



XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste



MÉTODOS DE ANÁLISE MULTI OBJETIVO APLICADOS À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA EXPLORATÓRIA

Autores: Fábio E. F. R. Ferreira; Jackeline Lucas souza ; Ticiane Marinho de Carvalho Studart; Francisco de Assis de Souza Filho; Marco Aurélio Holanda de Castro

1. Introdução

2. Metodologia

3. Resultados e Discussão

4. Considerações finais



Sumário

Contexto

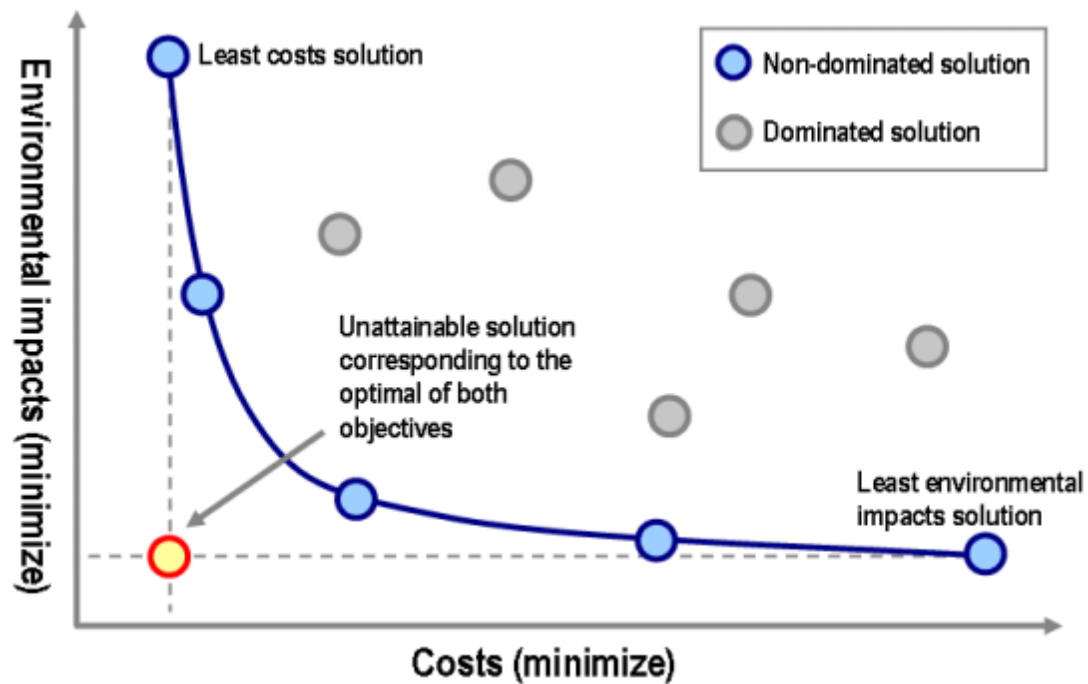
- Aumento de demandas localizadas ;
- Constante degradação da qualidade da água ;
- Escassez acentuada de recursos hídricos.

Proposta de solução

- Reformulação do planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, considerando múltiplos objetivos.



Diferentemente dos problemas de único objetivo, não existe apenas uma solução ótima, existe um conjunto de soluções denominadas soluções ótimas de Pareto.



1

Introdução

Objetivo

O presente trabalho objetiva **compreender o desenvolvimento e o atual estado das aplicações** destes métodos em cenários nacionais e internacionais com vistas a **fornecer uma base teórica para pesquisas posteriores** sobre os critérios de avaliação e mensuração dos recursos hídricos, **evitando replicações e definindo cenários favoráveis** à aplicação dos métodos.

Critério de inclusão

Trabalhos sobre métodos multiobjetivos aplicados a recursos hídricos .

Palavras -chave

- Metodologia multiobjetivo;
- recursos hídricos ;
- Gestão hídrica;
- Métodos da família ELECTRE;
- Método das ponderações.

Bases de dados

- Science Direct;
- RBRH;
- Acadêmico.

Foram relacionados 24 trabalhos dentre artigos, teses e dissertações

Avaliação da alteração da política operacional de reservatórios da CESP incorporando controle de cheias e risco de déficit energético. **Braga (1987)**

- Viabilidade de se adotar os métodos em projetos no Brasil.
- Avaliação das alternativas de projeto da barragem do Castanhão. **Teixeira e Barbosa (1993;1995)**



Resultados e Discussão

Aplicação de técnicas de **programação linear multiobjetiva** para alocação de recursos terrestres, incluindo benefícios econômicos e impactos da qualidade da água relacionados às descargas de poluentes. **Chan et al. (1994)**

Análise dos conflitos de alocação de água a montante da bacia do Rio Grande. Os critérios envolvem: políticas de gerenciamento de águas subterrâneas e fatores de recursos biológicos. São empregados os **métodos de programação de compromisso e ELECTRE III**. **Bella et al. (1996)**



Análise de métodos multiobjetivos no planejamento ambiental na bacia do Rio Cotia, afluente do rio Tietê (SP), sendo estes cinco métodos: **ELECTRE II**, **PROMETHEE II**, **Programação por Compromisso – CP**, **Teoria dos Jogos Cooperativos – CGT** e o método **Análítico Hierárquico – AHP**. Zuffo (1998)

Figueira & Roy (1999) revisaram a melhoria de um método para determinação de pesos de critérios, denominado **método de Simos**.

Análise do **método de Valoração contingente** e do **método dose-resposta** de uma área de agricultura irrigada próxima de Brasília (DF), onde os produtores não pagavam pela água utilizada para irrigação. Carramaschi et al. (2000)



Análise da **Programação Fuzzy Composta e tomada de decisão multiatributo com dominância nos atributos** para incorporar a ambiguidade e imprecisão do tomador de decisão em Aquíferos Carsticos. Os critérios principais utilizados foram: ambiental, econômico e qualidade da água. **Merino et al. (2003)**

Modelo multiobjetivo para ponderação entre os custos de recuperação e os níveis de alguns indicadores relacionados com impactos da mineração e esgoto sanitário sobre os recursos hídricos na bacia do rio Tubarão (SC). **Plá (2004)**

Santos (2007) testou um modelo de otimização para o estudo da operação integrada de sistemas de reservatórios e perímetros irrigados, pelo **método das ponderações**.

Aplicação da **Teoria dos Jogos** em um problema de conflito multiobjetivo no México, onde os benefícios econômicos da agricultura foram balanceados com os impactos ambientais negativos. **Raquel et al. (2007)**

Análise, **via algoritmo genético**, do gerenciamento da qualidade de água considerando a carga lançada, a melhora qualitativa da água e a violações dos padrões de qualidade. **Albertin (2008)**



Aplicação de metodologia para avaliar o desempenho global de sistemas de drenagem urbana com aplicação dos **métodos ELECTRE TRI e TOPSIS**. **Mendonça (2009)**

Pábon (2009) propôs uma metodologia de auxílio à outorga de direito de uso de recursos hídricos, utilizando **Programação de compromisso, Promethee II e TOPSIS** abrangendo aspectos sociais, ambientais, técnicos e econômicos.

Santos (2009) estudou possíveis ações de intervenção hidráulica através do método **PROMETHEE II**, para ampliação da disponibilidade hídrica na bacia do rio Gramame (PB).



Li et al. (2010) analisaram um **modelo de programação multiobjetivo Fuzzy** para suporte à gestão econômica e ambiental de produtos químicos em Tianjin, na China.

Weng et al. (2010) apresentaram um sistema de suporte a decisão multicritério baseado em cenário integrado e desenvolvido para o planejamento da gestão de recursos hídricos na bacia do rio Haihe, China.

Bottero et al. (2011) utilizaram o AHP e o ANP para a escolha da tecnologia de tratamento de águas residuais mais sustentável, para o caso de pequenas fábricas de queijo.



Quadro 1. Relação dos autores consultados por ano de realização do trabalho para avaliação multiobjetiva da valoração dos recursos naturais.

1987-1990 (1 autor):

Braga (1987)

1991-2000 (9 autores):

Teixeira e Barbosa (1993); Chan *et al.* (1994); Chan *et al.* (1996); Bella *et al.* (1996); Braga *et al.* (1998); Zuffo (1998); Jardim (1999); Figueira & Roy (1999); Carramaschi *et al.* (2000).

2001-2010 (12 autores):

Merino *et al.* (2003); Plá (2004); Santos (2007); Hajkowicz & Collins (2007); Raquel *et al.* (2007); Albertin (2008); Wang & Triantaphyllou (2008); Mendonça (2009); Pábon (2009); Santos (2009); Li *et al.* (2010); Weng *et al.* (2010).

2011 (2 autores):

Wu & Chen (2011); Bottero *et al.* (2011).

Resultados e Discussão

Quadro 2. Critérios de avaliação multiobjetiva da valoração dos recursos naturais: 24 documentos da amostra

Métodos Utilizados																			
Documentos Analisados	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 Braga (1987)		X															X		
2 Teixeira e Barbosa (1993)							X												
3 Chan <i>et al.</i> (1994)	X	X																	
4 Chan <i>et al.</i> (1996)			X																
5 Bella <i>et al.</i> (1996)	X			X															
6 Braga <i>et al.</i> (1998)					X	X													
7 Zuffo (1998)	X				X		X	X	X										
8 Jardim (1999)	X				X	X			X										
9 Figueira & Roy (1999)										X									
10 Carramaschi <i>et al.</i> (2000)											X	X							
11 Merino <i>et al.</i> (2003)			X										X						
12 Plá (2004)																		X	
13 Santos (2007)														X					
14 Hajkowicz & Collins (2007)																			
15 Raquel <i>et al.</i> (2007)								X											
16 Albertin (2008)	X																		X
17 Wang & Triantaphyllou (2008)				X	X														
18 Mendonça (2009)				X											X				
19 Pábon (2009)	X						X								X				
20 Santos (2009)							X												
21 Li <i>et al.</i> (2010)			X																
22 Weng <i>et al.</i> (2010)																			
23 Wu & Chen (2011)				X															
24 Bottero <i>et al.</i> (2011)									X							X			
Total	6	2	3	4	4	2	4	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
41	15%	5%	7%	10%	10%	5%	10%	5%	7%	2%	2%	2%	2%	2%	5%	2%	2%	2%	2%

Legenda dos Métodos:

- 1 Programação de Compromisso
- 2 Simplex
- 3 Grey Fuzzy
- 4 Electre III
- 5 Electre II
- 6 Electre I
- 7 Promethee II
- 8 Teoria dos Jogos Cooperativos
- 9 Analítico Hierárquico
- 10 Simos
- 11 Valoração Contingente
- 12 Dose-Resposta
- 13 Multiatributo
- 14 Das Ponderações
- 15 Tropis
- 16 Processo de Rede Analítica
- 17 Programação dinâmica estocástica
- 18 Lógica Fuzzy
- 19 Algoritmo genético classificação não- dominada

- ⇒ Foram identificados 24 estudos de 1987 a 2011 ;
- ⇒ A maioria das aplicações estão relacionadas a planejamento ambiental, estabelecimento de alternativas em projetos de reservatório e definição de políticas para solução de conflitos entre usuários de água;
- ⇒ O método mais utilizado foi o de programação de compromisso devido a sua praticidade e visualização;
- ⇒ A análise multiobjetivo permitiu um tratamento analítico rigoroso para problemas de tomada de decisão com objetivos de difícil quantificação.

ALBERTIN, L.L. (2008) Técnica de gerenciamento da qualidade hídrica superficial baseada na otimização multiobjetivo. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 193 p.

ALVES, A.J. A “Revisão da Bibliografia” em teses e dissertações: meus tipos inesquecíveis. Caderno Pesquisa São Paulo, n.81, p.53-60, mai. 1992.

BELLA, A.; DUCKSTEIN, L.; SZIDAROVSKY, F. A multicriterion analysis of the water allocation conflict in the upper rio Grande Basin. [Applied Mathematics and Computation](#) v.77, jul. 1996, p.245-265.

BOTTERO, M.; COMINO, E.; RIGGIO, V. Application of the analytic hierarchy process and the analytic network process for the assessment of different wastewater treatment systems. [Environmental Modelling & Software](#), v.26, n.10, out. 2011, p. 1211-1224.

BRAGA , B. P. F. (1987) – Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos. In: modelos para gerenciamento de recursos hídricos, v.1. p 427 – 518.

BRAGA, B.; BARBOSA, P. S.F.; NAKAYAMA, P. T. Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.3, n.3 Jul/Set 1998, p.73-95.

CARRAMASCHI, E.C.; CORDEIRO NETO, OSCAR M.; NOGUEIRA, J. M. O preço da água para irrigação: um estudo comparativo de dois métodos de valoração econômica - contingente e dose-resposta. Cadernos de Ciência & Tecnologia, v.17, n.3, p.59-81, Embrapa, Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Brasília, 2000.

CAHNG, Ni-Bin; WEN, C. G. ; WU, S. L. Optimal Management of Environmental and Land Resources in a reservoir Watershed by multiobjective Programming. Journal of Environment Management, [v. 44, n.2](#), jun.1995, p.144-161.

CHANG, Ni-Bin; WEN, C. G.; CHEN, Y. L.; YONG, Y. C. A grey fuzzy multiobjective programming approach for the optimal planning of a reservoir watershed part A: Theoretical development. Water Research, 1996, v.30, n.10, p.2335-2340.

GONÇALVES, R. W.; PINHEIRO, P. R. & FREITAS, M. A. S. (2003). Métodos Multicritérios como Auxílio à Tomada de Decisão na Bacia Hidrográfica do rio Curu – Estado do Ceará. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, Nov.2003.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. [Water Resources Management](#), 2007, v.21, n.9, p.1553-1566.

JARDIM, S. B. (1999). Aplicabilidade de algumas técnicas de análise multiobjetivo ao processo decisório no âmbito de comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre – RS, 165 p.

LI, Y. F.; LI, Y. P.; HUANG, G.h.; ZHOU, M.; XIE, Y. L. Modeling for environmental-economic Management Systems under uncertainty. International Conference on Ecological Informatics and Ecosystem Conservation (ISEIS 2010). [Procedia Environmental Sciences](#), v.2, 2010, p.192-198.

MENDONÇA, E.C. (2009). Metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana, Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos-Universidade de Brasília, Brasília, 2009, 176 p.

MERINO, G.G; JONES, D.D; CLEMENTS, D.I; MILLER, D. Fuzzy compromise programming with precedence order in the criteria. [Stochastic Environmental Research and Risk Assessment](#), 2003, v.19, n.2, p. 111-124.

PÁBON, D.A.R. (2009) Metodologia multiobjetivo e multicritério de auxílio à outorga de recursos hídricos: aplicação ao caso da bacia do Rio Preto. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos-Universidade de Brasília, Brasília, 2009, 166 p.

PLÁ, G.P. Modelo para análise de alternativas ponderadas entre custos de recuperação e níveis de indicadores ambientais com aplicação na bacia do Rio Tubarão, SC. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

RAQUEL, S.; SZIDAROVSKY, F.; EMERY JR., C.; ABRAHAM, R. Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico. [Environmental Monitoring and Assessment](#), 2007, v.167, n.1-4, p.527-544.

SANTOS, R.B. Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame- PB com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial. Tese de Doutorado. Programa de Doutorado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande/PB, 2009.

SANTOS, V.S. (2007) Um modelo de otimização multiobjetivo para análise de sistemas de recursos hídricos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – Campina Grande, 143 p.

TEIXEIRA, A.C.; BARBOSA, P. S. F. (1993). Enfoque multiobjetivo no planejamento de recursos hídricos e sua inserção no contexto institucional brasileiro. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre – RS. ABRH, vol. I

TEIXEIRA, A. C.; BARBOSA, P. S. F. (1995). Avaliação multicriterial de alternativas de projeto de barragens de uso múltiplo. In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Ruy Sant’Ana, Mônica Porto, Rosa Martins (Ed). ABRH. Publicações 1, v.3, p.73- 84.

WANG, X.; TRIANTAPHYLLOU, E. Ranking irregularities when evaluating alternatives by using some ELECTRE methods. [Omega](#), Special Issue Section: Papers presented at the INFORMS conference, Atlanta, v.36, n.1, fev. 2008, p.45-63

W E N G , S . Q . ; H U A N G , G . h . ; L I , Y . P .
[An integrated scenario-based multi-criteria decision support system for water resources management and planning-A case study in the Haihe River Basin. *Expert Systems with Applications*, v.37, n.12, dez.2010, p.8242-8254.](#)

WU, MING-CHE; CHEN, T.Y. The ELECTRE multicriteria analysis approach based on Atanassov's intuitionistic fuzzy steps. [Expert Systems with Applications](#), v.38, n.10, set.2011, p.12318-12327.

ZUFFO, A.C. Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos. Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental dos recursos hídricos. Tese de Doutorado, USP/ São Paulo (1998).