

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA FINS DE ABASTECIMENTO: PROPOSTA DE CÁLCULO POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Fabretti, Thaize R.¹ & Fantinatti, Pedro A. P.²; Jacomazzi, Marco A.³; Zuffo, Antonio C.⁴

RESUMO - O presente trabalho apresenta uma proposta para o cálculo de cobrança pelo uso da água por meio de metodologia multicritério. O modelo proposto tem por objetivo a aplicação do cálculo da cobrança pelo uso da água para empresas de saneamento público, abrangendo a captação e consumo, bem como o lançamento de efluentes. E se propõe a diferenciar a estimativa dos preços unitários finais (PUF), servindo como mecanismo de compensação e incentivo aos usuários. Para a apresentação do modelo proposto foram realizadas a estruturação, a classificação e a quantificação de alguns critérios de avaliação a partir da opinião de especialistas da área de recursos hídricos. A adoção de metodologia multicritério na definição da cobrança possibilita qualificar o sistema de saneamento público municipal (abastecimento de água e coleta de esgoto), atribuindo índices de desempenho e, inclusive, possibilitando a redução dos valores da cobrança pela água. Acredita-se que o modelo proposto – após revisão e estruturação definitiva com a participação, inclusive, dos comitês de bacias - possibilitará tornar a cobrança pela água um instrumento efetivo de gestão dos recursos hídricos, visto que proporciona benefícios econômicos aos usuários que investem em tecnologia e no uso racional do recurso água.

Abstract – This paper proposes the calculation of charges for water use through multicriteria methodology. The proposed model aims to apply the formula of charging for water use for public sanitation companies, including the uptake and consumption and sewage discharge. It proposes to vary the estimated final prices per unit serving as a clearing mechanism of incentive for the users. For the presentation of the proposed model was carried out a structure, classification and quantification of evaluation criteria based on the opinions of experts on water resources. The adoption of multicriteria methodology on the definition of recovery allows qualifies the public municipal sanitation system (water supply and sewage) and assigning performance indices, including a possible reduction of the values of charging for water. We believe the proposed model - after final review and structuring with the participation of the basin committees - will enable the charge of water an effective tool for water resources management as it provides economic benefits to users that invest in technology and the rational use of water.

Palavras-Chave – Cobrança pelo uso da água, metodologia multicritério de apoio à decisão.

INTRODUÇÃO – Segundo o parágrafo I do Artigo 1º da Lei Estadual Nº 12.183 de 29 de Dezembro de 2005, “... a água é um bem público que possui valor econômico, sendo necessário dar ao usuário uma indicação de seu real valor” (São Paulo, 2005, p. 1). A cobrança pelo uso da água, além de ser um dos instrumentos de gestão de recursos hídricos visa: (i) incentivar o uso racional e sustentável, (ii) prover recursos financeiros para financiamento de programas e

¹ Pesquisadora: FCTH /USP, Av. Pedroso de Morais, 1619 - 05419-001 - São Paulo/SP - (11) 3031.4790 / 3031.1431, thaizefabretti@gmail.com

² Doutorando: DRH/FEC/UNICAMP, Av. Albert Einstein 951 - 13083-852 Campinas/SP - (19) 3521-2357 / 3521-2304, pedroapf@yahoo.com

³ Doutorando: DRH/FEC/UNICAMP, Av. Albert Einstein 951 - 13083-852 Campinas/SP - (19) 3521-2357 / 3521-2304, marcoantonio@rasa.eng.br

⁴ Prof. Dr.: DRH/FEC/UNICAMP, Av. Albert Einstein 951 - 13083-852 Campinas/SP - (19) 3521-2357 / 3521-2304, zuffo@fec.unicamp.br

intervenções contemplados nos Planos de Recursos Hídricos e Saneamento, (iii) penalizar uso degradador e indiscriminado da água e (iv) promover gestão do uso da água e seus conflitos.

Segundo Zuffo e Genovez (2006), a utilização de indicadores como ferramenta de auxílio à tomada de decisão em problemas complexos é relativamente novo; entretanto, sua aplicabilidade e eficiência nessas decisões têm apresentado resultados satisfatórios. Segundo os autores, os modelos multicritério são especialmente aplicáveis no planejamento de recursos hídricos.

Ainda, segundo Zuffo e Genovez (2006), um dos bem sucedidos exemplos da aplicação de modelos multicritérios (multiobjetivos) na área de recursos hídricos é o índice de qualidade de água (IQA) da CETESB. Esse índice é quantificado por nove parâmetros, cujas funções de valor foram definidas pela CETESB na década de 1970. Os autores, porém, contestam que o IQA reflète, principalmente, corpos hídricos poluídos por lançamento de esgotos domésticos. Sugerem que esta metodologia seja aplicada ainda quando não se disponha dos nove parâmetros, ou se disponha de outros parâmetros não contemplados pela proposta original do IQA. Neste caso, deve-se aplicar simultaneamente às análises dos pontos amostrados “alternativas” com os valores limites de cada uma das classes definidas pela Resolução CONAMA 357/05. Isto permitiria, não o cálculo do valor do IQA, mas definir o enquadramento dos cursos d’água segundo a resolução citada.

No que diz respeito à cobrança pelo uso da água, Magalhães *et al.* (2003) elaboram um estudo comparativo de quatro metodologias utilizando um trecho da bacia do Rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo. Os modelos testados, embora alguns apresentassem a descrição e diferenciação da cobrança em função da capacidade de diluição de carga lançada de efluente, restringiram a cobrança aos volumes de água captados e consumidos e à carga lançada de efluente.

A partir da análise da cobrança pelo uso da água nas bacias do PCJ (rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí), o presente estudo pretende elaborar um modelo que avalie o valor da tarifa cobrada para o uso da água pelas empresas de saneamento público (abastecimento de água e lançamento de efluentes). Pretende-se contemplar os objetivos econômicos, técnicos, ambientais e sociais levando em consideração os seus mecanismos e o arcabouço jurídico desenvolvido para este assunto. Essa metodologia poderia ser especialmente importante para as bacias desprovidas de mecanismos para implantação da cobrança.

Este trabalho faz parte das linhas de pesquisa do LADSEA⁵ – Laboratório de Apoio à Decisão orientada à Sustentabilidade Empresarial e Ambiental, o qual é coordenado pelo Prof. Dr. Antonio Carlos Zuffo.

A COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA

Metodologia de cálculo da cobrança: situação atual - Os critérios, detalhes e

⁵ O LADSEA está vinculado ao Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

procedimentos da cobrança pelo uso da água no estado de São Paulo são regidos por: (i) Lei Estadual nº 12.183 de 2005 (São Paulo, 2005), (ii) Decreto Estadual nº 50.667 de 2006 (São Paulo, 2006a) e (iii) Decreto Estadual nº 51.449 de 2006 (São Paulo, 2006b). Segundo estas normas o valor da cobrança é o resultado da multiplicação dos volumes anuais de água captada/extraída, da consumida e da carga de efluente lançada, pelos respectivos preços unitários finais (Equação 1).

$$R_T = \sum (PUF_{CAP} * V_{CAP})_i + \sum (PUF_{CONS} * V_{CONS})_i + \sum (PUF_{LAN} * Q_{LAN})_i \quad (1)$$

Em que:

- **RT** – Receita Total oriunda da cobrança (R\$);
- **V_{CAP}** – Volume de água (m³) captado, derivado ou extraído, por uso, no tempo em cursos de água (“*demanda instalada*”);
- **V_{CONS}** – Volume de água (m³) consumido por uso, no tempo, decorrente de captação, derivação ou extração de água em corpos de água, considerando a vazão de lançamento no manancial;
- **Q_{LAN}** – Valor médio da carga do - parâmetro Y - (em kg) presente no efluente final, por lançamento, em corpos d’água;
- **PUF_w** - Preços Unitários Finais equivalentes a cada variável considerada na fórmula da cobrança sendo w: (i) CAP – captação ou derivação em corpo hídrico; (ii) CONS – consumo por uso no período e (iii) LAN – referente à carga de efluente lançada no manancial (R\$.m⁻³);

O volume captado (**V_{CAP}**) representa uma “reserva estratégica de água” considerando a demanda futura pelo empreendimento, semelhante ao fator de potência instalada na tarifação de energia elétrica. A **V_{CAP}** considera os volumes de água solicitados pela outorga e os medidos durante o exercício da atividade, como está descrito pela Equação 2.

$$V_{CAP} = k_{OUT} * V_{OUT} + k_{MED} * V_{MED} \quad (2)$$

Em que:

- **k_{OUT}** – Peso atribuído ao volume de captação outorgado;
- **k_{MED}** – Peso atribuído ao volume de captação medido, no período;
- **V_{OUT}** – Volume de água (m³) captado, no tempo em cursos de água segundo valores solicitados no ato da outorga;
- **V_{MED}** – Volume de água (m³) captado no tempo, em cursos d’ águas, obtido por medição.

Conforme detalhado no Decreto Estadual nº 51.449 de 2006, parágrafo único, no cálculo do

volume de água captado ou extraído serão adotados os valores de pesos $k_{OUT}=0,2$ e $k_{MED}=0,8$, sendo que a soma desses valores sempre será igual à unidade, ou seja: $k_{OUT} + k_{MED}=1$.

O volume consumido representa a quantidade de água bruta efetivamente utilizada pelo empreendimento, sendo esse valor resultado da medição por meio de equipamentos (hidrômetros) aceitos pelo órgão outorgante. Conforme demonstrado na Equação 3, do volume total captado deve ser subtraída a parcela referente ao lançamento de efluentes/água pelo empreendimento.

$$V_{CONS} = V_{CAPT} - V_{LANC} \quad (3)$$

Em que:

- V_{CAPT} – Volume total de água (m^3) captado, derivado ou extraído. Valor próximo ao V_{CAP} acrescido dos demais usos de água pelo usuário ou empreendimento;
- V_{LAN} – Volume total de água (m^3) lançado.

Os valores dos Preços Unitários Finais (PUF) são o resultado dos Preços Unitários Básicos (PUB) pelos coeficientes ponderadores, expresso matematicamente pela Equação 4. Esses coeficientes ponderadores consideram características como: disponibilidade hídrica do manancial, utilização de obras para regularização de vazão, qualidade da água bruta, finalidade do uso, atuação governamental regional, qualidade do efluente etc. Esses critérios são empregados como incentivo ao uso racional eficiente da água, considerando aspectos referentes à integridade ambiental do recurso hídrico.

$$PUF_w = \left[\prod_{i=1}^{13} (X_i; Y_i) \right] * PUB_w \quad (4)$$

Em que:

- PUB_w - Preços Unitários Básicos definido para cada variável sendo w : (i) CAP – captação ou derivação em corpo hídrico; (ii) CONS – consumo por uso no período e (iii) LAN – referente à carga de efluente lançada no manancial.
- X_i – Coeficientes Ponderadores para captação, extração, derivação e consumo de água, definidos segundo inciso I do Artigo 12 do Decreto Estadual nº 50.667 de 2006;
- Y_i – Coeficientes Ponderadores para os parâmetros de carga lançada, segundo inciso II do Artigo 12 do Decreto Estadual nº 50.667 de 2006.

Segundo a legislação vigente, são considerados os Preços Unitários Básicos para: (i) captação, extração e derivação – $PUB_{CAP} = R\$ 0,01.m^{-3}$; (ii) consumo – $PUB_{CONS} = R\$ 0,02.m^{-3}$ e (i) carga lançada – $PUB_{LAN} = R\$ 0,10.kg^{-1}$ de $DBO_{5,20}$.

Conforme citado anteriormente, a qualificação da captação/extração, do consumo e da carga de efluentes retornada ao manancial é determinada pelos coeficientes ponderados cujos critérios e parâmetros estão listados no Artigo 12 do Decreto Estadual nº 50.667 de 2006 (São Paulo, 2006a), abaixo apresentados:

I – Parâmetros dos coeficientes ponderadores para a captação/extração, derivação e consumo (parâmetro X):

- X₁ – natureza do corpo hídrico, superficial ou subterrâneo;
- X₂ – classe de uso preponderante (enquadramento);
- X₃ – disponibilidade hídrica local;
- X₄ – grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;
- X₅ – volume captado, extraído ou derivado e regime de variação;
- X₆ – volume ou consumo efetivo;
- X₇ – finalidade do uso;
- X₈ – sazonalidade;
- X₉ – características dos aquíferos;
- X₁₀ – características físico-químicas e biológicas da água;
- X₁₁ – localização do usuário;
- X₁₂ – práticas de conservação e manejo do solo e da água;
- X₁₃ – transposição de bacias;

II – Parâmetros dos coeficientes ponderadores para a carga de efluente lançada (parâmetro Y):

- Y₁ – natureza do corpo hídrico, superficial ou subterrâneo;
- Y₂ – grau de regularização assegurado por obras hidráulicas;
- Y₃ – carga lançada e seu regime de variação;
- Y₄ – natureza da atividade;
- Y₅ – sazonalidade;
- Y₆ – vulnerabilidade dos aquíferos;
- Y₇ – características físico-químicas e biológicas do corpo hídrico receptor;
- Y₈ – localização do usuário;
- Y₉ – práticas de conservação e manejo do solo e da água;

Como discutido anteriormente, o modelo de cálculo da cobrança prevê diferenciação de valores das taxas finais (R\$.m⁻³ ou R\$.kg⁻¹ de carga lançada) por meio dos coeficientes

ponderadores, abaixo estão descritos alguns trechos da legislação vigente corroborando essa informação:

Pelo Artigo 12 do Decreto Estadual nº 50.667 de 2006 “...*Os coeficientes ponderadores, ..., além de permitirem a diferenciação dos valores a serem cobrados, poderão servir de mecanismo de compensação e incentivo aos usuários...*” São Paulo (2006a).

Conforme § 3º do inciso III, Artigo 7º da Lei Estadual nº 12.183 de 2005 “...*Serão adotados mecanismos e incentivos para os usuários que devolverem a água em qualidade superior àquela determinada em legislação...*” São Paulo (2005).

Os critérios de diferenciação para aplicação de modelos multicritério já foram definidos na legislação específica sobre recursos hídricos; porém, não foram nem definidos, nem implantados mecanismos para computo desses “coeficientes ponderadores diferenciados”. Logo, o modelo atual da cobrança apenas contabiliza, efetivamente, os volumes de água bruta captada e consumida e a carga de efluente lançada.

MÉTODOS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO - Keeney (1992), corroborado por Ensslin *et al.* (2001) e Bana e Costa *et al.* (2004), afirma que, para a aplicação eficiente das metodologias multicritério de apoio à decisão (MCDA – sigla em inglês para *Multiple Criteria Decision Aid*), deve-se garantir a atuação dos decisores durante toda a estruturação dos problemas. Deve-se definir, claramente, a escala de preferência desse grupo, o que é um dos principais pilares na resolução dos problemas pelo paradigma construtivista, inerente à MCDA.

Zuffo e Genovez (2006) empregam, comparativamente, os modelos multicritério CP (*Compromise Programming*) e CGT (*Cooperative Game Theory*), que são baseados na distância geométrica. Os autores concluem que, para utilização de modelos multicritério na elaboração de índices ambientais, o CGT apresenta melhor desempenho sendo, portanto, recomendado.

A diferença básica entre o CP e o CGT é que o primeiro usa um modelo aditivo de agregação, enquanto que o segundo utiliza um modelo multiplicativo, ou seja, uma avaliação ponderada de desempenho das alternativas. Esta avaliação é feita a partir da análise de desempenho de cada alternativa nos diversos critérios, considerando, na ponderação, os respectivos pesos de cada critério.

Segundo Keeney (1992), o uso de um modelo aditivo prescinde que os critérios sejam independentes não apenas em relação à análise de desempenho – isto é, o desempenho de qualquer alternativa em um determinado critério não pode ser influenciado pelo seu desempenho em qualquer outro critério - mas, também, em relação as consequências do desempenho; ou seja, um desempenho positivo em um determinado critério deveria poder ser aproveitável (consequência) no contexto decisório, independentemente do desempenho em qualquer outro critério. E isto não é possível, por exemplo, no contexto do IQA, em que um desempenho ruim em um único critério

afeta as consequências de todo o conjunto de critérios, independentemente do desempenho nos demais critérios. Por isso, conforme apontado por Zuffo e Genovez (2006) e, baseado nos princípios do pensamento focado nos valores para MCDA, desenvolvidos por Keeney (1992), os modelos multiplicativos, como o CGT, são mais recomendados para problemas relativos a questões ambientais e de recursos hídricos do que os modelos aditivos, como o CP ou o M-MACBETH (Bana e Costa *et al.*, 2005)

Zuffo *et al.* (2002) apresentam uma revisão detalhada de diferentes modelos multicritério aplicando-os no planejamento reabilitação e conservação do sistema produtor de água potável da bacia do Baixo Cotia – RMSF. Segundo o autor, o enfoque multicritério possibilitou incorporar ao modelo proposto, aspectos sociais, econômicos, técnicos e ambientais nos vinte parâmetros considerados.

Bana e Costa e Sanchez-Lopez (2009) afirmam que a abordagem construtivista – ou seja, MCDA - é a única capaz de agregar, adequadamente, os aspectos subjetivos de temas transversais, tais como ambientais e sociais, aos contextos de decisão.

Keeney (1992), Ensslin *et al.* (2001) e Bana e Costa *et al.* (2004), entre outros, afirmam que a fase de estruturação dos critérios de avaliação das alternativas é a fase mais importante e decisiva para o sucesso da metodologia multicritério.

Keeney (1992) afirma que as metodologias tradicionais erram ao focar a solução dos problemas na escolha de alternativas pré-definidas, e defende que para uma solução mais legítima, eficiente e duradoura, o foco deva estar nos valores dos decisores. E, depois de estabelecer os critérios de avaliação, a partir dos valores dos decisores, deve-se escolher a melhor alternativa ou, até mesmo, criar uma alternativa que melhor se adequar ao contexto decisório.

Keeney (1992) afirma, ainda, que o erro crítico mais comum é o de estabelecer pesos para os critérios sem considerar a independência entre eles e suas variações devidas às possíveis alterações no contexto decisório. Este “erro crítico mais comum”, presente constantemente nas metodologias tradicionais apresenta-se na forma da pergunta “quanto um critério vale mais do que outro?”.

Estruturação dos critérios – Os critérios de avaliação das alternativas em um determinado contexto decisório devem ser estabelecidos, conforme afirmado acima, a partir dos valores dos decisores ou de um grupo de especialistas com conhecimento suficiente a respeito do contexto decisório (Bana e Costa e Sanchez-Lopez, 2009).

Na etapa de elaboração da lista de critérios, Keeney (1992) aponta que devem ser identificados os candidatos a objetivos fundamentais⁶, os quais devem, necessariamente, ser oriundos de um mapeamento cognitivo a partir dos valores dos decisores; e, então, deve-se proceder

⁶ Os objetivos fundamentais podem ser encontrados com outras nomenclaturas, tais como: “pontos de vista fundamentais” (Bana e Costa *et al.*, 2005) ou “EPA - Elementos Primários de Avaliação” (Ensslin *et al.*, 2001).

a uma verificação em relação ao cumprimento de nove requisitos para que os candidatos a objetivos fundamentais possam ser, de fato, aceitos como critérios de avaliação.

Os requisitos obrigatórios para que cada um dos candidatos a objetivo fundamental possam ser considerados como critério de avaliação são:

- Essenciais: deve levar em conta os aspectos de fundamental importância segundo o sistema de valores dos decisores;
- Controláveis: deve representar um aspecto que seja influenciado apenas pelas ações potenciais;
- Completos: o conjunto de objetivos fundamentais deve incluir todos os aspectos considerados com fundamentais pelos decisores;
- Mensuráveis: permite especificar, com a menor dúvida possível, a performance das ações potenciais, segundo os aspectos considerados fundamentais pelos decisores;
- Operacionais: possibilita coletar as informações requeridas sobre a performance das ações potenciais, dentro do tempo disponível e com esforço viável;
- Isolável: permite a análise de um aspecto fundamental de forma independente com relação aos demais aspectos do conjunto;
- Não redundante: o conjunto de objetivos fundamentais não deve levar em conta o mesmo aspecto mais de uma vez;
- Conciso: o número de aspectos considerados pelo conjunto de objetivos fundamentais deve ser o mínimo necessário para modelar, de forma adequada, o problema segundo a visão dos decisores;
- Compreensível: deve ter o seu significado claro para os decisores, permitindo a geração e comunicação de idéias.

Ensslin *et al.* (2001) afirmam, ainda, que cada um dos candidatos a objetivo fundamental identificados definem um conceito e, portanto, devam ser inseridos verbos que remetam a uma ação. Uma forma de auxiliar neste processo é por meio de duas perguntas:

1. Por quê esse conceito (objetivo) é importante, ou seja, quais são os fins desejados?
2. Como ele (objetivo) pode ser alcançado, isto é, quais são os meios disponíveis?

Ou seja, tendo sido identificados os candidatos a objetivos fundamentais, deve-se direcionar o processo decisório sempre com o raciocínio focado no valor.

Avaliação dos níveis de desempenho de cada critério – Tendo sido definidos os critérios de avaliação, devem ser estabelecidas as funções de valores para cada um dos critérios, pelas quais poderão ser avaliados (mensurados) os desempenhos das alternativas.

Bana e Costa *et al.* (2004, 2005) defendem a adoção de escalas semânticas para o estabelecimento das funções de valor, independentemente se os critérios sejam de natureza

qualitativa ou quantitativa; pois, a partir de uma escala semântica, o processo de captura dos valores cognitivos dos decisores e ou especialistas é melhor conduzido e, portanto, bem traduzido para uma escala cardinal. Os autores propõem, então, que sejam estabelecidos dois (2) níveis de desempenho para cada critério: um nível “Neutro”, o qual corresponde a o desempenho mínimo aceitável para qualquer alternativa, dentro do contexto decisório em análise; e um nível “Bom”, o qual corresponde ao desempenho desejável para qualquer alternativa dentro do contexto decisório em análise.

Depois, devem ser estabelecidos demais níveis de desempenho, os quais podem, inclusive, estar abaixo do nível “Neutro” ou acima do nível “Bom” e, não apenas entre eles.

Para a conversão da escala semântica em uma escala numérica, Bana e Costa *et al.* (2004, 2005) propõem que se estabeleça o valor zero (0) para o nível “Neutro” e o valor cem (100) para o nível “Bom” para todos os critérios. E, segundo os autores, não devem ser estabelecidos valores diretos para os demais níveis de desempenho em cada critério; mas, sim, estabelecer preferências semânticas dos decisores e ou especialistas entre os diversos níveis de desempenho. E propõem, ainda, uma escala semântica de sete (7) níveis de preferência:

- Extrema;
- Muito forte;
- Forte;
- Moderada;
- Fraca;
- Muito fraca;
- Nula.

E, por fim, a partir da análise das preferências estabelecidas, respeitando-se às seguintes condições matemáticas é que se estabelecem os valores ($v_{(i)}$) para os demais níveis de desempenho em cada critério:

- $v_{(a)} > v_{(b)}$, se e só se, ‘a’ é mais atrativa que ‘b’ (a P b);
- $v_{(a)} = v_{(e)}$, se e só se, ‘a’ é indiferente a ‘e’ (a I e);
- $v_{(a)} - v_{(b)} > v_{(c)} - v_{(d)}$, se e só se, a diferença de atratividade entre ‘a’ e ‘b’ é maior que a diferença de atratividade entre ‘c’ e ‘d’.

Definição dos pesos entre os critérios - Bana e Costa *et al.* (2004, 2005) propõem que, baseado no pensamento focado nos valores (Keeney, 1992), depois de estabelecida a ordinalidade⁷ entre os critérios de avaliação, deve ser estabelecida a cardinalidade⁸ entre eles. Sendo que a

⁷ A ordinalidade representa a ordem de importância, isto é, qual critério é o mais importante (primeiro) e, assim por diante, até o critério de menor importância (último).

⁸ A cardinalidade representa o valor de cada critério em uma escala padronizada e não, simplesmente, quanto cada critério vale mais que outro, que é o “erro crítico mais comum” apontado por Keeney (1992).

cardinalidade deverá ser estabelecida a partir da comparação dos critérios – dois a dois – dentro do contexto decisório.

Bana e Costa e Sanchez-Lopez (2009) apresentam um exemplo prático para a definição de pesos entre os critérios. Este exemplo se baseia na proposição de Bana e Costa *et al.* (2004, 2005), pela qual devem ser montados cenários de avaliação, partindo-se de um cenário base, no qual todos os critérios sejam considerados com desempenho no nível “Neutro”.

A partir do cenário base, devem ser criados novos cenários, nos quais se varie cada critério, um a um, para o nível “Bom” de desempenho. Daí, os decisores e ou especialistas deverão explicitar, na mesma escala semântica descrita acima, os graus de preferência entre os diversos cenários (2 a 2); sendo que cada cenário representa a preferência do decisor / especialista ou conjunto de decisores / especialistas em relação aos respectivos critérios.

Para a conversão das escalas semânticas em escalas numéricas, os autores propõem que para o cenário base seja estabelecido o valor zero (0) e que o valor cem (100) seja estabelecido para um cenário em que todos os critérios sejam considerados com desempenho no nível “Bom”.

A partir daí, procede-se da mesma maneira que no estabelecimento das funções de valor de cada critério, obedecendo-se as mesmas condições matemáticas.

Bana e Costa e Vansnick (2008) criticam o método AHP (sigla em inglês para *Analytic Hierarch Process*), de Saaty (1977, 1980), por não respeitar as condições matemáticas acima descritas ou, sequer, a condição de cardinalidade explicitada pelo próprio AHP.

Os pesquisadores do LADSEA entendem como pertinente a crítica que Bana e Costa e Vansnick (2008) fazem ao AHP e, adicionalmente, que a avaliação semântica proposta por Bana e Costa *et al.* (2004, 2005) é, de fato, uma das melhores propostas, tanto para definição das funções de valor - dos níveis de desempenho - dos critérios, quanto dos pesos – cardinalidade entre os critérios.

Porém, há de se destacar que foi de Saaty (1977, 1980) a proposta inicial, aceita e usada de forma generalizada, de estabelecimento de uma escala semântica de ponderação entre critérios em contextos decisórios, de tal forma a traduzir de forma mais adequada para uma escala numérica os conceitos cognitivos dos decisores.

METODOLOGIA – Na fase de estruturação, para a definição dos critérios a serem considerados no modelo proposto neste trabalho, foram consideradas as opiniões de dois (2) especialistas (consultores / pesquisadores) em recursos hídricos.

Uma premissa inicial da pesquisa, conforme apresentado pela Equação 5, é a de aplicar o método Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT – *Cooperative Game Theory*) para fazer a avaliação de desempenho das alternativas.

Para a definição de pesos dos critérios do modelo proposto, inicialmente, foi empregada a metodologia Delphi.

O método Delphi foi desenvolvido em 1950 por Dalkey e um grupo de colaboradores da RAND *Corporation* e tinha por objetivo resolver problemas complexos baseados na opinião e ou julgamentos de um grupo de especialistas ou decisores (Zuffo, 2008).

Para evitar os efeitos negativos provocados pela interação de grupos, e para diminuir a influência da opinião de um líder de grupo, o método busca respostas escritas.

O método Delphi oferece vantagens significativas, dada a sua flexibilidade e efetividade, pois:

- Permite a opinião de indivíduos localizados em diferentes ambientes de trabalho e diferentes localizações geográficas;
- Permite que julgamentos de indivíduos em conflito possam ser agregados a fim de se obter uma decisão coletiva;
- Torna possível o maior favorecimento de um horizonte constantemente reconstruído por meio do consenso permanente dos atores envolvidos;
- Evita a dominação de participantes de elevado prestígio ou personalidade importante sobre os demais participantes.

Por meio de questionários enviados a oito⁹ (8) especialistas – sendo quatro (4) pesquisadores, um (1) técnico de uma empresa de saneamento, um (1) membro do comitê de bacias PCJ e dois (2) consultores - da área de recursos hídricos, foram extraídas notas para cada critério – em uma escala entre zero (0) e dez (10) - relativas às suas respectivas importâncias para o contexto da pesquisa na avaliação de cada especialista.

Nesta proposta, não se fez uso das rodadas sucessivas entre os especialistas consultados, uma vez que o objetivo deste trabalho é, apenas, propor a metodologia de cálculo; sendo seu desenvolvimento uma etapa posterior, que se pretende executar em um próximo trabalho. Dessa forma, os pesos dos critérios foram calculados a partir das notas iniciais atribuídas pelos especialistas consultados, sem qualquer reconsideração. Por este motivo, o valor modal dessas notas foi definido como o peso provisório para cada critério. Foram calculados as médias e os valores modais para cada critério, conforme descrito a seguir.

A partir das notas atribuídas, por critério, foram elaborados os histogramas das frequências relativas. Esses valores foram distribuídos em cinco classes de frequência, conforme recomendação de Naghettini (2007).

Para determinação do valor representativo da moda, dada o histograma das notas, utilizou-se o estimador de Czuber, descrito em Iemma (1992). Segundo o autor, o valor modal é definido,

⁹ Dos oito (8) questionários enviados (por email), sete (7) foram respondidos.

graficamente, pela projeção do ponto de intersecção entre as semi-retas que unem os limites superiores do retângulo da classe modal e seus pontos superiores das classes inferiores adjacentes.

A partir dos valores dos pesos provisórios, por critério, foi elaborada a matriz de prioridades sendo o conteúdo nesta matriz calculado pela subtração par a par desses valores modais. Logo, montou-se a matriz de prioridades dos desvios par a par entre os critérios.

Para montagem da matriz de prioridades, os valores dos desvios foram substituídos pelos níveis de importância da metodologia AHP, sendo associados ao nível máximo hierárquico “9”, (referente à importância absoluta) os desvios iguais ou maiores que “7,5”, e ao nível mínimo hierárquico “1” aos intervalos menores ou iguais aos desvios “0,5”. A Tabela 2 apresenta os limites dos valores dos desvios associados aos níveis de importância da metodologia AHP.

Tabela 2: Correspondência dos valores dos desvios Par a Par dos Critérios e os níveis de importância da metodologia AHP

Desvios Par a Par dos Critérios Diferença dos valores Modais	Níveis de Importância Atribuídos Pela Metodologia AHP
0,5	1
1,5	2
2,5	3
3	4
3,5	5
4	6
5	7
6	8
7,5	9

Para a definição dos valores finais dos pesos¹⁰ para os critérios foi aplicada a metodologia AHP na matriz de prioridades dos desvios acima descrita.

A Tabela 3 apresenta as notas, por avaliador, média e valor modal da pesquisa realizada, bem como o peso definitivo estimado pela metodologia AHP.

Os critérios foram, então, analisados em função dos nove (9) requisitos propostos por Keeney (1992). Dessa análise, resultou uma lista mais concisa de critérios, a qual está apresentada na Tabela 3, na Seção de Resultados.

Uma vez que a proposta de critérios a serem considerados na avaliação foi, finalmente, estabelecida, procedeu-se à definição das funções de valor para cada critério.

Para a definição das funções de valor, fez-se uma adaptação à metodologia proposta por Bana e Costa *et al.* (2004, 2005). Nesta adaptação, considerando que para um nível “Bom” deveria haver um desconto na cobrança pelo uso da água, adotou-se que para o nível “Neutro” seria atribuído o número um (1) na escala, o que representa o pagamento de cem por cento (100%) da taxa; então, ao

¹⁰ O uso do AHP neste trabalho tem apenas o propósito acadêmico de mais bem ilustrar o método proposto. Para o desenvolvimento definitivo dos pesos dos critérios se pretende, a princípio, usar a metodologia proposta por Bana e Costa *et al.* (2004, 2005), uma vez que se trata de classificação de alternativas e não, simplesmente, da escolha da melhor.

nível “Bom” foi atribuído um valor referente ao pagamento mínimo, neste caso foi adotado o valor de 0,7 (zero vírgula sete), correspondendo a setenta por cento (70%) da taxa básica.

Tabela 3: Definição de pesos dos critérios por meio das metodologias Delphi e AHP

Critérios	Aval.1	Aval.2	Aval.3	Aval.4	Aval.5	Aval.6	Aval.7	Média	Moda	AHP
Pesos Referentes à Captação\Extração e ao Consumo de Água Bruta										
Crit.1	1	10	1	3	8	8	1	4,57	2,08	0,6
Crit.2	5	10	7	4	10	10	1	6,71	8,92	6,0
Crit.3	9	10	9	10	10	9	10	9,57	9,90	10,0
Crit.4	6,5	6	8	5	8	9	1	6,21	7,80	3,4
Crit.5	5	5	7	6	5	6	1	5	5,80	1,3
Crit.6	1,5	8	8	4	5	5	1	4,64	4,50	0,9
Crit.7	2	8	3	2	7	6	1	4,14	1,84	0,6
Crit.8	7	2	8	5	5	7	10	6,29	7,76	3,4
Crit.9	6	0	7	4	6	8	1	4,57	6,40	1,9
Pesos Referentes à Carga Lançada no Manancial										
Crit.1	5	10	9	9	8	10	1	7,43	8,97	10
Crit.2	7	10	9	5	7	8	1	6,71	7,60	9,75
Crit.3	8	10	2	8	7	7	1	6,14	7,43	9,57
Crit.4	7	10	1	7	7	7	1	5,71	7,43	8,26
Crit.5	6	10	7	7	10	7	1	6,86	7,60	8,26
Crit.6	8	10	9	8	6	9	10	8,57	9,20	8,08
Crit.7	5	10	4	5	8	9	1	6,00	8,80	8,08

Adotou-se, ainda, um nível “Insatisfatório” como referência para o acréscimo de vinte por cento (20%) na cobrança da taxa básica.

Dessa forma, para o contexto em análise, tem-se uma escala padrão “invertida”, conforme pode ser observado na Figura 1.

E, finalmente, foram estabelecidos descritores para diversos níveis de desempenho em cada critério. Os descritores estabelecem os seus respectivos níveis de desempenho referentes à escala básica ilustrada na Figura 1.

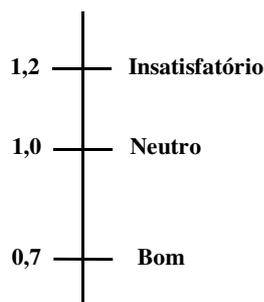


Figura 1. Escala básica para os níveis de desempenho de cada critério

Para o contexto desta proposta, ainda que possa haver níveis de desempenho acima do nível “Bom”, não deverá haver valores menores que setenta por cento (70%), uma vez que não é possível conceber um sistema de cobrança pelo uso de um recurso sem que haja um pagamento mínimo.

RESULTADOS - Analisando os critérios de uma forma mais detalhada, percebendo a obediência de cada um quanto aos requisitos necessários apontados por Keeney (1992), chegou-se à proposta apresentada na Tabela 4.

Na análise de obediência aos nove (9) requisitos propostos por Keeney (1992), chegou-se a conclusão de que o critério 5 (Sazonalidade) referente à captação e o critério 7 (Temperatura) referente à carga lançada não eram essenciais e, portanto, foram excluídos. E, ainda, que havia redundância entre os critérios 1 (Natureza) e 7 (Topologia) referentes à captação, assim suas características foram consideradas em conjunto no critério 1, eliminando-se o critério 7.

Tabela 4: Critérios revisados segundo os nove (9) requisitos propostos por Keeney (1992)

Critérios	Aval.1	Aval.2	Aval.3	Aval.4	Aval.5	Aval.6	Aval.7	Média	Moda	AHP
Pesos Referentes à Captação\Extração e ao Consumo de Água Bruta										
Crit.1	1	10	1	3	8	8	1	4,57	2,08	0,6
Crit.2	5	10	7	4	10	10	1	6,71	8,92	6,0
Crit.3	9	10	9	10	10	9	10	9,57	9,90	10,0
Crit.4	6,5	6	8	5	8	9	1	6,21	7,80	3,4
Crit.6	1,5	8	8	4	5	5	1	4,64	4,50	0,9
Crit.8	7	2	8	5	5	7	10	6,29	7,76	3,4
Crit.9	6	0	7	4	6	8	1	4,57	6,40	1,9
Pesos Referentes à Carga Lançada no Manancial										
Crit.1	5	10	9	9	8	10	1	7,43	8,97	10
Crit.2	7	10	9	5	7	8	1	6,71	7,60	9,75
Crit.3	8	10	2	8	7	7	1	6,14	7,43	9,57
Crit.4	7	10	1	7	7	7	1	5,71	7,43	8,26
Crit.5	6	10	7	7	10	7	1	6,86	7,60	8,26
Crit.6	8	10	9	8	6	9	10	8,57	9,20	8,08

Os critérios referentes ao lançamento de efluentes: (3) série de nitrogênio, bem como (4) o teor de fósforo e (5) coliformes - foram considerados importantes no modelo, porém seus níveis de desempenho, respectivos descritores e suas funções de valor ainda estão em fase de elaboração.

Nas Figuras 1 a 7 estão apresentadas as funções de valor já desenvolvidas para os critérios propostos.

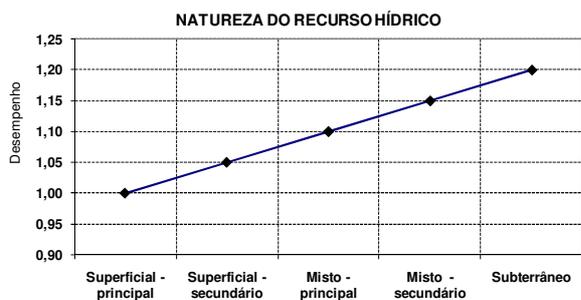


Figura 1. Critério 1 – Captação

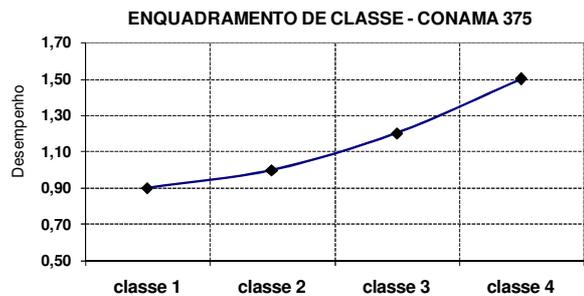


Figura 2. Critério 2 - Captação

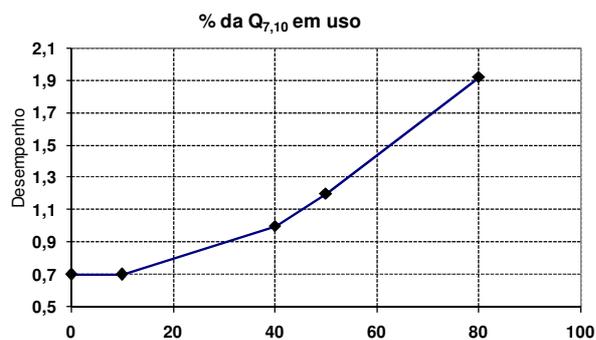


Figura 3. Critério 3 - Captação



Figura 4. Critério 4 - Captação

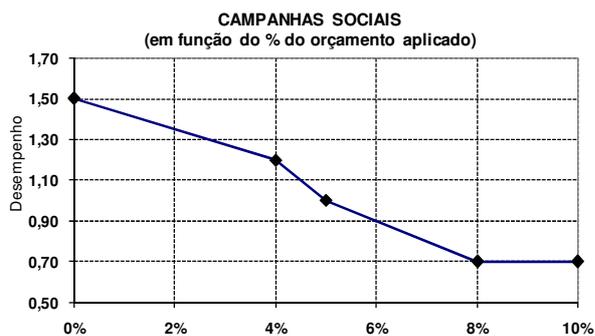


Figura 5. Critério 6 – Captação



Figura 6. Critério 8 - Captação

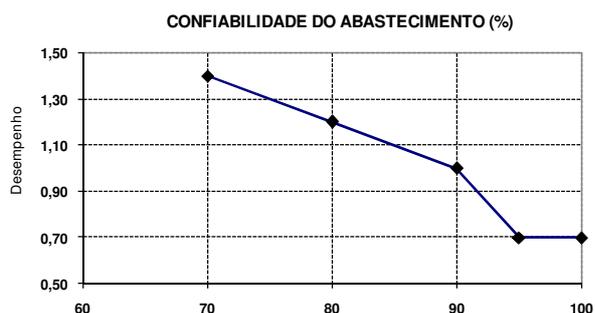


Figura 7. Critério 9 - Captação

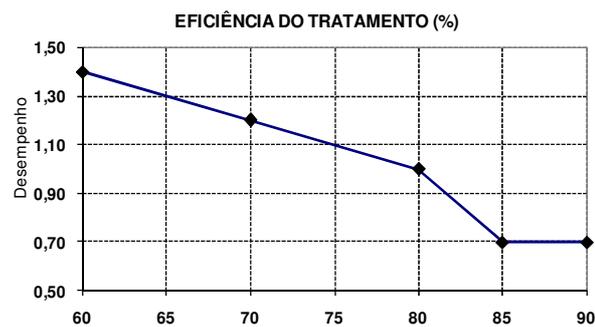


Figura 9. Critério 2 - Lançamento

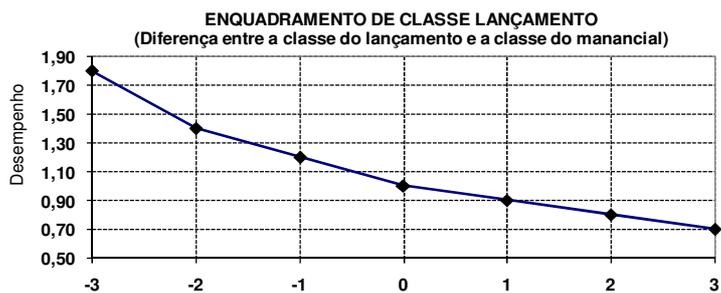


Figura 8. Critério 1 – Lançamento

CONSIDERAÇÕES FINAIS – A aplicação da metodologia multicritério possibilita avaliar a performance individual das alternativas e ou cenários possíveis em cada um dos critérios do modelo proposto.

Pelas ponderações acima descritas, acredita-se que o modelo de cálculo proposto possibilitará qualificar sistemas de saneamento público municipais, atribuindo índices de desempenho e possíveis reduções dos valores da cobrança pela água em função de investimentos e melhor gerenciamento dos sistemas.

Acredita-se, ainda, que a metodologia multicritério proposta possa tornar a cobrança pela água em um instrumento efetivo de gestão dos recursos hídricos, pois, atribui benefícios econômicos aos sistemas que investem em tecnologia e no uso racional do recurso água.

A partir das funções de valor estabelecidas (Figuras 1 a 7), pode-se aplicar o modelo proposto para cálculo da cobrança para alguns estudos de caso para a finalidade de saneamento público.

Há dois (2) estudos de caso em andamento, em que foram considerados apenas os valores referentes à captação de água bruta e ao uso pelo sistema de abastecimento, conforme valores e critérios indicados nos documentos de outorga.

Devido à indisponibilidade de dados referentes à medição do consumo de água bruta pelo abastecimento, refletindo a conjuntura da maioria das autarquias públicas de saneamento municipal, sugere a adoção do valor de captação de água indicado na outorga, sendo que o Preço Básico Unitário – PUB, adotado de R\$ 0,03.m⁻³ do V_{CAP} (considerando R\$ 0,01.m⁻³ do V_{CAP} e R\$ 0,02.m⁻³ do V_{CONS}) nas avaliações iniciais.

Pretende-se, por fim, apresentar o modelo proposto, com aplicações em alguns estudos de caso, aos comitês de bacia com o intuito de proceder à adequação dos critérios e pesos com vistas à sua estruturação e ponderação definitivas para uso efetivo pelos comitês.

BIBLIOGRAFIA

BANA e COSTA, C. A.; De CORTE, J. M.; VANSNICK, J. C. (2004). “*MACBETH*”. LSE OR Working Paper (03-56), London School of Economics, London, UK.

BANA e COSTA, C. A.; De CORTE, J. M.; VANSNICK, J. C. (2005). “*On the Mathematical Foundations of MACBETH*”, in *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Ed. por Figueira, J., Greco, S. e Ehrgott, M., ed. Springer, New York, pp. 409 – 442.

BANA e COSTA, C. A.; SANCHEZ-LOPEZ, R. (2009). “*El enfoque macbeth para la incorporación de temas transversales en la evaluación de proyectos de desarrollo*”. Centro de Estudos de Gestão Working Paper (2), Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

BANA e COSTA, C. A.; VANSNICK, J. C. (2008). “*A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP*”. *European Journal of Operational Research* 187, pp. 1422 – 1428.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. (2001). *Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas*. Insular Florianópolis-SC, 296 p.

IEMMA, A.F. (1992). *Estatística Descritiva*. Φσρ Publicações Piracicaba-SP, 182 p.

- MAGALHÃES, P. C. *et. al.* (2003). “*Estudo Comparativo de Quatro Metodologias para a Cobrança Pelo Uso da Água*” in anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba-PR.
- NAGHETTINI, M. (2007). *Hidrologia Estatística*. CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belo Horizonte, Belo Horizonte-MG, 552p.
- SAATY, T. L. (1977). “*A scaling method for priorities in hierarchical structures*”. *Journal of Mathematical Psychology* 15 (3), pp. 234–281.
- SAATY, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill New York, USA.
- SÃO PAULO. (2005). *Lei Nº 12.183 de 29 de Dezembro de 2005. Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores e dá outras providências*. Diário Oficial do Estado São Paulo-SP.
- SÃO PAULO. (2006a). *Decreto Nº 50.667, de 30 de Março de 2006: Regulamenta dispositivos da Lei Nº 12.183 de 29 de Dezembro de 2005, que trata da cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, e dá providências correlatas*. Diário Oficial do Estado São Paulo-SP.
- SÃO PAULO. (2006b). *Decreto Nº 51.449, de 29 de Dezembro de 2006: Aprova e fixa os valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo nas bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - PCJ*. Diário Oficial do Estado São Paulo-SP.
- ZUFFO, A. C. (2008). “O processo Delphi”. in *Avaliação multicriterial em tomada de decisão*. Notas de aula. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Área de Concentração: Recursos Hídricos), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. (2002). “*Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos*”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* (7-1).
- ZUFFO, A. C.; GENOVEZ, A. M. (2006). “*Método Multicriterial Utilizado como Indicador da Qualidade de Água*” in anais do XXI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, Ciudad de Guavana-SP.