações para o cálculo da cota da seção em função da vazão fornecida pelo usuário, podendo-se, assim, determinar o coeficiente de dispersão, através da equação definida por Fischer e, na seqüência, aplicar a equação da concentração para o trecho do rio analisado.

Como resultado final, é fornecida a envoltória das curvas de resposta fornecidas pelos dois métodos.

O modelo foi desenvolvido na linguagem de programação Turbo Pascal™ versão 7.0 para ambiente Windows™ e com o auxílio gráfico do programa Microsoft Excel para definir algumas características geométricas das seções transversais do rio Iguaçu e para fornecer os gráficos resultantes da aplicação do modelo.

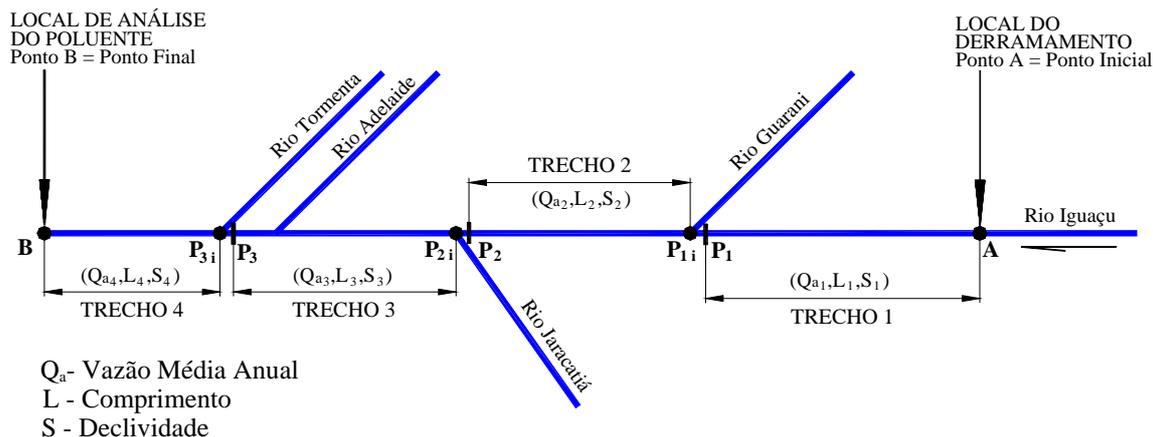
## **EXEMPLOS DE APLICAÇÃO**

Caso 1 - Acidente hipotético ocorrido na ponte da PR-473, sobre o rio Iguaçu, próximo ao município de Cruzeiro do Iguaçu, onde um caminhão tomba e derrama no rio uma quantidade equivalente a 12.000 kg de substância poluente.

A distância do local do acidente ao local da barragem de Salto Caxias, onde se deseja analisar a resposta do poluente, é de 80,8 km. Neste trecho existem quatro afluentes significativos, os rios Guarani, Jaracatiá, Tormenta e Adelaide, o que sugere a divisão do rio em trechos.

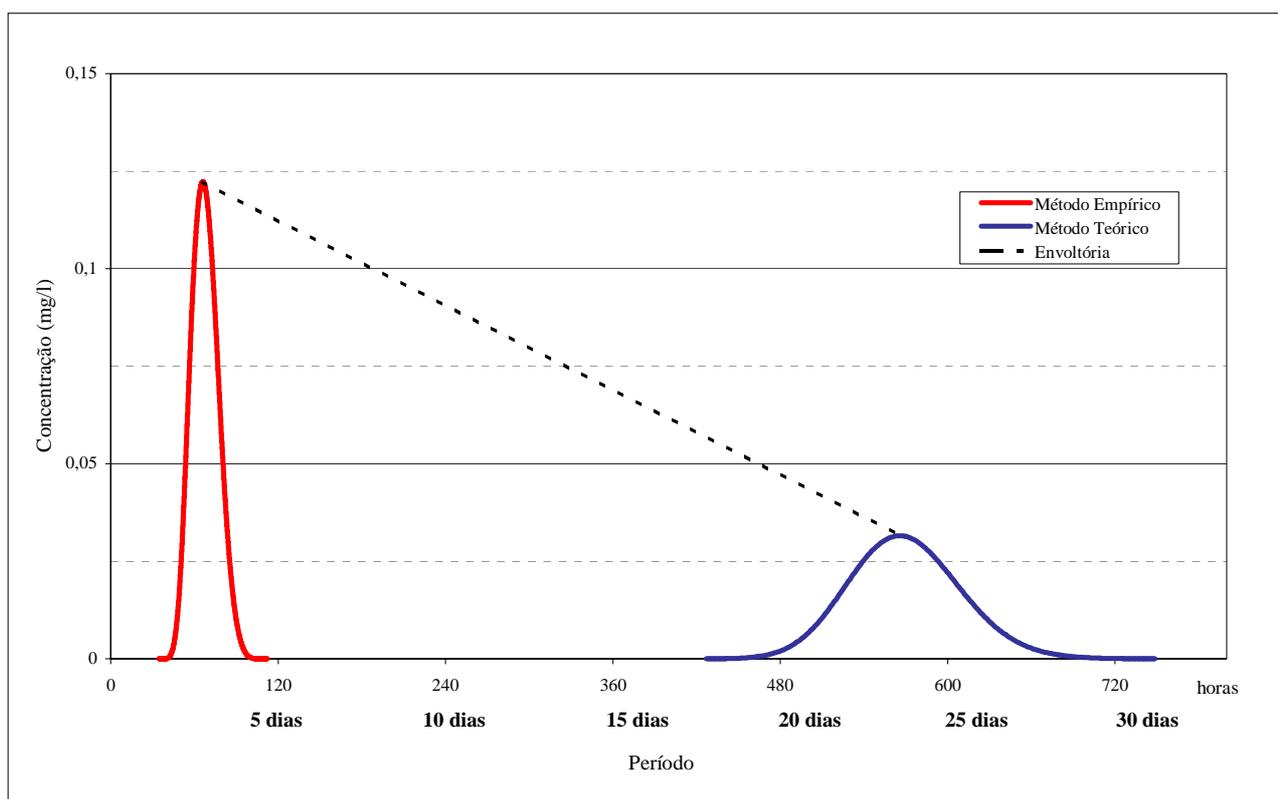
O nível de água normal do reservatório encontra-se na elevação 325,00 metros, a vazão no instante do derramamento, verificada na estação de medição localizada no local da barragem de Salto Caxias, é de 1.100 m<sup>3</sup>/s e a vazão média de longo período, verificada na seção da barragem, é de 1.246,00 m<sup>3</sup>/s.

A Figura 3 abaixo apresenta o esquema da divisão do rio em trechos.



**Figura 3** – Esquema da Divisão do Local Analisado em Trechos

Utilizando o modelo, o resultado obtido para os dois métodos aplicados está representado no gráfico da figura abaixo.



**Figura 4** – Gráfico do Tempo decorrido x Concentração de Poluente. Envoltória dos Dois Métodos Simulados (Local Analisado – Ponto B) para Valores Médios

A grande variabilidade dos valores para os dois métodos utilizados deve-se ao fato do modelo empírico ser aplicável para escoamentos onde o processo de dispersão longitudinal é predominante, sendo este resultante de inúmeros estudos de tempos de viagem e de dispersão em escoamento em

rios. O método teórico de dispersão de Fick considera a área média da seção transversal do rio, já considerando a cota de formação do reservatório, de 325 acima do nível do mar, assim como a profundidade média, resultando em baixas velocidades. Este método traduz melhor os processos de dispersão em reservatórios, onde os processos de mistura vertical e transversal são predominantes e o coeficiente de dispersão longitudinal é de menor magnitude.

Porém, em muitos casos, devido às características de projeto da barragem e tomada de água, verifica-se também a formação de um volume morto e de uma calha de escoamento com velocidades superiores à média. Esta calha é geralmente notada na linha do escoamento original do rio, no centro e próxima à superfície.

Nota-se, também, para o reservatório de Salto Caxias, que o escoamento se assemelha muito ao escoamento em rios, por possuir um tempo de residência baixo, próximo de 20 dias.

A envoltória, portanto, engloba um grande período considerando o resultado dos dois modelos e onde é grande a probabilidade de se detectar o poluente.

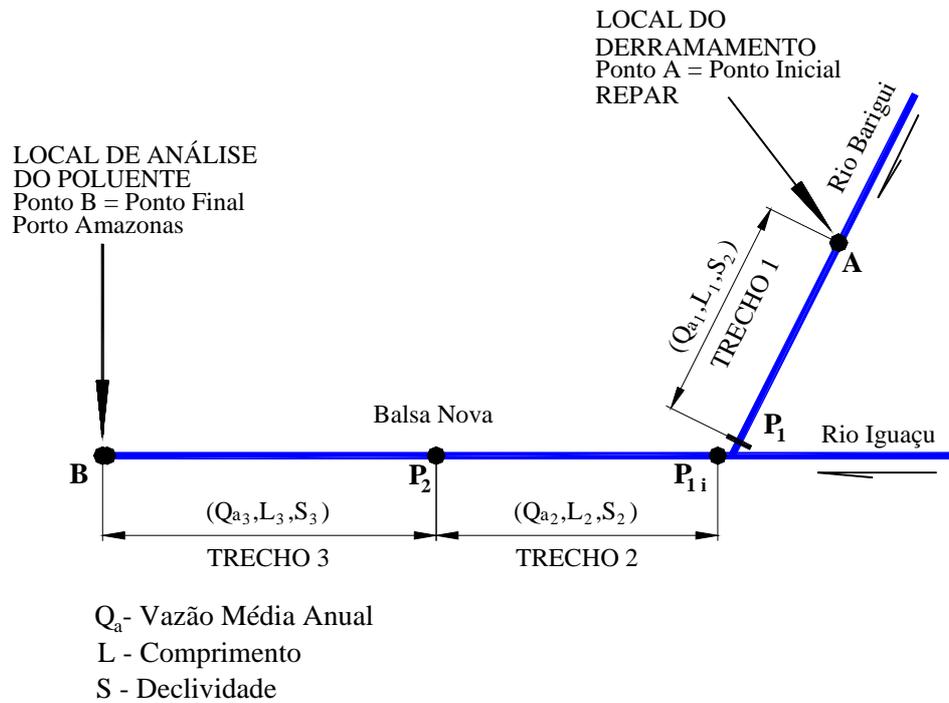
Todos os cálculos realizados no modelo assumem que não existem perdas da substância poluente no trecho estudado. As perdas podem ocorrer por reações químicas, volatilização, absorção pelo sedimento de fundo, ou outros processos.

Caso REPAR – O modelo foi aplicado para um caso real, ocorrido no dia 16 de julho de 2000, por volta da 13 horas. Foi um acidente industrial, no qual, da refinaria Presidente Getúlio Vargas, foram acidentalmente derramados aproximadamente 4 milhões de litros de óleo cru no leito do rio Barigui, afluente do rio Iguaçu, no município de Araucária, região metropolitana de Curitiba – PR.

Nos dias que sucederam o acidente foram realizados monitoramentos para a verificação de concentração de compostos orgânicos dissolvidos e óleos e graxas, de forma a verificar a potabilidade das águas do rio Iguaçu, em alguns locais a jusante do derramamento.

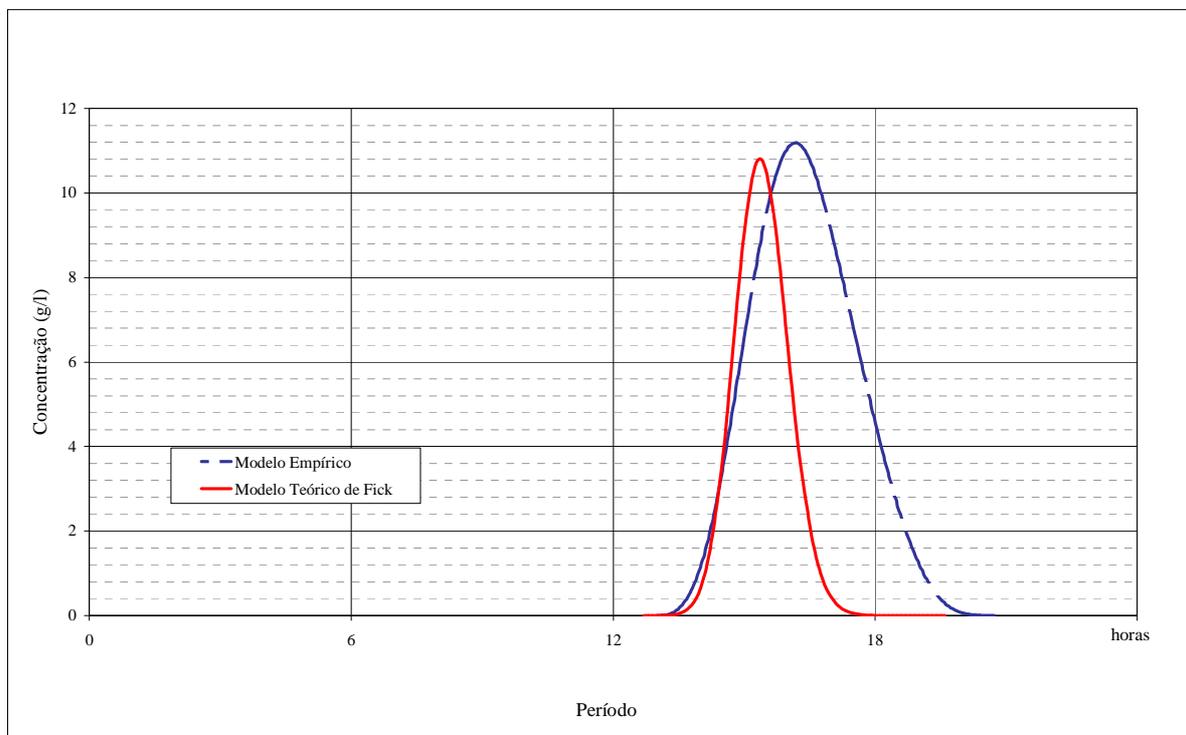
De forma a poder verificar a aplicabilidade do modelo empírico sugerido por Jobson, efetuaram-se simulações na região afetada, utilizando dados disponíveis para o local, que foram comparadas com os resultados do monitoramento realizado.

Um esquema da divisão do rio em trechos é apresentado na Figura 5 a seguir.



**Figura 5** - Esquema da Divisão do Local Analisado em Trechos - Caso REPAR

Utilizando o modelo, o resultado obtido para os dois métodos aplicados está representado no gráfico da figura abaixo.



**Figura 6** - Simulação Teórica x Simulação Empírica do Trecho entre a Foz do rio Barigui e Balsa Nova – Valores Máximos

Efetuada-se uma análise comparativa, concluiu-se que os valores resultantes da aplicação dos dois modelos, apresentam uma boa aproximação entre os resultados, principalmente para os valores máximos.

Comparando os resultados simulados com os verificados no local, existe uma diferença de, aproximadamente, um dia. Esta diferença pode ser dada em função do atraso para o início das campanhas de monitoramento, não se sabendo, portanto, o início da chegada da nuvem em Balsa Nova. Outro fator que pode justificar o atraso é a dispersão retardada do material causada pela retenção do óleo em reentrâncias e obstáculos ao longo do rio.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O modelo utilizado é de fácil aplicabilidade, necessitando como dados de entrada vazão e área de drenagem dos locais analisados e, quando disponível, a declividade do trecho em estudo. Apenas quando for utilizado o método teórico de dispersão como complementação do modelo, é necessária a entrada de dados geométricos, como, profundidade, área da seção transversal e largura das seções transversais, e também características de escoamento, como, coeficiente de rugosidade, velocidade de corte e velocidade do escoamento.

O programa é uma ferramenta de grande utilidade àqueles que administram os recursos hídricos nesta região. Acidentes que provoquem o carreamento de substâncias poluentes para o leito do rio, são problemas pertinentes que devem ser considerados em estudos de qualidade da água. Podendo-se estimar de uma forma rápida o comportamento de um poluente ao longo do rio, ações emergenciais podem ser melhor estudadas para que não comprometam a saúde pública e equipamentos que captam essa água.

Os resultados do modelo podem ser também de grande utilidade em casos onde é necessário o conhecimento de concentrações do material poluente que fica retido ao longo do percurso, bem como sua permanência no local analisado. Nestes casos pode-se determinar as reações químicas do poluente com o meio ambiente e quantificar os possíveis impactos negativos ao mesmo.

A comparação dos resultados do modelo com observações de campo no caso REPAR, mostra que, para rios, o modelo pode ser utilizado fornecendo resultados satisfatórios, em relação a tempos de percurso e em função das informações disponíveis.

Em função da inexistência de estudos de campo, de tempos de percurso e dispersão na região de estudo, fica difícil concluir acerca da eficiência do modelo no caso de dispersão em reservatórios. Neste caso o modelo empírico foi combinado com o modelo fickiano de dispersão, que, entretanto, apresenta resultados bastante divergentes.

Apenas a realização de estudos de campo de tempos de percurso e de dispersão pode lançar alguma luz sobre a precisão dos modelos e no caso do modelo fickiano inferir sobre a avaliação de grandeza do coeficiente de dispersão. Estes estudos permitiriam prever com uma maior confiabilidade a taxa de movimento e diluição dos poluentes eventualmente derramados no corpo hídrico.

Investigações de campo permitiriam, também, efetuar ajustes no modelo empírico para melhorar os resultados da modelagem dos aspectos hidrodinâmicos do reservatório de Salto Caxias.

Como recomendação, sugere-se a utilização de outros modelos de transporte de poluentes, gerando subsídios para comparação da eficácia dos modelos utilizados. Realização de estudos de campo de tempos de trânsito. Estes estudos complementariam as características de escoamento na região, fornecendo dados de mistura e tempos de trânsito, que ajudariam a prever com uma maior confiabilidade a taxa de movimento e diluição dos poluentes que podem ser derramados no corpo hídrico.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- DALLA NORA, A.. Análise de Descargas Acidentais no Reservatório de Salto Caxias. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil, 2001.
- DZIEDZIC, M.. Projeto HG-101 - Estudos de Qualidade da Água no Rio Iguaçu e no Reservatório do Aproveitamento Hidrelétrico de Salto Caxias: Relatório Parcial de Atividades n.º 01. Curitiba, Brasil, 1997.
- FISCHER, H. B., IMBERGER, Jörg, LIST, E. John, KOH, Robert C. Y., BROOKS, Norman H.. Mixing in Inland and Coastal Waters, Academic Press. Inc. California, USA, 1979.
- JOBSON, H. E.. "Prediction of Traveltime and Longitudinal Dispersion in Rivers and Streams." Water-Resources Investigations Rep. 96-4013, U.S. Geological Survey, 1996.
- JOBSON, H. E.. "Predicting Travel Time and Dispersion in Rivers and Streams." Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 123, No. 11, U.S. Geological Survey, 1997.
- LOYOLA e SILVA, M. H. N.. "Análise e Modelagem Numérica da Qualidade da Água em Rios". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 1998.
- RUTHERFORD, J.C.. River Mixing, John Wiley and Sons, England, 1994.
- USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO CAXIAS – Relatório de Impacto Ambiental, Consórcio Intertechne-Leme-Engevix-Esteio, Novembro, 1993.