

ESTUDO DO RISCO FUZZY NA CONCESSÃO DE OUTORGA PARA LANÇAMENTOS PONTUAIS DE EFLUENTES EM RIOS NATURAIS

Sílvia Helena Lima dos Santos¹, Patrícia Freire Chagas² & Raimundo Oliveira de Souza³

RESUMO --- Esta pesquisa trata do desenvolvimento de uma metodologia que combina a teoria fuzzy com a teoria do transporte de massa, para determinar o risco de falha para rios naturais, na concessão de outorga de lançamentos de efluentes. O modelo consiste em resolver a Equação da Difusão Advectiva, em uma dimensão, na sua forma fuzzy. Com isso, campos de funções de pertinências para a concentração são determinados em cada seção do rio, para diferentes tempos. Estas concentrações, em forma de funções de pertinências são comparadas com uma função de pertinência para a resistência do rio. Esta resistência é, normalmente, determinada por normas técnicas, em função da classe de cada corpo hídrico. Assim, o modelo define uma função marginal de segurança que é uma função de pertinência calculada a partir das concentrações determinadas e da resistência do rio. Finalmente, o risco e a garantia podem ser determinados. Os resultados mostram que esta metodologia pode ser uma alternativa consistente no controle de concessão de outorga de lançamentos e com isso disponibilizar informações para a melhor Gestão dos Recursos Hídricos.

ABSTRACT --- This research deals with the development of a methodology that combines fuzzy theory with the mass transport principle, to determine the risk of failure for natural rivers, in awarding grants from effluent discharges. The model consists of solving the diffusion equation, in one dimension, in fuzzy way. Thus, fields of membership functions, each for the concentration, are determined in each section of the river, for different times. These concentrations, in fuzzy form, are compared with a membership function for the resistance of the river. This resistance is usually determined by technical standards, according to the class of each body of water. The model defines a marginal security function, which is a membership function calculated from the fields of concentrations and the resistance of river. Finally, risk and security can be determined. The results showed that this methodology can be a consistent alternative to control release of grant award and thus providing better information for the Management of Water Resources.

Palavras-chave: Risco Fuzzy, Concessão de Outorga, Transporte de Massa.

¹ Doutora em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará e bolsista da Capes. Campos do Pici, CEP- 60445-760. Bloco 713. Fortaleza – Ceará. E-mail: silviahsantos@hotmail.com

² Pesquisadora do Departamento de Saneamento da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Email: pfchagas@yahoo.com

³ Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bloco 713, Fortaleza – Ceará, Brasil, CEP 60445-760, Fone: (85) 3366. 9771, E-mail: rsouza@ufc.br

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída no Brasil pela Lei Federal 9.433, de 08 de janeiro de 1997, é uma importante ferramenta legal para o gerenciamento das águas, pois tem como objetivo assegurar medidas para evitar a poluição dos corpos aquáticos e garantir disponibilidade hídrica para os usuários, com padrões de qualidade para seus respectivos usos.

De acordo com esta lei um dos principais instrumentos de gestão para redução e controle da poluição desses recursos é a outorga para diluição de efluentes que, apesar de estar legalmente instituída, ainda não foi devidamente implantada em nível nacional. Para garantir que isto ocorra é necessário definir critérios de outorga, organizar e manter uma base de dados de qualidade da água bem como desenvolver ferramentas adequadas para uma análise integrada dos aspectos de quantidade e qualidade da água (NAHON, 2006).

O lançamento de poluentes num corpo de água superficial não deve causar mudanças na classe de qualidade deste manancial. Para que isto seja verdade, na grande maioria dos casos, é necessário reservar uma determinada vazão no corpo receptor, tal que a diluição, transporte ou assimilação da carga poluidora seja possível, dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/05. A concessão da outorga de lançamento de efluentes é, na verdade, a definição e a garantia desta vazão a ser alocada especificamente para a função de diluição, transporte ou assimilação dos poluentes ali lançados, sem que as metas estabelecidas pela respectiva classe de enquadramento sejam violadas.

A modelagem de um processo físico, presente em um sistema hídrico qualquer não se constitui uma tarefa simples tendo em vista que em corpos d'água naturais ocorrem fenômenos de transferência de massa, energia e quantidade de movimento que fazem com que estas concentrações não sejam uniformes e dependam fortemente da hidrodinâmica destes corpos d'água. Outro fator que deve ser levado em conta na modelagem destes processos são as incertezas que podem estar relacionadas com os dados, com as medições dos parâmetros, com os métodos de análises e até mesmo com as aproximações das soluções. Desta forma, a análise de incertezas tem um papel fundamental na gestão de Recursos Hídricos e a técnica apropriada para lidar com o problema constitui-se nos fundamentos da análise de risco.

Uma metodologia que está começando a ser usada nos estudos das incertezas e na Análise de Risco é a Teoria Fuzzy. Esta teoria, desenvolvida nos anos 60, vem se tornando uma ferramenta útil para a análise desta classe de problema, por não depender de um banco de dados tão completo. A grande dificuldade, com relação à aplicação da Teoria Fuzzy nos problemas ambientais reside no fato de que as Equações Diferenciais que governam os processos de transporte da massa poluente

precisam ser “fuzzificadas”. Isto quer dizer, em outras palavras, que essas equações diferenciais têm que ser transformadas em novas equações diferenciais com características “fuzzy”.

Este trabalho pretende desenvolver uma metodologia que combine a Teoria Fuzzy com os Processos de Transporte de Poluente em um rio natural, e a Legislação Brasileira, para estudar o Risco Fuzzy de contaminação de rios naturais, na concessão de outorga para lançamentos de efluentes.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Outorga para lançamento de efluentes

A Lei 9.433, de 8.1.1997, define, em seu Art. 12, inciso III, que os lançamentos em corpos de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final, como um uso da água estão sujeitos à outorga. Embora constitua um dos principais instrumentos para redução e controle da poluição de recursos hídricos, a outorga para diluição de efluentes em corpos de água, apesar de legalmente instituída, apresenta inúmeras dificuldades que podem retardar sua regulamentação. Segundo Azevedo et al (2003), a emissão da outorga para este fim está atrelada, entre outros fatores, à definição de critérios de que subsidiem a tomada de decisão e ao desenvolvimento de ferramentas adequadas para análise integrada dos aspectos de quantidade e qualidade da água, conforme preconizado no artigo 3º da Lei Federal 9.433/97, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos. Cruz (2001) enfatiza, ainda, a necessidade do estabelecimento de tais critérios, com vistas à otimização da distribuição da água disponível pelo poder outorgante, sem desconsiderar as particularidades locais e regionais.

A outorga para diluição de efluentes baseia-se no princípio de permitir uma descarga em um curso de água com uma carga máxima de poluentes de maneira que, após sua diluição na vazão mínima fixada como referência, a qualidade da água no corpo receptor permaneça satisfatória, conforme seus objetivos de qualidade estabelecidos pela classe de uso (CRUZ, 2001).

Apesar de reconhecido como um dos principais instrumentos para redução e controle da poluição de recursos hídricos, no Brasil há poucas experiências relacionadas à implantação da outorga para tal finalidade (ROQUES, 2006). Existe a ausência de um dispositivo legal que estabeleça claramente os critérios de outorga para fins de diluição de efluentes mesmo dentre os estados que já a emitem.

A outorga, por ser um instrumento que envolve direitos de uso, é um dos documentos exigidos no processo de licenciamento ambiental (Resolução CONAMA Nº 237/97). Portanto, os

órgãos gestores de meio ambiente e de recursos hídricos deverão trabalhar de forma plenamente articulada, tendo em vista que a decisão a ser tomada é totalmente interdependente, ou seja: as eficiências de tratamento de efluentes definidas na licença de instalação ambiental e as correspondentes cargas poluidoras remanescentes, deverão estar em perfeita consonância com as vazões que poderão ser alocadas para a diluição desses poluentes, e vice-versa (SILVA e MONTEIRO, 2004).

A outorga tem um caráter diferente do licenciamento ambiental dos lançamentos de efluentes. Em primeiro lugar, a outorga tem a função de alocar, especificamente para este fim, a vazão que o licenciamento supõe existir no ponto de lançamento do efluente para a disposição dos poluentes lançados. A outorga de lançamento de efluentes é o instrumento que permite que a situação imaginada no licenciamento se realize. Em segundo lugar, a outorga deve se preocupar com os poluentes de maior impacto em termos de uso da água, isto é, aqueles que necessitam mais água para seu decaimento ou diluição e, portanto, exigem uma alocação maior de água, enquanto que o licenciamento tem de se preocupar com todos os poluentes que impactam os usos designados.

Pela complexidade da análise técnica dos impactos causados pelos diversos poluentes nos corpos receptores, bem como da respectiva análise da outorga, agora vista como instrumento de gestão integrada, é de todo recomendável que o processo de outorga de lançamento de efluentes se inicie de forma simples, mas eficiente. É prudente a adoção inicial de poucos parâmetros de qualidade da água nas análises de pedidos de outorga para lançamento de efluentes.

A outorga de lançamento de efluentes, ao ser adotada para aqueles poluentes que representam os maiores impactos na bacia, deve estar integrada ao processo de enquadramento dos corpos de água, utilizando as mesmas prioridades de controle de poluição indicadas no processo de enquadramento, e estabelecendo, a partir daí, os parâmetros outorgáveis.

2.2 Teoria do Transporte de Massa

O fenômeno conhecido como transporte de massa é conceituado como a tendência que um constituinte de uma mistura apresenta de passar de uma região de alta concentração para outra de baixa concentração deste constituinte. O entendimento deste processo é muito importante tendo em vista que toda a questão de autodepuração e recuperação dos corpos hídricos se pauta no processo de dispersão de poluentes.

Segundo Fisher 1979, a teoria do transporte de poluentes tem como base fundamental a combinação da lei de Fick com a Teoria da conservação das massas. Através desta combinação é possível fazer uma análise detalhada do comportamento de uma massa poluente em um campo de

escoamento mono, bi ou tridimensional e também avaliar os três processos pertinentes ao movimento da massa poluente no corpo hídrico.

O primeiro processo, conhecido como difusão molecular, descreve o espalhamento da massa poluente causado pelo movimento molecular presente no sistema. O segundo trata da teoria advectiva que corresponde ao espalhamento da massa poluente através do movimento advectivo.

E finalmente, o terceiro que trata da difusão turbulenta. Este processo é controlado pelo coeficiente de difusão turbulenta que depende diretamente da energia de turbulência contida no campo de velocidade. Assim, quanto maior a turbulência, maior será o espalhamento (CHAGAS, 2005).

Deste modo, tomando como base um volume de controle, e fazendo a combinação das teorias citadas acima é possível chegar a equação geral da difusão advectiva, que leva em conta todos os processos combinados no transporte de massa.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = D \left[\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

Onde:

C : representa a concentração média em cada seção: $[ML^{-3}]$;

U : representa a velocidade média em cada seção do rio: $[LT^{-1}]$;

D : representa o coeficiente de difusão turbulenta.

Considerando o caso de substâncias não conservativas e levando em conta a aplicação em apenas uma dimensão tem-se a seguinte equação:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) - kC \quad (2)$$

Onde K é o coeficiente de decaimento da substância $[T^{-1}]$.

2.3 Teoria Fuzzy

Segundo Saavedra (2003) a lógica convencional trata as informações de modo binário, classificando-as como verdadeiras ou falsas. Talvez a definição desses dois estados da informação, em alguns casos, seja suficiente, porém, muitas experiências humanas necessitam de uma manipulação mais abrangente do que o simples tratamento de falso ou verdadeiro, sim ou não, certo ou errado.

É neste contexto que a lógica fuzzy (difusa) se torna uma ferramenta apropriada para tratar informações vagas e incertas, em geral descritas em uma linguagem natural (LIMA, 2002).

A palavra inglesa fuzzy tem como tradução alguns sinônimos: nebuloso, vago, incerto. Estes conceitos, particularmente, sempre incomodaram o ser humano. Problemas como: “Um homem tem a cabeça repleta de cabelos e, a partir de certo momento, começa-se a extração de fios, um a um, e a cada fio retirado pergunta-se se ele está calvo. Em que momento exatamente este homem ficará calvo?”. Se repetirmos indefinidamente este processo, ele ficará calvo e até careca. Mas será que podemos definir a partir de qual fio de cabelo ele se tornará calvo?

Podemos modelar, com a teoria fuzzy, diversas situações em que os dados envolvidos têm um certo ‘grau’ de incerteza ou imprecisão, ou a classificação de seus atributos não se resume em sim ou não, mas existe a possibilidade de: mais ou menos; talvez; um pouco mais; um pouco menos.

O fato de a teoria fuzzy dar esta flexibilidade de modelagem permite ao homem desenvolver algoritmos semelhantes ao pensamento humano. Um fator eminente dessa teoria é a sua capacidade de capturar conceitos intuitivos, além de considerar aspectos psicológicos utilizados pelos seres humanos em seu raciocínio usual, evitando que sua representação seja engessada por modelos tradicionais (OLIVEIRA, 1999).

Foi em 1965, pensando em atribuir significados a termos lingüísticos de cunho qualitativo, subjetivo, como 'perto', 'longe', 'alto', 'aproximadamente', que o matemático Lofti Zadeh, introduziu o conceito de conjuntos fuzzy (difusos). Através de tais conjuntos, seria possível armazenar dados não precisos em computadores, gerar respostas baseadas em informações vagas ou ambíguas, em processos análogos ao do raciocínio humano. Nesta lógica, são utilizados modelos matemáticos para mapear variáveis subjetivas, como frio, agradável e quente, para valores concretos que podem ser manipulados matematicamente. (SANTOS, 2008).

2.4 Risco e Garantia Fuzzy

De acordo com Ganoulis (1994), se um evento, ou realização de um risco, é descrito por meio da lógica fuzzy, então a confiabilidade deste evento pode ser calculada como um número fuzzy. Considera-se que o sistema tem uma resistência $\tilde{R}$ e uma carga $\tilde{L}$, ambas representadas por números fuzzy. Uma medida de confiabilidade, ou uma margem de segurança que também caracteriza o desempenho do sistema, pode ser definida pela diferença entre a carga e a resistência. Esta diferença também é um número fuzzy, dado por:

$$\tilde{M} = \tilde{R} - \tilde{L} \quad (3)$$

Tem-se para cada função um intervalo de nível h:

$$\tilde{M}(h) = \tilde{R}(h) - \tilde{L}(h) \quad (4)$$

Onde:

$$\tilde{R}(h) = [\tilde{R}_1(h), \tilde{R}_2(h)] \quad (5)$$

$$\tilde{L}(h) = [\tilde{L}_1(h), \tilde{L}_2(h)] \quad (6)$$

A medida marginal de segurança $\tilde{M}$ tem as condições possíveis:

Falha: $\tilde{M}(h) < 0$

Confiabilidade: $\tilde{M}(h) \geq 0$

De acordo com chagas (2005), os índices fuzzy de confiabilidade e de falha são funcionais e dependem de várias funções como variáveis independentes que podem ser definidas como:

➤ Índice de confiabilidade, ou garantia fuzzy:

$$R_c = \frac{\int_{Z>0} \mu_{\tilde{M}}(m) dm}{\int_Z \mu_{\tilde{M}}(m) dm} \quad (7)$$

➤ Índice de falha, ou risco fuzzy:

$$R_f = \frac{\int_{Z<0} \mu_{\tilde{M}}(m) dm}{\int_Z \mu_{\tilde{M}}(m) dm} \quad (8)$$

Onde:

$\mu_{\tilde{M}}$: representa a função de pertinência;

m: representa um número real associado à função de pertinência marginal de segurança.

Aplicando a teoria fuzzy na equação 2 ela assume a seguinte forma:

$$\frac{\partial \tilde{C}}{\partial t} + \tilde{U} \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (\tilde{D}_x \frac{\partial \tilde{C}}{\partial x}) - \tilde{k} \tilde{C} \quad (9)$$

Onde: ~ representa funções de pertinências para os parâmetros e para a variável de controle.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após o desenvolvimento do programa computacional, onde foram estruturadas várias sub-rotinas, dispostas sequencialmente com vistas à obtenção de alguns resultados, um conjunto de simulações foi realizada. Inicialmente, foi considerado um rio com declividade, na sua forma fuzzy, definida por $[0,0000375; 0,00005; 0,0000625]$, coeficiente de rugosidade de Manning, também em sua forma fuzzy, definida por $[0,0375; 0,05; 0,0675]$, largura do canal de 20 metros e vazão de 20 metros cúbicos por segundo. A concentração inicial do poluente foi considerado de 1 mg/L. Nesta primeira simulação foi considerado um lançamento instantâneo de 100mg/L, e uma substância conservativa, em uma seção a 10 km da origem. O objetivo desta simulação é, apenas, de verificar o comportamento do programa computacional com relação a uma situação conhecida na literatura, onde a solução analítica pode ser comprovada.

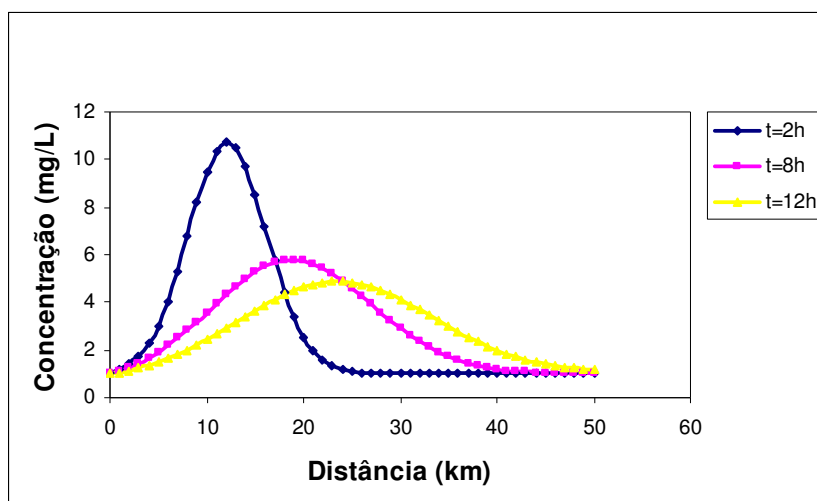


FIGURA 1 – Comportamento da concentração com a distância em tempos diferentes.

A Figura 1 mostra os resultados desta simulação para os tempos de 2 horas, 8 horas, e 12 horas, considerando a concentração de maior grau de pertinência. Pela figura, é possível observar os efeitos combinados da dispersão, fazendo com que haja um espalhamento na nuvem poluente, e da advecção, onde há uma translação do centro de gravidade da nuvem poluente, causada pelo movimento das águas do rio em questão. É importante notar que, mesmo antes do ponto de lançamento, a curva possui um gradiente positivo causado pelo processo de difusão que domina o transporte de massa.

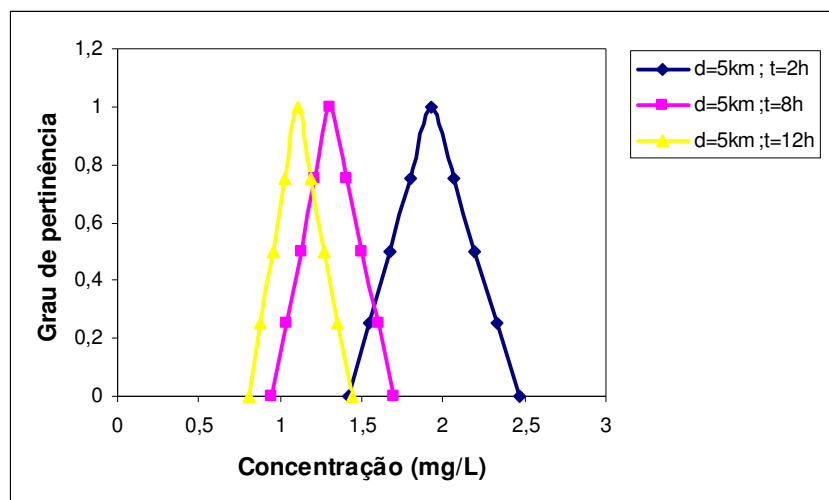


FIGURA 2 – Funções de pertinência da concentração para diferentes tempos em 5 km, $C=50\text{mg/L}$.

A Figura 2 mostra os resultados obtidos para as funções de pertinências das concentrações em uma seção 5 km da origem. Como podem ser observadas, essas funções se deslocam de acordo com a passagem da nuvem poluente em cada seção e para diferentes tempos. Por exemplo, para um tempo de 2 horas, pode-se ver que a função tem sua concentração com maior grau de pertinência próximo de 2 mg/L. Entretanto, na mesma seção, em 8 horas, o valor de maior grau de pertinência ocorre para um valor próximo de 1,25 mg/L. Já para um tempo de 12 horas, a concentração com maior grau de pertinência é, aproximadamente, igual 1,1 mg/L. Este resultado é muito importante pois mostra a dinâmica concentração da nuvem poluente, no processo de diluição do rio.

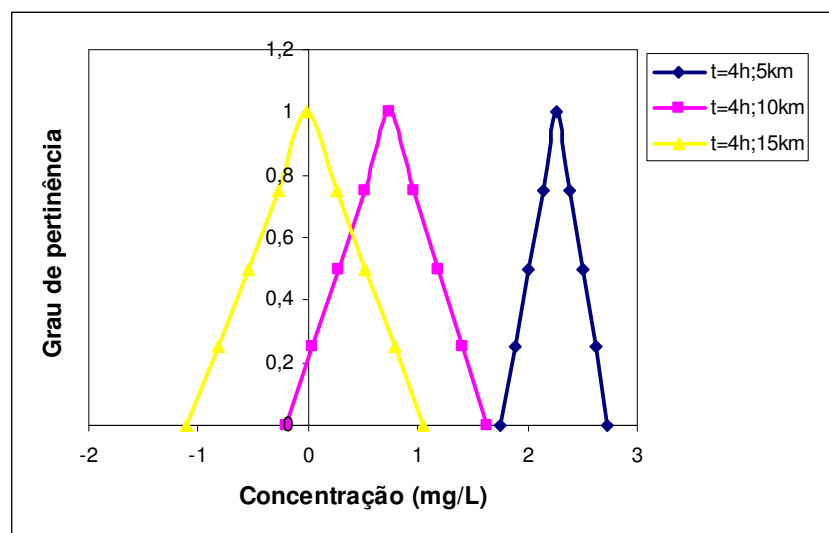


FIGURA 3 – Função marginal de segurança para diferentes seções no tempo de 4 horas e $C=50\text{mg/L}$.

A Figura 3 mostra o comportamento da função marginal de segurança, calculada no tempo de 4 horas, nas seções 5 km, 10 km e 15 km da origem. Como pode ser observada, considerando a metodologia proposta, esta função é a responsável pelo cálculo do risco de falha em um sistema que recebe concessão de outorga para lançamento de efluentes. Neste caso, os resultados mostram que, para cada seção considerada, o risco deve assumir um caráter de um funcional, tendo em vista que o mesmo depende desta função, além do comportamento da concentração do poluente. Assim, os resultados mostram que esta função se movimenta de acordo com a intensidade das concentrações do poluente presente ao longo do rio, fazendo com que o risco aumente ou diminua, tanto com o tempo, como no espaço.

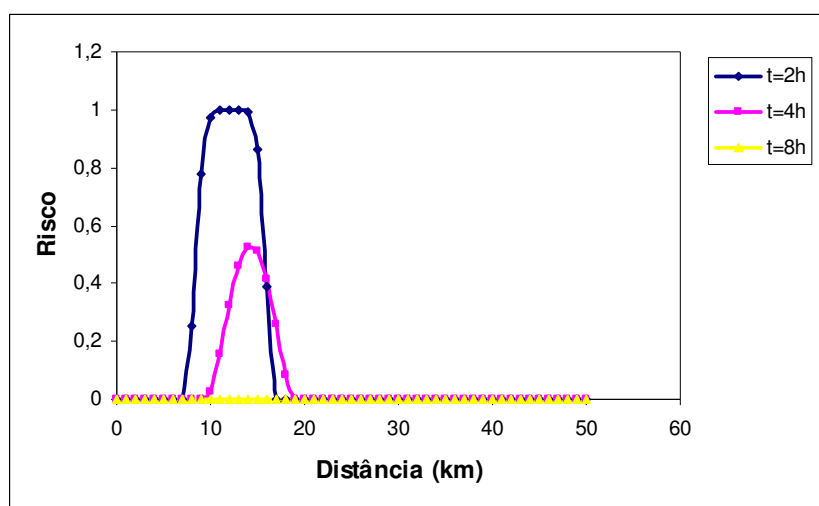


FIGURA 4 – Comportamento do risco com a distância para diferentes tempos e $C=50\text{mg/L}$.

A Figura 4 mostra o risco para os mesmos tempos anteriores. Como pode ser observado através da figura, o funcional do risco se comporta segundo o comportamento das concentrações presentes no rio. Como o exemplo simulado trata de um lançamento instantâneo e pontual, os gráficos do risco apresentam um pico próximo do ponto de lançamento que sai do valor zero e vai até o valor 1, voltando para zero novamente em regiões onde o efeito do lançamento ainda não foi atingido. Com isso, fica claro que a metodologia proposta pode servir como uma ferramenta apropriada para a determinação do risco de contaminação em sistemas hídricos, sujeitos a lançamentos de efluentes, licenciado por sistemas de outorgas.

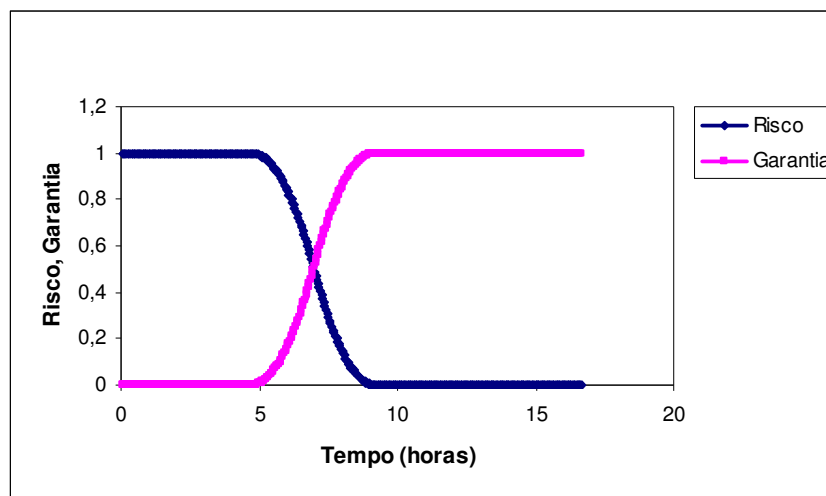


FIGURA 5 – Comportamento do risco e da garantia ao longo do tempo e $C=50\text{mg/L}$.

A Figura 5 mostra os comportamentos do risco e da garantia em uma seção a 10 km da origem em função do tempo. Através da figura fica claro que o risco começa alto porque foi neste ponto que foi feito o lançamento. Assim, durante as 5 primeiras horas, o risco é bem alto, mostrando que, para esta intensidade de lançamento, o risco de contaminação do rio é 100%. Depois, com o processo de diluição e o processo advectivo em curso, o risco vai caindo até chegar à zero, após 10 horas da ocorrência do lançamento. Como pode ser observado, por esta simulação, é possível dizer que o risco ambiental em rios naturais é algo muito dinâmico, variando de um valor bem alto, para valores baixos, o que permite dizer que há lançamentos que pode trazer significativos impactos à saúde ambiental dos corpos hídricos. Mas, os resultados mostram que estes impactos são transitórios, tendo em vista ao poder de autodepuração dos sistemas hídricos.

Nas figuras seguintes, estão apresentados os resultados para um lançamento pontual e instantâneo de uma substância não conservativa. A substância escolhida é a DBO que representa um importante parâmetro de controle da qualidade de água. A intensidade deste lançamento é de 50mg/L . Neste caso, os dados são idênticos aos apresentados nas primeiras simulações, mas com uma taxa de decaimento, em forma de números fuzzy definido por $[0,00000375; 0,00000578; 0,00000625]$, na unidade de T^{-1} . A resistência foi considerada para o caso de um rio de classe dois com a função de pertinência definida por $[3; 4; 5] \text{ mg/L}$. As figuras seguintes mostram os resultados desta simulação.

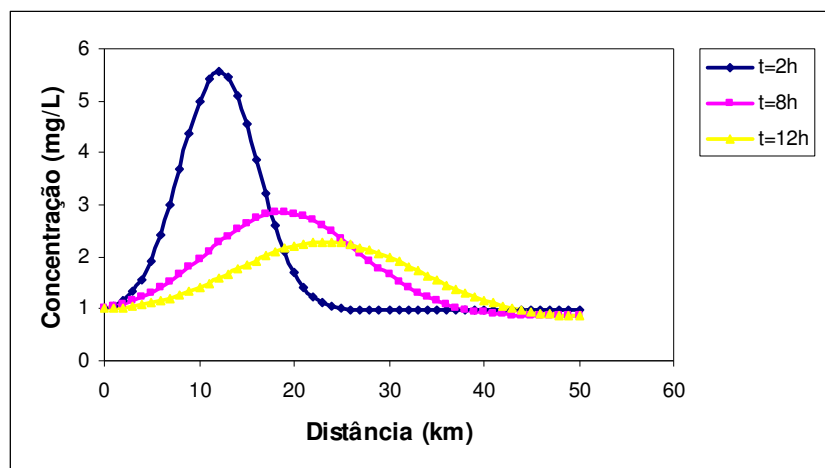


FIGURA 6 - Perfil de concentração com a distância para diferentes tempos $C=50\text{mg/L}$.

A Figura 6 mostra o comportamento dos perfis de concentração para os tempos de 2 horas, 8 horas e 12 horas. Como era de se esperar, os picos de concentração encontrados são bem menores do que aqueles encontrados mostram que, para esta intensidade de lançamento, certamente o risco vai se dissipar com maior rapidez do que no caso anterior.

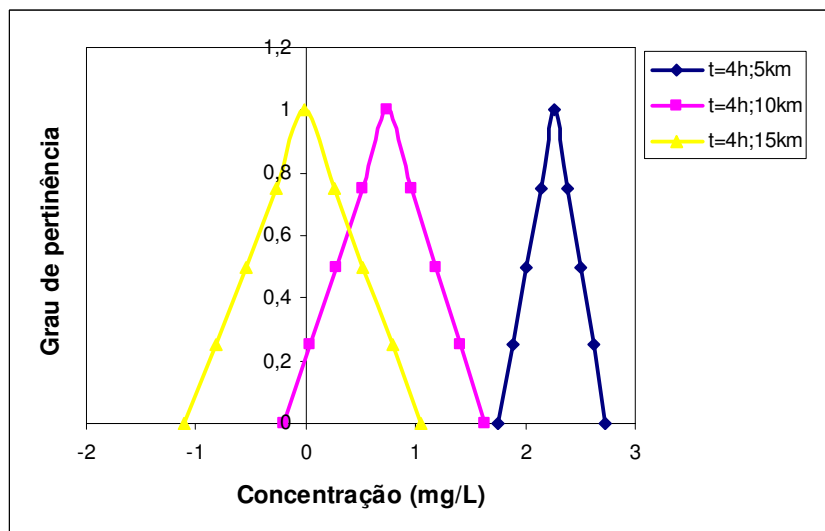


FIGURA 7 - Função marginal de segurança para diferentes seções no tempo de 4 horas. $C=50\text{mg/L}$.

A Figura 7 mostra o comportamento da função marginal de segurança para este lançamento tomadas nos mesmos tempos, em diferentes seções. Como se observa, essas funções estão mais próximas do eixo central da figura, ou seja, da origem, mostrando assim, que o risco tende a mudar

de comportamento bem mais rapidamente do que no caso anterior. Isto é verificado com a apresentação dos resultados para o risco, que se encontra na Figura 8.

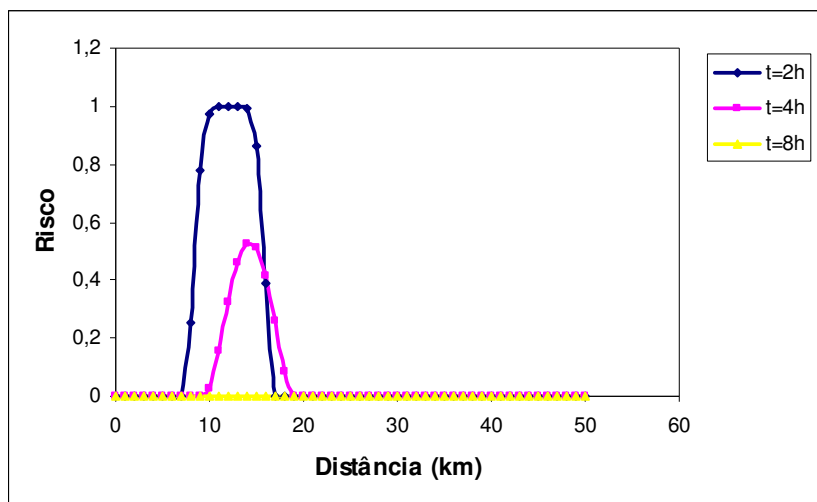


FIGURA 8 - Comportamento do risco com a distância para diferentes tempos, $C=50\text{mg/L}$.

A Figura 8 mostra os resultados do risco para esta simulação. Como foi dito anteriormente, a função risco é alto nas proximidades do ponto de lançamento, para o tempo de 2 horas, mas cai rapidamente, para o tempo de 4 horas e torna-se zero para o tempo de 8 horas. Este resultado mostra que para substâncias conservativas, os impactos causados por este tipo de lançamento têm um tempo de permanência bem reduzido. Isto não quer dizer que seja possível tornar este tipo de lançamento mais ou menos tolerável por parte do poder público. Como se sabe, 4 ou 5 horas são suficientes para causar grandes impactos na vida biológica dos rios. Assim, o melhor que se faz é estabelecer critérios seguros para a concessão de outorga de lançamentos em rios naturais.

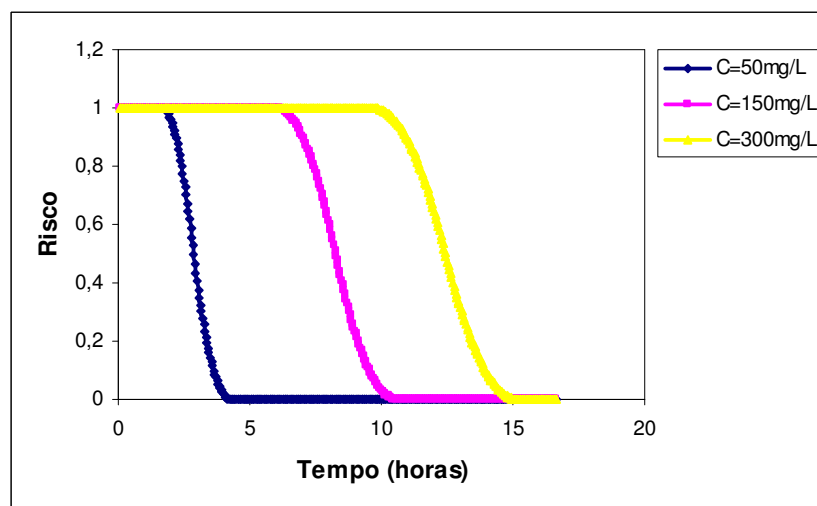


FIGURA 9 – Comportamento do risco com o tempo para diferentes lançamentos.

A Figura 9 mostra o comportamento destes riscos para a simulação acima analisada. Como pode ser observado, há uma clara dependência desta função com a intensidade do lançamento. Por exemplo, para um lançamento de 300 mg/L de DBO, a seção a 10 km da origem terá um risco máximo com duração de 12 horas, aproximadamente. Somente a partir deste tempo é que o risco começa a cair tornando o rio, novamente, saudável após 14 horas. Este resultado permite concluir que para a concessão de outorga há a necessidade de se fazer um estudo criterioso de concentração de lançamento juntamente com a capacidade de autodepuração do rio, relacionado com sua vazão e seu coeficiente dispersão longitudinal. Sem este tipo de análise, pode-se cometer alguns erros de avaliação neste processo de concessão.

4. CONCLUSÕES

Após a aplicação do modelo proposto em um rio natural sujeito a lançamentos de efluentes, uma análise foi realizada com vistas à concessão de outorga de lançamentos. A aplicação da formulação fuzzy na Equação de Balanço de Massa mostrou-se eficiente no cálculo do risco e da garantia, os quais representam medidas de controle para o sistema hídrico em questão. Com isso as seguintes conclusões estão sendo tiradas:

- Os resultados mostraram que rios com baixa vazão, como é o caso da maioria dos rios do Nordeste brasileiro, têm suas capacidades de diluição vulneráveis para receber lançamentos de efluentes, sem comprometer a qualidade de suas águas. Neste caso, foram verificados que, para a vazão considerada, a maioria dos resultados mostraram que, no ponto de lançamento, o risco é próximo de 1 no ponto, mesmo para baixas concentrações.
- Outro aspecto que foi observado nos resultados, diz respeito ao comportamento do risco para diferentes valores de concentrações de lançamento. Os resultados mostraram que quanto maior for a concentração do efluente, maior será o risco e menor será a confiabilidade do sistema permanecer dentro dos padrões determinados pela legislação. Este resultado, comprovado das experiências e observações, mostra a importância desta metodologia nas questões pertinentes à quantificação dos riscos para concessão de outorga de lançamento.
- A metodologia proposta mostrou-se eficiente e permite concluir que pode se tornar uma importante ferramenta no cálculo de campos de riscos e de garantia para rios naturais sujeitos a lançamentos de efluentes e, assim, permitir com mais eficiência que se faça um diagnóstico apropriado nos processos de concessão de outorga;

5. BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, E. L. Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão, 2ª ed., LTC, Rio de Janeiro, 2000.

AZEVEDO, L. G. T. et al. Sistemas de Suporte à Decisão para a Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil. In: AZEVEDO, L. G. T; MEJIA, A (Coord). **Série Água Brasil**. Brasília: Banco Mundial, 2003. 48p.

CHAGAS (2005). Perspectivas da Aplicação da Teoria Fuzzy para o cálculo de risco em sistemas hidrodinâmicos. Tese defendida no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para obtenção do título de doutor em recursos hídricos.

CRUZ, J. C. – Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. Porto Alegre, 2001. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Departamento de Hidráulica e Saneamento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FISCHER, H. B. Mixing in Inland and Coastal Water, Academic Press, Inc, 1979.

GANOULIS, J.G., Engineering Risk Analysis of Water Pollution: Probabilities and Fuzzy, Set., VCH Publishers Inc., Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo, 1994.

LIMA, O. S. J., Análise de Pontos por Função Fuzzy, Dissertação de Mestrado em Engenharia de Software, Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2002.

NAHON, I. M (2006). Sistema de Apoio a Análise de Outorga de Lançamento de Efluentes para a Variável Demanda Bioquímica de Oxigênio: Estudo de caso da Bacia do Alto Iguaçu. Dissertação apresentada como requisito parcial a obtenção do título de mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA JR., H. A., Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações, Interciência, 1999.

ROQUES, T. V. P. (2006). “Aplicação de modelos computacionais na análise de outorga para diluição de efluentes em corpos de água – fontes pontuais e difusas”. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2006.

SAAVEDRA, O. R., Introdução aos Conjuntos Difusos – Notas de aula – Inteligência Artificial, Universidade Federal do Maranhão, 2003.

SANTOS, S. H. L. Aplicação da Teoria dos Números Difusos em um Modelo de Operação de Reservatório, para estudar o Comportamento Vazão Regularizada e do Rendimento., Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens. IN: MACHADO, C. J. S. (Org.). Gestão de águas doces. Rio de Janeiro: Interciência. 2004. cap. 5, p. 135-178.