

Gerenciamento de portfólio de projetos de saneamento nos Comitês das Bacias PCJ: método multicritério para hierarquização

Portfolio management of sanitation projects in the PCJ Basin Committees: multicriteria method for hierarchization

Vanessa Ribeiro Campos^{1*} , Edson Walimir Cazarini² , José Nilson Bezerra Campos³ 

RESUMO

Os elevados custos e a limitação de recursos financeiros tornam essencial a priorização de projetos de saneamento. Os métodos multicritérios, para decisões individuais ou em grupo, são ferramentas modernas para hierarquizar portfólios de projetos. Há muitos métodos disponíveis na literatura técnico-científica. No Brasil, os Comitês das Bacias Hidrográficas constituem-se no ambiente para decisões descentralizadas sobre projetos nos âmbitos das bacias hidrográficas. Este artigo propôs um modelo multicritério de apoio à decisão para a priorização de um portfólio de projetos de saneamento no âmbito de um comitê de bacia. Como estudo de caso, utilizou-se um portfólio de 14 empreendimentos, objeto de um edital para aplicação de recursos financeiros do Fundo Estadual de Recursos Hídricos e/ou arrecadados pela cobrança da água bruta nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Empregou-se o método *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation II* com a extensão gráfica *Geometric Analysis for Interactive Aid*. O modelo propiciou uma análise detalhada sobre as potencialidades das alternativas. Foi possível visualizar não somente a ordenação, mas também todas as propriedades de superação de cada alternativa pelas matrizes e pelos gráficos apresentados.

Palavras-chave: projetos de saneamento; priorização de projetos; sistema de apoio à decisão.

ABSTRACT

High costs and limited financial resources make it essential to prioritize sanitation projects. Multicriteria methods, for individual or group decisions, constitute modern tools to rank project portfolios. Currently, there are many methods available in the scientific and technical literature. In Brazil, the Hydrographic Basin committees constitute the institution for decentralized decisions to manage projects portfolios. This article proposes a multicriteria model of decision support for prioritizing a portfolio of sanitation projects within the scope of a basin committee. As a case study, a portfolio of 14 projects is used, which is the subject of a public notice for the application of financial resources from FEHIDRO and/or collected by charging raw water in the Piracicaba, Capivari and Jundiá (PCJ) basins. The method Promethee II was used with the graphic extension GAIA. The model provided a detailed analysis of the potentialities of the alternatives. It was possible to visualize not only the ordering, but also all the overcoming properties of each alternative by the matrices and the graphs presented.

Keywords: wastewater projects; projects ranking; decision support system.

INTRODUÇÃO

Investimentos em saneamento são essenciais para o desenvolvimento da sociedade e a preservação ambiental das bacias hidrográficas. São sistemas complexos, que abrangem desde a regularização de vazões por barragens até a coleta, o tratamento e a disposição final das águas residuárias. Esses sistemas, modernamente, são estudados com base na Análise do Ciclo de Vida do processo integrado (GUANAIS; COHIM;

MEDEIROS, 2017; LEMOS *et al.*, 2013). Como requerem grandes volumes de recursos financeiros, não há disponibilidade financeira suficiente para a execução de todos os projetos ao mesmo tempo. Nesse contexto, é indispensável que se elabore um plano para definir a ordem de prioridade dos projetos (KARNIB, 2004; CASTRO; CARVALHO, 2010).

Hierarquizar as obras de saneamento é uma decisão estratégica voltada para a melhoria da qualidade das águas de rios e de lagos. O método de apoio à decisão multicritério (AMD) com o programa

¹Centro de Tecnologia Ringgold Standard Institution, Universidade Federal do Ceará - Fortaleza (CE), Brasil.

²Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - São Carlos (SP), Brasil.

³Universidade Federal do Ceará - Fortaleza (CE), Brasil.

*Autor correspondente: vanessa.campos@ufc.br

Recebido: 28/11/2019 - Aceito: 09/12/2019 - Reg. ABES: 20190376

Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation II (PROMETHEE II) é adequado para problemas nos quais um número finito de alternativas deve ser avaliado com relação a vários critérios conflitantes (KALBAR; KARMAKAR; ASOLEKAR, 2012).

Dois modelos são aplicados: o modelo da Deliberação dos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) n° 077/2007 e o modelo de apoio à decisão desenvolvido na pesquisa com o PROMETHEE II, que toma membros do PCJ como decisores. No primeiro caso, a decisão confia totalmente na racionalidade. No segundo, ao se colocar membros do PCJ como decisores, associa-se a racionalidade à intuição e à experiência destes. Esse modelo, que envolve a colaboração entre especialistas, formuladores do AMD e políticos, membros do Comitê das Bacias Hidrográficas (CBH), enquadra-se no denominado modelo pragmático de decisão (CAMPOS; CAMPOS, 2015).

Nos meios acadêmicos, a discussão da diáde intuição e racionalidade nas teorias das decisões remonta a décadas atrás (BARNARD, 1938; MARCH, 1978; MINTZBERG, 1994). O criticismo à busca de modelos teóricos de tomada de decisão com base somente na racionalidade é extenso na literatura (ACZEL *et al.*, 2011; DANGI *et al.*, 2008; JULMI, 2019). Por outro lado, muitos autores consideram que o processo decisório deva levar em conta a racionalidade associada com a intuição, a qual abrange a experiência dos decisores (PONDY, 1983; SIMON, 1987; KHATRI; NG, 2000).

A rigor, em filosofia, a discussão racional *versus* intuição remonta ao século XVII, nos debates entre René Descartes (1596–1650) e Blaise Pascal (1623–1662). Descartes tinha um sonho de transportar as certezas do método matemático para as demais ciências. Pascal era um crítico de Descartes e considerava que a intuição e a experiência das pessoas eram indispensáveis para as decisões e jamais seriam substituídas. Foi desse debate que ganhou notoriedade a frase de Pascal: “O coração tem razões que a própria razão desconhece” (MAGEE, 2000).

A intuição e a experiência dos atores sociais têm papel fundamental nos processos decisórios, até mesmo nos que utilizam análise multicritérios (WIERZBICKI, 1997). No planejamento estratégico, que envolve aspectos ambientais e da política de recursos hídricos, como é o caso, os membros dos comitês de bacias são os decisores definidos na Lei n° 9.433/1997.

O objetivo deste artigo foi desenvolver um modelo de decisão multicritério para hierarquizar um portfólio de projetos de saneamento no âmbito das bacias hidrográficas PCJ. O modelo inclui dois membros do PCJ como decisores, os quais podem contribuir para as decisões incorporando suas intuições e experiências em política de gestão ambiental e de recursos hídricos. A estruturação do problema em um modelo AMD propicia melhor entendimento sobre ele como objeto da análise.

REFERENCIAL TEÓRICO EM MÉTODOS MULTICRITÉRIO

O método Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

A base conceitual para os métodos multicritério foi, inicialmente, formulada por Roy (1985). A formulação foi feita na forma da Equação 1:

$$\max\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_k(a) \mid a \in A\} \quad (1)$$

Em que:

A = o conjunto das n alternativas possíveis;

$\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$ = o conjunto de k critérios de avaliação.

Não há objeções para que alguns critérios sejam maximizados e outros minimizados.

Esse tipo de problema é classificado como problema matemático mal posto (*ill posed mathematical problem*), porque, normalmente, não existe uma alternativa capaz de otimizar todas as soluções. Entretanto, a maioria dos problemas — se não todos — dos seres humanos são multicritério. Os métodos PROMETHEE I (ranqueamento parcial) e PROMETHEE II (ranqueamento completo) foram apresentados pela primeira vez em 1982, em um congresso científico em Québec, no Canadá (BRANS; MARESCHAL, 2005). Esses métodos são classificados como métodos de superação (*outranking methods*) e apropriados para ranqueamento de ações alternativas.

O Plano Geometric Analysis for Interactive Aid

O método *Geometric Analysis for Interactive Aid* (GAIA) provê interessantes representações gráficas dos resultados do PROMETHEE e propicia aos analistas e decisores uma análise completa do processo decisório (BRANS; MARESCHAL, 2005). Rapidamente, os métodos PROMETHEE ganharam aceitação entre profissionais da área de decisões multicritério e foram objeto de muitas publicações.

O método GAIA foi criado por Mareschal e Brans (1988) com o objetivo de analisar a influência dos pesos na hierarquização das alternativas. Esse método trabalha com a matriz $n \times k$, em que n é o número de alternativas em análise e k é o número de critérios. As preferências dos decisores são inseridas no modelo por meio de um vetor de pesos dos decisores para cada critério (vetor w). O GAIA projeta, em um plano, as alternativas (conjunto A), os vetores de critérios e o vetor de preferências (Figura 1). Em função da projeção no plano, é possível analisar similitudes e conflitos de critérios, semelhanças e divergências de preferências entre decisores.

Mareschal e Brans (1988) atribuem as seguintes propriedades ao plano GAIA:

- As alternativas boas para determinado critério são representadas por pontos localizados próximo aos eixos desses critérios;
- Alternativas próximas entre si são similares;
- Critérios que expressam preferências similares no conjunto de alternativas são orientados no plano GAIA por eixos de critérios na mesma direção;
- Critérios conflitantes, ou opostos, têm eixos em sentidos opostos;
- Critérios independentes têm eixos ortogonais.

DADOS E MÉTODOS

Área do estudo

As bacias dos rios PCJ abrangem 15.304 km², dos quais 92,6% pertencem ao estado de São Paulo, e 7,4% a Minas Gerais. Nas bacias PCJ há 76 municípios, 62 dos quais têm sede inserida na própria bacia, sendo 58 em São Paulo e quatro em Minas Gerais (ANA, 2007).

Trata-se de bacias altamente urbanizadas, fato que, por deficiências de coleta e tratamento das águas, resulta em multiplicação das fontes de poluição dos rios pelos esgotos urbanos. A bacia dispõe de 50% de esgoto doméstico tratado e de 90% das cargas industriais removidas. A densidade urbana e a economia da região, para um espaço limitado, implicam a preocupação pela qualidade dos recursos hídricos (COBRAPE, 2011).

A Agência das Bacias PCJ e o CBH têm a missão de aplicar recursos financeiros oriundos da cobrança da água bruta e provenientes do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO). A aplicação desses recursos é feita em programas de duração continuada conforme previsto no Plano das Bacias PCJ. São oito programas, entre os quais está o de recuperação da qualidade dos corpos de água (RQCA) (COBRAPE, 2011).

Para a seleção de projetos de cada programa, o PCJ estabeleceu critérios, com respectivas pontuações, por meio da Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/2007. Os projetos são apresentados em resposta aos editais. Ao submeter um projeto, a instituição, prefeitura, enquadra sua proposta nos critérios da deliberação e pode saber, de antemão, a pontuação obtida. No final da submissão, os decisores colocam os projetos em uma planilha, atribuem a pontuação e classificam-nos de acordo com a Deliberação nº 077/2007. Trata-se de uma sistemática de hierarquização com múltiplos critérios, válida, transparente e que atende ao estabelecido no Plano das Bacias (COBRAPE, 2011).

Observa-se, também, que nesse método não há decisores após a apresentação dos projetos. Não se trata de decisão em grupo, isto é, não é uma decisão direta do Comitê. Caso se mude todo o comitê, os mesmos projetos, na aplicação da Deliberação nº 077/2007, vão resultar na mesma hierarquia. Em outras palavras, as preferências dos membros do Comitê das Bacias em exercício não são consideradas na hierarquização.

Etapas da pesquisa

A modelagem da decisão foi desenvolvida de acordo com as seguintes etapas: estruturação do problema, seleção do método multicritério, definição de critérios, levantamento dos dados, modelagem e ordenação e criação de uma matriz de hierarquia.

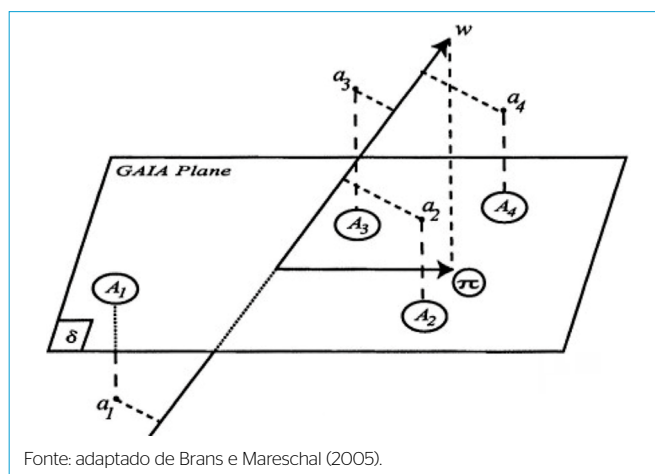
Estruturação do problema

O problema em análise diz respeito a um edital para seleção de projetos, no contexto do programa de ações continuadas do PCJ. Os comitês têm função deliberativa e consultiva. Foram criados para promover a participação do poder público, dos usuários e das comunidades na gestão dos recursos hídricos. Dessa forma, agem de maneira descentralizada para questões referentes à gestão dos recursos hídricos, priorização e aplicação de recursos financeiros destinados à bacia.

A priorização dos projetos de saneamento das bacias PCJ tem como base as definições da Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/2007. A aplicação do modelo multicritério para priorização de projetos tem os seguintes motivos:

- Há limitação de recursos financeiros, e os projetos precisam ser distribuídos de forma hierárquica;
- Há necessidade de transparência na decisão em virtude da participação de vários órgãos e várias instituições, entre eles prefeituras, prestadores de serviço de água e esgoto, associações, todos com interesses distintos;
- Há critérios que abrangem naturezas diferentes — operacionais, institucionais e financeiros.

O conjunto de alternativas a hierarquizar corresponde aos projetos submetidos ao Comitê PCJ no ano de referência de 2008. Foram 14 projetos para a RQCA das bacias PCJ. Para a modelagem, dois integrantes da Câmara Técnica de Planejamento dos Comitês PCJ foram selecionados



Fonte: adaptado de Brans e Mareschal (2005).

Figura 1 - Representação esquemática do Plano *Geometric Analysis for Interactive Aid* (GAIA).

como decisores. Os participantes representam as seguintes entidades: Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto; Associação dos Engenheiros, Arquitetos e Agrônomos da Região de Bragantina; e Agência de Água PCJ.

Escolha do método multicritério

Na escolha do método multicritério, deve-se considerar a natureza do problema, os tipos de critérios e a modelagem das preferências dos decisores. Para este estudo, os seguintes atributos foram necessários para o modelo:

1) solucionar o problema de hierarquia; 2) permitir trabalhar com informações imprecisas, em decorrência de possíveis dificuldades na atribuição de ponderações para os critérios; 3) ter aplicabilidade comprovada em projetos da área de saneamento; 4) os decisores assimilam com facilidade os parâmetros necessários para a aplicação do método.

O modelo PROMETHEE II, com a extensão gráfica GAIA, foi selecionado. Trata-se de um método direcionado para problemas de hierarquização de alternativas, com inúmeras aplicações encontradas na literatura para problemas de saneamento (LIMA *et al.*, 2014; KALBAR; KARMAKAR; ASOLEKAR, 2012; VUCIJAK; KURTAGIC; SILAJDZIC, 2016; CARVALHO; CURI, 2016; CARVALHO; CARVALHO; CURI, 2011).

Definição dos critérios

Os critérios para hierarquização de projetos de saneamento no PCJ foram definidos por Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ n° 077, de 5 de outubro de 2007 (COMITÊS PCJ, 2007). São cinco critérios apresentados na Tabela 1.

O tipo de empreendimento, critério C1, prioriza:

- obras;
- serviços e equipamentos;
- projetos, planos e estudos;
- termos de referência.

Entre eles, os empreendimentos que tenham sido financiados pelo FEHIDRO ou por cobrança federal ou paulista têm prioridade.

Tabela 1 – Critérios de hierarquização definidos pelos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

	Critério	Pontuação
C1	Tipo do empreendimento	De 1 a 5
C2	Contrapartida oferecida	De 0 a 10
C3	Objetivo do empreendimento	De 0 a 5
C4	Inserção no PGMRH	De 0 a 5
C5	Inserção no Prodes	0 ou 1 ponto

PGMRH: Programa de Gestão Municipal dos Recursos Hídricos; Prodes: Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Agência Nacional de Águas).

O critério C2, contrapartida, refere-se à parte do projeto a ser executada com recursos próprios dos municípios. A contrapartida varia de 20 a 40%. Valores abaixo de 20% desclassificam o empreendimento. Com 40%, o empreendimento atinge a pontuação máxima (10 pontos). Para valores de contrapartida entre 20 e 40%, o valor de C2 é interpolado entre 0 e 10.

O critério C3, objetivo do empreendimento, prioriza:

- construções de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE);
- coletores e troncos ligados a ETE em operação;
- coletores e troncos ligados a ETE em construção;
- coletores e troncos não ligados a ETE (transporte e afastamento).

O critério C4 prioriza a organização institucional, no setor de águas, do município que submete a proposta. As prioridades são:

- município com lei e políticas aprovadas e conselhos de recursos hídricos instalados;
- município com leis e políticas aprovadas, porém não instalados;
- municípios com propostas de leis e políticas em andamento;
- município ainda sem proposta.

O critério C5 afere se as obras propostas foram avaliadas anteriormente no âmbito do Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (Prodes). Projetos já avaliados pelo programa recebem 1 ponto; caso contrário, 0.

O Prodes é uma iniciativa da Agência Nacional de Águas, que visa reduzir os riscos à saúde e aos ecossistemas. Ele concede estímulo financeiro por meio da União aos prestadores de serviço de saneamento que investirem na implantação e operação de ETE.

O portfólio de projetos

No caso estudado, o CBH fez uma chamada para os municípios apresentarem projetos com vistas à melhoria da qualidade das águas nas bacias, por meio, principalmente, de projetos relacionados ao tratamento das águas residuárias. Concorreram à chamada do PCJ 11 municípios, que apresentaram 14 projetos (Tabela 2).

A matriz de avaliação

A matriz de avaliação, ou matriz de decisão, tem como finalidade mostrar, em forma de tabela, a relação entre as alternativas para os n critérios da avaliação. Supondo-se que a_{ij} represente a avaliação de cada ação pertencente ao conjunto de ações potenciais A , segundo o critério g_j , a Tabela 3 apresenta a matriz de avaliação para o caso estudado.

Modelagem de preferência nos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

A hierarquia obtida depende do comparativo entre todas as opções de projetos de saneamento analisados. Além disso, o método GAIA foi adicionado ao modelo com o intuito de visualizar, graficamente, o

desempenho das alternativas em relação aos critérios. A Figura 2 mostra um fluxo com a sequência do procedimento metodológico adotado.

Observa-se que a modelagem de preferências sucede à obtenção da matriz de avaliação. Nesse momento, obtêm-se os parâmetros necessários para o PROMETHEE II: pesos e funções de preferência para seis tipos de critérios generalizados disponíveis no programa (BRANS; MARESCHAL, 2005).

O GAIA permite analisar a influência dos pesos dos critérios nas alternativas. O impacto dos pesos, introduzido no plano GAIA, é representado pela projeção no plano dos parâmetros do método PROMETHEE. A estrutura GAIA oferece uma representação inovadora em duas dimensões para os critérios e as alternativas. A representação gráfica do plano indica as seguintes propriedades:

- Posição das alternativas: a proximidade entre as alternativas sugere a relação entre elas. Assim, quanto mais próximas duas alternativas estiverem no plano, maior será a similaridade entre elas;
- Posição dos critérios: a similaridade entre os critérios também está relacionada com a sua aproximação no plano. Isso significa que, se uma alternativa é boa para determinado critério, será também boa para outro critério semelhante;
- Posição das alternativas com os critérios: o estudo do desempenho de cada alternativa em relação ao critério pode ser visualizado conforme sua proximidade. Quanto mais próxima uma alternativa está de determinado critério, melhor é o seu desempenho segundo as preferências do decisor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Hierarquia da Resolução nº 077/2007

Observa-se que a Deliberação nº 077/2007 não atribui peso aos critérios. Os critérios C1, C3 e C4 têm pontuação máxima igual a 5; o critério C2 tem pontuação máxima igual a 10; e o critério C5 tem pontuação máxima

Tabela 3 - Matriz de decisão para ordenar portfólio de projetos.

	C1	C2	C3	C4	C5
A1	4,5	10,0	4	5	0
A2	4,5	10,0	5	3	1
A3	4,5	10,0	5	5	0
A4	4,5	10,0	5	5	0
A5	3,0	10,0	5	3	0
A6	4,5	10,0	3	3	0
A7	5,0	10,0	5	2	0
A8	5,0	10,0	3	3	0
A9	4,5	10,0	5	0	0
A10	4,5	7,5	5	3	0
A11	3,0	10,0	5	0	0
A12	4,0	6,5	5	0	0
A13	4,0	6,5	5	0	0
A14	4,5	5,0	5	0	0

Tabela 2 - Portfólio de projetos de saneamento nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (2008).

A1	Americana	Execução da estação elevatória de esgoto e de linhas de recalque
A2	Atibaia	Implantação de equipamentos e obras complementares na ETE Estoril
A3	Campinas	Estação de tratamento de esgoto do Bosque das Palmeiras
A4	Campinas	Obras de ampliação e equipamentos para otimização da estação de tratamento de lodo das estações de tratamento de água 3 e 4
A5	Cordeirópolis	Projeto executivo do sistema de tratamento, desidratação e disposição final do lodo da estação de tratamento de água do município de Cordeirópolis
A6	Indaiatuba	Interceptor (coletor tronco) da margem direita do rio Jundiá
A7	Ipeúna	Construção da estação de tratamento de esgoto tipo sistema australiano de Ipeúna (projeto financiado pelo FEHIDRO)
A8	Jaguariúna	Sistema de afastamento (coletor tronco) e transporte de esgoto sanitário — Bacia do Jaguari — Fase 3
A9	Jundiá	Construção da estação de tratamento de esgoto do bairro Fernandes — Bacia do Jaguari — Fase 3
A10	Jundiá	Construção de estação de tratamento de esgotos — bairro São José — bacia do rio Capivari em Jundiá
A11	Rio das Pedras	Projeto básico de reaproveitamento de águas do processo do sistema de tratamento, desidratação e disposição final dos lodos da Interceptor (coletor troncos I, II e II do município de Rio das Pedras)
A12	Santa Bárbara do Oeste	Tratamento físico-químico da estação de tratamento de esgoto Barrocão
A13	Santa Bárbara do Oeste	Tratamento físico-químico da estação de tratamento de esgoto Barrocão
A14	Valinhos	Implantação do sistema de controle de odor do tratamento preliminar da estação de tratamento de esgoto de Capuava

ETE: estação de tratamento de esgoto; FEHIDRO: Fundo Estadual de Recursos Hídricos.

igual a 1. Com a hierarquia feita com a soma dos pontos, os pesos ficam implicitamente atribuídos (Tabela 4). Nota-se que o critério C2, contrapartida, tem o maior peso, sendo o dobro dos critérios C1, C3 e C4.

A matriz de avaliação apresenta o desempenho de cada alternativa para os critérios de decisão estabelecidos pela Deliberação nº 077/2007 (Tabela 5).

O projeto A3, primeiro na hierarquia, refere-se a uma obra de ETE, proposta por Campinas (SP), município que já tem Política Municipal de Recursos Hídricos, aprovada pela Lei Municipal nº 19.168/2006. Ao colocar a contrapartida máxima (40%), o projeto obteve pontuação máxima nesse critério.

O segundo projeto na hierarquia foi o A4, ampliação de uma ETE, também do município de Campinas. Esse projeto obteve a mesma pontuação do A3. Observa-se que Campinas apresentou os dois projetos direcionados ao edital, que atingiram a pontuação máxima.

Em terceiro lugar ficou o projeto A1, projeto de uma estação elevatória de esgoto e linha de recalque no município de Americana (SP).

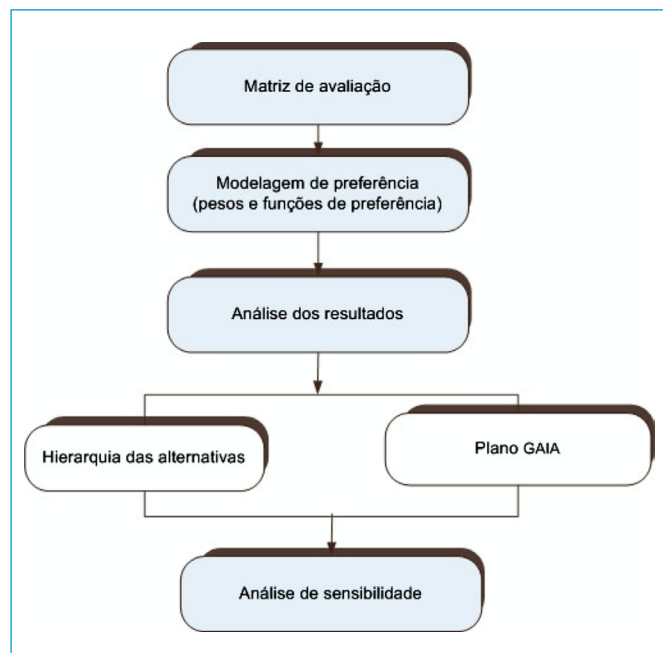


Figura 2 - Fluxo do Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation II com Geometric Analysis for Interactive Aid.

Tabela 4 - Pesos dos critérios implicitamente assumidos pela Deliberação dos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá nº 077/2007.

Critério	C1	C2	C3	C4	C5
Peso (%)	19,23	38,47	19,23	19,23	0,04

Tabela 5 - Matriz de hierarquia pelos critérios da Deliberação dos Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá nº 077/2007.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
A3	A4	A1	A2	A7	A5	A8	A6	A10	A9	A11	A12	A13	A14

Aplicação com decisores do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

O modelo PROMETHEE II foi aplicado para priorizar projetos sob a ótica de dois membros do CBH. A modelagem de preferência foi feita por meio de entrevistas. Assim, foi possível estabelecer dois panoramas de hierarquia, um para cada decisor. Os decisores são representantes das seguintes entidades: sociedade civil, integrante do Comitê da Agência das Bacias PCJ e representante da área de saneamento. Os julgamentos individuais são analisados em relação à ponderação dos critérios. Observa-se que, nesse modelo, a participação dos membros do CBH na hierarquia decorre do estabelecimento de pesos nos critérios.

A Tabela 6 mostra os pesos atribuídos pelos decisores aos cinco critérios. Para ambos os decisores, o maior peso foi atribuído ao critério C3, objetivo do empreendimento, o qual valoriza mais a construção de ETE. Houve pouca variação para o valor de ponderação entre os decisores: o maior valor teve peso 31,25%, e o menor 27,03%. A posição dos dois decisores está em consonância com o objetivo estratégico do edital. Como se trata de um programa de melhoria da qualidade das águas, poluídas com esgotos não tratados, uma obra de tratamento de esgotos seria mais eficaz do que, por exemplo, o fato de o projeto ter sido submetido ao Prodes (critério C5).

O Decisor 2 valoriza, em segundo lugar, a contrapartida do município. Esse critério, embora não tenha interferência direta na qualidade de águas, atua no sentido de proporcionar recursos financeiros para empreendimentos de classificação mais baixa. Para o Decisor 1, o segundo em importância é o critério C1. Justifica-se: a execução de uma obra, tipo ETE, traz resultados mais imediatos na qualidade das águas do que, por exemplo, um projeto de ETE.

Ao critério C4, inserção no Programa de Gestão Municipal dos Recursos Hídricos, ambos os decisores atribuem pesos muito próximos (18,92 e 18,75). Dessa forma, esse critério praticamente não interfere na posição relativa dos empreendimentos.

O critério C5, inserção no Prodes, é valorizado pelo Decisor 1 (peso 16,22) e pouco valorizado pelo Decisor 2 (peso 6,25). Uma explicação possível para o peso do C5 ser maior para o Decisor 1 é que um projeto já submetido ao Prodes está mais próximo de ser executado. Essa visão não é compartilhada pelo Decisor 2.

Tabela 6 - Pesos atribuídos pelos decisores aos cinco critérios.

Critério	Decisor 1 – Peso (%)	Decisor 2 – Peso (%)
C1: Tipo de empreendimento	24,32	18,75
C2: Contrapartida	13,51	25,00
C3: Objetivo do empreendimento	27,03	31,25
C4: Inserção no Programa de Gestão Municipal dos Recursos Hídricos	18,92	18,75
C5: Inserção no Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas	16,22	6,25

Os resultados da aplicação do método PROMETHEE II com GAIA são apresentados por meio de gráficos, quadros e tabelas extraídos do sistema D-Sight. Os dados segundo a modelagem de preferência foram inseridos no sistema para calcular a hierarquia para o PROMETHEE II.

A hierarquia de projetos para as bacias PCJ, para os dois decisores, encontra-se na Tabela 7. As alternativas A2 e A1 foram aquelas que apresentaram os melhores desempenhos para ambos os decisores. Observa-se que as quatro alternativas, A1, A2, A7 e A8, estão nas três primeiras alternativas nos dois decisores. Isto é, elas seriam as quatro primeiras para os dois decisores. Os piores desempenhos foram para as alternativas A12 e A13. Consta-se similaridade nos resultados das alternativas nas melhores e piores posições da hierarquia. As alternativas prioritárias, as quatro primeiras, referem-se a obras em ETE, que certamente terão efeitos mais imediatos e mais substanciais na melhoria da qualidade das águas dos corpos de água das bacias PCJ.

Por outro lado, os piores empreendimentos na hierarquia referem-se a serviços de tratamento em uma ETE já em funcionamento. Trata-se de uma questão operacional de uma estrutura existente, porém os decisores não esperam que esses empreendimentos impactem imediata e substancialmente a melhoria da qualidade das águas da bacia.

O Plano Geometric Analysis for Interactive Aid

O plano GAIA oferece uma visualização mais detalhada das preferências de dois decisores (Figuras 3 e 4), para fazer um comparativo entre as influências dos pesos por eles atribuídos dos atributos sobre os resultados de desempenho das alternativas.

Os resultados do plano GAIA para o Decisor 1 podem ser vistos sob as seguintes perspectivas:

- Distância entre as alternativas: as alternativas mais dispersas entre si são A3, A9, A10, A11 e A14. Isso indica maior diferença entre as propriedades das alternativas;

Tabela 7 - Hierarquia das alternativas para os dois decisores do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

Hierarquia	Decisor 1	Decisor 2
1	A2	A1
2	A1	A7, A8
3	A7, A8	A2
4	A4, A5, A6	A4, A5, A6
5	A3	A9
6	A9	A3
7	A14	A14
8	A10	A11
9	A11	A10
10	A12, A13	A12, A13

- Posição dos critérios: os critérios contrapartida do empreendimento (C2), tipo de empreendimento (C3) e participação no Prodes (C5) foram aqueles que tiveram a mesma direção da reta vermelha, o que significa similaridade com a preferência do primeiro decisor. Observa-se que os critérios objetivo do empreendimento (C1) e programa de gestão municipal (C4) apresentaram outro direcionamento.

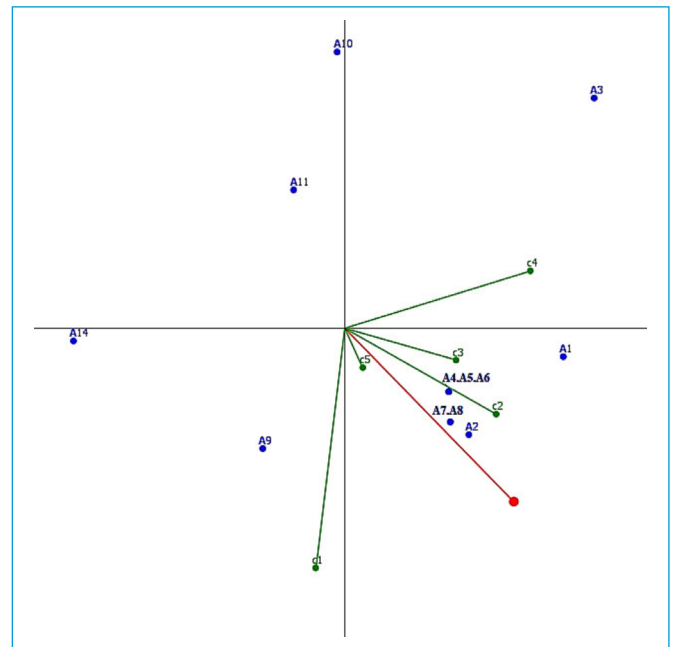


Figura 3 - Plano Geometric Analysis for Interactive Aid (GAIA) para o Decisor 1.

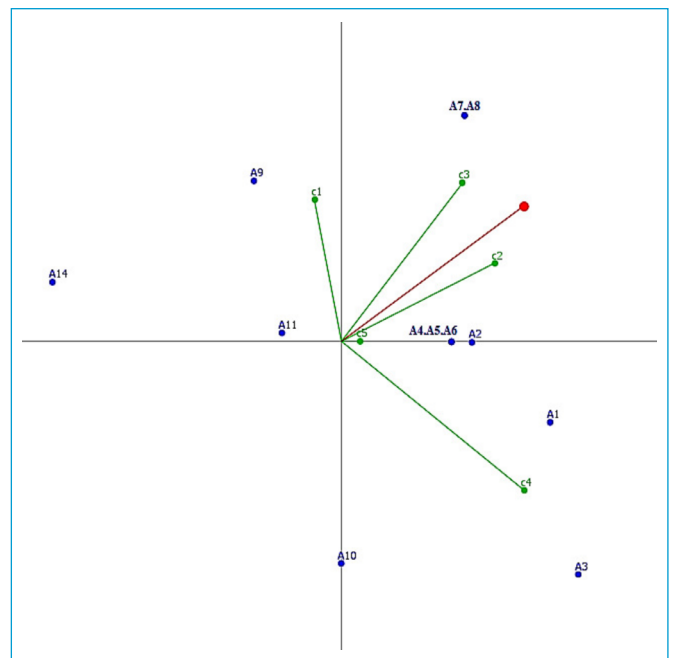


Figura 4 - Diagrama Geometric Analysis for Interactive Aid (GAIA) para o Decisor 2.

Quanto ao Decisor 2 (Figura 4), observou-se:

- As alternativas mais dispersas foram A15, A9, A11, A10 e A3 (quatro dessas coincidem com a visão do Decisor 1);
- Os critérios C3 e C2 são próximos ao vetor de preferência do Decisor 2. Esses critérios também são próximos das preferências do Decisor 1.

CONCLUSÕES

Neste artigo, apresentou-se um modelo multicritério Promethee II, associado ao método GAIA e ao sistema de apoio à decisão D-Sight, para hierarquizar um portfólio de projetos de saneamento no âmbito dos Comitês das Bacias PCJ. Os seguintes requisitos justificam o uso de método multicritério: limitação de recursos financeiros para atendimento das necessidades de investimentos na bacia; transparência das decisões na hierarquia dos projetos; inserção dos membros do Comitê das Bacias na tomada de decisão; utilização das ferramentas técnicas em decisões multicritério.

O modelo multicritério com participação dos membros do Comitê das Bacias, como alternativa ao modelo da Deliberação PCJ nº 077/2007, tem como vantagem a inserção da experiência

e da visão de política ambiental dos decisores. Observou-se que ambos os decisores valorizaram o critério C3, relativo ao objetivo do empreendimento, como o que melhor atende aos objetivos estratégicos de melhoria da qualidade das águas da bacia hidrográfica. Como a principal causa da poluição das águas está no lançamento de esgotos *in natura* nos rios, a construção de uma ETE, certamente, corresponde à ação mais imediata de melhoria da qualidade das águas. Essa foi a percepção colocada pelos membros dos comitês no modelo multicritério.

Observou-se consistência dos decisores com relação aos melhores e piores projetos. Essa consistência pode também ser observada, no Plano GAIA, nos eixos dos pesos dos critérios atribuídos pelos decisores.

O modelo aplicado com a colaboração de técnicos, que estruturam o problema apresentado na Deliberação PCJ nº 077/2007, e políticos, que inserem intuição e visão política na decisão, enquadra-se na tipologia de modelo de decisão pragmática. Em síntese, o modelo atende à prática de combinar racionalidade à intuição no processo decisório, a qual é defendida por muitos pesquisadores.

REFERÊNCIAS

- ACZEL, B.; LUKACS, B.; KOMLOS, J.; AITKEN, M. R. F. (2011) Unconscious intuition or conscious analysis? Critical questions for the Deliberation-Without-Attention paradigm. *Judgment and Decision Making*, v. 6, n. 4, p. 351-358.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). (2007) *A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e Agência de Água das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*. Brasília: ANA.
- BARNARD, C.I. (1938) *The functions of the executive*. Cambridge: Harvard University Press. 334 p.
- BRANS, J.-P.; MARESCHAL, B. (2005) Promethee methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. *Multiple Criteria decision analysis: state of the art surveys*. Boston: Springer. p. 163-189.
- CAMPOS, J.N.B.; CAMPOS, V.R. (2015) A formação dos conhecimentos em recursos hídricos e aplicações em tomadas de decisões. *Estudos Avançados*, v. 29, n. 84, p. 179-184. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200012>
- CARVALHO, J.; CARVALHO, E.; CURI, W.F. (2011) Avaliação da sustentabilidade ambiental de municípios paraibanos: uma aplicação utilizando o método promethee. *Gestão & Regionalidade*, v. 27, n. 80, p. 71-84.
- CARVALHO, J.R.; CURI, W.F. (2016) Sistema de indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: uma abordagem através dos métodos multicritério e multidecisor. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 12, n. 2, p. 374-398.
- CASTRO, H.G.; CARVALHO, M.M. (2010) Gerenciamento de Portfólio de projetos: um estudo exploratório. *Gestão da Produção*, v. 17, n. 2, p. 283-296. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000200006>
- COMITÊS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (COMITÊS PCJ). *Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 077/07, de 05/10/2007*. Define cronograma e regras para hierarquização de empreendimentos visando à indicação para obtenção de financiamento com recursos do FEHIDRO e das cobranças (federal e paulista) pelo uso dos recursos hídricos, referentes ao orçamento de 2008, e dá outras providências. Piracicaba: Comitês PCJ, 2007. Disponível em: <<https://www.comitespcj.org.br/images/Download/DelibConj077-07.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.
- COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS (COBRAPE). (2011) *Plano das bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020: Relatório síntese*. São Paulo: Neoband Soluções Gráficas.

- DANGI, M.B.; URYNOWICZ, M.A.; GEROW, K.G.; THAPA, R.B. (2008) Use of stratified cluster sampling for efficient estimation of solid waste generation at household level. *Waste Management and Research*, v. 26, n. 6, p. 493-499. <https://doi.org/10.1177/0734242x07085755>
- GUANAIS, A.R.; COHIM, E.B.; MEDEIROS, D.L. (2017) Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 6, 1187-1196. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017146180>
- JULMI, C. (2019) When rational decision-making becomes irrational: a critical assessment and re-conceptualization of intuition effectiveness. *Business Research*, v. 12, p. 291-314. <https://doi.org/10.1007/s40685-019-0096-4>
- KALBAR, P.P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S.R. (2012) Technology assessment for wastewater treatment using multiple-attribute decision-making. *Technology in Society*, v. 34, n. 4, p. 295-302. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2012.10.001>
- KARNIB, A. (2004) An approach to elaborate priority preorders of water resources projects based on multi-criteria evaluation and fuzzy sets analysis. *Water Resources Management*, v. 18, p. 13-33. <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000015347.870475b>
- KHATRI, N.; NG, H.A. (2000) The role of intuition in strategic decision making. *Human Relations*, v. 53, n. 1, p. 57-86. <https://doi.org/10.1177%2F0018726700531004>
- LEMOS, D.; DIAS, A.; GABARREL, X.; ARROJA, L. (2013) Environmental assessment of an urban water system. *Journal of Cleaner Production*, v. 54, p. 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.029>
- LIMA, J.D.; JUCÁ, J.T.; REICHER, G.A.; FIRMO, A.L. (2014) Uso de modelos de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região Sul. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 1, p. 33-42. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000100004>
- MAGEE, B. (2000) *História da Filosofia*. 2.ed. São Paulo: Edições Loyola.
- MARCH, J.G. (1978) Bounded Rationality, Ambiguity and Engineering Choice. *The Bell Journal of Economics*, v. 9, n. 2, p. 587-608. <https://doi.org/10.2307/3003600>
- MARESCHAL, B.; BRANS, J.-P. (1988) Geometrical Representation for MCDA. *European Journal of Operational Research*, v. 34, n. 1, p. 69-77. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(88\)90456-0](https://doi.org/10.1016/0377-2217(88)90456-0)
- MINTZBERG, H. (1994) The fall and rise of strategic planning. *Harvard Business Review*, p. 107-114.
- PONDY, L.R. (1983) The union of rationality and intuition in management action. Introduction: common themes in executive thought and action. San Francisco: Jossey-Bass.
- ROY, B. (1985). *Methodologie d'Aide à la Decision*. Paris: Economica.
- SIMON, H.A. (1987) Making management decisions: the role of intuition and emotion. *Academy of Management Executive*, v. 1, n. 1, p. 57-64.
- VUCIJAK, B.; KURTAGIC, S.M.; SILAJDZIC, I. (2016) Multicriteria decision making in selecting the best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. *Journal of Cleaner Production*, v. 130, p. 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.030>
- WIERZBICKI, A.P. (1997) On the role of Intuition in Decision Making and some ways of Multicriteria Aid of Intuition. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, v. 6, n. 2, p. 65-76. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1360\(199703\)6:2%3C65::AID-MCDA143%3E3.O.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1360(199703)6:2%3C65::AID-MCDA143%3E3.O.CO;2-Q)