



IV-025 - AVALIAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE USOS POTENCIAIS DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO JOÃO LEITE, GOIÂNIA-GO

Eliandra Cândido Amorim⁽¹⁾

Licenciada em Geografia pela Universidade Federal do Acre (UFAC). Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Fernando Duarte Barbalho

Engenheiro Civil e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Alexandre Kepler Soares

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), Professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Klebber Teodomiro Martins Formiga

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Endereço⁽¹⁾: Rua GV 28, quadra 69, lote 2A – Residencial Goiânia Viva – Goiânia – GO – CEP: 74484-434 – Brasil – Tel.: (62) 9632-0181 – e-mail: elian.dr@hotmail.com

RESUMO

A falta de estudos indicadores dos usos em potencial da água e as incertezas meteorológicas associadas às complexas interações que acontecem no ciclo hidrológico dificultam a escolha das melhores decisões sobre os usos múltiplos nos reservatórios. O variado grupo de usuários que necessita da água e de um gerenciamento ordenado dos recursos hídricos dificulta ainda mais essa escolha. Para discutir e avaliar o problema de alocação da água, neste trabalho, foi aplicado o modelo ACQUANET e o método multicriterial PROMETHEE II via aplicativo PRADIN, no reservatório do ribeirão João Leite, que está localizado à montante da cidade de Goiânia, Brasil. O reservatório abastece Goiânia e toda a sua região metropolitana. Os usos potenciais considerados neste estudo envolvem abastecimento urbano, a conservação da vazão ecológica a jusante da barragem e demais usos.

PALAVRAS-CHAVE: ACQUANET, PROMETHEE II, Otimização multicritério.

INTRODUÇÃO

A tarefa de distribuir um bem por certo número de consumidores pode ser simples quando prevalecem, de forma geral, alguns atributos associados a ele, ou mais especificamente se o recurso é abundante, sua qualidade é compatível com os usos que dele são feitos, a oferta do bem é garantida razoavelmente no espaço e no tempo e a utilização do bem se realiza de forma sustentável. É importante também que haja um relativo equilíbrio entre os atributos para que o problema de alocação não se torne extraordinariamente complexo (ROBERTO & PORTO, 1999).

A falta de estudos indicadores dos usos em potencial da água e as incertezas meteorológicas associadas às complexas interações que acontecem no ciclo hidrológico dificultam a escolha das melhores decisões sobre os usos múltiplos nos reservatórios. Para solucionar conflitos entre usos e usuários, muitas vezes, faz-se necessário investimentos de grande porte, planejados com horizonte de longo prazo, considerando os recursos hídricos como sistemas dinâmicos passíveis de impactos econômicos, sociais e ambientais que se estendem a todos os grupos envolvidos no processo decisório.

Estudar as incertezas ambientais se torna ainda mais complicada devido ao fato de que as questões ambientais são sempre complexas e envolvem várias variáveis, dimensões, critérios e alternativas de decisão, principalmente se estiverem relacionados à perspectiva da sustentabilidade ambiental, além da percepção



diferenciada dos vários atores sociais e institucionais envolvidos, que são reflexos de valores culturais, econômicos, políticos e institucionais (CARVALHO *et al.*, 2011).

Para discutir o problema de alocação da água, neste trabalho, foi aplicado, primeiramente o modelo ACQUANET (LABSID, 2002) e, em seguida, o método multicriterial PROMETHEE II (BRAGA & GOBETTI, 2007), considerando como estudo de caso o reservatório do ribeirão João Leite, recentemente inaugurado para abastecer a cidade de Goiânia-GO e sua região metropolitana.

O objetivo principal é fazer uma avaliação no reservatório do João Leite na cidade de Goiânia-GO, para auxílio à tomada de decisão quanto a potenciais alocações da água. Os usos estudados neste trabalho envolvem abastecimento urbano, conservação da vazão ecológica de jusante da barragem e demais usos.

MÉTODOS ESCOLHIDOS

ACQUANET

Modelo de rede de fluxo desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP, utilizado para simulação de sistemas hídricos compostos de reservatórios que permite aos usuários montar suas próprias redes, representando os sistemas de recursos hídricos de forma bastante detalhada. O modelo efetua as simulações de maneira sequencial no tempo (simulação contínua) ou estática (planejamento tático).

Na simulação contínua, o usuário fornece séries de vazões afluentes mensais durante um número total de anos, o que permite ter uma ideia inicial sobre o sistema e estudar seu comportamento ao longo do tempo. No planejamento estático, além do número total de anos de simulação, é preciso fornecer o número de anos do horizonte de simulação para os quais se pretende estudar o comportamento do sistema. Esse tipo de simulação permite fazer o planejamento e/ou a operação dos reservatórios.

Como opções de cálculo, o modelo trabalha com os estados hidrológicos e a calibração. Na primeira opção, o Acquanet considera a quantidade de água armazenada nos reservatórios para determinar qual o valor da demanda, de volume meta e as prioridades que serão utilizadas nos cálculos de cada um dos meses. Na calibração, o modelo efetua os cálculos com os valores fornecidos sem considerar o estado atual do sistema (LABSID, 2002).

PROMETHEE e PRADIN

Os métodos da família PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*) objetivam construir relações de sobreclassificação de valores em problemas de tomada de decisão. Estes métodos subsidiam a realização e a comparação de várias alternativas de decisão, a partir de critérios de sobreclassificação, no intuito de contribuir para a escolha das melhores alternativas dentre aquelas que estão sendo consideradas (CARVALHO *et al.*, 2011).

A sobreclassificação é definida então como a argumentação suficiente em que o decisor afirma que, no mínimo, uma alternativa é tão boa quanto à outra e que não existe uma razão essencial para refutar este estado. A preferência é determinada em todos os critérios para cada par de alternativas. O índice de preferência é calculado baseado na preferência de uma dada alternativa sobre outra levando em consideração todos os critérios na análise.

Após a comparação entre os pares de alternativas e critérios, analisam-se os fluxos positivos ou de entrada (expressa o quanto uma alternativa A sobreclassifica as outras) e negativos ou de saída (expressa o quanto uma alternativa A é sobreclassificada pelas outras) das avaliações encontradas. O balanço entre esses fluxos representa o poder e a fraqueza de cada alternativa. Quanto maior ele for, melhor é a alternativa.

O método PROMETHEE é uma tentativa de estabelecer de forma natural a estrutura de preferência do decisor. Tem-se mostrado um método fácil de ser aplicado, envolvendo ao mesmo tempo uma análise mais completa e explícita (BRAGA & GOBETTI, 2007).

O PRADIN – Programa de Apoio à Decisão Baseado em Indicadores (JANNUZZI, 2006), utiliza a rotina do método PROMETHEE II para a geração do ranqueamento das alternativas. De forma geral, ele permite a construção do indicador multicriterial com a identificação dos agentes envolvidos e do poder de influência dos mesmos, especificação dos parâmetros para a análise multicritério, especificação de pesos e função de preferência. Ele permite testar as soluções através do teste de sensibilidade e definir os agrupamentos de alternativas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação contínua do balanço hídrico no reservatório João Leite, cuja localização e bacia hidrográfica são mostradas na Figura 1, foi realizada no ACQUANET, considerando o abastecimento urbano, vazão ecológica de jusante e demais usos.

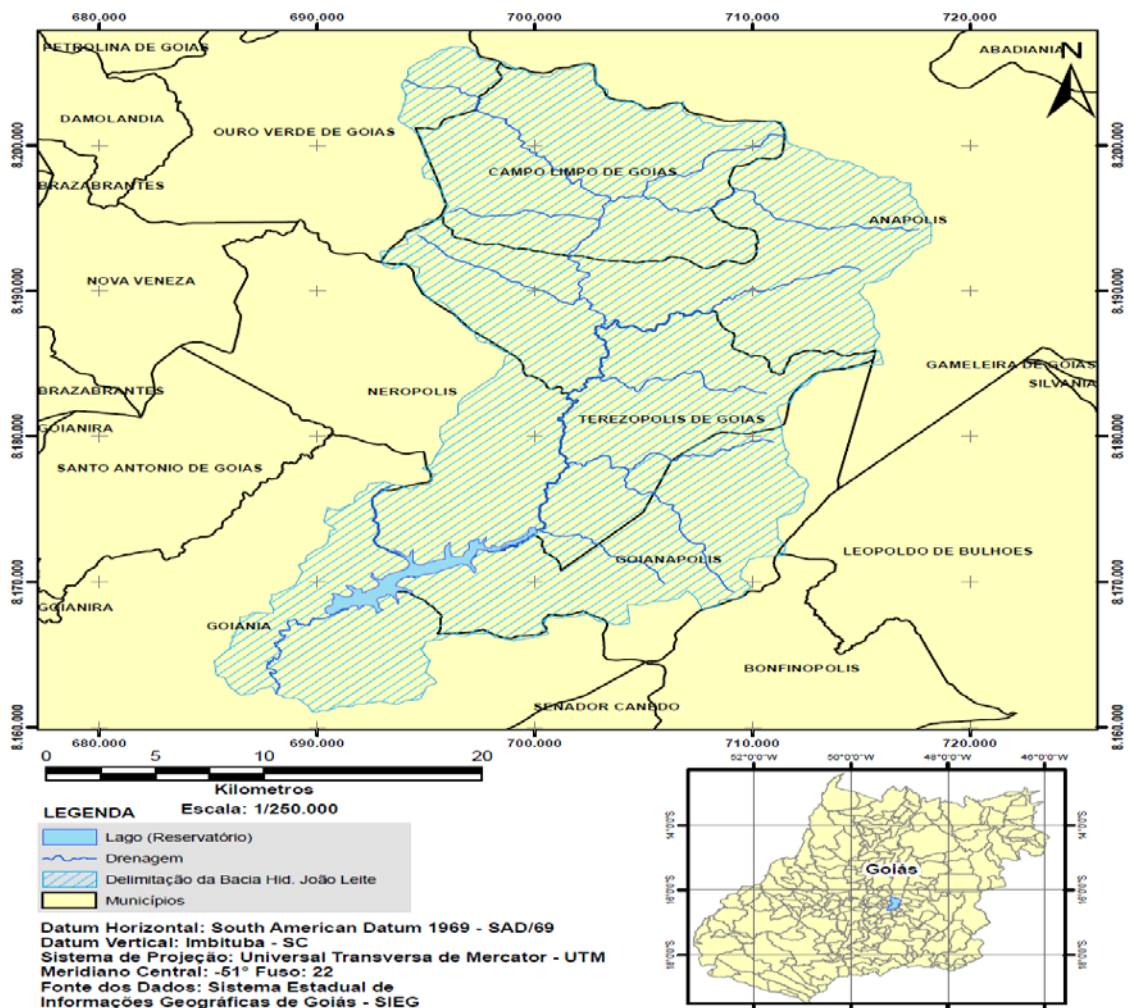


Figura 1 – Bacia hidrográfica do reservatório do ribeirão João Leite.

Os dados obtidos pela regularização foram lançados no método PROMETHEE II para a identificação das melhores alternativas de alocação da água do reservatório quanto aos usos analisados (Figura 2). Para isto, foi utilizado o aplicativo não comercial PRADIN. Esse aplicativo permite analisar especificamente a superação

entre as alternativas por meio da rotina do algoritmo do método PROMETHEE II, que possibilita as análises de superação, indiferença e incomparabilidade das alternativas.

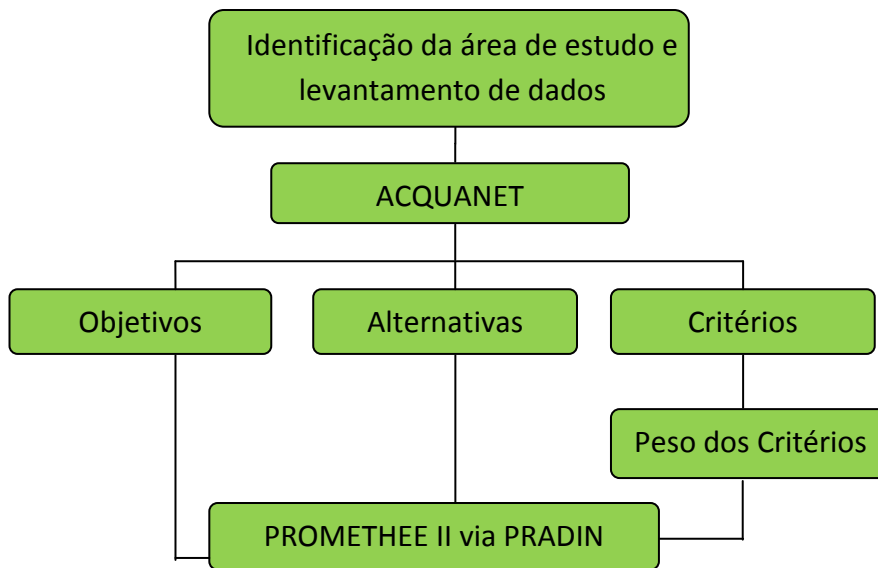


Figura 2 – Fluxograma metodológico.

A rede hídrica para a simulação neste trabalho (Figura 3) foi configurada de modo a ser possível a análise de três cenários baseados em séries históricas de vazões médias mensais afluentes do ribeirão João Leite de 33 anos contados a partir de janeiro de 1975 até dezembro de 2007. Também foram utilizadas as taxas médias mensais de evaporação líquida para a região. O objetivo inicial neste sistema é garantir o uso já existente (abastecimento), para em seguida, satisfazer as demandas de vazão ecológica e demais usos. O volume meta de armazenamento no sistema foi adotado em 70% do volume total de 129,4 hm³. O horizonte de simulação adotado foi o de 2 anos.

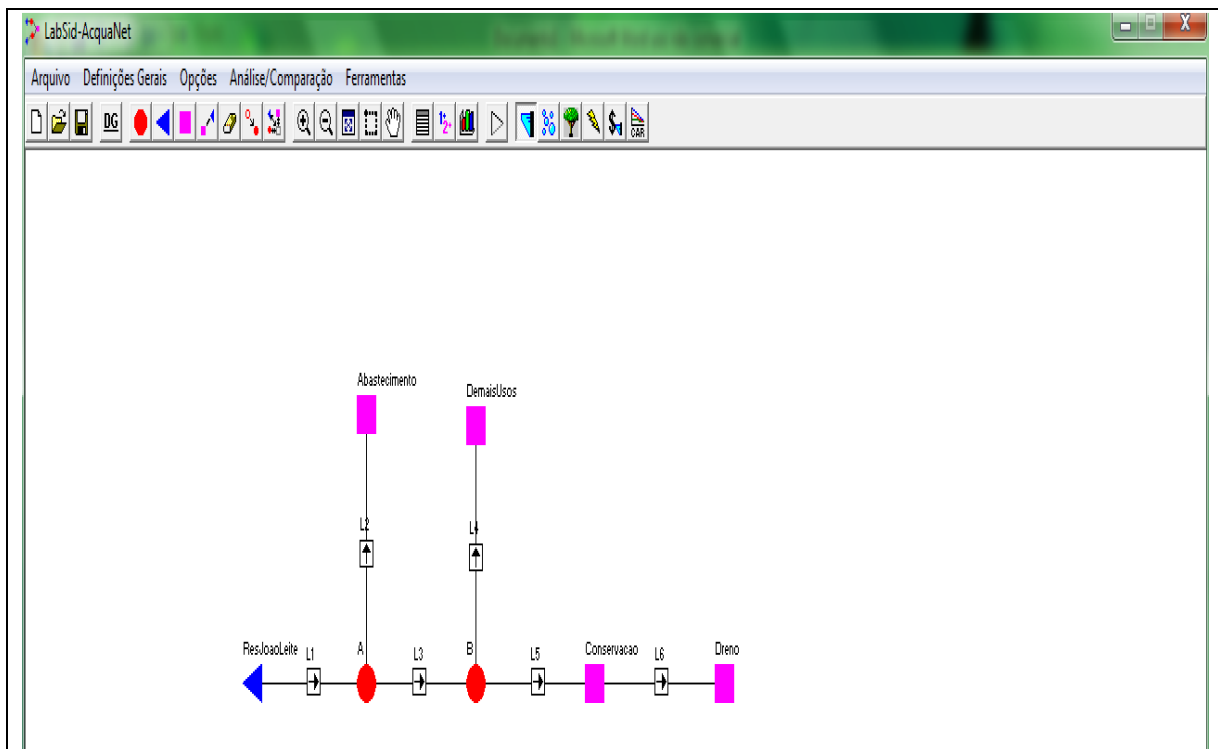


Figura 3 – ACQUANET e o modelo topológico para simulação hídrica.

O cenário A (Figura 4) foi baseado nas vazões médias referentes à série histórica para cada mês. O cenário B (Figura 5) considerou as vazões médias menos a metade do desvio padrão da série. Para o cenário C (Figura 6) somou-se as médias com a metade do desvio padrão.

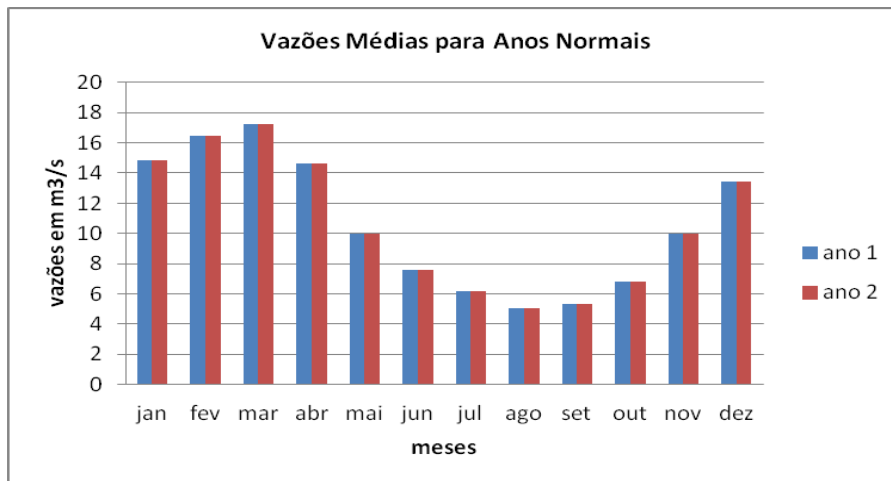


Figura 4 - Cenário A: normal.

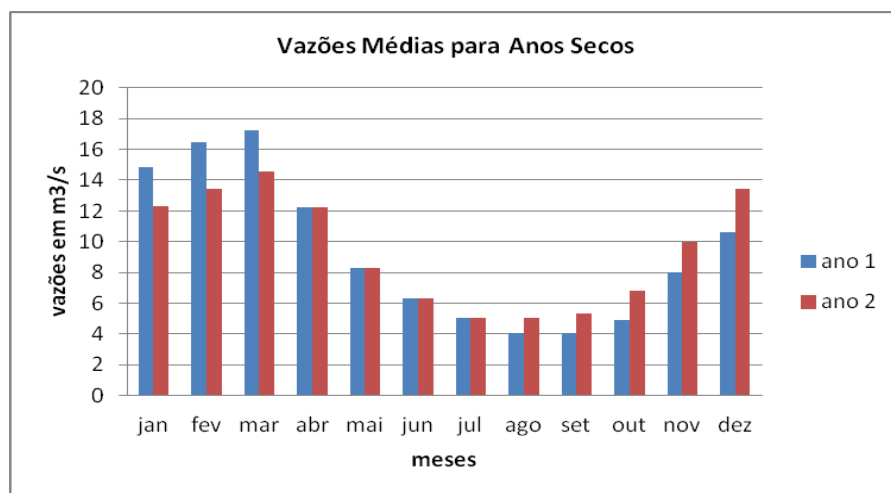


Figura 5 - Cenário B: seca.

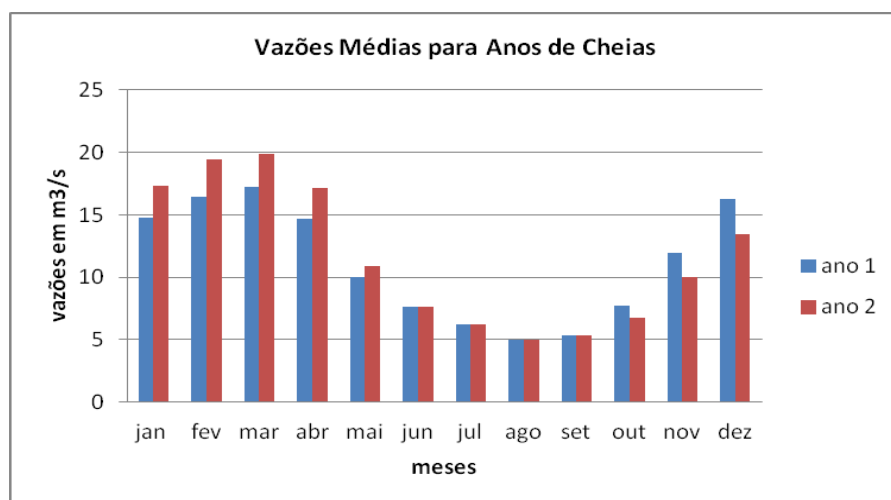


Figura 6 - Cenário C: cheia.

Para cada um dos cenários foram definidos sete conjuntos de regras operacionais com prioridades diferentes em todos os usos e o volume meta (Tabela 1). A demanda de abastecimento foi de 5,33 m³/s, a vazão ecológica de 0,9 m³/s e os demais usos tiveram a demanda estabelecida em 5 m³/s.

Tabela 1 - Conjunto de prioridades estabelecidas para todos os usos.

| USOS | Regra1 | Regra2 | Regra3 | Regra4 | Regra5 | Regra6 | Regra7 |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Abastecimento | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Vazão | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Demais Usos | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 |
| Volume Meta | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 1 |

Os critérios de avaliação escolhidos para a simulação foram definidos pelos autores do trabalho baseados nos resultados apresentados pelo ACQUANET. Para as demandas de abastecimento, vazão ecológica e demais usos foram escolhidos os critérios referentes aos volumes acumulados dos déficits em cada uma das demandas (DefAbast, DefVE, DefDU), a frequência abaixo da demanda necessária (FreqAb, FreqVE, FreqDU), a frequência abaixo do volume meta (FreqVM) e a vazão média efluente excedente (VolEflu).

RESULTADOS

Os resultados encontrados pelo ACQUANET para os cenários A (Tabela 2), cenário B (Tabela 3) e cenário C (Tabela 4) são mostrados a seguir.

Tabela 2 – Resultados Cenário A (normal).

| Regra | DefAbast | FreqAb | DefVE | FreqVE | DefDU | FreqDU | FreqVM | VolEflu |
|-------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|
| A1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -9,802 | -8,33 | -58,33 | -0,686 |
| A2 | 0 | 0 | 0 | 0 | -81,994 | -33,33 | -16,67 | -0,835 |
| A3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -81,994 | -33,33 | -16,67 | -0,835 |
| A4 | 0 | 0 | 0 | 0 | -9,802 | -8,33 | -58,33 | -0,686 |
| A5 | 0 | 0 | 0 | 0 | -9,802 | -8,33 | -58,33 | -0,686 |
| A6 | 0 | 0 | 0 | 0 | -9,802 | -8,33 | -58,33 | -0,686 |
| A7 | -2,05 | -8,33 | -18,922 | -33,33 | -61,18 | -33,33 | 0 | -0,835 |

Tabela 3 – Resultados Cenário B (seca).

| Regra | DefAbast | FreqAb | DefVE | FreqVE | DefDU | FreqDU | FreqVM | VolEflu |
|-------|----------|--------|---------|--------|----------|--------|--------|---------|
| B1 | -2,707 | -12,5 | -7,096 | -12,5 | -68,932 | -33,33 | -75 | -0,584 |
| B2 | 0 | 0 | 0 | 0 | -141,386 | -54,17 | -41,67 | -0,584 |
| B3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -141,386 | -54,17 | -41,67 | -0,584 |
| B4 | -9,802 | -12,5 | 0 | 0 | -68,932 | -33,33 | -75 | -0,584 |
| B5 | -9,802 | -12,5 | 0 | 0 | -68,932 | -33,33 | -75 | -0,584 |
| B6 | -2,707 | -12,5 | -7,096 | -12,5 | -68,932 | -33,33 | -75 | -0,584 |
| B7 | -15,374 | -25 | -27,042 | -50 | -101,546 | -41,67 | 0 | -0,584 |

Tabela 4 – Resultados Cenário C (cheia).

| Regra | DefAbast | FreqAb | DefVE | FreqVE | DefDU | FreqDU | FreqVM | VolEflu |
|-------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|
| C1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45,83 | -0,878 |
| C2 | 0 | 0 | 0 | 0 | -72,796 | -29,17 | -16,67 | -1,401 |
| C3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -72,796 | -29,17 | -16,67 | -1,401 |
| C4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45,83 | -0,878 |
| C5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45,83 | -0,878 |
| C6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -45,83 | -0,878 |
| C7 | -2,05 | -8,33 | -16,556 | -29,17 | -54,715 | -29,17 | 0 | -1,406 |

Os resultados de cada regra foram somados ($A_i + B_i + C_i = R_i$, sendo i a regra operacional), a fim de se obter uma única regra que permitisse ao PROMETHEE II via PRADIN avaliar os 3 cenários de uma única vez. Assim, os dados que foram introduzidos no PRADIN são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados utilizados no PROMETHEE II – PRADIN.

| Regra | DefAbast | FreqAb | DefVE | FreqVE | DefDU | FreqDU | FreqVM | VolEflu |
|-------|----------|--------|--------|--------|----------|---------|---------|---------|
| R1 | -2,707 | -12,5 | -7,096 | -12,5 | -78,734 | -41,66 | -179,16 | -2,148 |
| R2 | 0 | 0 | 0 | 0 | -296,176 | -116,67 | -75,01 | -2,82 |
| R3 | 0 | 0 | 0 | 0 | -296,176 | -116,67 | -75,01 | -2,82 |
| R4 | -9,802 | -12,5 | 0 | 0 | -78,734 | -41,66 | -179,16 | -2,148 |
| R5 | -9,802 | -12,5 | 0 | 0 | -78,734 | -41,66 | -179,16 | -2,148 |
| R6 | -2,707 | -12,5 | -7,096 | -12,5 | -78,734 | -41,66 | -179,16 | -2,148 |
| R7 | -19,474 | -41,66 | -62,52 | -112,5 | -217,441 | -104,17 | 0 | -2,825 |

Os resultados obtidos pela aplicação do método PROMETHEE II, via *software* PRADIN, são apresentados a seguir, para diferentes pesos admitidos pelo decisor.

1) Pesos iguais para todos os critérios (Figuras 7 e 8).

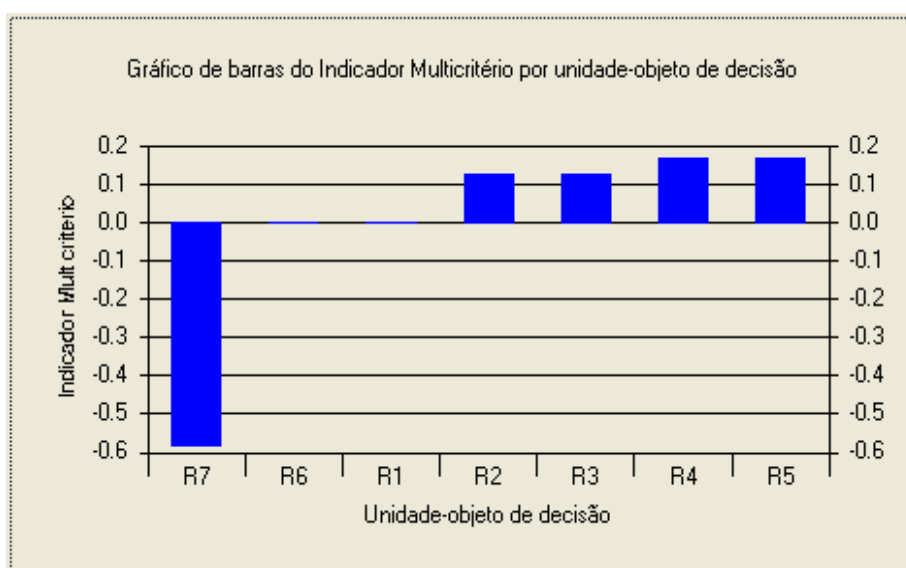


Figura 7 - Indicadores Multicritério para cada regra operacional.

De acordo com a Figura 7, as regras 4 e 5 foram as melhores por alcançar o maior indicador multicritério. Elas obtiveram valores iguais para o referido índice e conseguiram garantir o atendimento de pelo menos uma das demandas: a vazão ecológica. A preterição das melhores alternativas foi seguida pelas alternativas 2 e 3. E a alternativa 7 foi tida como a pior delas.

A Figura 8 mostra que o decisor atribuiu peso 1 para todos os critérios e escolheu a função de preferência do Tipo I, onde não existe preferência entre as alternativas a e b , somente se $f(a) = f(b)$. O valor do fluxo positivo determina o quanto essas alternativas dominam as outras, que para esta situação, tem o valor correspondente a 43,7, enquanto que o fluxo negativo, correspondente a 31,2 expressa o quanto elas são dominadas pelas demais alternativas.

Pradim 3.0 - Programa de apoio à tomada de decisão baseada em indicadores - [Indicador Multicritério (1)]

Arquivos Parâmetros Métodos Janela Ajuda Sobre

Dados

Cálculo do Indicador Multicritério

| Regra | Ind MC | Escore | Pos | Flx + | Flx - |
|-------|---------|--------|-----|-------|-------|
| R1 | 0.0000 | 77.7 | 3 | 31.2 | 31.2 |
| R2 | 0.1250 | 94.4 | 4 | 43.7 | 31.2 |
| R3 | 0.1250 | 94.4 | 5 | 43.7 | 31.2 |
| R4 | 0.1667 | 99.9 | 6 | 35.4 | 18.7 |
| R5 | 0.1667 | 99.9 | 7 | 35.4 | 18.7 |
| R6 | 0.0000 | 77.7 | 2 | 31.2 | 31.2 |
| R7 | -0.5833 | 0.0 | 1 | 20.8 | 79.1 |

Estatísticas descritivas e correlação dos indicadores com IMC

| Ind Analítico | Média | D.Padrão | Correlação |
|-------------------|----------|----------|------------|
| DefAbast | -6.357 | 6.582 | 0.711 |
| FreqAb | -13.095 | 12.874 | 0.904 |
| DefVE | -10.959 | 21.276 | 0.991 |
| FreqVE | -19.643 | 38.299 | 0.99 |
| DefDU | -160.676 | 97.688 | 0.157 |
| FreqDU | -72.022 | 35.269 | 0.29 |
| FreqVM | -123.809 | 67.977 | -0.668 |
| VolEFlu | -2.437 | 0.333 | 0.393 |
| Ind Multicritério | 0 | 0.247 | --- |

Parâmetros especificados por Decisor

| Decisor | Poder | Ind Analítico | Peso | Função Pref | Q | P |
|-----------|-------|---------------|--------|-----------------|---|---|
| Decisor 1 | 1 | DefAbast | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqAb | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefVE | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqVE | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefDU | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqDU | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqVM | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | VolEFlu | 0.1250 | Fç Critério abs | 0 | 0 |

Figura 8 - Cálculo dos Indicadores Multicritério.

2) Peso de 30% para o déficit do abastecimento (Figuras 9 e 10).

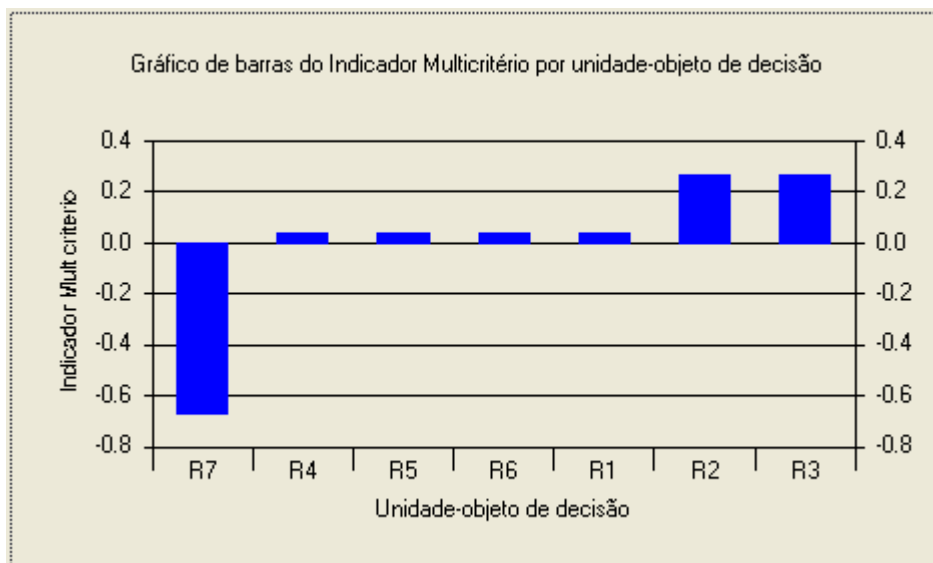


Figura 9 - Indicadores Multicritério para cada regra operacional.

De acordo com a Figura 9, as regras 2 e 3 são as melhores, apresentam um indicador maior que 0,26 e conseguem garantir o atendimento de, no mínimo, 70% do abastecimento urbano. As regras 1, 4, 5 e 6 não tiveram valor significativo ficando abaixo de 0.

A Figura 10 apresenta os valores dos fluxos positivos e negativos, 51,6 e 24,9, respectivamente, para as alternativas 2 e 3. A regra 2 tem prioridade 1 para a vazão e o abastecimento, prioridade 2 para o volume meta e prioridade 3 para os demais usos. A regra 3 também estabelece peso 1 para o abastecimento e a vazão ecológica e peso 2 para os demais usos e volume meta.

Pradin 3.0 - Programa de apoio à tomada de decisão baseada em indicadores - [Indicador Multicritério (1)]

Arquivos Parâmetros Métodos Janela Ajuda Sobre

Dados

Cálculo do Indicador Multicritério

| Regra | Ind MC | Escore | Pos | Flx + | Flx - |
|-------|---------|--------|-----|-------|-------|
| R1 | 0.0333 | 74.9 | 5 | 34.9 | 31.6 |
| R2 | 0.2667 | 99.9 | 6 | 51.6 | 24.9 |
| R3 | 0.2667 | 99.9 | 7 | 51.6 | 24.9 |
| R4 | 0.0333 | 74.9 | 2 | 31.6 | 28.3 |
| R5 | 0.0333 | 74.9 | 3 | 31.6 | 28.3 |
| R6 | 0.0333 | 74.9 | 4 | 34.9 | 31.6 |
| R7 | -0.6667 | 0.0 | 1 | 16.6 | 83.3 |

Estadísticas descritivas e correlação dos indicadores com IMC

| Ind Analítico | Média | D.Padrão | Correlação |
|-------------------|----------|----------|------------|
| DefAbast | -6.357 | 6.582 | 0.907 |
| FregAb | -13.095 | 12.874 | 0.996 |
| DefVE | -10.959 | 21.276 | 0.952 |
| FregVE | -19.643 | 38.299 | 0.951 |
| DefDU | -160.676 | 97.688 | -0.119 |
| FregDU | -72.022 | 35.269 | 0.023 |
| FregVM | -123.809 | 67.977 | -0.462 |
| VolEflu | -2.437 | 0.333 | 0.136 |
| Ind Multicritério | -0.001 | 0.29 | --- |

Parâmetros especificados por Decisor

| Decisor | Poder | Ind Analítico | Peso | Função Pref | Q | P |
|-----------|-------|---------------|--------|-----------------|---|---|
| Decisor 1 | 1 | | | | | |
| | | DefAbast | 0.3000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FregAb | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefVE | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FregVE | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefDU | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FregDU | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FregVM | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | VolEflu | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |

Figura 10 - Cálculo dos Indicadores Multicritério.

3) Peso de 30% para o déficit da vazão ecológica

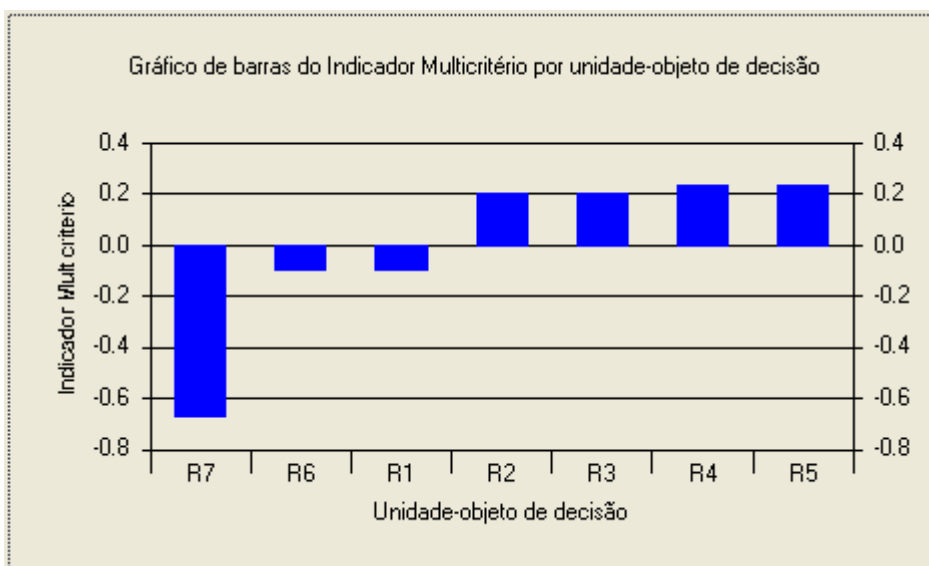


Figura 11 - Indicadores Multicritério para cada regra operacional.

De acordo com a Figura 11, para o atendimento da vazão ecológica, as alternativas 4 e 5 são as melhores, seguidas pelas alternativas 2 e 3 segundo o indicador multicritério.

Para as alternativas 4 e 5, o valor do fluxo positivo corresponde a 38,3. Conforme mostra a Figura 12, este valor não é o mais alto, porém, estas alternativas apresentam os menores fluxos negativos, 14,9, o que confirma que elas são as menos dominadas pelas demais, se constituindo, assim nas mais preferidas apontadas pelo método multicritério. As preferências para estas alternativas nas regras 4 e 5 são os seguintes, respectivamente, o abastecimento e a vazão ecológica tem pesos 2 e 1, demais usos, pesos 2 e 3 e volume meta tem pesos 3 e 4.

| PradIn 3.0 - Programa de apoio à tomada de decisão baseada em indicadores - [Indicador Multicritério (1)] | | | | | | |
|---|---------|--------|-----|-------|-------|--|
| Dados | | | | | | |
| Cálculo do Indicador Multicritério | | | | | | |
| Regra | Ind MC | Escore | Pos | Flx + | Flx - | |
| R1 | -0.1000 | 62.9 | 3 | 28.3 | 38.3 | |
| R2 | 0.2000 | 96.2 | 4 | 44.9 | 24.9 | |
| R3 | 0.2000 | 96.2 | 5 | 44.9 | 24.9 | |
| R4 | 0.2333 | 99.9 | 6 | 38.3 | 14.9 | |
| R5 | 0.2333 | 99.9 | 7 | 38.3 | 14.9 | |
| R6 | -0.1000 | 62.9 | 2 | 28.3 | 38.3 | |
| R7 | -0.6667 | 0.0 | 1 | 16.6 | 83.3 | |

| Estatísticas descritivas e correlação dos indicadores com IMC | | | |
|---|----------|----------|------------|
| Ind Analítico | Média | D.Padrão | Correlação |
| DefAbast | -6.357 | 6.582 | 0.635 |
| FreqAb | -13.095 | 12.874 | 0.887 |
| DefVE | -10.959 | 21.276 | 0.947 |
| FreqVE | -19.643 | 38.299 | 0.946 |
| DefDU | -160.676 | 97.688 | 0.026 |
| FreqDU | -72.022 | 35.269 | 0.154 |
| FreqVM | -123.809 | 67.977 | -0.536 |
| VolEflu | -2.437 | 0.333 | 0.256 |
| Ind Multicritério | -0.001 | 0.305 | --- |

| Parâmetros especificados por Decisor | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|---------------|--------|-----------------|---|---|
| Decisor | Poder | Ind Analítico | Peso | Função Pref | Q | P |
| Decisor 1 | 1 | | | | | |
| | | DefAbast | 0.1000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqAb | 0.1000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefVE | 0.3000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqVE | 0.1000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefDU | 0.1000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqDU | 0.1000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqVM | 0.1000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |
| | | VolEflu | 0.1000 | Fc Critério abs | 0 | 0 |

Figura 12 - Cálculo dos Indicadores Multicritério.

4) Pesos de 20% para os déficits da vazão ecológica e do abastecimento (Figuras 13 e 14).

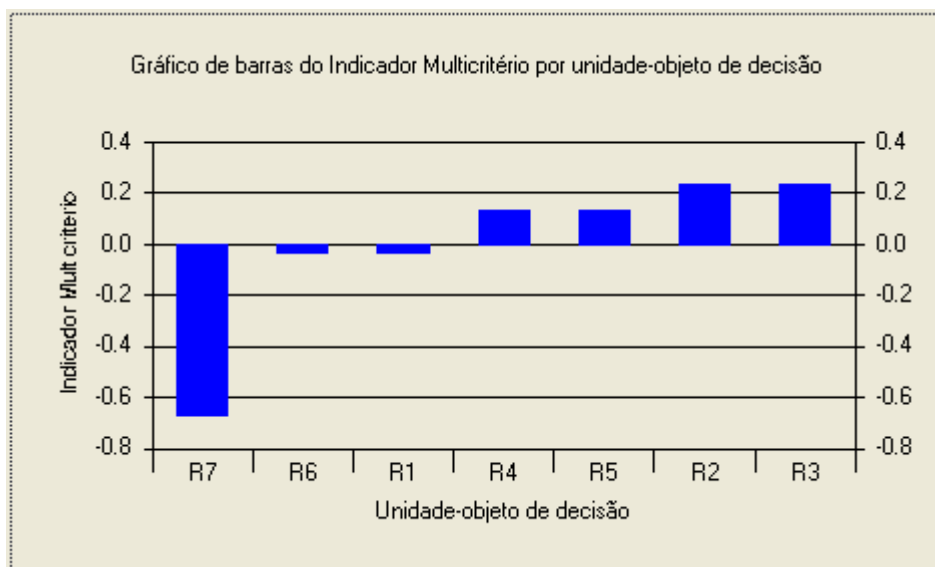


Figura 13 - Indicadores Multicritério para cada regra operacional.

Em relação aos déficits no abastecimento e na vazão ecológica, as alternativas 2 e 3 são consideradas as melhores, de acordo com a Figura 13. O indicador multicritério destas alternativas foi maior que 0,2, enquanto que as alternativas 4 e 5 tiveram índice um pouco maior que 0,1 tornando-as as segundas melhores alternativas.

Os fluxos de importância positivos das alternativas 2 e 3 correspondem a 48,3 e os fluxos de importância negativo têm valor 24,9, de acordo com a Figura 14. Tais alternativas não são as menos dominadas, porém, apresentam a maior dominância sobre as demais. Os pesos escolhidos para a regra 2 foram: abastecimento e vazão tem peso 1, volume meta peso 2 e demais usos peso 3. Para a regra 3 foram os seguintes: 1 para vazão e abastecimento e 2 para volume meta e demais usos.

Pradín 3.0 - Programa de apoio à tomada de decisão baseada em indicadores - [Indicador Multicritério (1)]

Arquivos Parâmetros Métodos Janela Ajuda Sobre

Dados

Cálculo do Indicador Multicritério

| Regra | Ind MC | Escore | Pos | Flx + | Flx - |
|-------|---------|--------|-----|-------|-------|
| R1 | -0.0333 | 70.3 | 3 | 31.6 | 34.9 |
| R2 | 0.2333 | 99.9 | 6 | 48.3 | 24.9 |
| R3 | 0.2333 | 99.9 | 7 | 48.3 | 24.9 |
| R4 | 0.1333 | 88.8 | 4 | 34.9 | 21.6 |
| R5 | 0.1333 | 88.8 | 5 | 34.9 | 21.6 |
| R6 | -0.0333 | 70.3 | 2 | 31.6 | 34.9 |
| R7 | -0.6667 | 0.0 | 1 | 16.6 | 83.3 |

Estadísticas descritivas e correlação dos indicadores com IMC

| Ind Analítico | Média | D. Padrão | Correlação |
|-------------------|----------|-----------|------------|
| DefAbast | -6.357 | 6.582 | 0.787 |
| FreqAb | -13.095 | 12.874 | 0.965 |
| DefVE | -10.959 | 21.276 | 0.973 |
| FreqVE | -19.643 | 38.299 | 0.973 |
| DefDU | -160.676 | 97.688 | -0.046 |
| FreqDU | -72.022 | 35.269 | 0.093 |
| FreqVM | -123.809 | 67.977 | -0.513 |
| VolEFlu | -2.437 | 0.333 | 0.203 |
| Ind Multicritério | -0.001 | 0.29 | --- |

Parâmetros especificados por Decisor

| Decisor | Poder | Ind Analítico | Peso | Função Pref | Q | P |
|-----------|-------|---------------|--------|-----------------|---|---|
| Decisor 1 | 1 | DefAbast | 0.2000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqAb | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefVE | 0.2000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqVE | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | DefDU | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqDU | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | FreqVM | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |
| | | VolEFlu | 0.1000 | Fç Critério abs | 0 | 0 |

Figura 14 - Cálculo dos Indicadores Multicritério.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados pelo modelo ACQUANET e pelo método PROMETHEE II, é possível concluir que:

A alternativa 7, que atribui pesos iguais a todos os critérios, é a pior de todas apresentando déficits bastante altos em todas as situações, com indicadores multicritério sempre negativos e fluxos negativos elevados, demonstrando sua fraqueza em relação às outras alternativas.

As alternativas 2 e 3 são as melhores em relação a apresentar os menores déficits no abastecimento e na conservação da vazão ecológica. O indicador multicritério ficou em torno de 0,23 e o fluxo de importância positivo desta alternativa variou entre 48 e 51.

As alternativas 4 e 5 também foram as mais preferidas no atendimento à vazão ecológica e na situação em que todos os usos tiveram pesos iguais.

As alternativas 1 e 6 não foram preferidas por nenhum dos critérios chegando a obter indicador multicritério nulo quando todas as demandas tem pesos iguais.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAGA, Benedito; GOBETTI, Lucas. Análise Multiobjetivo. In: PORTO, Rubens La Laina. Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos. Ed. UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 2007.
2. CARVALHO, José Ribamar Marques de; *et al.* Metodologia para Avaliar a Sustentabilidade Ambiental de Municípios Utilizando Análise Multicritério. REUNIR: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade. Vol. 1, nº 1, p. 18-34, Mai-Ago/2011.
3. JANNUZZI, Paulo de Martino. Indicadores para Dimensionamento de Déficits de Atendimento de Programas Sociais e Identificação de seus Públicos-Alvo no Brasil. In: Manual para capacitação em indicadores sociais nas políticas públicas e em direitos humanos: textos básicos e guia de uso e referência do material multimídia. São Paulo, SP: Oficina Editorial, 2006.
4. LABSID – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões. ACQUANET – Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos: Manual do usuário. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, SP, 2002.
5. ROBERTO, A. N.; PORTO, R. L. L. Alocação da água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 1999.