

IV-274 - INDICADOR SIMPLIFICADO PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE PEQUENOS E MÉDIOS MANANCIAIS UTILIZADOS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Carlo Renan Cáceres de Brites⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UnB). Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Atualmente está como coordenador de Pesquisa e Tecnologias Aplicadas, da Unidade de Monitoramento e Informações de Recursos Hídricos.

Maria Cristina Felfili

Engenheira Florestal pela Universidade de Brasília. Mestre e Doutora em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília (UnB). Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Têm atuado em Proteção de Mananciais e atualmente está lotada na Coordenadoria de Pesquisa e Tecnologias Aplicadas, da Unidade de Monitoramento e Informações de Recursos Hídricos.

Endereço⁽¹⁾: Setor de Áreas Isoladas Norte (SAIN), Área Especial, ETA Brasília, R1, PHI, Anexo 10 – Asa Norte - Brasília - DF - CEP: 70.620-200 - Brasil - Tel.: (61) 3214-7939 – Fax: (61) 3342-2885 e-mail: carlobrites@caesb.df.gov.br

RESUMO

O uso de indicadores vem tendo largo emprego e divulgação na sociedade em decisões, para sinalizar o estado de uma feição particular de interesse ou, ainda, aferir a condição de uma variável, comparando as diferenças observadas no tempo e no espaço. Podem ser utilizados para avaliar políticas públicas ou para comunicar idéias aos tomadores de decisão e ao público. As técnicas de análise multiobjetivo têm-se revelado como recurso significativo de apoio à decisão, especialmente em problemas de interesse público. O presente trabalho visa apresentar e aplicar uma metodologia, baseada em métodos de Análise Multiobjetivo e Multicritério, para elaboração de indicador para avaliação da qualidade das bacias hidrográficas de pequenos e médios mananciais utilizados para abastecimento público considerando suas características, vulnerabilidade e qualidade da água. A metodologia empregada na pesquisa envolveu o desenvolvimento das seguintes atividades: (1) Pesquisa bibliográfica, de dados e de opinião; (2) Avaliação, seleção e adaptação de métodos de análise multiobjetivo/multicritério; (3) Escolha dos critérios de avaliação das bacias hidrográficas de mananciais; e (4) Aplicação dos métodos selecionados e adaptados ao objetivo pretendido. Neste trabalho foram utilizados os métodos *Electre Tri* e o método do **Jogo de Cartas** para ponderação dos critérios. Foi elaborado um questionário, que foi respondido por pesquisadores e técnicos atuantes na área de meio ambiente e recursos hídricos, para se decidir sobre a escolha e importância de cada critério na avaliação de mananciais. Os cinco critérios mais citados por especialistas foram: (i) % de APP Preservada, (ii) Qualidade da Água, (iii) % de Área Urbana, (iv) Presença de Instrumentos Legais de Proteção e (v) Risco Associado ao Uso do solo. Os mananciais (dentre os considerados) foram classificados da seguinte maneira: Brejinho – “Excelente”, Pipiripau e Ponte de Terra em 1996 – “Médio”, e Ponte de Terra em 2003 – “Ruim”. Os resultados para o manancial Brejinho evidenciam a importância das Áreas de Preservação Permanente e a ausência de áreas urbanas nas proximidades de mananciais. A avaliação do manancial Ponte de Terra, em dois períodos distintos, mostra que a metodologia proposta pode representar a evolução negativa ou positiva de um mesmo manancial ao decorrer do tempo. O manancial Ponte de Terra, que era considerado como “Médio-Excelente”, decaiu em qualidade para “ruim-Médio”.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Multicritério, Mananciais, Indicadores Ambientais, Bacias Hidrográficas.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas constituem as unidades naturais para informações hidrológicas, podendo, também, ser usadas como unidades naturais de manejo da terra, uma vez que nelas se observa a dependência de todos os componentes do crescimento e desenvolvimento da sociedade (Isaías, 2008).

A qualidade ambiental de uma bacia hidrográfica é possível de ser avaliada, contudo, deve ser definido um conjunto de indicadores específicos, derivado de um modelo de informação que represente a realidade da bacia (Ribeiro, 2002).

Em síntese, os indicadores são tão variados quanto os fenômenos, processos e fatos que eles monitoram, provêm de diferentes fontes e têm três funções básicas – quantificação, simplificação da informação e comunicação – contribuindo, deste modo, para a percepção dos progressos alcançados e o despertar da consciência da população.

A expansão urbana e o crescimento populacional são temas que normalmente estão presente nas análises sobre o uso sustentável dos recursos hídricos. A qualidade das águas de um determinado local é de maneira geral consequência do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, ou seja, das intervenções humanas, somadas aos fatores naturais locais.

Lemos (1999) avalia que o processo de ocupação do espaço físico e a apropriação dos recursos naturais pelo ser humano impõem transformações no meio ambiente que, dependendo de como ocorrem, podem resultar em colapsos. Em detrimento de inúmeros usos da água, a sua utilização requer exigências no que se refere à qualidade, onde a mesma necessita ser preservada e mantida.

Segundo SCHULZ *et al.* (2003) os aglomerados urbanos também geram grande demanda de matérias primas a ser suprida pelos produtores rurais e por isto as florestas deram lugar aos pastos e plantações, gerando um desequilíbrio no processo erosivo natural sendo que, anualmente, uma pastagem perde 400 kg de solo por hectare, um cafezal perde 900 kg de solo por hectares e um algodão perde 24.800 kg de solo por hectare. VANZELA *et al.* (2005) afirma que em área de pastagem degradada, encontrou perdas de até 280 kg por hectare ano. Por meio destes números, tem-se uma idéia da influência antrópica nos processos erosivos e consequentemente na aceleração dos processos de assoreamento dos rios.

Para Silva *et al.* (2005), o efeito da cobertura do solo sobre as perdas de água e solo, pode ser explicado pela ação que a cobertura do solo tem em dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, consequentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada; além disso, a cobertura do solo representa um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água, ocasionando diminuição da velocidade e da capacidade de desagregação e transporte de sedimentos.

As iniciativas nacionais e internacionais de formação de conjuntos básicos de indicadores ambientais incluem alguns que têm a água como objeto. O IQA da *National Sanitation Foundation* (Ball e Church, 1980) foi muito bem recebido no mundo inteiro, especialmente pela idéia de traduzir a qualidade de um corpo hídrico por meio de uma média ponderada de parâmetros normalizados de qualidade de água e o subsequente enquadramento em classes, de acordo com o valor obtido. Outro ponto que sustentou o seu sucesso foi a versatilidade quanto à seleção de parâmetros e atribuição de pesos a cada um, de modo a permitir o seu emprego em situações bastante diferentes e com finalidades também diversas.

Hoje, cerca de 35 anos após seus primeiros esboços, índices adaptados do IQA original têm largo emprego no mundo inteiro, inclusive na forma de variantes desse índice. Costa *et al.* (1983), adaptou o IQA, desenvolvido inicialmente pela *Scottish Development Department*, às peculiaridades regionais do Distrito Federal utilizando a combinação dos parâmetros pH, cor, turbidez, ferro total, nitrogênio amoniacal, demanda química de oxigênio (DQO), cloretos e coliformes totais com níveis de qualidade apresentando valores de 0 a 100.

A Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB, 2008), utiliza, para formulação do IQA os seguintes parâmetros: pH, Cor, Turbidez, Ferro total, Amônia, DQO, Cloretos e Coliformes Totais. Utiliza uma escala de classificação de 0-100 sendo: 0-36 imprópria, 37-51 aceitável, 52-79 boa, 80-90 muito boa e 91-100 ótima.

O presente trabalho visa apresentar e aplicar uma metodologia, baseada em métodos de Análise Multiobjetivo e Multicritério, para elaboração de indicador para avaliação da qualidade das bacias hidrográficas de pequenos e médios mananciais utilizados para abastecimento público considerando suas características e vulnerabilidade e qualidade da água.

As técnicas de análise multiobjetivo têm-se revelado como recurso significativo de apoio à decisão, especialmente em problemas de interesse público. Com grande suporte em modelagem matemática, a abordagem multiobjetivo justifica-se por permitir: organizar melhor as informações e o papel de cada participante nas etapas decisórias; evidenciar os conflitos entre os objetivos e quantificar o grau de compromisso existente entre eles; e por tratar cada objetivo na unidade de mensuração mais adequada, sem distorção introduzida pela simples conversão em unidades monetárias, como é feito na análise benefício-custo (Brites, 2008).

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada na pesquisa envolveu o desenvolvimento das seguintes atividades: (1) Pesquisa bibliográfica, de dados e de opinião; (2) Avaliação, seleção e adaptação de métodos de análise multiobjetivo/multicritério; (3) Escolha dos critérios de avaliação das bacias hidrográficas de mananciais; e (4) Aplicação dos métodos selecionados e adaptados ao objetivo pretendido. A proposição do indicador fundamenta-se nos conceitos da Análise Multicritério (*Multicriteria Decision Analysis*). O método é reportado em Yu e Roy (1992). A seguir, descrevem-se as etapas desta metodologia:

1. Identificar e caracterizar o problema. Identificar quais bacias hidrográficas de mananciais serão avaliadas considerando suas características;
2. Especificar os critérios. Definir os critérios a serem considerados na avaliação dos mananciais em estudo. Este processo consiste em uma análise situacional, posicionando o manancial analisado quanto aos fatores que mais influenciarão ou que representam sua qualidade.
3. Atribuir pesos para cada critério. Nesta etapa, estabelecem-se os pesos associados a cada critério. Estes pesos são obtidos por julgamentos de valor, coletados junto a especialistas, com o auxílio de escala de julgamentos;
4. Especificar a escala de julgamentos dos desempenhos de cada manancial à luz de cada critério. Avalia-se o desempenho dos mananciais em cada critério. É possível adotar uma escala específica para cada critério;
5. Emitir julgamento de valor à luz de cada critério. Emitem-se julgamentos de valor, avaliando-se o desempenho do manancial à luz de cada critério. Esta etapa deverá ser, preferencialmente, efetuada por especialista(s) que tenha(m) conhecimento profundo sobre o comportamento das características das bacias hidrográficas dos mananciais sobre a qualidade da água. Os avaliadores para um critério não são, necessariamente, os mesmos para os demais critérios;
6. Executar o algoritmo de classificação de métodos multiobjetivo e multicritério.

Neste trabalho foi utilizado o método Electre Tri. Nesta etapa obtém-se a Classificação dos Mananciais analisados.

Foi elaborado um questionário, que foi respondido por pesquisadores e técnicos atuantes na área de meio ambiente e recursos hídricos, para se decidir sobre a escolha e importância de cada critério na avaliação de mananciais.

A aplicação dos métodos multiobjetivo/multicritério foi feita avaliando três bacias hidrográficas de mananciais utilizados para abastecimento público: (i) do ribeirão Pipiripau, (ii) do córrego Brejinho e (iii) córrego Ponte de Terra em 1996 e (iv) em 2003. As características das bacias hidrográficas podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características das Bacias Hidrográficas dos Mananciais Avaliados

Manancial	Área	Volume Captado	Índice de Qualidade da Água
Pipiripau	195 km ²	68 L/s	65*
Brejinho	18,9 km ²	50 L/s	80*
Ponte de Terra 1996	9,4 km ²	7 L/s	81**
Ponte de Terra 2002			75**

*CAESB (2008).

**Chaves e Santos (2006).

Especificação de critérios

Foi aplicado um questionário à especialistas em Recursos Hídricos, Meio Ambiente e Saneamento. Nesse questionário, o especialista deveria sugerir quais seriam os critérios, levando-se em conta o seu conhecimento técnico, que podem indicar a qualidade de um manancial. Além disso, a identificação dos critérios utilizados para avaliar os mananciais deveria ser feita considerando aspectos de fácil acesso e mensuração. Os critérios indicados pelos especialistas são os mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios Sugeridos por especialistas para avaliação de mananciais

Critérios	Preferência
Qualidade da Água	Crescente
% APP Preservada	Crescente
Lançamento de Efluentes	Decrescente
Lançamento de Águas Pluviais	Decrescente
% de Área Urbana na bacia Hidrográfica	Decrescente
% de Áreas Degradadas	Decrescente
Lançamento de Efluentes	Decrescente
Uso e Ocupação do Solo	-
Monitoramento da Bacia	-
Usos Múltiplos Destinados	-
Classificação do Manancial	Crescente
% de Cobertura Vegetal	Crescente
Instrumento Legal de Proteção	Crescente
Risco Associado ao Uso do Solo	Decrescente

Os cinco critérios mais citados por especialistas foram: (i) % de APP Preservada, (ii) Qualidade da Água, (iii) % de Área Urbana, (iv) Presença de Instrumentos Legais de Proteção e (v) Risco Associado ao Uso do solo. O critério “Lançamento de Efluentes” também foi bastante citado. Contudo, pelo fato de ser considerado um tanto quanto mais complexo para mensuração, principalmente ao que se diz respeito à lançamentos clandestinos, este critério não foi considerado.

Atribuição de Pesos aos Critérios

Para um percentual dos especialistas consultados, foi enviado um novo questionário, este com o intuito de ponderar os critérios (já escolhidos) sobre sua importância. Para a ponderação, foi utilizado o Método do Jogo de Cartas (Método de Simos Revisado), conforme Roy e Figueira (1998).

Determinação de pesos com o Método do Jogo de Cartas

Em uma tomada de decisão, quantificar as preferências dos responsáveis pelas decisões e determinar os pesos dos critérios é uma tarefa complexa. Diversos métodos podem ser usados para uma valoração apropriada dos pesos dos critérios.

Segundo Roy e Figueira (1998), Jean Simos propôs um procedimento muito simples, usando um bloco dos cartões imaginário, com o qual se pode determinar indiretamente valores numéricos para pesos de critérios. Roy e Figueira (1998) do LAMSADE propuseram uma versão nova deste método, que introduziu mais informações ao cálculo.

Ao responsável pelas decisões é dado um bloco de cartões imaginários: cada cartão representa um critério. Para n critérios, haverá n cartões. São dados também alguns cartões brancos. É pedido então para arranjar os n cartões em ordem da preferência, **sendo o primeiro o critério menos importante**. Também se pode decidir em ordenar os critérios com mesmo nível de importância, unindo-os com um grampo. Assim, se obtêm n classes de preferências.

Então o responsável pelas decisões tem que demonstrar a distância em nível de importância entre duas classes consecutivas. Assim sendo, pode-se introduzir um cartão branco entre dois cartões, quando considerar a distância como sendo duas vezes mais importante. Consequentemente, nenhum cartão branco significa a distância mínima u entre dois cartões consecutivos, um cartão branco significa uma distância de $2u$, dois cartões brancos significam uma distância de $3u$ e assim sucessivamente.

A informação procurada é a relação entre o primeiro critério (o pior) e o último (melhor) que representa quantas vezes o melhor critério é mais importante do que o pior. Este valor é chamado de Z .

O cálculo dos pesos não normalizados

Supõem-se n classes de preferências. Ao pior nível é dado um peso não normalizado $k(1) = 1$. O melhor terá assim um peso $k(\tilde{n}) = Z$. Definiu-se e'_r = o número dos cartões brancos entre os rank r e o rank $r+1$. E $e_r = 1 + e'_r$.

Supondo e o número total de u (distâncias) (e é a soma de e_r até $r = \tilde{n}_1$). Então, têm-se: $u * e + 1 = Z$. Como exemplo pode-se citar os seguintes parâmetros da Tabela 3: com 8 critérios a, b, c, d, e, f, g, h, arranjando $n = 3$ classes das preferências tendo: {a, c, g}, {d}, cartão branco, {b, e, f, h}. A Tabela 3 mostra os parâmetros de cálculo pela “técnica de Simos Revisada” (Jogo de Cartas).

Tabela 3 – Parâmetros para o exemplo de cálculo de pesos pelo Jogo de Cartas.

Rank r	Pacotes Iguais	Número de cartões brancos observados no ranking	e_r Para $R < \tilde{n}$	Pesos não normalizados	Total	Pesos Normalizados
1	{a,c,g}	0	1	1	$1*3 = 3$	$100/29,66 = 3,37$
2	{d}	1	2	$1 + 1,666 = 2,66$	$2,66*1 = 2,66$	$266,66/29,66 = 8,9887$
3	{b,e,f,h}	0		$1 + 3*1,66 = 6$	$6*4 = 24$	$600/29,66 = 20,22$
Total	Total	$e = 3$	29,666	100

A partir deste ponto, o responsável pelas decisões diz que a melhor classe {b, e, f, h} é $z = 6$ vezes mais importante do que a pior {a, c, g}. Neste caso, portanto, têm-se $\tilde{n} = 3$, $e = 3$ e $u = (z - 1)/e = 5/3 = 1,666$. Então, para o número r da classe, o peso não normalizado é $k(r) = 1 + u * (e_0 + e_1 + \dots + e_{r-1})$, com $e_0 = 0$, e_r definido como acima. A Figura 1 mostra um esboço da lógica do SRF para $z = 6$; $u = 1,66$, citado neste exemplo.

Pesos Normalizados

Considerando k a soma de todos os pesos não normalizados ($k = 29,66$ no exemplo), o peso normalizado $k'_{(r)}$ será: $k'_{(r)} = 100 * k_{(r)} / k$.

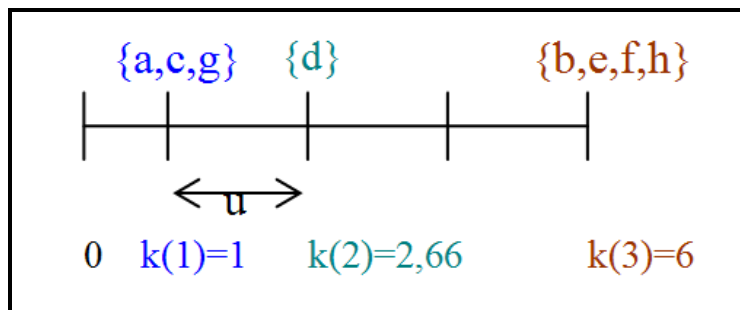


Figura 1 – Esboço da Lógica do Jogo de Cartas
(Brites, 2008)

Electre Tri

O ELECTRE-TRI é um método de análise multicritério baseado no conceito da classificação de síntese, em que são estabelecidas “relações de preferência” entre as alternativas em análise segundo diferentes critérios de avaliação e comparação estabelecidos pelo “Agente Decisor” ou por diferentes “Agentes Decisores”.

Esse método foi especialmente desenvolvido para o tratamento de problemas de escolha, classificação e ordenamento de alternativas para a solução de problemas multicritério (Lima *et al.*, 2006)

De forma geral, o método ELECTRE-TRI é aplicável a problemas de concessão de crédito (ou recursos hídricos), recrutamento de candidatos, avaliação de alunos, empresas e outros, eliminação de alternativas, diagnóstico de pessoas, situações ou empresas, localização de empreendimentos, ordenamento de alternativas de ações e outros.

Uma versão de demonstração (demo) de uma ferramenta computacional para uso do método ELECTRE-TRI encontra-se disponível para carregamento (download) no endereço eletrônico do LAMSADE - Laboratório de Análise e Modelagem de Sistemas para Auxílio à Decisão - Universidade de Paris Dauphine (<http://www.lamsade.dauphine.fr>).

A entrada de dados do programa é amigável e seus resultados são apresentados de forma clara, inclusive com representação gráfica. A maior limitação encontrada no uso deste aplicativo de demonstração é a impossibilidade de gravação dos dados inseridos e resultados gerados.

Devido à grande quantidade de dados de entrada requeridos para cada problema, observou-se que a utilização desta versão torna-se, principalmente para problemas mais complexos, quase que impraticável, pois a cada saída do programa ou outro sinistro, faz-se necessário que todos os dados de entrada sejam inseridos novamente.

Maiores detalhes sobre o método matemático, pode ser mais bem compreendido em Lima *et al.*, (2006) que desenvolveram uma ferramenta computacional de acesso livre para a aplicação do método.

Escalas de Julgamentos

A escala de julgamento utilizada é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Escalas de julgamentos dos critérios considerados

Critérios	Escalas de Julgamento
% APP Preservada	Quanto maior o percentual de Área de Preservação Permanente Preservada, melhor é a performance do manancial
Qualidade da Água	Quanto maior for o IQA, melhor é a performance do manancial
% de área urbana	Quanto maior for o percentual de Área Urbana, pior será a performance do manancial
Instrumento Legal de Proteção	Quanto mais restrito for o instrumento legal de proteção, melhor será a performance do manancial
Risco Associado ao Uso do Solo	Quanto maior o valor do risco, pior será a performance do manancial

Desempenho das alternativas à luz da cada critério

Para avaliar o desempenho dos mananciais escolhidos à luz de cada critério, foram utilizados tanto dados secundários (dados encontrados em outros trabalhos e/ou publicações), quantos valores que são provenientes de uma escala construída.

Os desempenhos dos critérios (i) % de APP preservada, (ii) IQA e % de Área Urbana foram encontrados em outras fontes, conforme tabela 5.

Para o critério (iv) Instrumento Legal de Proteção, foi utilizada a seguintes escala: (a) Sem instrumento legal de proteção: 1, (b) Área de Proteção de Mananciais: 2, (c) Unidade de Conservação de Uso Sustentável: 3; e (d) Unidade de Conservação de Uso Restrito: 4

Para o critério (v) Risco Associado ao Uso do Solo, foi utilizada a escala da *Nova Scotia Environment and Labour Water and Wastewater Branch* (NSEL, sem data, *apud* De Vito 2007), mostrada na Tabela 6.

Perfis e Limiares

Na metodologia do Electre Tri, são necessários a inserção de perfis para classificação das alternativas e limiares de preferência e Indiferença. Esses valores são mostrados na Tabela 7.

Tabela 5 – Desempenho das alternativas à luz de cada critério

Mananciais	% APP preservada	Qualidade da Água	% de área urbana	Instrumento Legal de Proteção	Risco Associado ao Uso do Solo (****)
Ribeirão Pipiripau	88,86	65***	2,03***	2	2,1
Córrego Brejinho	98,64	80*	0	4	1,1
Córrego Ponte de Terra 1996	93,03	81**	6,5**	1	2,2
Córrego Ponte de Terra 2003	88,88	75**	29**	2	3,2

*CAESB (2008).

**Chaves e Santos (2006).

***Oliveira e Borges (2003)

**** NSEL *apud* De Vito (2007)

Tabela 6 – Uso do solo e risco de contaminação

Nível de Risco	Classe de Uso do Solo
1,1 (menor)	Áreas de Proteção de poços e reservatórios da companhia de abastecimento
1,2	Área de Lazer Permanente Pública
1,3	Bosque e Florestas com Plano de Manejo
2,1	Agricultura: Pastagens, grãos, hortaliças
2,2	Áreas residenciais de baixa densidade: lotes com menos de 0,81 ha
2,3	Igreja e Edifícios Públicos
3,1	Usos Institucionais
3,2	Áreas Residenciais de densidade média: lotes 0,20-0,40 ha
3,3	Uso Comercial com armazenamento limitadamente perigoso
4,1	Produção Agrícola: leiteira, pecuária, viveiros, hortas
4,2	Campos de golfe e pedreiras
4,3	Áreas Residenciais de densidade alta: lotes até 0,20 ha
5,1	Varejo: postos de gasolina, equipamento agrícola, automotivo, lava jatos, laboratórios fotográficos, lojas de maquinário, fábrica de móveis
5,2	Indústrias de qualquer tipo
5,3	Armazenamento subterrâneo de produtos químicos ou combustíveis
5,4 (maior)	Lixões, aterros, tanques sépticos, lagoas de estabilização

NSEL *apud* De Vito (2007).

Tabela 7 – Perfis e Limiares para os critérios considerados

	% de APP Preservada	Qualidade da Água (IQA)	% de Área Urbana	Instrumento Legal de Proteção	Risco Associado ao Uso do Solo
Preferência	Crescente	Crescente	Decrescente	Crescente	Decrescente
Perfil Preocupante	60,00	52,00	15,00	2,0	2,20
Perfil Bom	90,00	80,00	5,00	4,0	1,20
Indiferença	1,00	2,00	1,00	0,2	0,05
Preferência	2,00	5,00	2,00	1,0	0,10
Máximo	98,64	81,00	29,00	4,0	3,20
Mínimo	88,88	65,00	0,00	1,0	1,10

RESULTADOS

Determinação de Pesos

Utilizando o método do Jogo de Cartas (Roy e Figueira, 1998), os pesos para cada critério ficaram conforme Tabela 8. Esses resultados foram atingidos pela média dos resultados dos especialistas consultados. Um exemplo de ordenação de cartas, é mostrado na Figura 2.

Tabela 8 – Resultados da ponderação utilizando o Método do Jogo de Cartas

Crítérios	Pesos
% de APP Preservada	35,36
Qualidade da Água (IQA)	28,33
% de Área Urbana	21,36
Instrumento Legal de Proteção	7,47
Risco Associado ao Uso do Solo	7,47
Soma	100

Classificação dos Mananciais – Electre Tri

Considerando as ponderações e as performances dos mananciais para cada critério, obteve-se o resultado mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultado da Classificação dos Mananciais conforme Electre Tri

Mananciais	Atribuição Pessimista	Atribuição Otimista
Ribeirão Pipiripau	Médio	Médio
Córrego Brejinho	Excelente	Excelente
Córrego Ponte de Terra 1996	Médio	Excelente
Córrego Ponte de Terra 2003	Ruim	Ruim

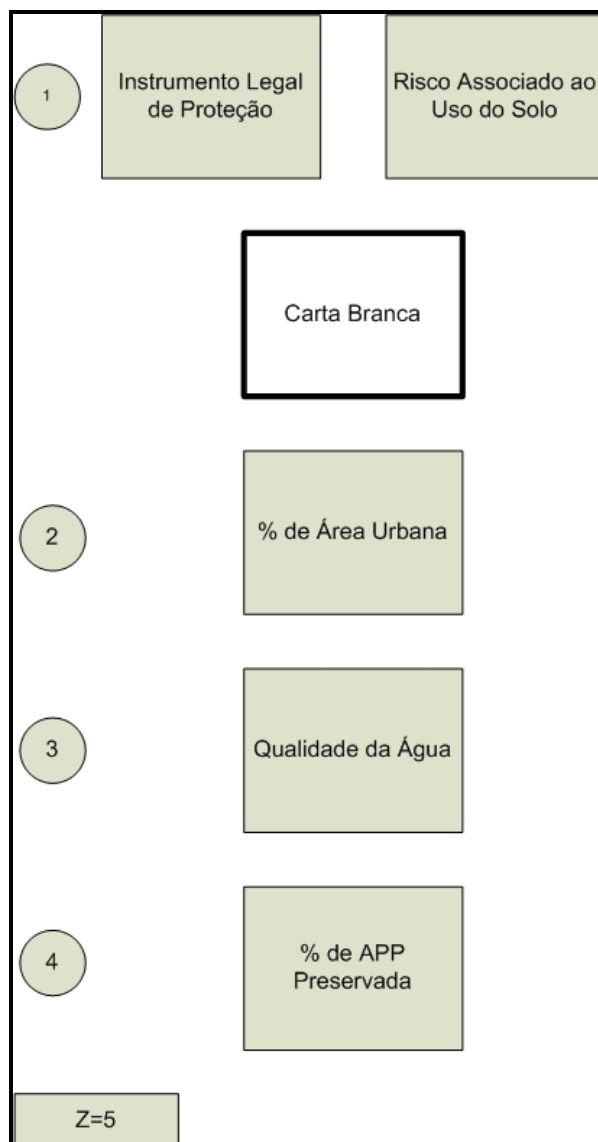


Figura 2 – Ordenamento de carta de um dos especialistas para ponderação de critérios

CONCLUSÕES

As conclusões do artigo indicam que a análise multicritério se mostrou adequada para avaliação da qualidade de bacias hidrográficas de mananciais.

O método do Jogo de Cartas foi avaliado positivamente pelos especialistas, por se uma maneira indireta de ponderação.

Os resultados da análise multicritério, indicam que os mananciais com melhor avaliação, foram respectivamente: Brejinho – “Excelente”, Pipiripau e Ponte de Terra em 1996 – “Médio”, e Ponte de Terra em 2003 – “Ruim”.

Os resultados para o manancial Brejinho evidenciam a importância das Áreas de Preservação Permanente e a ausência de áreas urbanas nas proximidades de mananciais.

O Ribeirão Pipiripau, apesar de não estar em uma área urbana, teve sua classificação provavelmente em função de seu IQA, que provavelmente é oriundo da ocupação basicamente agrícola da Bacia.

A avaliação do manancial Ponte de Terra, em dois períodos distintos, mostra que a metodologia proposta pode representar a evolução negativa ou positiva de um mesmo manancial ao decorrer do tempo. O manancial Ponte de Terra, que era considerado como “Médio-Excelente”, decaiu em qualidade para “ruim-Médio”.

Como recomendação do trabalho têm-se que:

O critério “% de APP Preservada” pode se tornar de difícil mensuração e provavelmente carregue um grau de imprecisão alto. Apesar da importância do critério, sugere-se que este seja substituído e/ou compensado em outras avaliações.

Inserir o critério “% de áreas degradadas” ou outros que foram considerados importantes pelos especialistas, até que se encontre os mais representativos da qualidade de um manancial.

Realizar uma análise multicritério abrangendo outros mananciais do Distrito Federal e com maior número de critérios. Comparar se os resultados são semelhantes ao deste trabalho, no qual foram considerados critérios simplificados e de fácil acesso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ball, R. O.; Church, R. L. , 1980. “*Water quality indexing and scoring*”. Journal of the Environmental Engineering Division. American Society of Civil Engineers, Washington, 106, EE4, pp.757-771
2. BRITES, C. R. C. (2008). *Abordagem Multiobjetivo na Seleção de Sistemas de Reúso de Água em Irrigação Paisagística no Distrito Federal*. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM- 112/08, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 262p.
3. CAESB (2008). *Sinopse do Sistema de Abastecimento de Água do Distrito Federal. Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal*, disponível em: www.caesb.df.gov.br em 29 de outubro de 2008.
4. Chaves, H. M. L.; Santos, L. B. (2007). *Relação entre a ocupação do solo e a qualidade da água em uma pequena bacia do Distrito Federal*. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo-SP.
5. Costa, E. B.; Nicolaidis, H. J.; Chagas, J. M. (1983). *O Índice de Qualidade de Águas Aplicado às Captações mais significativas do Distrito Federal*. In: 12º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, Camburiú, SC.
6. De Vito, M. (2007). *Avaliação do Risco de Contaminação de Mananciais Hídricos para Abastecimento: o caso da Bacia da Barragem do Descoberto*. Dissertação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH DM 104/2007. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF. 181p.
7. ISAIAS, F. B. 2008. *A Sustentabilidade da água: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas*. Dissertação de mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília, 168p.

8. Lemos, A. C. P. N. , 1999. *Planejamento e gerenciamento da exploração dos recursos naturais*. In: Chassot, A. & Campos, H. (Orgs.) *Ciência da Terra e Meio Ambiente: diálogos para (inter)ações no Planeta*. São Leopoldo: Ed. UNISINOS. p. 51-73.
9. Lima, J. E. F. W; Neves, C. L.; Santos, R. M.; Souza, M. A. A.; Cordeiro Neto, O. M. (2006). *Desenvolvimento de Aplicativo para uso do Método Multicritério Electre-Tri*. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro Oeste. ABRH.
10. Oliveira, M. A. G. & Borges, M. N. (2003). *Análise Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau – Distrito Federal*. In: Anais 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, Santa Catarina, Brasil.
11. Vanzela, L. S.; Hernandez; F. B. T.; Lima, R. C.; Gargartini, P. E. 2005. *Influência Antrópica no Transporte de Sedimentos em Microbacia Degradada*. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 15, 2005, Terezina - PI. Anais. SBEA, p.7.
12. Ribeiro, A. L. 2002. *Sistemas, indicadores e desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivo/sti/publicacoes>. Acessado em abril de 2011.
13. Silva, C.L.; e Mendes, J.T.G. (orgs.) *Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável: agentes e interações sob a ótica multidisciplinar*. Editora Vozes. Petrópolis, 2005.
14. Yu, W. e Roy, B. (1992). ELECTRE TRI. *Aspects Methodologiques et Manuel d'Utilisation*. Document N° 74, version 1.0, Université de Paris Dauphine, Paris, 80p.