

A TEORIA DOS CONJUNTOS DIFUSOS APLICADOS AO PROJETO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM EDIFÍCIOS

Doralice Aparecida Favaro Soares¹ e Orestes Marracini Gonçalves²

Resumo – Quando as decisões a respeito das características de projeto dependem de variáveis complexas influenciadas por parâmetros temporais e espaciais, a incerteza na definição destas características deveria ser quantificada e traduzida em termos objetivos. A Teoria dos Conjuntos Difusos (TCD) pode ser utilizada para considerar os diferentes aspectos que fazem parte do projeto de sistemas para o reuso de água e aproveitamento de águas pluviais, como por exemplo, a definição da demanda futura, a finalidade do edifício, o perfil do usuário, a precipitação local onde o edifício será implantado, e também as medidas de racionalização de consumo, etc. A aplicação da TCD é uma promissora ferramenta quando a incerteza, que é inerente ao fenômeno considerado no projeto, é um importante elemento para a sua definição. A grande diferença que existe entre a análise do conjunto de dados para o dimensionamento de um sistema de reuso ou um sistema de aproveitamento de águas pluviais através dos Conjuntos Difusos ou da Estatística clássica é que no primeiro caso, é possível variar o grau de pertinência de cada elemento considerado no projeto, enquanto que no segundo, os limites das variáveis de projeto devem ser definidos de forma rígida. Neste artigo, os Conjuntos Difusos são aplicados ao projeto de sistemas de reuso e aproveitamento de águas pluviais em edifícios com a finalidade de caracterizar apropriadamente as variáveis utilizadas.

Abstract - When the decision about the project's characteristics depends on complex variables influenced by temporary and space approaches, the uncertainty in the definition should be quantified and translated into objective terms. The fuzzy principles (FST) can be used in order to consider the different approaches that are part of the design system for the use of the rainwater and water reuse as, for example, the future demand definition, the building purpose, the user's profile, the local precipitation where the building will be or is located, as well as the rationalization measures of consumption, etc. The application of FST is a promising tool when the uncertainty, that is inherent in the phenomena to be considered in the project, is an important element for its

¹ Dep. de Eng^a Civil, UEM, Av. Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, PR - Tel.: (0xx44) 2681719; Fax: (0xx44) 2614322; e-mail: dafsoares@uem.br

² Dep. de Eng^a de Construção Civil e Urbana, EPUSP, Av. Prof. Luciano Gualberto, Trav.3, n° 380, Cidade Universitária, CEP 05508, São Paulo, SP - Tel.: (0xx11) 8185549; Fax: (0xx11) 8185423; e-mail: orestes@tesis.com.br

definition. The great difference that exists between analyzing the group of available data for the dimensioning of a water reuse system or of a rainfall use system through the fuzzy sets or through the classic groups is that in the first case, it allows to vary the pertinence degree of each element in a considered project, while in the second, the limits of the project variables should be strictly defined. In this paper, the fuzzy sets are applied to design the water reuse system and rainwater use in buildings with the purpose of characterize appropriately the variables to be used.

Palavras-Chave – Reuso de água, aproveitamento de águas pluviais, Teoria dos conjuntos difusos.

INTRODUÇÃO

O projeto de estruturas hidráulicas de um sistema predial de abastecimento de água, como o caso do projeto do reservatório, normalmente é definido em função da demanda, custo, benefícios, segurança estrutural do edifício quando este é adicionado a uma situação pré-existente, e oferta hídrica.

Com relação à oferta hídrica, conforme CHOW, MAIDMENT e MAYS (1988) o volume disponível de água na Terra é estimado em $1,338 \times 10^9 \text{ km}^3$. Deste volume, 96,5% encontra-se nos oceanos e mares, 1,69% é água subterrânea, 0,0012% na forma de umidade do solo, 1,725% na forma de gelo, 0,013% em lagos doces e salgados, 0,0008% em pântanos, 0,0002% em rios e 0,001% na atmosfera, sendo que deste total, apenas 2,5% é água doce. Cabe ressaltar que quando comparado com o total, além da água doce com potencial de aproveitamento ser ínfimo, esta é mal distribuída. Dos 577000 km³/ano que precipitação efetiva, isto é a precipitação subtraída da evapotranspiração, que ocorrem sobre a terra, menos que 20,6% ocorrem sobre os continentes e ilhas.

Este recurso hídrico potencial devido à precipitação efetiva, embora distribuído irregularmente e com frequência variável, pode e deve ser utilizado, nas regiões com pluviosidade mínima, como fonte complementar de água para fins menos nobres, como por exemplo a descarga de vasos sanitários, por que essa fonte adicional requer pouco ou nenhum tratamento.

Como a cada dia o desenvolvimento por que passa as grandes cidades tende a intensificar a poluição e a competição por água potável, pode-se obter substancial economia em regiões que possuam uma distribuição pluviométrica razoável.

A decisão pela opção do reuso de água ou aproveitamento das águas pluviais, é parte de um processo maior que é a gestão de recursos hídricos e além dos aspectos legais, administrativos,

econômicos e sociais, passa pela etapa de planejamento em que devem ser consideradas as relações de disponibilidade hídrica *versus* demanda. Para a realização de um planejamento adequado podem ser utilizadas as ferramentas de modelagem e de tomada de decisão, que contribuem para o projeto do sistema macro, planejamento do recurso hídrico da bacia hidrográfica, ou do sistema micro, planejamento do sistema de abastecimento predial, geralmente segundo as seguintes etapas (GANOULIS, 1994): identificação do problema; análise dos fatores e variáveis importantes; determinação dos objetivos em termos das variáveis selecionadas; desenvolvimento de modelo matemático para correlacionar as variáveis de entrada e saída do sistema; identificação das alternativas de projeto; seleção da solução ótima e análise de sensibilidade, examinando a influência nos resultados devido à alteração nos valores das variáveis e hipóteses consideradas.

O procedimento de projeto sugerido acima é interessante porque pode ser utilizado tanto em situações em que o grau de incertezas nas variáveis selecionadas é baixo, e o sistema é aproximado por um sistema determinístico, como naqueles que são maioria em que a incerteza nas variáveis é grande. Para considerar as incertezas envolvidas e também a possibilidade de caracteriza-las através de forma flexível e que possam considerar a possibilidade de julgamento, a Teoria dos Conjuntos Difusos apresenta-se como ferramenta útil, em estudos como este: o dimensionamento ótimo de reservatórios para o aproveitamento de águas pluviais em edifícios.

Baseado na aplicação da Teoria dos Conjuntos Difusos, o presente estudo amplia o trabalho de SOARES, ROESNER e GONÇALVES (2000) e procura direcionar a solução, para uma dada região com sua distribuição típica de pluviosidade, com relação ao dimensionamento ótimo do reservatório para o aproveitamento de águas pluviais, das seguintes questões: Em que situação o abastecimento de águas pluviais será insuficiente para atender o consumo dos vasos sanitários? (Quando o sistema falhará?); Com que frequência será necessária a complementação do abastecimento, com água potável? (Com que frequência o sistema falhará?); Qual o volume provavelmente gasto de água potável, dado um volume de reservatório?; e, decidir a respeito do aproveitamento ou não das águas pluviais. Para uma dada situação, é viável o aproveitamento das águas pluviais?

SISTEMAS PREDIAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A proposta de desenvolvimento sustentável em micro escala, quer seja em edificações ou pequenas comunidades, é impulsionada pelas limitações da reserva de água doce no planeta e aumento de demanda quer seja para usos domésticos, industriais ou agrícolas.

Para o caso do gerenciamento de águas e efluentes visando a reutilização da água em macro escala, MIERZWA e HESPANHOL (1999), sugerem a proposta de um programa para promover o uso racional dos recursos hídricos.

Para a implementação das soluções alternativas como o reuso da água e aproveitamento de águas pluviais, pode ser necessária uma política de incentivos por parte do governo. Estes incentivos financeiros, que poderiam ser na forma de empréstimos a uma taxa subsidiada ou redução de impostos podem contribuir para a dilatação do tempo necessário para a resolução do conflito entre oferta e demanda.

O desenvolvimento está ligado com a idéia de progresso, mas este progresso do ponto de vista ambiental possui limites naturais e estes limites é que impulsionam a sustentabilidade do ambiente, na forma de pesquisa de novas metodologias, planejamento e estratégias que proporcionem a interação equilibrada da sociedade, economia e ambiente, na alocação dos recursos ao longo do tempo e espaço.

Na definição da comissão BRUNDTLAND em 1987, citado em (AZAPAGIC, 2000), desenvolvimento sustentável é aquele “desenvolvimento que está de acordo com as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades”. Os componentes do desenvolvimento sustentável são o ambiente (matéria, energia, emissões, resíduos), a economia (sistema econômico) e a sociedade (bens e serviços). A coexistência adequada destes três componentes é que pode resultar em um ambiente sustentável.

PRONK e HAQ (1992), citado em POMPÊO (2000), afirmam que o desenvolvimento sustentável relaciona-se com o processo de formulação de políticas que permitam um desenvolvimento que seja sustentável sob o ponto de vista econômico, social e ecológico.

A componente social que pressiona a demanda sem dúvida é o crescimento populacional e este pode servir como parâmetro direcionador para a urgência na procura de metodologias de conservação e racionalização do uso da água. Segundo SAGE (1994), em 2025 seremos algo em torno de 7,6 a 9,4 bilhões de pessoas no planeta. Estima-se ainda que nesta época, dois terços da população mundial estarão vivendo em regiões com escassez de recursos hídricos. Se formos comparar a taxa de crescimento populacional urbano da América Latina com a taxa mundial vê-se que ambas giram em torno de 3% e isso é preocupante para o caso das mega-cidades brasileiras como o caso de São Paulo, objeto deste estudo.

RISCO DIFUSO

As atividades de projeto, geralmente envolvem situações, ações ou variáveis sujeitas a incertezas e quando essas incertezas levam ao risco, que pode ser a ocorrência de valores ou

situações indesejáveis, e se este risco depende de grande subjetivismo ou forem pouco conhecidas as funções de probabilidade das grandezas envolvidas, a Teoria dos Conjuntos Difusos torna-se mais atraente que a Teoria das Probabilidades, para a avaliação deste risco (VIEIRA, 1999).

GALVÃO (1999), classifica os métodos difusos como “possibilísticos” devido a que sua utilização implica em definição de classe e incerteza relativa ao significado. Os métodos probabilísticos embora lidem também com a incerteza envolvida nos fenômenos, necessitam da definição determinística destes valores. Um dos métodos probabilísticos utilizados para a comparação com os métodos difusos é o Teorema de Bayes, pois este se relaciona com os métodos difusos, por que através dele, é possível expressar as implicações da probabilidade de ocorrência sobre definição do significado das variáveis.

Para a compreensão, quantificação, avaliação e possíveis ações com relação aos riscos envolvidos no projeto ou produto deste projeto, geralmente são necessários, conforme VIEIRA (1999), as seguintes etapas: *identificação ou qualificação dos riscos; quantificação dos riscos; minimização dos riscos* e; *mitigação ou remediação das conseqüências dos riscos*. No caso em estudo, o risco no sistema predial é a possibilidade de um racionamento de água potável, ou em outras palavras, caso fosse construído o sistema de aproveitamento da água pluvial, o risco seria o de se ter que utilizar a água potável para a finalidade de evacuação de excretas do vaso sanitário. A quantificação deste risco pode ser efetuada com base determinística, utilizando-se programação matemática, ou métodos difusos, como no presente estudo de caso, devido a problemas de alta incerteza nas variáveis consideradas e séries de dados de entrada insuficientes. Com relação à minimização do risco mencionado está relacionado o dimensionamento ótimo do reservatório para atender aos critérios objetivos e subjetivos (difusos) do problema, e, finalmente a conseqüência da remediação do problema é a economia de água que se obtém ao implantar este sistema de aproveitamento de águas pluviais para uma determinada região sujeita a uma pluviometria particular.

APLICAÇÃO DA TCD

A Teoria dos Conjuntos Difusos, conforme ZADEH (1965), ZIMMERMAN (1987) e GANOULIS (1994), é um método matemático utilizado para caracterizar e quantificar a incerteza e imprecisão nos dados e relações funcionais. Os Conjuntos Difusos são especialmente úteis quando o número de dados não é suficiente para caracterizar a incerteza por meio da estatística clássica, isto é, através de medidas estatísticas que envolvem frequências como a média, desvio padrão e tipo de função de distribuição de probabilidades.

Os conjuntos *difusos*, também chamados de nebulosos, são uma generalização do conceito da Teoria Clássica dos Conjuntos e são denominados desta forma por representarem situações onde as funções de pertinência dos conjuntos não podem ser definidas apenas como sendo pertencente ou não a um determinado conjunto, ou seja refletem aquelas situações onde os limites do conjunto não são claramente definidos. Deste modo, através da lógica difusa, a transição entre as situações de pertencente ou não a um certo conjunto deixa de ser abrupto para ser gradual e desta forma pode-se reduzir a complexidade do problema. Deste modo se um certo elemento pertence a um dado conjunto em um certo grau, o valor da função de pertinência pode variar de 0 (zero) a 1 (um) e se a função de pertinência puder assumir somente os valores 0 e 1, os conjuntos difusos recaem no caso dos conjuntos clássicos. Quando o grau de pertinência varia entre 0 e 1, o conjunto difuso é chamado de normal ou normalizado.

Formalmente um conjunto difuso é definido como (GALVÃO, 1999):

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

onde X é o universo onde os elementos x estão definidos, e $\mu_A(x)$ é a função de pertinência de x em \tilde{A} . Deve-se notar que os sistemas difusos trabalham com o conceito de definição de classe, de incerteza relativa ao significado.

Se no problema estudado as variáveis do sistema não são descritas na forma difusa, é necessária a utilização de um processo chamado de composição ou *fuzzificação* (GALVÃO, 1999), ou seja a transformação do valor determinístico da variável em valor difuso. O caminho de retorno, após a quantificação do fenômeno difuso, pode ser necessária para as decisões práticas de projeto a decomposição, ou *defuzzificação*, que é a transformação do resultado difuso para um valor determinístico. OLIVEIRA (1999) cita alguns métodos de defuzzificação.

Outra componente importante no processo de aplicação da TCD é a definição das variáveis lingüísticas, que na realidade são a base da construção das proposições difusas. Conforme OLIVEIRA (1999), estas variáveis lingüísticas devem possuir três características principais: devem possuir conteúdo variável; devem assumir valores lingüísticos como alto, médio e baixo por exemplo e; devem possuir identificação nominal.

Com relação aos dados pluviométricos, utilizou-se a seguinte metodologia:

- a) ordenou-se o conjunto total de dados;
- b) retirou-se os dados não lidos;
- c) classificou-se os dados segundo uma percentagem pré-definida;

- d) calculou-se a intensidade média de cada faixa considerada;
- e) para um valor de área de coleta pré-definido, calculou-se o volume do reservatório necessário, o volume de água potável economizado no período considerado, com chuva máxima igual a média da faixa de chuvas considerada e o volume de água potável necessária para suplementação, caso necessária;
- f) calculou-se as funções de pertinência para os benefícios e custos do sistema;
- g) efetuou-se as operações com os números difusos para se obter a melhor relação benefício custo, ou a partir de que grau de pertinência tem-se $(B/C) \geq 1$;
- h) avaliou-se o risco difuso.

Para a determinação dos valores de cada faixa, item (d) acima, foram desprezados os dias em que a precipitação foi igual a zero, precipitação nula, e os dias em que não ocorreu medição.

Os dias secos foram desprezados porque a intenção é se saber, dentre as chuvas ocorridas, qual é a probabilidade que um dado valor ocorra.

O valor de precipitação escolhido, segundo sua probabilidade de ocorrência, substitui o valor de precipitação medido, toda vez que este for maior que o primeiro, ou seja, nenhuma precipitação deve ser maior que a escolhida. Este valor é a média da faixa.

Fazendo-se o cálculo desta forma, toda a precipitação considerada, terá uma probabilidade de ocorrer igual a escolhida e, assim, se o dimensionamento do reservatório for efetuado para o mês mais seco do ano, o volume de água potável calculado será sempre superior ao consumido nos demais meses. Isto pode ser constatado se for feito o dimensionamento para cada mês.

Ao se classificarem os dados, foram utilizados todos os dados registrados na série histórica de durante os 12 anos disponíveis. Isto foi efetuado deste modo pois será um mesmo reservatório que atenderá os vasos sanitários durante todos os meses do ano e então, ao se fazer o dimensionamento para a situação mais crítica, estará se contemplando as demais, uma vez que se a precipitação ocorrida for maior que a utilizada no cálculo, desde que esta seja armazenada, não sendo necessária parte ou toda a água potável prevista. Desta forma o consumo de água potável será menor que o previsto, ou na pior das hipóteses, a água de chuva será eliminada pelo dreno do reservatório.

Tabela 1 – Dados de ocorrência da precipitação

Probabilidade de ocorrência da chuva (frequência) (%)	90	80	70	60	50	40	30	20	10	< 10
Número de dados por faixa	114	229	343	457	571	686	800	914	1029	1143
Intervalo dos dados	1-114	115-229	230-343	344-457	458-571	572-686	687-800	801-914	915-1029	1030-1143
Intervalo de precipitação (mm)	0.1-0.6	0.6-1.6	1.6-3	3-4.6	4.7-7.3	7.4-10.1	10.3-14.8	14.8-21.6	22-34.4	34.5-200
Precipitação média da faixa* (mm)	0.33	1.08	2.27	3.81	5.81	8.79	12.46	17.99	27.37	53.36
Média simples** (mm)	0.35	1.10	2.30	3.80	6.00	8.75	12.55	18.20	28.20	117.25

* média da faixa: é a média entre todos os valores do intervalo escolhido. Este é o valor escolhido para o cálculo

** média simples: é a média entre o primeiro e o último valor do intervalo escolhido

Tabela 2 – Determinação do volume do reservatório, do volume de água potável consumido e da economia obtida, em litros por vaso sanitário atendido, e, da economia obtida, em porcentagem, sendo a área de coleta de águas pluviais igual a 60 m² por vaso sanitário atendido.

Frequência (probabilidade de ocorrência de uma chuva igual a) (%)	90	80	70	60	50	40	30	20	10	< 10
Volume do reservatório	84	84	84	85	148	189	224	254	325	386
Volume de água potável necessário*	2407	2220	1958	1674	1376	1073	816	610	344	156
Economia obtida por vaso sanitário** (litros)	113	300	562	846	1144	1447	1704	1910	2176	2364
(%)	4.5	11.9	22.3	33.6	45.4	57.4	67.6	75.8	86.3	93.8
Consumo total do vaso sanitário (l)	2520	2520	2520	2520	2520	2520	2520	2520	2520	2520
Relação B/C	0.05	0.14	0.29	0.51	0.83	1.35	2.09	3.13	6.33	15.15

* Custo = volume de água potável necessário.

**Benefício = economia obtida (litros).

Considerando-se que o reservatório será construído e desconsiderando-se o valor de sua construção pode-se assumir que:

- a) Os benefícios do projeto correspondem ao volume de água economizado, dado a utilização da água pluvial, ou seja, as chuvas com frequência inferior a 40% contribuirão ainda mais para a economia de água potável;
- b) O custo do projeto será dado pelo volume de água necessário para a complementação.

Pela tabela 2, observa-se que a relação benefício/custo, B/C, aumenta quanto mais se diminui a frequência³ da chuva. Por exemplo: ao se considerar uma chuva que ocorra 90% das vezes, ou seja, a máxima chuva considerada for a média da faixa das chuvas que ocorreram 90% das vezes, esta teria um valor pequeno, neste caso, 0,33 mm. Neste caso, pode-se observar que a relação B/C = 0,047, que mostra que se as chuvas forem sempre inferiores a 0,33 mm, não é viável o aproveitamento das águas pluviais.

Para a frequência de 40%, que possuem chuvas máximas de 8,79 mm, ou seja, chuvas com frequência menor que 40% e conseqüentemente precipitação maior que 8,79 mm, estarão contribuindo na redução do volume de água potável necessário com uma relação B/C igual a 1,35.

Fazendo-se interpolação linear, a relação B/C será igual a 1 quando o volume do reservatório for igual a 175 litros por vaso sanitário atendido, então, qualquer volume superior a 175 litros levará a um consumo de água potável menor e uma relação B/C cada vez maior.

Considerando-se a utilização do conceito de conjuntos difusos na caracterização dos benefícios e dos custos e considerando-se a variação de + ou - 10%, tem-se:

$$\tilde{B} = (1302,3; 1447; 1591,7), \text{ e,}$$

$$\tilde{C} = (965,7; 1073; 1180,3), \text{ então a relação benefício/custo na forma difusa será:}$$

$$\tilde{B} : \tilde{C} = (1302,3; 1447; 1591,7) (\cdot) (965,7; 1073; 1180,3)$$

A relação acima pode ser expressa graficamente como nas figuras 1, 2 e 3:

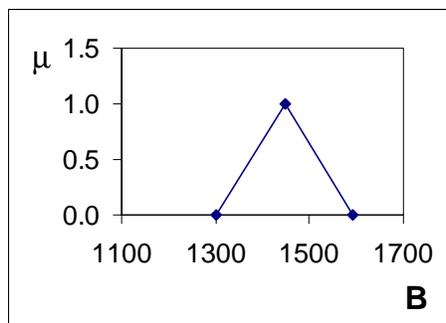


Figura 1 – Benefício \tilde{B}

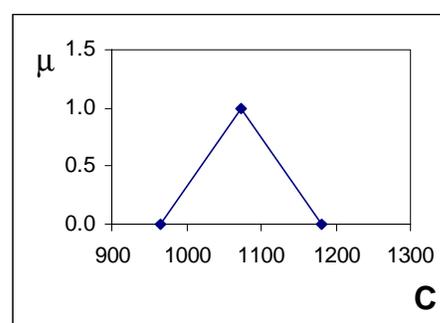


Figura 2 – Custo \tilde{C}

³ A frequência da chuva aqui utilizada é dada pela probabilidade de ocorrência de uma chuva maior ou igual ao valor da Tabela XX, valor calculado, que é a média dos valores de cada faixa de frequência.

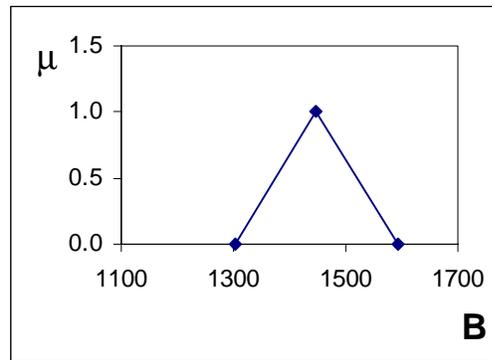


Figura 3 - Relação Benefício/Custo $\tilde{B}(\cdot) \tilde{C}$

$$\tilde{B} : \tilde{C} = (1302,3/1180,3; 1447/1073; 1591,7/965,7)$$

$$\tilde{B} : \tilde{C} = (1,10; 1,35; 1,65)$$

Numericamente tem-se:

Benefícios:

$$\begin{aligned} \mu_B(x) &= 0 && \text{para } x \leq 1302,3 \\ \mu_B(x) &= (x-1302,3)(1447-1302,3) = (x-1302,3)/144,7 && 1302,3 \leq x \leq 1447 \\ \mu_B(x) &= (1591,7-x)(1591-1447) = (1591,7-x)/144,7 && 1302,3 \leq x \leq 1447 \\ \mu_B(x) &= 0 && \text{para } x \geq 1591,7 \end{aligned}$$

Custos:

$$\begin{aligned} \mu_C(x) &= 0 && \text{para } x \leq 965,7 \\ \mu_C(x) &= (x-965,7)(1073-965,7) = (x-965,7)/107,3 && 1302,3 \leq x \leq 1447 \\ \mu_C(x) &= (1180,3-x)(1180,3-1073) = (1591,7-x)/107,344,7 && 1302,3 \leq x \leq 1447 \\ \mu_C(x) &= 0 && \text{para } x \geq 1180,3 \end{aligned}$$

Intervalo de pertinência:

Intervalo B_α (da figura 1)

$$\alpha = (b_1 - 1302,3)/144,7 \quad b_1 = 144,7\alpha + 1302,3$$

$$\alpha = (1591,7 - b_2)/144,7 \quad b_2 = 1591,7 - 144,7\alpha$$

onde α é o grau de pertinência de b_i

$$B\alpha = [(144,7x + 1302,3)/(1591,7 - 144,7\alpha)]$$

Intervalo C_α (figura 2)

$$\alpha = (c_1 - 965.7) / 107.3 \quad c_1 = 107.3\alpha + 965.7$$

$$\alpha = (1180.3 - c_2) / 107.3 \quad c_2 = 1180.3 - 107.3\alpha$$

Relação Benefício/Custo para diversos níveis de pertinência, α .

$$B_\alpha(\cdot) C_\alpha = (b_1/c_2; b_2/c_1)$$

$$B_\alpha(\cdot) C_\alpha = [(144.7\alpha + 1302.3) / (1180.3 - 107.3\alpha); (1591.7 - 144.7\alpha) / (107.3\alpha + 965.7)]$$

Por exemplo, se $x=0.5$, tem-se:

$$B_\alpha(\cdot) C_\alpha = (1.22; 1.49)$$

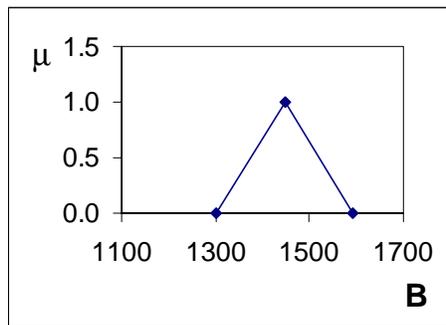


Figura 1 – Benefício \tilde{B}

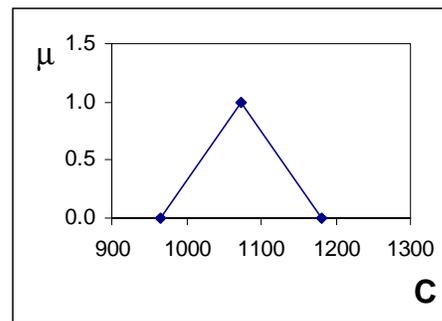
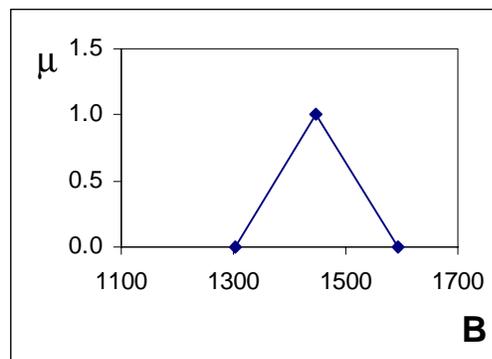


Figura 2 – Custo \tilde{C}



Relação Benefício/Custo $\tilde{B}(\cdot)\tilde{C}$

CONCLUSÃO

O dimensionamento de reservatórios para o aproveitamento das águas pluviais através da Teoria dos Conjuntos Difusos mostra-se como ferramenta promissora porque como este dimensionamento depende de variáveis com graus de incerteza, estes graus podem ser considerados mais apropriadamente e desta forma facilita-se a tomada de decisões com relação a que faixa de valores e grau de pertinência a se escolher para determinado projeto.

Como vantagens do método, além da consideração das incertezas das variáveis consideradas, pode-se destacar a facilidade de programação das regras de operação com os números difusos, tornando a análise simples.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZAPAGIC, A. Sustainable development. /Curso ministrado no Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, de 4 a 6 de dezembro de 2000/
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.
- GALVÃO, C. O. Introdução à teoria dos conjuntos difusos. In: GALVÃO, C. O.; VALENÇA, M. J. S. (org.). **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1999.
- GANOULIS, J. G. **Engineering risk analysis of water pollution: probabilities and fuzzy sets**. Weinheim, VCH, 1994.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Programa para gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias, visando ao uso racional e à reutilização. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 4, n. 1, Jan/Mar e n.2, Abr/Jun, 1999.
- OLIVEIRA, H. A., Jr. **Lógica difusa: aspectos práticos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 1999.
- POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.
- SAGE, C. Population, consumption and sustainable development. In: REDCLIFT, M; SAGE, C. **Strategies for sustainable development: local agenda for the south**. Chichester, John Wiley & Sons, 1994.
- SOARES, D. A. F.; ROESNER, L. A.; O. M. GONÇALVES. Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing. CIB W62, Rio de Janeiro, 2000. **Proceedings**. Rio de Janeiro: CIB/EPUSP, 2000. – (electronic media).
- TUNG, Y. K. Risk/reliability-based hydraulic engineering design. In: MAYS, L. W. (ed.). **Hydraulic design handbook**. New York: McGraw-Hill, 1999.
- VIEIRA, V. P. P. B. Avaliação quantitativa de riscos econômicos e ambientais. In: GALVÃO, C. O.; VALENÇA, M. J. S. (org.). **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1999.
- ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and control**, v. 8, n. 3, 38-53, 1965.
- ZIMMERMAN, H. J. **Fuzzy sets, decision making, and expert systems**. Boston: Kluwer, 1987.