

APLICAÇÃO DA TEORIA DOS NÚMEROS DIFUSOS NA ANÁLISE DE RISCO EM PROBLEMAS DE QUALIDADE DE ÁGUA.

Patrícia Chagas¹ & Raimundo Souza¹

Resumo - A Análise de Risco tem se apresentado como uma importante metodologia para quantificar incertezas presentes em todos os processos de engenharia. No campo da Qualidade da Água, a presença destas incertezas tem suas origens provenientes de diferentes fontes, causando, geralmente, resultados inesperados. Base de dados, métodos numéricos, usados para resolver os modelos matemáticos são alguns dos exemplos de processos que, normalmente, produzem incertezas. Com o objetivo de procurar um melhor entendimento do comportamento das incertezas, e buscar uma melhor segurança nos projetos de Gestão dos Recursos Hídricos, é de fundamental importância oferecer condições que permitam o gerenciamento do risco, em todas as fases dos processos de engenharia. Este trabalho aplica a Teoria dos Números Difusos para quantificar as incertezas presentes nos processos de análises de poluição hídrica. Os resultados mostram que o método se apresenta como uma importante teoria para avaliar Risco.

Abstract - Engineering Risk Analysis has been a very strong methodology to quantify uncertainties present in all engineering processes. In the field of Water Quality, the presence of these uncertainties comes from the different sources, being responsible for unexpected results. Data base, approximation theory, numerical methods, for the solutions of the differential equations, are some of these sources. In order to bring a better understanding of the uncertainty behavior, and to bring a better safety to the project on Water Resource Management, it is important to have conditions to manage the risk, in all phase of the Engineering Process. This work applies the method of Fuzzy Theory to evaluate the uncertainties present in the water pollution analysis processes. The results have shown that the Method of Fuzzy Theory is a very strong way to evaluate uncertainties.

Palavras-chave - Análise de Risco; Qualidade de água; Modelagem de qualidade de água.

¹ Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Caixa Postal 6818, Campus do Pici, Fortaleza - Ceará, Cep 60.451-970.e-mail: pfchagas@yahoo.com e rsouza@ufc.br.

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da Tecnologia e o aumento populacional, a qualidade da água se tornou um importante tópico de estudo para cientistas e engenheiros ao redor do mundo. Com isso, surgiram novas teorias capazes de promover metodologias que permitem o desenvolvimento de pesquisas na busca de um melhor entendimento sobre os processos que envolvem os aspectos de qualidade de água. Hoje, os problemas da poluição hídrica são tão importantes quanto os problemas que envolvem as questões quantitativas da água. De fato, uma forma moderna de se estudar a problemática da água, considerando o gerenciamento dos recursos hídricos, deve levar em conta a integração da qualidade e quantidade de água, em um estudo único combinado.

Por outro lado, a solução para esta classe de problema, normalmente, vem com um conjunto de incertezas. Estas incertezas são incorporadas nos processos de solução através de diferentes maneiras. Conjuntos de dados, aproximações nos métodos numéricos, são algumas fontes que podem trazer incertezas à solução final. Estas incertezas devem ser entendidas e devem ser medidas de forma que uma melhor interpretação dos resultados possa ser realizada

Neste contexto, a Análise de Risco se representa como uma importante teoria que, neste momento, está sendo desenvolvida, de modo a trazer um melhor entendimento do comportamento destas incertezas. Segundo Ganoulis, (1994), a Análise de Risco permite o desenvolvimento de uma metodologia geral com possibilidades de avaliar e oferecer condições de segurança para os grandes projetos de engenharia. Ainda, segundo Ganoulis, (1994), o estudo do risco em problemas de poluição da água é uma ferramenta útil para quantificar incertezas e avaliar as consequências de lançamentos de agentes poluidores nos corpos d'água.

Este material apresenta uma metodologia para estudar análise de risco aplicada aos problemas de qualidade de água, de modo a estabelecer um melhor entendimento desta problemática com relação às incertezas presentes em todos os processo desta natureza. Os resultados desta análise mostraram que a Teoria dos Números Difusos é uma importante ferramenta para analisar risco em sistemas susceptíveis aos problemas de poluição de água.

TEORIA DE ANÁLISE DE RISCO

Uma definição para risco não é uma tarefa de fácil alcance. A razão para este fato está relacionada com o alto grau de confusão que envolve os aspectos deste objeto de estudo. Em geral, risco poderia ser definido tanto do ponto de vista qualitativo, como do ponto de vista quantitativo. É importante observar que o aspecto qualitativo do risco traz uma idéia sobre fracasso ou sucesso de algum evento definido. Desta forma, risco aparece diretamente relacionado com perigo e proteção, onde perigo é definido como uma fonte de danos. Assim, é possível dizer que risco pode ser definido através da de uma relação simbólica, na forma:

$$risk = R(h, s) \tag{1}$$

Onde, h quer dizer perigo e s quer dizer proteção. Por exemplo, definindo um nível de segurança, quanto maior for o perigo, maior será o risco. Por outro lado, para um determinado perigo, quanto maior for a proteção, menor será o risco. Porém, deve estar claro que a relação (1) só estabelece a idéia do comportamento da função $R(h,s)$, não permitindo estabelecer qualquer quantificação de Risco.

O processo de quantificação de risco envolve a busca de respostas para as seguintes perguntas básicas.

- Que pode acontecer?
- Com que frequência fracassos são esperados?
- Qual é a consequência provável?

Como coloca Ganoulis, (1994), a pesquisa para responder as primeiras duas perguntas envolve o estabelecimento dos processos de análise de incertezas dos sistemas. Por exemplo, a resposta para a primeira pergunta é determinada escrevendo cenários que descrevem o que poderia dar errado e de que maneira isto poderia acontecer. Para conseguir respostas para a segunda pergunta é importante introduzir aspecto de incertezas no método de análise. Isto pode ser alcançado considerando todas as variáveis do problema como sendo variáveis estocásticas. Assim, a resposta para estas perguntas pode ser investigada por algum método estocástico disponível.

De fato há dois métodos que podem ser usados para quantificar risco. O primeiro é o Método Probabilístico, onde todo o conjunto de variáveis do problema está definido como variáveis aleatórias. O outro é o Método dos Números Difusos, onde todo o conjunto de variáveis é considerado como um conjunto de números difusos. Nesta pesquisa era usado o método dos números difusos.

Para formular a teoria da análise de risco é importante definir um cenário que pode ser considerado como uma referência. Para tal, suponha que a capacidade C_0 de qualquer de sistema resistir a qualquer carga externa E_0 poderia ser definido como um conjunto difuso. Em outras palavras, o par (C_0, E_0) poderia ser considerada como um par de números difusos. Isto significa que toda a incerteza da que entra em consequências da avaliação de (C_0, E_0) é quantificada através de métodos dos números difusos.

Desta forma, a técnica para calcular o risco de falha de qualquer sistema ambiental poderia ser feita pela aplicação da teoria dos números difusos em torno do par dos números difusos (C_0, E_0) .

ANÁLISE DE RISCO ATRAVÉS DA TEORIA DOS CONJUNTOS DIFUSOS

A Teoria dos Conjuntos Difusos é um método matemático usado para caracterizar e quantificar incertezas e imprecisões em relações funcionais. Essa teoria é muito importante em situações onde os dados não são suficientes para uma completa análise das incertezas, como ocorre com estudos realizados através dos métodos estatísticos para estimativas de frequências, Ganoulis, (1994). O ponto central desta teoria esta relacionada com a definição de uma função de desempenho que representa, numericamente, o grau através do qual um elemento se relaciona a um conjunto qualquer.

A função de desempenho pode ser representada através de uma par de equações, definida dentro de algum intervalo. Por exemplo a função de desempenho de um conjunto difuso pode ser descrito, matematicamente, por duas funções L e R definidas por

$$\mu_x(x) = L\left(\frac{x_m - x}{x_1}\right) \quad x < x_m; x_1 > 0 \quad (2)$$

$$\mu_x(x) = R\left(\frac{x - x_m}{x_1}\right) \quad x > x_m; x_2 > 0 \quad (3)$$

Onde x_m é o valor de x que faz $\mu_x(x)=1$.

A principal característica da função de desempenho é que o seu campo de existência está definido no intervalo $[0,1]$. Outro fato importante desta função é que ela representa, dentro deste intervalo, o grau de confiança que um número x deveria ter para um particular número difuso. Assim, de uma forma geral, pode-se concluir que números difusos são equivalentes as variáveis aleatórias, onde a função membro corresponde a função densidade de probabilidade. Com isso, é possível definir e quantificar Risco pela equação;

$$risk = \frac{\int_{x_1}^x \mu_x(x) dx}{\int_{x_1}^{x_2} \mu_x(x) dx} \quad (4)$$

onde o limite x representa um valor padrão suportável, do ponto de vista ambiental, definido para alguma região.

APLICAÇÃO DA TEORIA PARA REGIÃO DE PECÉM

Esta teoria foi aplicada na região costeira do Pecém, onde foi instalada uma estrutura portuária, com previsão de implantação de um emissário submarino. A análise foi feita para diferentes difusores e diferentes distancias entre o ponto de lançamento e a zona de recreação. A idéia era aplicar a teoria dos conjuntos difusos e calcular o risco de contaminação, onde as concentrações de coliformes fecais não alcançassem o valor padrão que é 1000 org/100ml.

Para alcançar estes objetivos, através de uma simulação matemática, foi aplicado um conjunto de dados, caracterizando a região em estudo. A descarga de efluente foi calculada em função da população esperada, e em função das atividades industriais para aquela região. Assim, a descarga foi calculada e usada com o valor de $2.857\text{m}^3/\text{s}$. A concentração dos resíduos lançados foi calculada em função do nível de atividades da região. O valor achado era $1.3\text{E}7$ org/100ml.

Para calcular a taxa de decaimento bacteriológico foi usada uma função membro definida por;

$$T_{90} = \mu_{T_{90}} + 1 \quad 1 < T_{90} < 2 \quad (5)$$

$$T_{90} = -3\mu_{T_{90}} + 5 \quad 2 < T_{90} < 5 \quad (6)$$

onde T_{90} é a função membro. Esta função membro foi estimada dentro de intervalo compatível com os dados da região e de maneira a caracterizar aquela região oceânica.

Aplicando as equações (5) e (6) em uma equação de decaimento é possível achar a equação que representa as funções definidas no domínio dos conjuntos difusos, para a diluição causada pelo decaimento bacteriológico. Assim;

$$D = e^{\frac{8.625}{-3\mu_{T_{90}} + 5}} \quad 5.612 < D_3 < 74.62 \quad (7)$$

$$D = e^{\frac{8.625}{\mu_{T_{90}} + 1}} \quad 74.62 < D_3 < 5569 \quad (8)$$

Agora, aplicando este conjunto de equações na equação (4), é possível calcular o risco da concentração de coliformes fecais alcançar o valor da concentração padrão definido pela legislação brasileira.

Os resultados mostram que o Risco de contaminação na praia, fica maior com o comprimento de difusor. Nas simulações, para LD igual a 50m, 100m e 200m, os riscos calculados foram os seguintes: $R(50) = .00033\%$; $R(100) = .00048\%$; e $R(200) = .0045\%$. Então, para diferentes situações de lançamento, o risco de contaminação será muito pequeno.

CONCLUSÕES

Analisando os resultados encontrados pode-se concluir que a teoria dos conjunto difusos representa uma ótima ferramenta para quantificar risco de poluição em sistemas hídricos. Por outro lado, considerando um sistema, onde haja dados disponíveis para uma boa análise estatística, a teoria de probabilidade poderia ser aplicada com igual chance de sucesso. Nesta pesquisa a teoria dos conjuntos difusos foi aplicada para analisar os efeitos da descarga de resíduos líquidos na região de Pecém, no estado do Ceará, e avaliar o risco de contaminação daquela área de recreação. Os resultados permitem concluir que o risco de que a concentração de coliformes fecais venha ser maior do que 1000 org/100ml, valor limite requerido para zonas de atividades recreativas, é muito baixo.

REFERENCES

- Stakhiv, E, 1986, “ Risk Analysis Considerations of Dam Safety, In Engineering Reliability and Risk in Water Resources”. L. Duckstein and E. J. Plate, editors.
- Bagtzoglou, A. C., A. F. B. Tompson and D. E. Doudherty, 1991, Probabilistic Simulation for Reliable Solute Source Identification in Heterogeneous Porous Medium”. In: Bardossy, A., I. Bogardi and L. Duckstein, 1990, “Fuzzy Regression in Hydrology. Water Resource Res. 26(7).
- Thomann, R. V., 1972, System Analysis and Water Quality, Environmental Science Service, NY, NY.
- Ganoulis, J, 1991, “ Water Resources Engineering Risk Assessment”. NATO, ASI Series, Vol. 29, Heidelberg – Springer Verlag.
- Ganoulis, J., 1994, “Engineering Risk Analysis of Water Pollution: Probabilities and Fuzzy Sets”, VCH.