

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EM HIERARQUIZAÇÃO DE PROJETOS: O CASO DO ELECTRE III

Alexandre Moreira Baltar¹, Oscar de Moraes Cordeiro Netto²

Resumo - Este trabalho apresenta procedimentos específicos desenvolvidos para a realização de uma análise de sensibilidade aplicada ao resultado obtido, através do método ELECTRE III, em um processo hipotético de hierarquização de projetos de abastecimento d'água. Foram utilizados, neste processo, dados reais de oito projetos selecionados para serem executados no âmbito de um amplo programa de intervenção do governo brasileiro.

Esses projetos foram avaliados segundo seis critérios que contemplaram aspectos econômicos, sociais, políticos, técnicos e ambientais.

Uma complementação da análise de sensibilidade foi realizada através da discussão e proposição de diferentes formas de apresentação de seus resultados, adequadas a cada tipo de informação que se desejava obter. Foram assim gerados indicadores adicionais, suscetíveis de proporcionar maior segurança à uma eventual decisão a ser tomada.

1 - INTRODUÇÃO

A análise de sensibilidade é uma das etapas finais do processo de auxílio à decisão e consiste em testar a estabilidade dos resultados obtidos diante da variação dos diferentes parâmetros utilizados.

O procedimento consiste em repetir a análise multicritério original fazendo variar os valores de parâmetros do método que foram inicialmente atribuídos de forma arbitrária. Com isso, pode-se verificar se pequenas modificações causam mudanças na solução proposta.

No caso da análise de robustez, procura-se, segundo Maystre *et al.* (1994), determinar o domínio de variação de certos parâmetros para o qual a solução de base encontrada permanece estável. Ela informa o decisor quanto à capacidade dessa solução não se alterar em face das variações impostas.

Um outro aspecto relevante é a forma de apresentação dos resultados da análise de sensibilidade. A informação adicional adquirida deve ser organizada e interpretada de forma a fornecer indicadores de sensibilidade ou estabilidade da solução proposta.

Neste trabalho, faz-se uma avaliação da estabilidade de soluções encontradas através do método ELECTRE III (Roy, 1992), para um caso hipotético de hierarquização de investimentos. Para tal, foram utilizados dados reais de oito projetos de abastecimento de água que serão implantados no âmbito de um amplo programa de intervenção do governo brasileiro. Esses projetos foram avaliados segundo seis critérios que contemplaram aspectos técnicos, econômicos, políticos, sociais e ambientais.

Procedimentos específicos de análise de sensibilidade foram propostos, assim como diferentes formas de apresentação dos resultados, adequadas a cada tipo de informação que se desejava obter.

2 - ASPECTOS METODOLÓGICOS

Para efetuar uma análise de sensibilidade, dois tipos de procedimento podem, basicamente, ser aplicados. No primeiro, mais analítico, os parâmetros sujeitos à análise são alterados de maneira individual e orientada. A análise é mais fácil pois é possível identificar uma clara relação de causa e efeito. Dessa forma, pode-se determinar a influência de cada critério sobre o resultado obtido e a sensibilidade de cada alternativa a perturbações específicas. Quando os parâmetros do método são definidos para cada critério, como é o caso dos pesos e limites do ELECTRE III (Cordeiro Netto *et al.*, 1993), a análise de robustez só é possível através desse tipo de procedimento, pois as faixas de estabilidade são definidas por parâmetro e conseqüentemente para cada critério.

No segundo, os parâmetros são alterados de forma combinada e simultânea, podendo gerar uma infinidade de situações a serem analisadas. Assim, diante da impossibilidade de estabelecer uma relação causa e efeito, a análise é realizada de maneira global, verificando a manutenção ou alteração

¹Mestrando. UnB - Universidade de Brasília, FT/ENC, MTARH - Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos; Engenheiro da TC/BR Tecnologia e Consultoria Brasileira S.A. SCR N 704/705, Bloco H, Lj 33/43 70.730-770, Brasília, Distrito Federal, Brasil tibr@cidsid.com.br

²Professor-adjunto. UnB - Universidade de Brasília, FT/ENC; Campus Universitário 70.910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil cordeiro@brnet.com.br

da classificação final das alternativas em relação à situação inicial de referência. Apesar da impossibilidade de efetuar uma análise de robustez, esse procedimento aproxima-se mais da realidade, pois os parâmetros são suscetíveis de sofrerem alterações simultâneas.

No caso específico do ELECTRE III, os parâmetros que podem ser objeto de uma análise de sensibilidade são os pesos atribuídos aos critérios e os limiares de indiferença, preferência e veto. Enquanto os limiares guardam uma relação maior com a natureza do critério e com a qualidade da avaliação (incertezas e imprecisões), os pesos determinam a importância relativa dada a cada critério, possuindo assim um grau mais elevado de arbítrio.

Neste trabalho, apenas os pesos dos critérios foram considerados para efeito de análise de sensibilidade. Foram desenvolvidos dois procedimentos específicos: o primeiro com alterações individuais por critério e o segundo com alterações simultâneas e aleatórias.

A análise por critério consistiu em variar os pesos de cada critério individualmente, de mais a menos 100% de seu valor inicial de referência e com intervalos de variação de 25%. Com isso, foram impostas oito alterações (-1.00;-0.75;-0.50;-0.25;0.25;0.50;0.75;1.00) para cada critério, totalizando 48 novas situações possíveis.

Em seguida, identificou-se para essas 48 situações, para cada alternativa e para cada critério, o número de alternativas que são inferiores, iguais e não comparáveis à alternativa considerada. Esses resultados são então organizados em três gráficos, um para cada tipo de relação de preferência (superioridade, igualdade e não-comparabilidade), apresentados por alternativa ou por critério.

A análise aleatória, por sua vez, consistiu em variar os pesos dos critérios simultaneamente, aplicando para cada peso uma das oito variações citadas acima, além da alternativa de não alterar, escolhidas de forma aleatória. O analista pode realizar um número qualquer de simulações. Tal procedimento foi inspirado em abordagens propostas por Chou (1975) e Peters (1968).

3 - CASO EM ESTUDO

O PROÁGUA - Programa de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos para o Semi-Árido Brasileiro é um programa do Governo Federal que tem por objetivo promover uma ampla reorganização do setor, abrangendo os aspectos institucionais, financeiros, estruturais, administrativos e operacionais.

Foram selecionadas oito obras para serem financiadas no primeiro ano de implementação do Programa: a Adutora Amélia Rodrigues (AAR) e a Adutora do Feijão (AF) - Bahia; a Adutora de Cascavel (ACas) e a Adutora Trici-Tauá (ATT) - Ceará; a Adutora de Arcoverde (AArc) - Pernambuco; a Adutora do Cariri (ACar) - Paraíba; o Sistema Águas Vermelhas (SAVer) - Minas Gerais; e a Adutora de Mossoró (AMos) - Rio Grande do Norte.

Utilizando o método ELECTRE III, foi realizada uma hierarquização hipotética dessas obras considerando dois cenários decisórios diferentes, como apresentado em Baltar e Cordeiro Netto (1998).

As obras foram avaliadas segundo os seguintes critérios: (1) Custo de investimento per capita-CIPC; (2) Taxa Interna de Retorno-TIR; (3) Viabilidade Política-PO; (4) População beneficiada-PB; (5) Índice de cobertura atual do abastecimento - IC; e (6) Nível de detalhamento do projeto-NP.

A Figura 1 apresenta graficamente a solução encontrada para um dos cenários decisórios estudados, para o qual foram realizadas as análises de sensibilidade apresentadas neste trabalho.

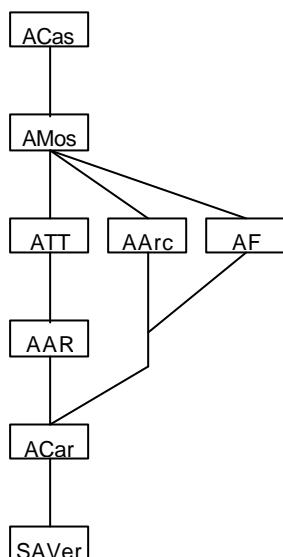


Figura 1 - Solução de base analisada

4 - RESULTADOS OBTIDOS

As seguintes análises foram realizadas: (i) análise individual por critério, apresentada por alternativa (sensibilidade e relação alternativa/ critérios); (ii) análise individual por critério, apresentada por critério (sensibilidade e robustez); (iii) análise aleatória (sensibilidade).

No caso da análise individual por critério apresentada por alternativa, cada tipo de relacionamento possui um gráfico que é composto de seis curvas, uma para cada critério, que se interceptam no ponto central que corresponde à situação inicial de referência (alteração 0.00). Assim, é possível verificar o comportamento de cada alternativa segundo cada um dos critérios, permitindo a visualização de sua estabilidade, assim como a influência que cada critério exerce sobre ela. A Figura 2 apresenta os gráficos de superioridade de três alternativas diferentes, com estabilidade e faixa de classificação distintas. A alternativa 1 apresenta um comportamento mais instável com várias alterações de posição, mas permanecendo na faixa central da classificação. As alternativas 6 e 8 são bem mais estáveis ocupando, quase sempre, a penúltima e segunda posição na classificação, respectivamente, independente da variação de peso dos critérios.

No caso da análise individual por critério apresentada por critério, cada gráfico possui oito curvas, uma para cada alternativa, permitindo a análise de robustez das soluções, ou seja, saber para que intervalo de pesos do critério considerado a solução permanece estável. A Figura 3 apresenta a análise realizada para o critério 2 - Taxa Interna de Retorno, onde se verificou que a solução de base era estável para pesos entre 3 a 4,5.

No caso da análise aleatória, foram realizadas 100 simulações de um dos cenários decisórios analisados. Os resultados foram avaliados a partir de matrizes de relacionamentos, que identificaram, para cada par de alternativas, o número de vezes em que um determinado tipo de relacionamento foi verificado (superioridade, igualdade e não-comparabilidade, respectivamente, nas Tabelas 1, 2 e 3). De posse dessas matrizes, verificaram-se quais os tipos de relacionamento mais prováveis (Tabela 4) e a frequência com que eles ocorreram em relação ao número de simulações realizadas (Tabela 5).

Uma representação gráfica do resultado foi obtida através da análise linha a linha da Tabela 4.

A esse gráfico foram adicionadas informações quanto às probabilidades mínima e média relativas à posição de cada alternativa na classificação. A mínima indica a probabilidade de não haver modificação de classificação envolvendo a alternativa em questão, enquanto a média dá uma idéia da possibilidade da alternativa considerada manter a classificação obtida em relação a todas as demais. O resultado final é apresentado na Figura 4.

5 - CONCLUSÕES

Apesar do resultado obtido através da utilização do método ELECTRE III, para o caso de hierarquização de alternativas, ser bastante claro e objetivo, os procedimentos que geram esse resultado são complexos, sendo compreensíveis ao analista mas não necessariamente ao decisor.

Nesse contexto, a análise de sensibilidade atende a um duplo objetivo. Primeiro, enriquece o conhecimento do analista sobre o problema colocado e sobre o método utilizado. Por outro lado, gera

informações adicionais que, mesmo não propiciando, necessariamente, ao decisor maior conhecimento sobre o processamento da hierarquização, fornece elementos suscetíveis de proporcionar maior segurança à decisão a ser tomada.

Uma outra observação diz respeito à forma de apresentação dos resultados da análise de sensibilidade. Cada indicador gerado é utilizado para a obtenção de um determinado tipo de informação, mas permite complementar ou ratificar conclusões anteriores.

Por fim, o estudo desenvolvido sugere a conveniência de se aprofundar, em uma fase seguinte, a análise de sensibilidade, incluindo os limiares de indiferença, preferência estrita e veto, que, assim com os pesos dos critérios, porém em menor grau, também são arbitrários.

6 – REFERÊNCIAS

BALTAR, A. M., CORDEIRO NETTO, O. M. (1998). Métodos Multicritério aplicados à hierarquização de investimentos na área de recursos hídricos, Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos, Gramado/RS.

CHOU Y. (1975). Análisis Estadístico. Nueva Editorial Interamericana, México.

CORDEIRO NETTO, O. M., PARENT, E., DUCKSTEIN, L. (1993). Métodos Multicritério Aplicados ao Planejamento de Recursos Hídricos: o Caso da Escolha de um Sítio de Barragem no Sudoeste da França. Parte 1 - Discussão Teórica. Anais X Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 327/336, Gramado.

MAYSTRE, L. Y., PICTET, J., SIMONS, J. (1994). Méthodes Multicritères ELECTRE. Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne.

PETERS, W. S. (1968). Análise Estatística e Processo Decisório. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ROY, B. (1992). ELECTRE III et IV: aspects méthodologiques et guide d'utilisation. Université Paris Dauphine - LAMSADE, Paris

Alt.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	24	0	72	72	95	100	8
2	37	0	0	50	77	98	100	14
3	100	99	0	100	100	100	100	98
4	21	10	0	0	68	91	98	13
5	1	2	0	10	0	76	93	0
6	0	0	0	8	5	0	72	0
7	0	0	0	0	1	12	0	1
8	82	74	0	85	98	99	99	0

Tabela 1 - Matriz de Superioridade

Alt.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100	0	0	5	1	0	0	0
2	0	100	1	0	0	2	0	1
3	0	1	100	0	0	0	0	0
4	5	0	0	100	0	1	0	0
5	1	0	0	0	100	19	0	0
6	0	2	0	1	19	100	2	1
7	0	0	0	0	0	2	100	0
8	0	1	0	0	0	1	0	100

Tabela 2 - Matriz de Igualdade

Alt.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	39	0	2	26	5	0	10
2	39	0	0	40	21	0	0	11
3	0	0	0	0	0	0	0	2
4	2	40	0	0	22	0	2	2
5	26	21	0	22	0	0	6	2
6	5	0	0	0	0	0	14	0
7	0	0	0	2	6	14	0	0
8	10	11	2	2	2	0	0	0

Tabela 3 - Matriz de Não-Comparabilidade

Alt.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	2	-1	1	1	1	1	-1
2	2	0	-1	1	1	1	1	-1
3	1	1	0	1	1	1	1	1
4	-1	-1	-1	0	1	1	1	-1
5	-1	-1	-1	-1	0	1	1	-1
6	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	-1
7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1
8	1	1	-1	1	1	1	1	0

Tabela 4 - Matriz de Relacionamentos mais Prováveis
Onde: (1) Superioridade; (0) Igualdade; (-1) Inferioridade; (2) Não-Comparabilidade

Alt.	1	2	3	4	5	6	7	8	Média	Mínima
1	1	0.39	1	0.72	0.72	0.95	1	0.82	0.825	0.39
2	0.39	1	0.99	0.5	0.77	0.98	1	0.74	0.796	0.39
3	1	0.99	1	1	1	1	1	0.98	0.996	0.98
4	0.72	0.5	1	1	0.68	0.91	0.98	0.85	0.83	0.5
5	0.72	0.77	1	0.68	1	0.76	0.93	0.98	0.855	0.68
6	0.95	0.98	1	0.91	0.76	1	0.72	0.99	0.914	0.72
7	1	1	1	0.98	0.93	0.72	1	0.99	0.953	0.72
8	0.82	0.74	0.98	0.85	0.98	0.99	0.99	1	0.919	0.74

Tabela 5 - Matriz de Probabilidades

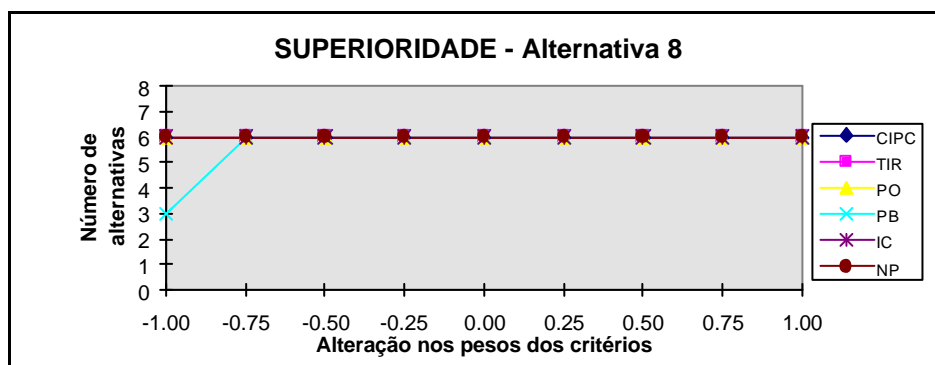
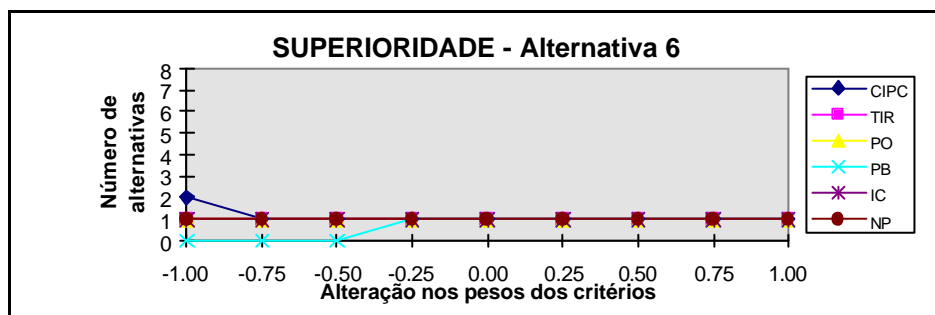
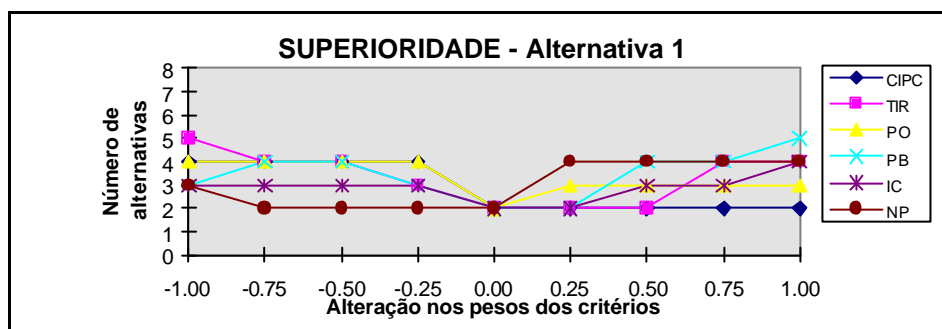


Figura 2 - Análise por critério apresentada por alternativa

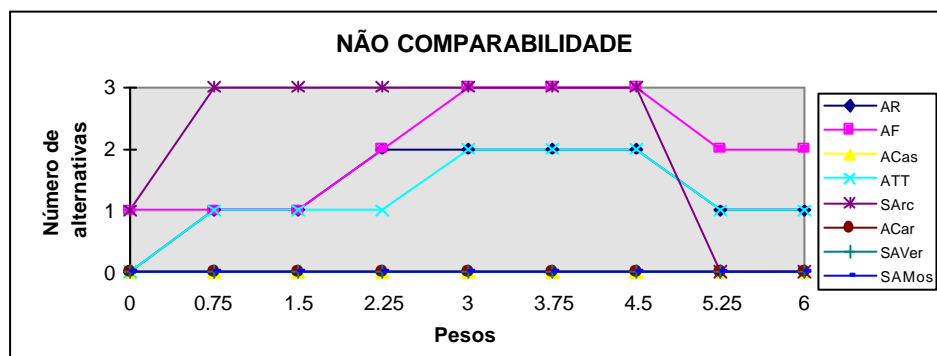
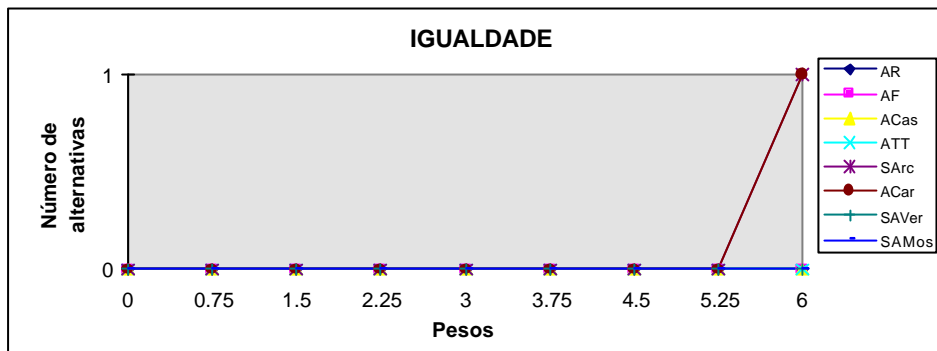
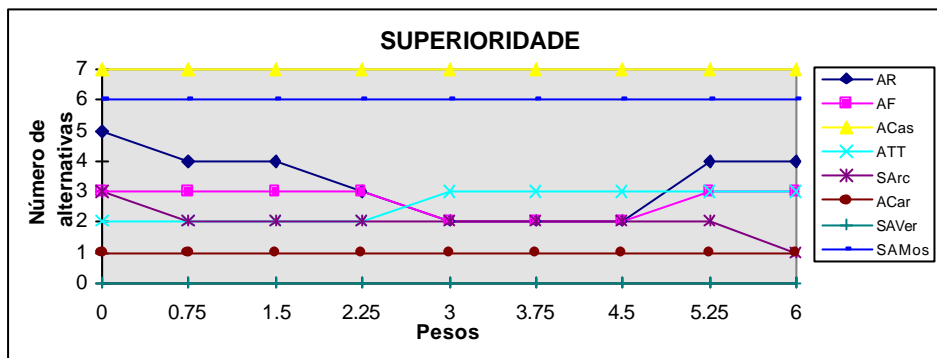


Figura 3 - Análise por critério apresentada por critério

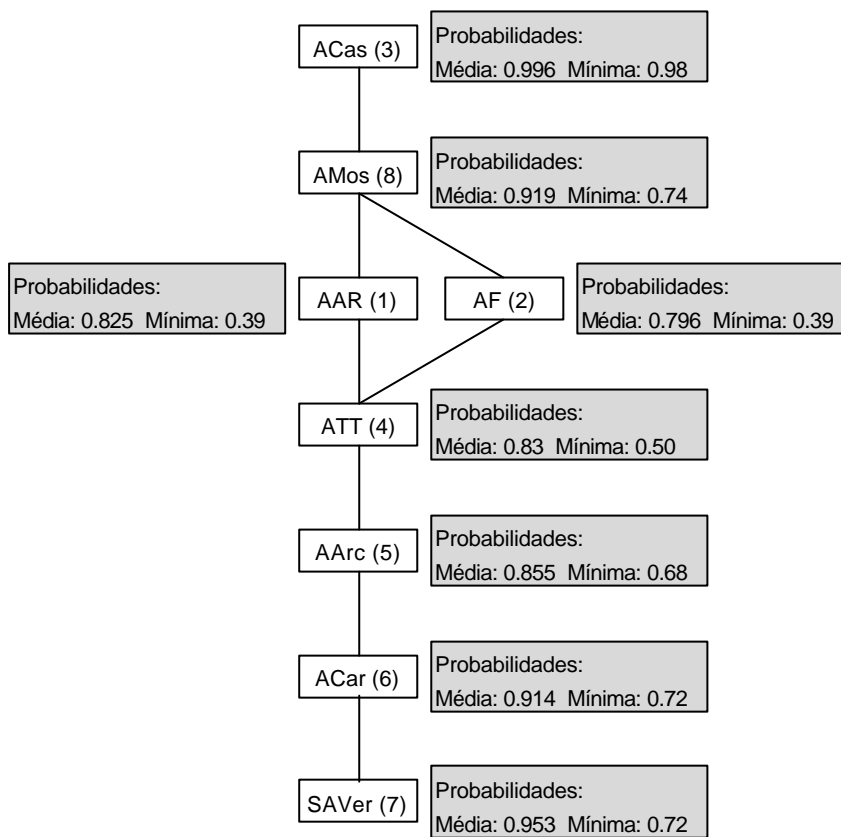


Figura 4 – Resultado final da análise aleatória