

MÉTODOS MULTICRITÉRIO APLICADOS À HIERARQUIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS NA ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS

Alexandre Moreira Baltar ¹, Oscar de Moraes Cordeiro Netto ²

Resumo - O presente trabalho constitui um exercício de utilização de métodos multicritério para promoção da hierarquização de projetos de abastecimento d'água no âmbito de um amplo programa de intervenção. Foram utilizados, como caso de aplicação, oito projetos selecionados para serem executados no primeiro ano do Programa de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos para o Semi-Árido Brasileiro - PROÁGUA, do Governo Federal.

Esses projetos foram avaliados segundo seis critérios que contemplaram aspectos econômicos, sociais, políticos, técnicos e ambientais. Foram considerados dois cenários decisórios, com dois conjuntos de pesos dados aos diferentes critérios, em função de dois tipos de comportamento possível do decisor.

Após a aplicação do método multicritério ELECTRE III para obtenção das soluções de base relacionadas aos dois cenários decisórios imaginados, foi, também, aplicado um procedimento de hierarquização baseado em modelo aditivo, com compensação integral entre critérios, o método *Compromise Programming*. Os resultados assim obtidos foram comparados entre si e com os resultados de uma hierarquização monocritério de tipo custo/benefício..

1 - INTRODUÇÃO

Tomar uma decisão pode ser uma tarefa complexa. Em muitas ocasiões, um decisor se depara não só com processos que demandam uma análise envolvendo diferentes pontos de vista, como também com problemas que podem comportar variadas soluções, atendendo a distintos interesses. Costuma ser freqüente a ocorrência desse tipo de situação no processo de gestão de recursos hídricos.

À medida em que o homem incorpora em suas avaliações aspectos tais como riscos de impactos ambientais e sociais, respeito às tradições culturais e históricas, capacidade institucional para implementação de soluções e oportunidade política na decisão, entre outros, os problemas tornam-se de complexa formulação e as soluções mais difíceis de serem identificadas.

Os métodos multicritério de auxílio à decisão foram desenvolvidos a partir dos anos 70 com o objetivo, justamente, de ajudar o decisor no processo de análise de soluções desses tipos de problemas.

Ao se considerar a área de pesquisa operacional, os métodos multicritério chegaram como uma alternativa aos processos de otimização. Nesses processos, é necessário modelar a situação a partir da definição de um único objetivo, que será maximizado ou minimizado. Todos os elementos do problema precisam ser relacionados a esse objetivo e quantificados. Isso é uma tarefa difícil, para não dizer inviável, para determinados tipos de problema, como discutido em Vincke (1989).

Apesar de suas limitações, os métodos baseados no processo de otimização ainda são os mais utilizados devido, em parte, ao seu maior rigor matemático e à sua formulação mais evidente.

Por outro lado, o simples fato de alguns métodos já consagrados serem muito utilizados dá ao decisor maior segurança quanto aos resultados obtidos. Esse é o caso, por exemplo, da análise custo-benefício.

Apesar do crescente interesse pela utilização dos métodos multicritério, as aplicações práticas, fora do contexto acadêmico, ainda são raras. Uma das razões, discutidas por Maystre *et al.* (1994), é o fato de os decisores e gestores atuais terem sido formados em uma época em que o paradigma monocritério e sua concepção filosófica subjacente constituíam a única verdade aceita e ensinada.

Além do mais, no caso do Brasil, soma-se o fato de que a tradição de pesquisa na área é bem menor e a aplicação prática de métodos multicritério é quase inexistente.

2 – BASES TEÓRICAS

¹ Mestrando. UnB - Universidade de Brasília, FT/ENC, MTARH.
Engenheiro da TC/BR Tecnologia e Consultoria Brasileira S.A.
SCRN 704/705, Bloco H, ljs 33/43 70.730-770, Brasília, Distrito Federal, Brasil
tcbr@cidsid.com.br.

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

Neste item, faz-se uma breve apresentação dos métodos multicritério, além de uma descrição mais detalhada dos métodos ELECTRE, e, em especial do ELECTRE III.

2.1 - Os métodos multicritério

Segundo Vincke (1989), os métodos multicritério são usualmente divididos em três grandes famílias: (i) Teoria de Utilidade Multi-Atributo ("Multiple Attribute Utility Theory"); (ii) Métodos de Desclassificação ("Outranking Methods"); e (iii) Métodos Interativos ("Interactive Methods").

Os métodos da primeira família agregam os diferentes pontos de vista do problema a ser solucionado em uma única função que deve ser otimizada. A teoria é baseada no seguinte axioma: todo decisor tenta inconscientemente ou implicitamente maximizar alguma função que agregue todos os pontos de vista que devem ser levados em consideração. Dessa forma, as preferências do decisor são coerentes com o comportamento dessa função.

Esses métodos baseiam-se na transitividade das relações de preferência e não admitem incomparabilidade, ou seja, todas as alternativas de solução são comparáveis entre si. Por esses motivos, as soluções obtidas são ditas completas. Os métodos mais simples e também os mais usados dessa família são os baseados no modelo aditivo, como a conhecida e tradicional média ponderada e o método *Compromise Programming*.

A segunda família, dos métodos de desclassificação, tem como primeiro passo a construção de uma relação, chamada relação de desclassificação, que representa as preferências manifestadas pelo decisor, dadas as informações disponíveis. Essas relações, em geral, não são nem completas nem transitivas. Esses métodos podem admitir relações de incomparabilidade entre alternativas. Os métodos ELECTRE (Roy, 1985) são os mais conhecidos representantes dessa família de métodos.

A terceira família, dos interativos, é a mais recente e propõe métodos que alternam passos de cálculo, que produzem soluções de compromisso sucessivas, e de diálogo, que possibilitam a obtenção de informação extra sobre as preferências do decisor, já que se parte do princípio segundo o qual, em situações complexas, o decisor tem grandes dificuldades em explicitar o seu sistema de preferências. No caso desses métodos, o diálogo é a principal ferramenta de investigação e o decisor assegura uma contribuição direta no sentido da elaboração da solução, intervindo continuamente no processo e não apenas fornecendo inicialmente suas preferências para definição do problema.

2.2 - Os métodos ELECTRE

A família ELECTRE (**EL**imination **Et** **Choix** Traduisant la **RE**alité) é formada por seis métodos: ELECTRE I [1968]; ELECTRE II [1971]; ELECTRE III [1978]; ELECTRE IV [1982]; ELECTRE IS [1985], e ELECTRE TRI [1991].

Todos os métodos consideram a análise de relações de preferência entre pares de ações consideradas. A primeira e principal diferença entre os métodos é quanto ao tipo de resultado que cada um produz. Os métodos ELECTRE I e IS objetivam a **escolha** de um subconjunto contendo as ações melhores ou, na falta destas, as satisfatórias. Os métodos ELECTRE II, III e IV procuram ordenar as ações em classes de equivalência, de forma completa ou **parcial**, através de um procedimento de **classificação**. Por fim, o ELECTRE TRI faz uma **triagem**, alocando ações a categorias definidas *a priori*.

Outras diferenças dizem respeito ao tipo de critério e à relação de desclassificação. Os métodos ELECTRE I e II utilizam os critérios chamados verdadeiros, enquanto os demais fazem uso de pseudo-critérios. A diferença entre esses tipos de critérios reside na transição de um para outro tipo de relação de preferência. Quando o critério é verdadeiro, a definição da relação de desclassificação entre duas ações só depende de suas respectivas avaliações para o critério considerado. Nesse caso, os critérios são rígidos, não possuem limiares e a desclassificação é dita clara (*a alternativa a desclassifica a alternativa b sob o critério i*). Os pseudo-critérios consideram limiares e a passagem da relação de indiferença para a de preferência é progressiva. Nesse caso, a desclassificação é nebulosa ("fuzzy"). Os pseudo-critérios são mais apropriados quando existe incerteza quanto às avaliações realizadas.

O ELECTRE III, método usado neste trabalho, foi o primeiro método a utilizar o conceito de pseudo-critério e de relação de desclassificação nebulosa. A inovação consistiu em introduzir para cada critério os limiares de indiferença, de preferência estrita e de veto, criando quatro tipos de relações entre ações: *indiferença, preferência fraca, preferência forte e incomparabilidade*.

Uma vez definidos os critérios, os seus pesos e limiares, as n ações a classificar e as avaliações de todas as ações sob os diferentes critérios, constroem-se 3 matrizes $n \times n$, uma para cada conjunto dos denominados índices de concordância, discordância e credibilidade, índices esses calculados para cada par de ação $[a, b]$. Esses índices, que variam entre 0 e 1, expressam o nível de verossimilhança de determinada assertiva (*quanto mais próximo de 1, maior a verossimilhança da*

assertiva). O índice de concordância expressa a verossimilhança, para cada critério, de (a é melhor que b) e o índice de discordância a verossimilhança de (a não pode ser comparado a b). O índice de credibilidade é um produto dos índices de concordância ponderados pelos pesos dos critérios, minorado, eventualmente, pela ocorrência de níveis elevados de índices de discordância. O índice de credibilidade traduz, assim, a verossimilhança de (a desclassifica b).

Após a construção dessa matriz de credibilidade, o método utiliza um algoritmo de classificação, baseado em um processo chamado destilação. Duas pré-ordens totais (onde todas as ações são comparáveis entre si) são assim construídas de formas diferentes, uma no sentido descendente, onde são selecionadas primeiro as melhores ações e por fim as piores, e outra ascendente, de maneira inversa. A partir dessas pré-ordens totais é que pode ser construída a pré-ordem parcial, assim chamada pois admite incomparabilidades. Essa pré-ordem constitui o resultado final da classificação.

A Figura 1 apresenta o algoritmo do ELECTRE III.

2.3 – Compromise programming

A Programação de Compromisso (*Compromise Programming*) é um método que busca identificar soluções não-dominantes que estão mais próximas a uma solução ideal, através de um procedimento de medida de distância no espaço n dimensional. A solução ideal é definida como sendo $f^* = (f_1^*, f_2^*, f_3^*, \dots, f_n^*)$, onde f_i^* são os valores máximos registrados nos n critérios, no caso de um problema de alternativas discretas. Também é determinado um vetor com os piores valores, caracterizado como f_i^{**} , que é utilizado para indicar a distância relativa de cada alternativa à solução ideal.

Uma das maneiras de determinar a distância da alternativa ideal é sugerida por Goicochea *et al.* (1982), com a fórmula (1):

$$L_j = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \frac{(f_i^* - f_i^j)}{(f_i^* - f_i^{**})} \quad (1)$$

onde:

L_j é a avaliação global da alternativa j ,
 f_i^j é a avaliação da alternativa j sob o critério i ,
 λ_i é o peso do critério i .

Como último passo desse método, seleciona-se a alternativa com maior proximidade da solução ideal, isto é, a que apresenta um mínimo L_j .

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.

Este trabalho considera uma situação hipotética onde fosse necessário se proceder a uma hierarquização dessas obras.

O problema foi formulado considerando o Governo Federal como o decisor e os Governos Estaduais como atores do processo que podem exercer forte pressão sobre o decisor e influência sobre a decisão. Essa influência é levada em consideração, por exemplo, na avaliação do critério político.

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.

As avaliações das obras quanto aos critérios 1, 2, 4 e 5 foram feitas com base nos estudos de viabilidade técnica e econômica realizados. Quanto aos critérios 3 e 6, as avaliações basearam-se em entrevistas com técnicos envolvidos com o Programa PROÁGUA. O critério ambiental foi

eliminatório e adotado na própria identificação das alternativas, já que as oito obras foram selecionadas, entre outros motivos, por não apresentarem maiores restrições do ponto de vista ambiental. O Quadro 1 apresenta a denominada matriz de conseqüências (*pay-off matrix*) que relaciona as alternativas e os valores dos diferentes critérios.

3.1 – Os cenários de decisão

Os cenários de decisão são aqueles para os quais são atribuídos parâmetros que traduzem as preferências do decisor e a partir das quais são feitas as análises de sensibilidade. Para determinação desses cenários, é preciso atribuir pesos aos critérios definidos na formulação do problema.

Neste trabalho, foram imaginadas dois cenários, em função de dois tipos de comportamento do decisor. No primeiro, o decisor assume postura mais *política*, considerando um peso maior ao critério social (população beneficiada). Os pesos atribuídos foram os seguintes: CIPC - peso 2; TIR - peso 3; PO - peso 3; PB - peso 4; IC - peso 3; NP - peso 2.

No segundo, o decisor assume postura mais *tecnocrática*, privilegiando critérios econômicos e técnicos. Os pesos atribuídos foram os seguintes: CIPC - peso 5; TIR - peso 5; PO - peso 3; PB - peso 3; IC - peso 3; NP - peso 4.

4 - RESULTADOS OBTIDOS

Com a aplicação do ELECTRE III, obtiveram-se as matrizes de credibilidade mostradas nos Quadros 2 e 3 e os resultados apresentados graficamente na Figura 2, para os Cenários Decisórios 1 e 2 (seqüências “a” e “b”). Nas matrizes de credibilidade, o índice apresentado indica em que medida a alternativa da linha desclassifica a alternativa da coluna.

O Quadro 4 apresenta o resultado do *Compromise Programming* para os mesmos Cenários Decisórios. Foram calculadas as distâncias entre cada alternativa e a situação ideal. A Figura 2 traz, também, a representação gráfica da hierarquização obtida para os Cenários 1 e 2 (seqüências “c” e “d”).

Ainda na Figura 2 (seqüência “e”), é apresentada a hierarquização das alternativas, considerando-se uma abordagem monocritério custo/benefício, a partir dos valores calculados de Taxa Interna de Retorno.

Os resultados obtidos ilustram bem a diferença existente entre os dois tipos de abordagem. A alternativa **ACas**, em qualquer cenário e com qualquer método, se mostra como o melhor projeto, assim como a alternativa **SAVer** se mostra como o projeto menos interessante em qualquer hipótese.

A completa transitividade dos modelos aditivos estabelece a hierarquização linear e seqüencial do *Compromise Programming*. A hierarquização feita pelo ELECTRE III, por seu turno, permite a ocorrência de empates entre projetos, ou seja, a ocorrência de relações de indiferença entre alternativas.

Merece destaque, também, o efeito das relações de veto na hierarquização. A alternativa **AMos**, no ELECTRE III, aparece como segundo projeto nos dois cenários, em função da consideração da não-comparabilidade, que fez com que não houvesse uma penalização muito forte para a alternativa em função de sua má avaliação sob o critério “Taxa Interna de Retorno”.

5 - CONCLUSÕES

O objetivo do presente trabalho era o de mostrar a potencialidade de métodos multicritério de auxílio à decisão nos processos de hierarquização de projetos, em geral, e de projetos de recursos hídricos, em particular. Foram aplicados dois tipos de métodos multicritério a dados reais de projetos submetidos a um programa de investimento. Os resultados se mostraram assemelhados, porém bastante diferentes de uma hierarquização monocritério baseada na Taxa Interna de Retorno. O resultado de *Compromise Programming* se mostra de entendimento mais fácil, mas não incorpora a diversidade de relações de preferência que pode existir quando se comparam projetos entre si. No entanto, a dificuldade em se estabelecer, de forma automática, a relação entre os índices de credibilidade e a hierarquização final parecem dificultar uma utilização mais disseminada de métodos de tipo ELECTRE. Uma forma de se superar essa limitação seria o desenvolvimento de técnicas de análise de sensibilidade e robustez dos resultados obtidos em utilizações do ELECTRE III.

6 – REFERÊNCIAS

- GOICOECHEA, A.; HANSEN, D.R. e DUCKSTEIN, L. (1982). Multiobjective Decision Analysis with Engineering and Business Applications. John Wiley & Sons, Chichester (Inglaterra).
- MAYSTRE, L. Y., PICTET, J., SIMONS, J. (1994). Méthodes Multicritères ELECTRE. Presses Polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne.

ROY, B. (1985). *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Economica, Paris.
VINCKE, P. (1982). *Multicriteria Decision Aid*. John Wiley & Sons, Chichester (Inglaterra).

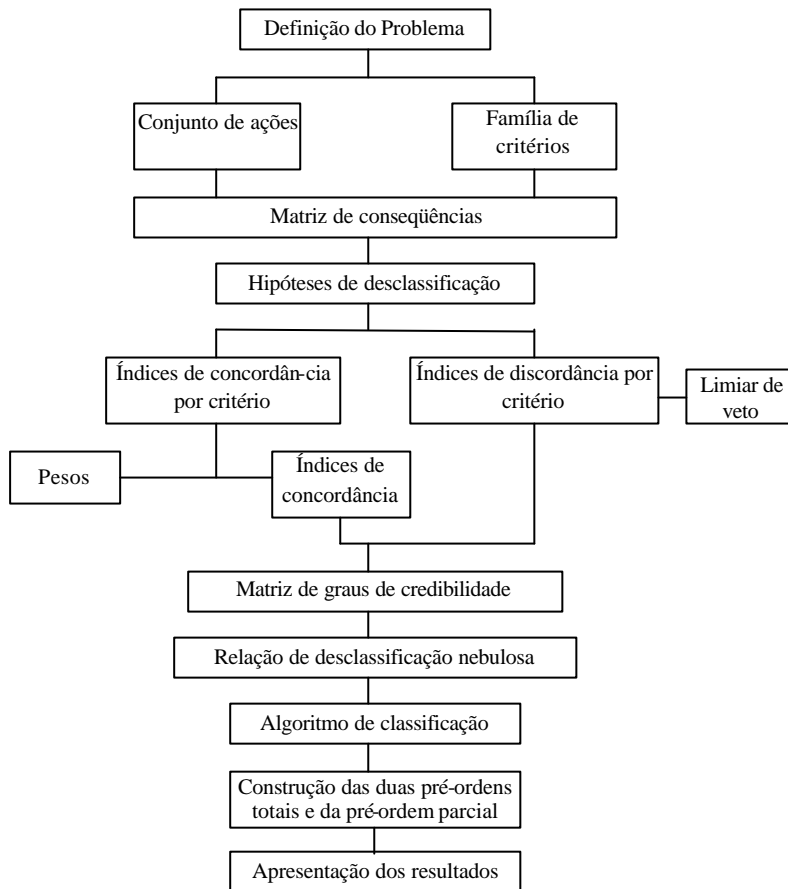


Figura 1 - Algoritmo do ELECTRE III

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.
Gramado, RS, de 5 a 8 de Outubro de 1998

ALTER-NATIVAS	CRITERIOS					
	Investi-mento (US\$/hab.)	Taxa Inter-na Retorno (%)	Viabilidade Política (nota)	População Beneficiada (habitante)	Índice de Cobertura (%)	Nível do Projeto (nota)
AAR	247,00	24,8	3	22.508	46	7
AF	565,00	47,6	9	9.117	72	9
ACas	113,00	35,6	9	27.029	18	7
ATT	215,00	39,5	5	8.756	77	5
AArc	572,00	15,0	9	19.298	88	3
ACar	991,00	14,2	5	22.528	65	5
SAVer	1.612,00	10,8	7	2.612	81	7
AMos	269,00	8,0	7	134.354	80	5

Quadro 1 – Matriz de Conseqüências

Alt	AAR	AF	ACAS	ATT	AArc	ACar	SAVer	AMos
AAR	1.000	0.357	0.000	0.739	0.823	0.911	0.823	0.000
AF	0.000	1.000	0.000	0.000	0.764	0.764	0.999	0.000
ACAS	0.999	0.818	1.000	0.999	0.999	0.999	0.999	0.028
ATT	0.608	0.652	0.000	1.000	0.588	0.764	0.852	0.000
AArc	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.890	0.881	0.000
ACar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.705	1.000	0.852	0.000
SAVer	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
AMos	0.641	0.000	0.000	0.000	0.877	0.978	0.940	1.000

Quadro 2 – Matriz de Credibilidade ELECTRE III Cenário 1

Alt	AAR	AF	ACAS	ATT	AArc	ACar	SAVer	AMos
AAR	1.000	0.323	0.000	0.721	0.868	0.933	0.868	0.000
AF	0.000	1.000	0.000	0.000	0.868	0.868	0.998	0.000
ACAS	0.998	0.761	1.000	0.998	0.998	0.998	0.998	0.058
ATT	0.710	0.628	0.000	1.000	0.738	0.868	0.846	0.000
AArc	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.879	0.824	0.000
ACar	0.000	0.000	0.000	0.000	0.651	1.000	0.846	0.000
SAVer	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000
AMos	0.603	0.000	0.000	0.000	0.891	0.972	0.911	1.000

Quadro 3 – Matriz de Credibilidade ELECTRE III Cenário 2

Cenário 1			Cenário 2		
Alternativa	Pontos	Classificação	Alternativa	Pontos	Classificação
AAR	10,17	4 ^a	AAR	11,41	3 ^a
AF	6,72	2 ^a	AF	6,67	2 ^a
ACas	4,83	1 ^a	ACas	5,29	1 ^a
ATT	10,42	5 ^a	ATT	11,41	4 ^a
AArc	11,58	6 ^a	AArc	15,27	6 ^a
ACar	12,44	7 ^a	ACar	16,37	7 ^a
SAVer	13,15	8 ^a	SAVer	17,68	8 ^a
AMos	8,20	3 ^a	AMos	11,84	5 ^a

Quadro 4 – Resultados do Compromise Programming – Cenários 1 e 2

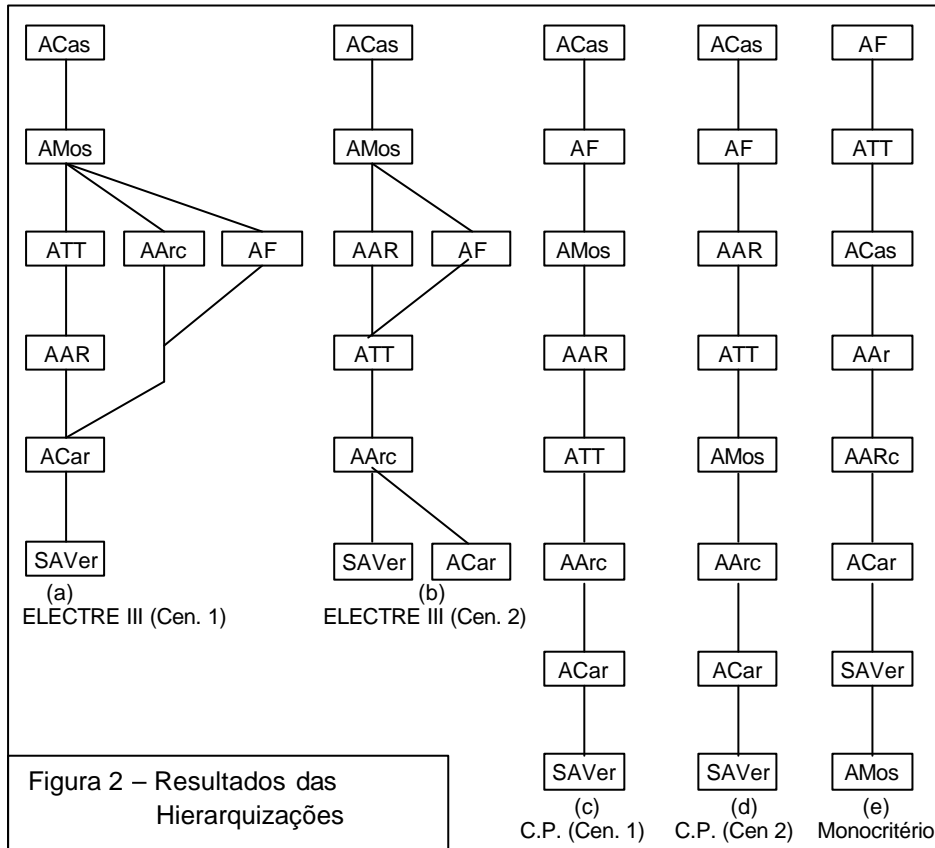


Figura 2 – Resultados das Hierarquizações