

VI-024 – ANÁLISE DOS EFEITOS DE DESPEJOS ACIDENTAIS DE POLUENTES NA CAPTAÇÃO DE ÁGUA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA

Jacqueline Zardo Giori ⁽¹⁾

M.Sc. em Engenharia Civil na área de Meio Ambiente pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ.

José Otavio Goulart Pecly

D.Sc. em Engenharia Naval e Oceânica na área de Engenharia Costeira pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ.

José Paulo Soares de Azevedo

D.Sc., Professor Adjunto do Programa de Engenharia Civil - COPPE/UFRJ.

Felipe Ramos Barbosa

Mestrando do Programa de Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Centro de Tecnologia, Bloco B, Sala 101, Laboratório de Traçadores - Ilha do Fundão, CEP: 21941-914 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil - Telefone: (21) 2270-4799 - e-mail: jacquelinegiori@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo abordar a problemática do despejo acidental de poluentes e sua propagação em cursos d'água como consequência de acidentes durante o transporte rodoviário de produtos perigosos. Para isso, um modelo matemático de previsão que permite estimar a concentração do poluente no espaço e no tempo foi utilizado. O estudo foi desenvolvido como ferramenta de auxílio à tomada de decisões gerenciais com relação à captação de água pelos usuários compreendidos entre a estação elevatória de Santa Cecília, na bacia do rio Paraíba do Sul, e a montante da captação da Estação de Tratamento de Água do Guandu, na bacia do rio Guandu, a qual é responsável pelo abastecimento de cerca de 85% da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Os dados relativos às características de transporte e dispersão no trecho estudado foram obtidos a partir de ensaios *in situ* com o uso de traçadores fluorescentes. Os resultados do estudo indicaram, através da simulação de um cenário, os tempos de trânsito de um poluente conservativo em diferentes seções ao longo do trecho selecionado.

PALAVRAS-CHAVE: Despejo Acidental, Dispersão de Poluentes, Traçadores Fluorescentes.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo aumento da demanda devido ao crescimento populacional ou pela redução da oferta, especialmente pela poluição dos mananciais. Os riscos ambientais e de saúde associados a uma possível escassez de água são inúmeros e por isso tornou-se crescente a busca de novas fontes de abastecimento e medidas de controle da poluição. Nesse sentido, o gerenciamento dos recursos hídricos tem como objetivo principal garantir o suprimento de água em quantidade suficiente e qualidade satisfatória.

O lançamento de uma massa poluidora em corpos hídricos, independente de sua origem, compromete a qualidade das águas, resultando em prejuízos ao meio ambiente aquático, ao abastecimento da população, da agricultura e das indústrias. De acordo com GUSMÃO (2002), tão importante quanto o controle das fontes contínuas de poluição é o controle de fontes eventuais devido aos grandes danos ambientais que estas podem causar. Assim, destaca-se a poluição gerada por acidentes envolvendo o transporte terrestre de produtos perigosos já que os acidentes têm crescido continuamente. Como exemplo, no Estado do Rio de Janeiro, a atividade de transporte rodoviário de produtos perigosos foi responsável por aproximadamente 38% dos atendimentos a emergências realizados pelo Serviço de Operações em Emergências Ambientais (SOPEA/INEA) nos últimos anos (INEA, 2011).

O transporte rodoviário de produtos perigosos tem apresentado destaque em estudos relacionados aos impactos ambientais gerados por esta atividade, uma vez que não é possível prever exatamente onde será o ponto de

lançamento das substâncias poluidoras antes do acidente acontecer, o que atribui uma maior dificuldade ao gerenciamento dos riscos.

Assim, entender o comportamento de qualquer constituinte lançado no corpo hídrico exige a compreensão da hidrodinâmica do corpo receptor, permitindo a adoção de medidas emergenciais em menor tempo, em caso de acidentes e aumentando a possibilidade de sucesso em tais circunstâncias (AMARAL, 2009). Do mesmo modo, informações como a capacidade de transporte e dispersão de poluentes solúveis em cursos de águas naturais são importantes no planejamento preventivo de medidas que visam minimizar prejuízos à saúde pública e às atividades econômicas (BOYD, 2000; RIBEIRO, 2007).

Nesse sentido, a utilização de modelos numéricos na previsão de diversas situações envolvendo os recursos hídricos se constitui como uma ferramenta de apoio, visando auxiliar no planejamento, operação e gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que, possibilitam a realização de estudos sobre o comportamento dos corpos d'água. Como exemplo, podemos citar os modelos matemáticos de qualidade de água e transporte de poluentes, que consistem em prever o movimento dos poluentes ao longo de um rio, permitindo estimar variações temporais e espaciais de sua concentração. Tais modelos permitem antever e avaliar, para diferentes cenários, as alterações na qualidade das águas de um corpo receptor de descargas de poluentes e contaminantes (BÜGE, 1990; SCHNOOR, 1996; LIMA e GIORGETTI, 1997).

Segundo RIGO (1992), a validação ou utilização confiável desses modelos matemáticos vai além de uma aproximação puramente teórica e deve levar em consideração estudos *in situ* que procuram determinar as características de cada corpo hídrico como, por exemplo, a complexidade e diversidade dos escoamentos naturais, evitando as imprecisões decorrentes do uso de fórmulas empíricas.

Este trabalho baseia-se no uso da técnica de traçadores artificiais para determinação dos parâmetros de transporte e dispersão de substâncias em escoamentos naturais. Tal método é utilizado para verificar o comportamento hidrodinâmico de um determinado processo físico e químico num curso d'água, utilizando como recurso a injeção de uma substância conservativa no seu escoamento (BEHRENS, 2001; LIEBUNDGUT et al., 2009).

O presente trabalho contribui com estudos sobre o transporte e dispersão de poluentes, derramados nos acidentes em rodovias, como um instrumento de previsão de tempo de chegada e de concentração na captação de água dos usuários do rio Guandu, situados a montante da captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) do Guandu. Tal escolha deve-se ao fato que esse trecho constitui parte da área de influência da captação da ETA Guandu, a qual é responsável pelo abastecimento de cerca de 85% da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Para simular acidentes nesse trecho será utilizado o modelo de Taylor (1954) que permite estimar a concentração do poluente no espaço e no tempo.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para a aplicação da metodologia compreende um trecho com cerca de 83 km entre a estação elevatória de Santa Cecília, na Bacia do Rio Paraíba do Sul, e a captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu, situada na Bacia do rio Guandu (Figura 1). Esse trecho é de vital importância para o gerenciamento dos recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro, uma vez que está situado à montante da ETA do rio Guandu a qual é responsável pelo abastecimento de água local e de 85% da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) (ANA, 2006). Dessa forma, a ocorrência de acidentes com produtos perigosos nesse trecho afetaria não somente o abastecimento de água dos usuários ali instalados mas principalmente da RMRJ abastecida pela ETA Guandu.

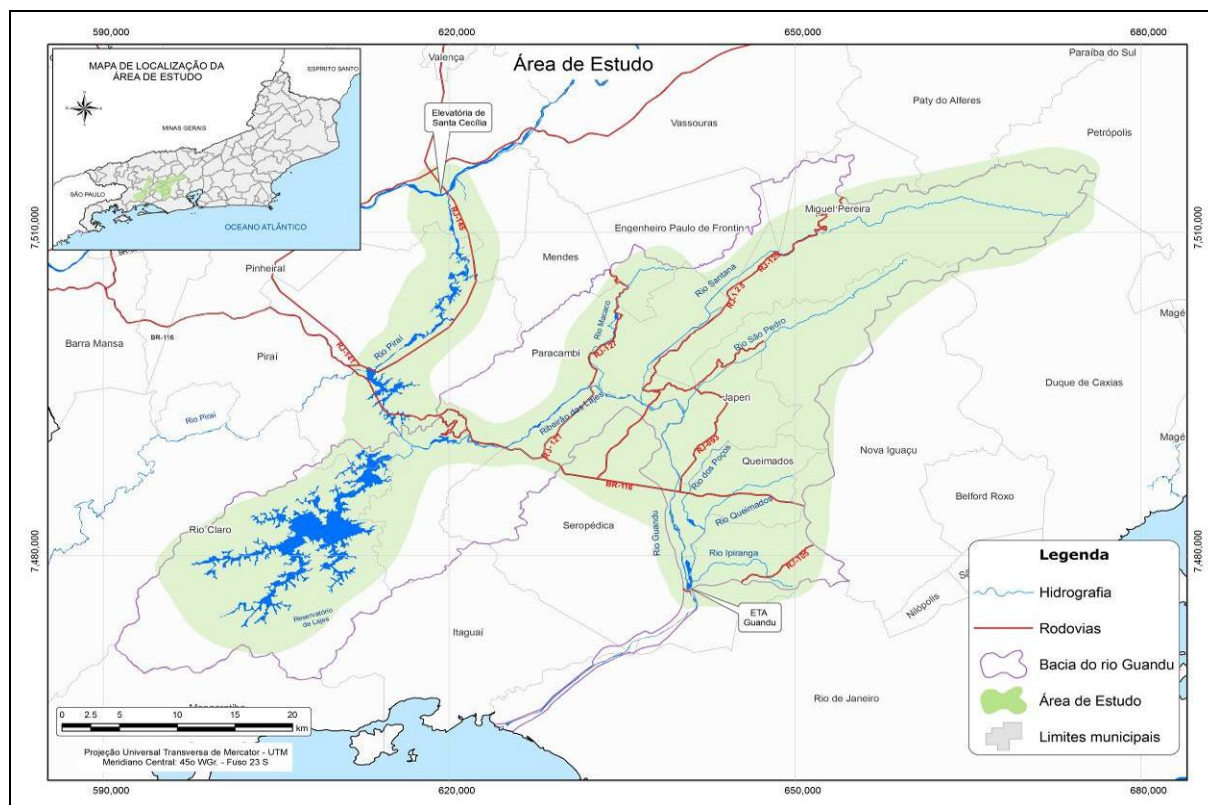


Figura 1 – Área de estudo selecionada.

A hidrografia considerada para a aplicação da metodologia representa a calha principal do trecho escolhido, a qual compreende:

- Reservatório de Santana, situado entre as estações elevatórias de Santa Cecília e de Vigário, criado sobre o rio Pirai, que desvia suas águas para o rio Guandu por meio dos reservatórios de Tocos e Santana, e que tem seu curso invertido pela elevatória de Vigário;
- Reservatório de Vigário, entre a estação de bombeamento de Vigário e o canal de adução de Vigário;
- Tubulações sob pressão das adutoras das usinas hidroelétricas de Nilo Peçanha e Fontes;
- Reservatório de Ponte Coberta; e
- Longo trecho de rio em condições naturais que alterna regimes fortemente turbulentos e tranquilos, ou seja, Ribeirão das Lajes a jusante da Usina Hidrelétrica de Pereira Passos e rio Guandu até a ETA Guandu.

O rio Guandu é o principal manancial desse trecho e recebe as águas dos rios e córregos dos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Guandu bem como as águas transpostas do rio Paraíba do Sul, em Barra do Pirai, e do rio Pirai, no município de Pirai.

Nesse trecho, escolhido como unidade de estudo, há uma série de rodovias estaduais e federais que interceptam os corpos d'água a serem estudados. A partir de uma seleção inicial, as rodovias consideradas no presente estudo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Rodovias e rios considerados na área de estudo.

Rodovia	Rios relacionados
RJ - 125	Rios Guandu e Santana
RJ - 093	Rio São Pedro
RJ - 127	Rio dos Macacos
	Ribeirão das Lajes
RJ - 145	Rio Pirai e Rio Paraíba do Sul
RJ - 105	Rio Ipiranga
BR - 116	Rio Queimados, Rio Guandu, Rio dos Poços e Ribeirão das Lajes

Uma vez delimitada a área de estudo, foram definidos os pontos críticos de despejo acidental considerados como aqueles localizados nas rodovias que interceptam o corpo hídrico principal ou seus afluentes, uma vez que esses podem ser atingidos mais rapidamente caso ocorra algum acidente envolvendo o transporte de substâncias perigosas nas rodovias consideradas neste trabalho. Do mesmo modo, os pontos de captação foram considerados como sendo as unidades que utilizam a água do corpo hídrico para o abastecimento e/ou beneficiamento de produtos, como as estações de tratamento de água e indústrias existentes ao longo do trecho em estudo.

MODELO DE CÁLCULO UTILIZADO

Neste estudo, o cálculo do transporte e da dispersão do poluente foi realizado através do modelo de Taylor, conforme representado pela equação (1). O modelo é obtido a partir da solução da equação de transporte advectivo-dispersivo para o caso unidimensional e prediz que a distribuição de concentração com a distância em um dado tempo segue uma forma gaussiana (RUTHERFORD, 1994) expressa por

$$C(x,t) = \frac{M_{inj}}{S\sqrt{4\pi D_L t}} \exp\left(-\frac{(x-Ut)^2}{4D_L t}\right) \quad \text{equação (1)}$$

onde:

C - concentração do constituinte (M/L³);

M_{inj} - massa de constituinte injetada (M);

S - seção transversal do escoamento (L²);

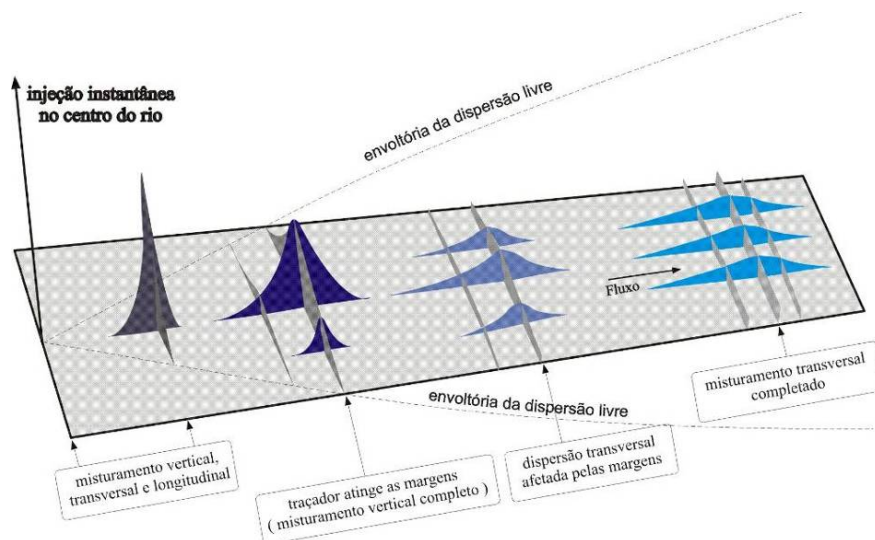
D_L - coeficiente de dispersão longitudinal (L²/T);

x - distância entre o local de injeção e a seção de medição (L);

U - velocidade média entre o local de injeção e a seção de medição (L/T).

Embora derivada originalmente para escoamentos permanentes e uniformes, a equação (1) tem ampla utilização em escoamentos naturais onde a hipótese de seção constante dificilmente se cumpre. O uso da fórmula de Taylor é justificado ainda pela sua simplicidade e pelos bons resultados obtidos, sob o ponto de vista de engenharia, no que se refere ao ajuste de uma solução analítica aos dados experimentais obtidos *in situ* (FISHER, 1979).

Vale ressaltar que a fórmula de Taylor permite determinar a concentração da substância lançada de modo instantâneo, em uma dada seção, ao longo do tempo a partir da estimativa dos parâmetros de transporte e dispersão de poluentes através do ajuste das curvas de traçador determinadas *in situ* e a curva gerada por essa equação. No entanto, possui algumas restrições para ser aplicada, uma vez que apresenta uma simplificação do que ocorre na natureza. De acordo com TAYLOR (1954) para a validade da equação, supõe-se que o coeficiente de dispersão se mantém constante, fato que só ocorre caso o traçador tenha percorrido uma distância considerável desde o ponto de injeção, denominada distância de boa mistura, para que ocorra a completa diluição do poluente por toda a seção transversal em estudo. Portanto, o ponto de análise deve localizar-se a uma distância suficientemente a jusante do ponto de injeção para que ocorra a mistura completa do poluente com o escoamento. A Figura 2 é uma representação esquemática dessa condição indicada pela mistura vertical e transversal completa.



Fonte: Adaptado de HUBBARD, et al. (1982).

Figura 2 - Representação esquemática do processo de mistura em rios e da distância de boa mistura.

Além disso, deve ser aplicado à substâncias solúveis e conservativas, ou seja, substâncias com capacidade de serem diluídas ou assimiladas pelo corpo d'água e que não sofrem degradação no ambiente aquático. Os traçadores utilizados nas campanhas de campo são por suposição conservativos e, assim, não sofrem decaimento ao longo do tempo.

USO DE TRAÇADORES NA CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO

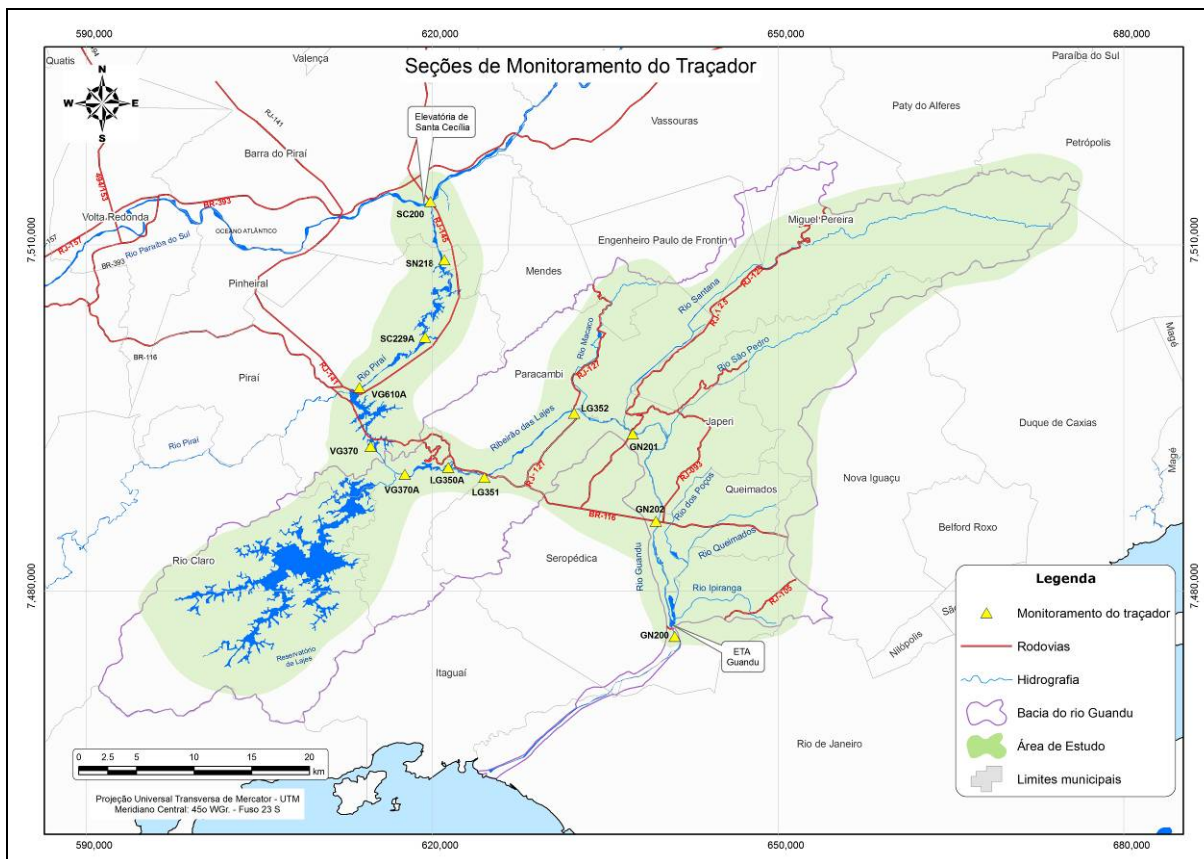
Na área delimitada como unidade de estudo, foi realizado no período entre 26/02/91 e 01/03/91 o ensaio de campo com traçadores para a determinação *in situ* dos parâmetros de transporte e dispersão utilizando traçadores fluorescentes. O ensaio foi realizado pelo pessoal técnico do Laboratório de Traçadores (LT) da Área de Recursos Hídricos do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ sendo os dados disponibilizados para este estudo.

Devido a sua extensão, o trecho foi dividido em 4 subtrechos para a realização do ensaio. As injeções de traçador foram realizadas na seção montante de cada um desses subtrechos, ao longo dos quais foram estabelecidas várias seções de monitoramento. Procurou-se coincidir as seções desse ensaio com as seções de monitoramento de qualidade de água utilizadas pela FEEMA (atualmente INEA). A Tabela 2 apresenta as características dos locais de injeção e monitoramento cuja localização está indicada na Figura 3.

Tabela 2 - Distâncias entre as seções de injeção e monitoramento.

Seção	Distância à seção anterior (km)	Distância à Sta. Cecília (km)	Localização
0	0,0	0,0	Tomada d'água da Usina Elevatória de Santa Cecília (Barra do Piraí)
1	5,8	5,8	Final do Canal de Santa Cecília (Barra do Piraí)
2	10,3	16,1	Meio do Reservatório de Santana entre Barra do Piraí e Piraí
3	8,0	24,1	Tomada d'água da Usina Elevatória Vigário (Piraí)
4	7,5	31,6	Canal de adução de Vigário (Piraí)
5	1,8	33,4	Canal de fuga da Usina Hidrelétrica de Nilo Peçanha
6	4,7	38,1	Canal de fuga da Usina Hidrelétrica de Pereira Passos
7	5,8	43,9	Ponte na Via Dutra sobre o Ribeirão das Lages
8	9,5	53,4	Ponte sobre o Ribeirão das Lages em Paracambi
9	6,1	59,5	Ponte sobre o rio Guandu em Japeri
10	13,0	72,5	Ponte na Via Dutra sobre o rio Guandu
11	10,1	82,6	ETA do rio Guandu (CEDAE)

Fonte: COPPETEC (1991).



Fonte: Adaptado de COPPETEC (2003).

Figura 3 – Localização das seções de monitoramento de traçador na primeira campanha.

O corante fluorescente utilizado foi a Fluoresceína Sódica ou Uranina e as injeções ocorreram sempre de forma instantânea. A Tabela 3 apresenta os dados relativos à injeção do traçador.

Tabela 3 - Dados relativos a injeção do traçador fluorescente.

Nº	Seção de Injeção	Subtrecho	Data/Hora da Injeção	Traçador	Massa (kg)
1	SC 200	Reservatório de Santana	28/02/1991- 9:00h	Uranina	3,0
2	VG 610 A	Reservatório de Vigário	27/02/1991- 8:05h	Uranina	14,8
3	VG 370	Reservatório de Ponte Coberta	26/02/1991- 9:10h	Uranina	15,0
4	LG 350A	Ribeirão das Lajes e Guandu	26/02/1991- 8:20h	Uranina	2,8

Fonte: COPPETEC (1991).

RESULTADOS

Para prever o tempo de trânsito da nuvem de poluentes a partir de um despejo acidental, bem como apresentar graficamente a distribuição temporal da concentração de poluentes, em um determinado local, a jusante do ponto do seu lançamento, foi proposto um cenário de simulação como consequência de acidentes com produtos perigosos ocorridos nas rodovias selecionadas no presente estudo.

O cenário foi desenvolvido visando determinar o tempo envolvido em um acidente que atingirá todo o sistema fluvial em análise, ou seja, um lançamento de poluente em Santa Cecília com observações passando pelo sistema Guandu até a ETA Guandu.

Foi considerado, para este cenário, um lançamento instantâneo de massa unitária (massa = 1 kg), com o objetivo de representar a resposta impulsional das seções de monitoramento do traçador, ou seja, o resultado do ensaio com traçador no trecho estudado. Para isso foi realizada a normalização das curvas de passagem do

traçador, definida pela divisão da concentração $C(t)$ pela área da curva de passagem (isto é, área sob a curva C versus t).

Os tempos de início e fim da curva de passagem do poluente simulado foram considerados como sendo os tempos associados às curvas que representavam valores superiores a $0,01 \text{ mg/m}^3$ da concentração na seção considerada. Os parâmetros de transporte e dispersão no trecho de curso d'água selecionado utilizados como parâmetros de entrada no modelo de Taylor, foram determinados por ensaios com traçadores realizados pelo Laboratório de Traçadores da COPPE/UFRJ já detalhados anteriormente (COPPETEC, 2003). A síntese desses parâmetros determinados no ensaio com traçadores para as seções monitoradas ao longo de todo o trecho em estudo é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Síntese dos resultados obtidos no ensaio com traçadores.

Subtrecho	Seção	Distância da seção de injeção (km)	Parâmetros	
			U (m/s)	D_L (m ² /s)
Reservatório de Santana	SN-218	5,8	2,52	40
	SC-229A	16,1	0,74	44
	VG-610A	24,1	0,69	50
Reservatório de Vigário	VG-370	8,0	0,08	11
Reservatório de Ponte Coberta	VG-370A	1,8	1,50	7
	LG-350A	6,5	0,09	40
Ribeirão das Lajes e Rio Guandu	LG-351	5,8	0,92	44
	LG-352	15,3	0,94	53
	GN-201	21,4	0,89	57
	GN-202	34,4	0,80	64
	GN-200	44,5	0,70	65

Fonte: COPPETEC (1991)

Vale ressaltar que os valores de vazões líquidas, velocidade média do escoamento e coeficiente de dispersão longitudinal, medidos através do emprego do traçador fluorescente, são valores médios representativos entre o local de injeção e a seção em questão, não devendo ser confundidos com os valores médios correspondentes a uma dada seção de monitoramento.

Com o objetivo de determinar o comportamento das curvas de passagem do traçador, considerando uma única injeção para todo o trecho, foi aplicada a técnica da convolução nas curvas medidas e normalizadas em cada subtrecho.

Nessas condições, de injeção instantânea de um poluente conservativo de massa unitária (massa = 1 kg), as curvas de passagem para as diferentes seções situadas a jusante do ponto de lançamento estão indicadas na Figura 4, as quais foram ajustadas a partir dos ensaios de campo. Na Figura 5 e na Figura 6 as curvas de passagem estão indicadas separadamente para melhor visualização.

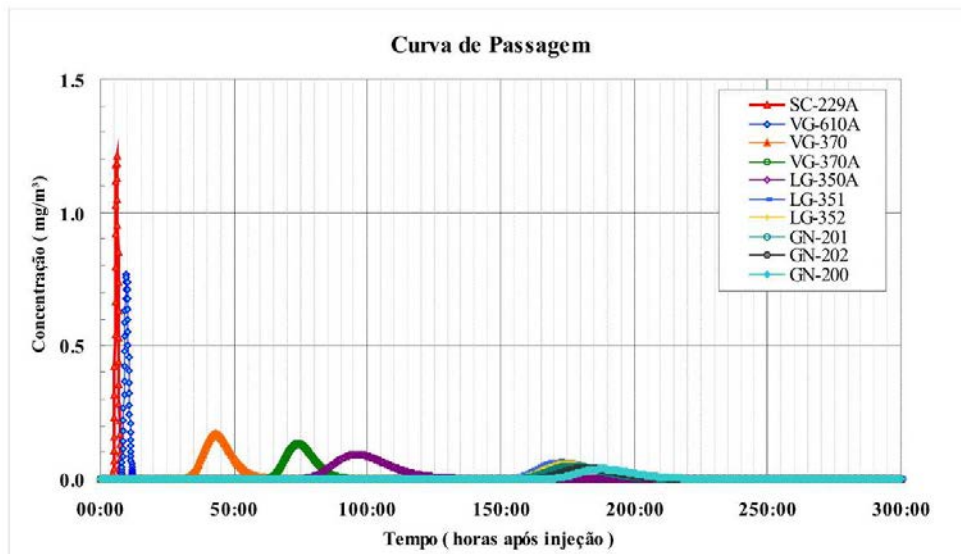


Figura 3 - Curvas de passagem do poluente nas seções de monitoramento em todo o trecho.

Foi considerado nesse cenário o lançamento do poluente próximo da estação elevatória de Santa Cecília localizada a 82,6 km da captação da ETA Guandu. Contudo a primeira seção de monitoramento (SN-218) localizada a 5,8 km da seção de injeção foi desconsiderada, pois não foi avaliado se nessa distância já havia ocorrido à mistura transversal completa do traçador no corpo hídrico, condição necessária para a aplicação do modelo utilizado na determinação dos parâmetros de transporte e dispersão.

As curvas apresentadas na Figura 4 representam as seções de monitoramento denominadas SC-229 A e VG-610 A, situadas no Reservatório de Santana entre Barra do Pirai e Pirai, e na tomada d'água da Usina Elevatória de Vigário em Pirai, localizadas a 16,1 km e 24,1 km do ponto de lançamento do poluente, respectivamente.

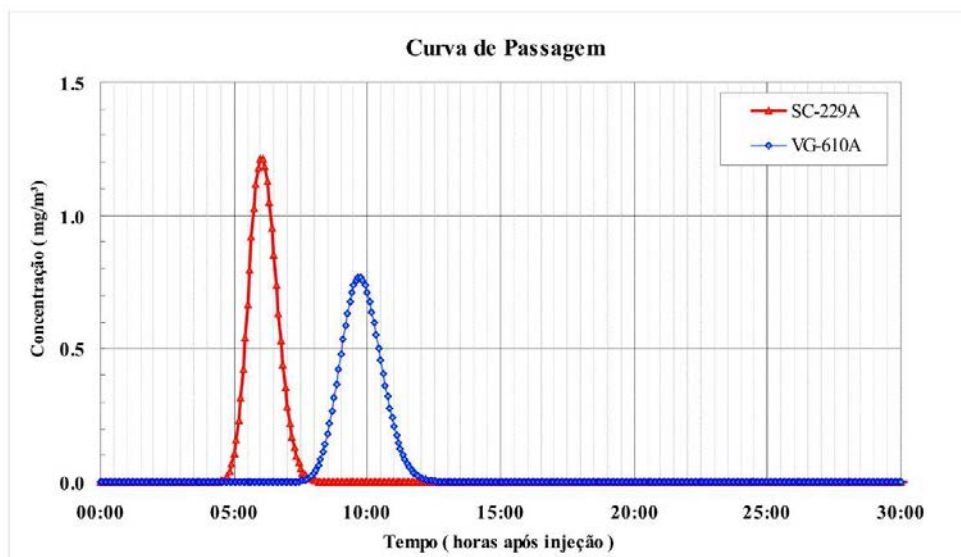


Figura 5- Curvas de passagem de traçador nas seções SC-229 A e VG-610 A do trecho.

Na Figura 6 estão representadas as curvas de passagem nas seções monitoradas localizadas: no canal de adução de Vigário em Pirai (VG-370); no canal de fuga da Usina Hidrelétrica de Nilo Peçanha (VG-370 A); no canal de fuga da Usina Hidrelétrica de Pereira Passos (LG-350 A); na ponte na Via Dutra sobre o Ribeirão das Lajes (LG-351); na ponte sobre o Ribeirão das Lajes em Paracambi (LG-352); na ponte na RJ-125 sobre o rio Guandu em Japeri (GN-201); na ponte na Via Dutra sobre o rio Guandu (GN-201); e na ETA do rio Guandu (GN-200). Estas seções estão situadas respectivamente a 31,6 km, 33,4 km, 38,1 km, 43,9 km, 53,4 km, 59,5 km, 72,5 km e 82,6 km da seção de lançamento localizada próximo a estação elevatória de Santa Cecília.

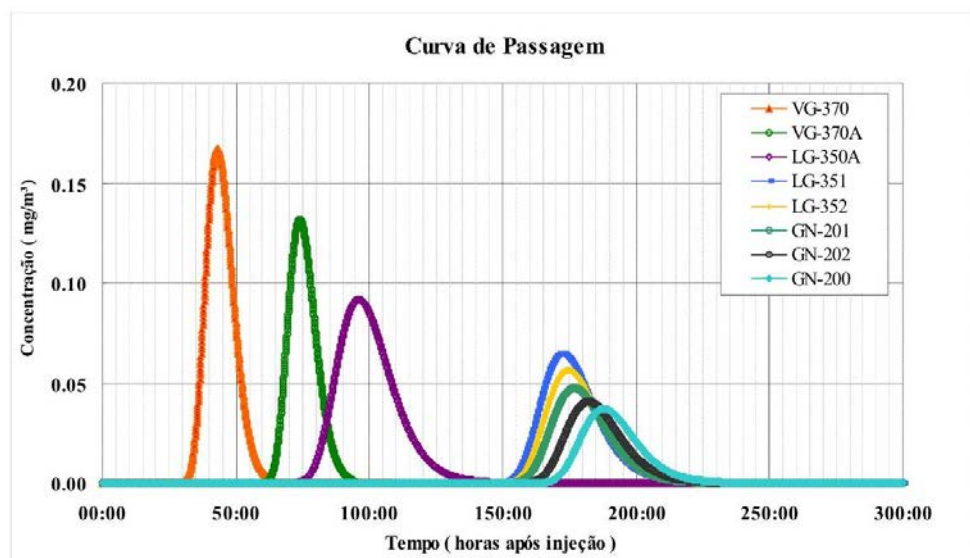


Figura 6 - Curvas de passagem do traçador nas seções de monitoramento em todo o trecho.

A partir da análise dessas figuras, observa-se que a concentração máxima do poluente atingida foi de 1,21 mg/m³ após aproximadamente 6 horas do derramamento na seção localizada a 16,1 km do local do acidente considerado, para este cenário, a pior situação para as seções observadas. O poluente lançado leva cerca de 210 horas (aproximadamente 9 dias) para passar por todo o trecho considerado, ou seja, da estação elevatória de Santa Cecília até a captação da ETA Guandu, o que possibilita, caso ocorra um acidente, que medidas emergenciais sejam tomadas a tempo.

Além disso, é possível verificar que quanto mais próximo o ponto de lançamento é da seção de monitoramento, maior é o valor máximo de concentração. Do mesmo modo, os picos das concentrações diminuem quanto mais distante do ponto de despejo do poluente. No entanto, o tempo de passagem da pluma de poluente é maior, fazendo com que o poluente permaneça por mais tempo na seção em análise. A síntese dos resultados obtidos neste cenário está apresentada na Tabela 5, destacando o tempo inicial, final e de passagem total da pluma do poluente nas seções monitoradas.

Tabela 5 – Resultados da simulação do cenário de massa unitária nas seções monitoradas.

Seção	Distância (km)	Conc. Máxima (mg/m ³)	Tempo Início (h)	Tempo Final (h)	Tempo de Passagem da Curva (h)
SC-229A	16,1	1,21	04:35	08:00	03:25
VG-610A	24,1	0,77	07:40	12:20	04:40
VG-370	31,6	0,17	32:40	60:10	27:30
VG-370A	33,4	0,13	63:45	90:15	26:30
LG-350A	38,1	0,09	78:10	128:20	50:10
LG-351	43,9	0,06	154:55	201:30	46:35
LG-352	53,4	0,06	157:55	203:10	45:15
GN-201	59,5	0,05	160:35	204:00	43:25
GN-202	72,5	0,04	166:15	208:05	41:50
GN200	82,6	0,04	172:15	213:10	40:55

Os resultados desse cenário permitiram descrever o comportamento da pluma de um poluente em diferentes seções após o lançamento instantâneo próximo a estação elevatória de Santa Cecília. Auxiliam assim, a tomada de medidas emergenciais adequadas caso ocorra um derramamento nesse trecho uma vez conhecido os tempos de início e fim da curva de passagem para cada seção. Por representarem respostas impulsivas, permitem ainda a realização de outros cenários de simulação variando as características dos acidentes.

CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho foi contribuir com os estudos sobre a previsão da dispersão de poluentes derramados nos acidentes em rodovias, e o modo de gerar informações relevantes sobre o problema de despejo acidental no transporte rodoviário de produtos perigosos e sua propagação em cursos d'água.

O resultado obtido por meio do cenário simulado indicou que para uma situação de vazão típica, determinada durante o ensaio com traçador, a curva de passagem para um lançamento próximo a estação elevatória de Santa Cecília leva cerca de 210 horas para passar por todo trecho analisado. Foi observado ainda, que quanto mais próximo o ponto de despejo é da seção de monitoramento, maior é o valor máximo de concentração. Do mesmo modo, quanto mais distante do ponto de lançamento do poluente, os picos das concentrações diminuem, no entanto o poluente permanece por mais tempo na seção de análise. Diferentes simulações podem ser realizadas a partir deste cenário, já que é possível variar os parâmetros do acidente, como massa injetada e distância da seção de interesse.

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou a simulação do efeito de um despejo acidental de poluente em uma seção de interesse à jusante do ponto de lançamento, representando um mecanismo de alerta em situações de despejo de substâncias perigosas no trecho do curso d'água em estudo. A metodologia proposta mostrou-se eficiente na simulação do transporte do poluente solúvel para o trecho de curso d'água selecionado, permitindo a quantificação do tempo de passagem e da concentração para o lançamento proposto.

Recomenda-se que a simulação seja aplicada ao despejo proveniente de diversas origens, como lançamentos de poluentes industriais, de estações de tratamento, entre outros considerando que, nesse trabalho os cenários foram realizados apenas para o despejo acidental de poluentes como consequência de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos. Contudo, para isso, faz-se necessário a definição das atividades potencialmente poluidoras estabelecidas às margens do trecho analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, V. M., Avaliação de efeitos de cargas poluidoras oriundas de acidentes rodoviários na qualidade de água. Estudo de caso do médio Paraíba do Sul – RJ. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.
2. ANA - Agência Nacional de Águas, Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim. Relatório do Plano – Versão Final, Brasília, 2006.
3. BEHRENS H., BEIMS U., DIETER H., et. al, Toxicological and ecotoxicological assessment of water tracers. *Hydrogeology Journal*, v. 9, n. 3, pp. 321-325, 2001.
4. BOYD, C. E., *Water Quality: An Introduction*. Kluwer Academic Publishers. Massachusetts, 2000.
5. BÜGE, T. R., Modelo matemático para simulação de transporte e dispersão de poluentes em rios: aplicação ao estudo de lançamento acidental no rio Paraíba do Sul (Rio de Janeiro). Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1990.
6. COPPETEC, Determinação in situ das Velocidades Médias de Trânsito e Coeficientes de Dispersão entre Santa Cecília e a E.T.A. do Guandu (CEDAE), In.: Projeto COPPETEC ET-150422, 1991.
7. Fischer, H. B., List, E. J., Imberger, J., Koh, R. C. Y., and Brooks, N. H., *Mixing in inland and coastal waters*, Academic Press, New York, 1979. GUSMÃO, A. C. F., O controle e a prevenção da poluição acidental no transporte rodoviário de produtos perigosos: Ação aplicada no Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de M.Sc., PEAMB/UERJ, Rio de Janeiro, RJ, 2002.
8. INEA, Instituto Estadual do Ambiente, Relatórios de Vistoria do Serviço de Operações de Emergências Ambientais (SOPEA) no período de 2009 a 2010. Consultados no INEA, Rio de Janeiro, 2011.
9. LEIBUNDGUT C., KULLS C., MALOZSZEWSKI P., *Tracers in Hydrology*. West Sussex, John Wiley and Sons, 432p, 2009.
10. LIMA, C. A A; GIORGETTI, M. F., Aplicação do Modelo Qual2E na Simulação de Descargas Acidentais Contaminantes. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. Anais eletrônicos: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo. ABES, p. 2534-2545, 1997.
11. RIBEIRO, C. B. M., Sistema de alerta ambiental fundamentado em estudo teórico-experimental de transporte e dispersão de poluentes solúveis em cursos d'água. Tese de D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, 2007.

12. RIGO, D., 1992, Dispersão longitudinal em rios: desempenho de métodos de previsão e de traçadores fluorescentes. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
13. ROLDÃO, J. S. F., PECLY, J. O. G, TRENTTO, A., “Determinação de coeficientes de dispersão mediante traçadores fluorescentes na laguna Setubal (Argentina)”. In: anais do XVII Congresso Latinoamericano de Hidráulica (IAHR), v. 1, pp 57-68, Outubro de 1996, Quayaquil, Equador, 1996.
14. ROLDÃO, J.S.F., PECLY, J.O.G, “Determinação da vazão e da dispersão longitudinal nos rios Corumbá e Pirapetinga através do emprego de traçador fluorescente”. II Simpósio de Recursos Hidricos del Cono Sur, Agosto de 1998, Santa Fé, Argentina, 1998.
15. RUTHERFORD, J. C., River mixing. Chichester: J. Wiley, 1994.
16. SCHNOOR, J. L., Environmental Modelling Fate and Transport of Pollutant in Water, Air and Soil, John Willey and Sons, 1996.
17. TAYLOR, G. I., 1954, Dispersion of matter in turbulent flow through a pipe. Proc. R. Soc. London, Ser. A, 223, 446–468, 1985.