

## MODELO DE AGREGAÇÃO DE CONHECIMENTO DE ESPECIALISTAS NÃO-HOMOGÊNEOS

**José Leão e Silva Filho**

Universidade Federal de Pernambuco – CAA  
BR-104 km 59 - 55002-970. Caruaru – PE  
[zeleao@gmail.com](mailto:zeleao@gmail.com)

**Annielli Araújo Rangel Cunha**

Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Engenharia de Produção, Recife-PE  
[annielli.rangel@yahoo.com.br](mailto:annielli.rangel@yahoo.com.br)

**Danielle Costa Morais**

Universidade Federal de Pernambuco  
Departamento de Engenharia de Produção, Recife-PE  
[dcmorais@ufpe.br](mailto:dcmorais@ufpe.br)

### RESUMO

Os modelos de decisão que suportam problemas de recursos hídricos têm obtido espaço na literatura. Boa parte destes modelos pressupõe uma homogeneidade no conhecimento dos especialistas. Contudo, a heterogeneidade dos conhecimentos pode ser importante quando há diferentes níveis de informação entre os especialistas sobre o problema. O modelo proposto neste artigo trabalha especialmente em casos de decisões que envolvam uma heterogeneidade de informações, como em decisões sobre recursos hídricos, sobre o problema e propõe-se uma abordagem para um consenso.

**PALAVARAS CHAVE.** Decisão em Grupo, Recursos hídricos, Consenso

**ADM - Apoio à Decisão Multicritério,**

### ABSTRACT

The decisions model that supports water resources problems has obtained visibility in literature. Many of these models suppose homogeneity in expert's knowledge. However, the heterogeneity of knowledge can be important when different information levels among the experts about the problem. The proposed model in this paper studies in problems when it is involved information heterogeneity about the problem, as water resources problems, and proposes an approach to reach a consensus.

**KEYWORDS.** Group decision, water resources, consensus.

**ADM- Muticriteria Decision Support**

## 1. Introdução

O processo de tomada de decisão é algo comum no nosso dia-a-dia. Ele pode envolver apenas uma pessoa (de Almeida et al, 2015) ou em grupo. O processo de tomada de decisão em grupo consiste em uma interação de alguns decisores com o objetivo de se encontrar uma decisão que seja representativa pelos seus participantes. Os indivíduos que participam do processo de decisão têm suas próprias características, conhecimentos e objetivos (de Almeida et al, 2012) que podem ser mais ou menos alinhados com o objetivo maior.

Decisão em grupo tem como um dos seus principais desafios o procedimento de reunião das opiniões. Metodologias ligadas à pesquisa operacional de perspectiva Hard (de Almeida et al, 2012) tendem a utilizar processos de agregação onde se busca uma decisão que realmente represente as opiniões das partes e direcionem a uma decisão específica, como pode ser visto no PROMETHEE (de Almeida et al, 2015). Por outro lado, ferramentas de Pesquisa operacional Soft (Cunha et al, 2013) procuram expandir as avaliações de cada parte e mostrar um resultado onde o problema seja apresentado de maneira mais ampla.

O processo de tomada de decisão em grupo é um processo dinâmico e interativo, composto de várias rodadas, onde os decisores expressam suas opiniões, discutem e utilizam as preferências individuais a fim de obter uma solução coletiva (Pérez et al, 2014).

Uma decisão em grupo é dita consensual, quando as partes aceitam a decisão do grupo por unanimidade e de maneira não-imposta, seja por concordância final do resultado proposto ou seja por concordância prévia dos parâmetros de decisão. É importante salientar que o consenso busca uma aceitação da opinião coletiva e não necessariamente uma mudança na opinião pessoal de cada decisor.

Dentre os modelos de apoio a decisão consensual, o modelo de Pérez et al, (2014) apresenta um paradigma interessante. Os autores utilizam preferências fuzzy e classificando os especialistas que atuam sobre a decisão conforme o seu grau de conhecimento sobre o assunto, fazendo com que os especialistas tenham maior peso na decisão.

Utilizar métodos que apoiem a aproximação das avaliações pessoais para uma opinião coletiva é uma alternativa bastante interessante em algumas decisões específicas. Um destes casos é a decisão política, onde há decisores de várias áreas, com perspectivas diferentes e que precisam ser consideradas quando se pensa na representação ampla de uma sociedade democrática e toda sua pluralidade.

Dentro das decisões político-sociais importantes, podem-se destacar decisões que envolvem recursos hídricos. A água é um bem fundamental e decisões que tangem este tema devem ser tomadas de maneira plural e representativa. Já se utilizaram alguns modelos de tomada de decisão para recursos hídricos, como pode ser visto em abordagens ligadas a PO *hard* como em Trojan e Morais (2011) e Silva Filho et al (2014) e abordagens mais soft como, Urtiga et al (2013), Urtiga e Morais (2014).

Os artigos citados apresentaram soluções importantes na tomada de decisão, porém não há estudos suficientes que alinhem a ideia de consenso sobre a opinião de especialistas de maneira hierarquizada. Este artigo propõe um modelo de decisão com especialistas heterogêneos para problemas de recursos hídricos, baseado no modelo proposto por Pérez et al (2014) Por fim, é apresentada uma simulação em uma tomada de decisão sobre um plano de distribuição de recursos hídricos com uma análise de sensibilidade.

## 2. Modelo proposto

O modelo proposto por Pérez et al (2014) apresenta uma possibilidade de aproximar opiniões de grupos heterogêneos para o consenso. Os cenários de decisões deste aspecto podem ser considerados em três possibilidades:

Cenário 1: os decisores apresentam suas opiniões em formatos diferentes. Esta abordagem pode ser vista em Herrera-Viedma (2002) e Pérez (2010).

Cenário 2: utiliza-se uma expressão de dominância para que os decisores apresentem suas

avaliações. Este cenário pode ser visto em Mata et al (2009), Pérez et al (2010) e Xu e Yagger (2011).

**Cenário 3:** Os decisores são especialistas e possuem conhecimentos distintos e diferença de nível de conhecimento sobre o problema discutido. Esta situação foi discutida parcialmente com agregadores como o *Ordered Weighted Averaging (OWA)* (Yagger, 1988) e desenvolvimentos sobre este modelo.

O modelo proposto esta baseado no terceiro cenário. Os especialistas devem prover suas opiniões utilizando a relação de preferências fuzzy, com avaliação par-a-par das alternativas. Para o desenvolvimento do modelo, alguns parâmetros precisam ser definidos previamente:

**X** =  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ : conjunto de n alternativas ( $n \geq 2$ ).

**E** =  $\{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ : grupo de m especialistas ( $m \geq 2$ ).

$\square \square e_m \rightarrow [0,1]$  = Relevância do especialista m.

**P<sup>m</sup>** =  $[p_{ij}]$ : Matriz que representa a relação de preferência fuzzy.

**P<sup>c</sup>** =  $[p^c_{ij}]$  Média das matrizes de preferências dos especialistas.

**SM<sup>kl</sup>** =  $[sm(kl)_{ij}]$  Matriz de similaridade entre os especialistas k e l.

$$sm^{kl}_{ij} = 1 - |p^k_{ij} - p^l_{ij}|$$

**CM** =  $[cm_{ij}]$ : Matriz de consenso. Os valores  $cm_{ij}$  são definidos como com a média aritmética da matriz de similaridade e também chamados de graus de consenso de um par de alternativas.

**ca<sub>i</sub>** = Grau de consenso de uma alternativa. É definido por:

$$ca_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{(cm_{ij} + cm_{ji})}{2(n-1)}$$

**cr**: Grau de consenso na relação:

$$cr = \sum_{i=1}^n \frac{ca_i}{n}$$

**cl**: Limite para o consenso da relação. Quando  $cr > cl$ , considera-se que as opiniões estão tão próximas que o  $P^c$  pode ser considerado consenso.

**dc**: Desempenho do consenso. Representa um valor percentual que o cr deve evoluir para que se justifique a rodada de feedback

**pp<sup>k</sup><sub>ij</sub>** = medida de similaridade de um par de alternativas. A sua expressão é da forma

$$pp^{k}_{ij} = 1 - |p^k_{ij} - p^c_{ij}|$$

**pa<sup>k</sup><sub>i</sub>** = Medida de similaridade de uma alternativa, esta expressão é definida por:

$$pa^k_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{(pp^k_{ij} + pp^k_{ji})}{2(n-1)}$$

**pr<sup>k</sup>** = Medida de similaridade de uma relação. É definida por

$$pr^k = \sum_{i=1}^n \frac{pa^k_i}{n}$$

Estas medidas são fundamentais na avaliação dos consensos. Enquanto as avaliações de consenso investigam par a par a distância da opinião entre os especialistas, a avaliação de similaridade investiga a distância de opinião de cada especialista com relação a uma matriz de valor médio, que representa o consenso.

Com os respectivos valores definidos, o modelo proposto se apresenta em cinco etapas, como apresentado na figura 1:

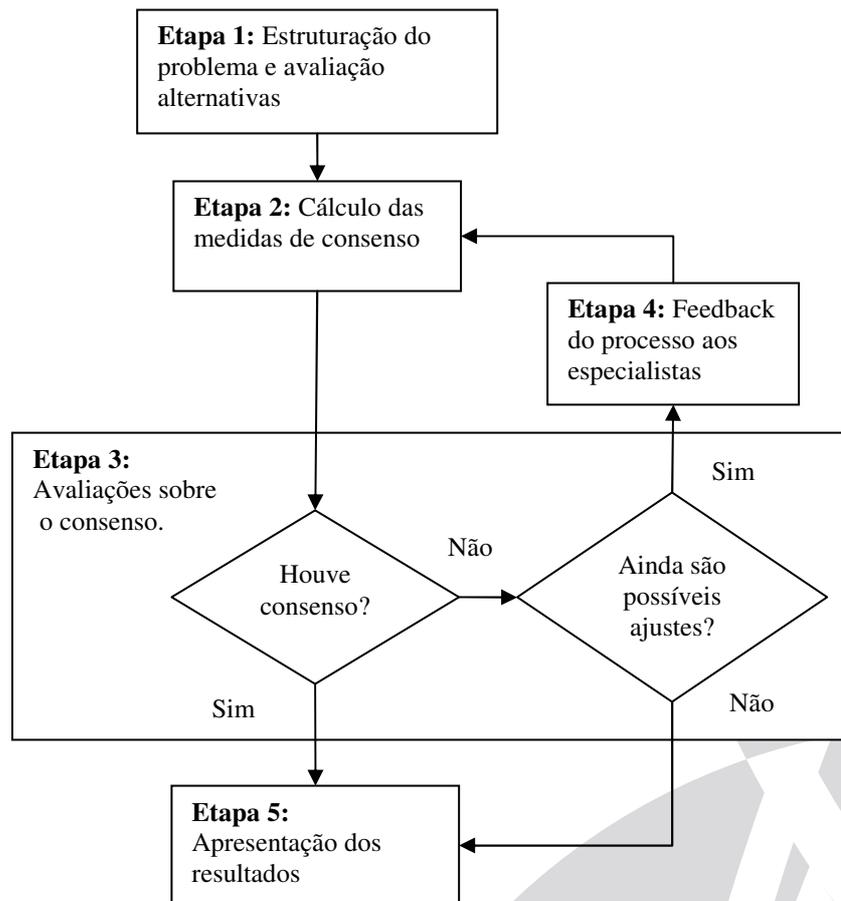


Figura 1: fluxograma do modelo  
Fonte: Própria

As etapas do modelo serão apresentadas abaixo:

**Etapa 1:** Estruturação do problema e avaliação das alternativas.

Nesta etapa o problema deve ser estruturado e tem como saída do processo a definição de alguns parâmetros e a avaliação das alternativas pelos especialistas utilizando o formato de uma relação de preferência fuzzy.

A relevância desta etapa se dá pelo fato de que o problema proposto é complexo e cheio de perspectivas diferentes. Portanto, é importante que não haja negligência de nenhuma perspectiva na avaliação do problema, sob pena da estrutura deixar de representar a relevância do problema.

Nesta etapa deve-se utilizar do conhecimento prévio e discutir o problema real e suas alternativas. É possível utilizar modelos que estimulam a discussão como a metodologia Dephi (Moreira, 2008), ou metodologias soft clássicas como mapas cognitivos, SSM, VFT (de Almeida et al, 2012).

Alguns parâmetros do problema devem ser definidos nesta etapa. Como o limite máximo de rodadas (Maxrounds) e limite para o consenso cl. Além disso, os especialistas devem ser hierarquizados conforme o nível de conhecimento. Cabe ao cliente, com o apoio do analista, hierarquizar os decisores, definindo os valores de os valores de  $\alpha_i$  e os limiares  $\beta_1$  e  $\beta_2$  onde:

- $\alpha_i > \beta_1$ : alta relevância
- $\alpha_i < \beta_2$ : baixa relevância
- Média relevância em outro caso

Depois da estruturação fundamental do problema, os especialistas devem avaliar as alternativas utilizando a relação de preferência fuzzy. Após se obter as matrizes  $P^m$ , é possível se calcular os outros valores relevantes no computo do consenso, o que é feito na etapa seguinte.

#### Etapa 2: Cálculo das medidas de consenso

Nesta etapa os valores do consenso são computados. O analista pode colocar como referência a obtenção dos valores de  $cr$  e  $pr^k$ , pois sua obtenção exige a computação dos demais parâmetros. Além destes valores, algumas outras referências são calculados para a etapa de feedback, como alguns limiares de decisão que são utilizados na etapa 4. A formulação dos modelos é apresentada neste modelo e sua utilização é discutida mais adiante

$$\alpha_1 = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1, i \neq j}^n \frac{cp_{ij}}{(n^2 - n)} \right) \quad \alpha_2 = \sum_i \frac{ca_i}{n} \quad \beta_1 = \sum_{k=1}^m \frac{pa_i^k}{m} \quad \beta_2 = \sum_{k=1}^m \frac{pp_{ij}^k}{m}$$

É importante salientar que estes valores, apesar de limiares, são dinâmicos e a cada vez que o método retornar a esta etapa eles devem ser recalculados. É necessário que os limiares sejam dinâmicos para diminuir a possibilidade de estagnação na avaliação.

Caso seja o resultado de alguma modificação oriunda da etapa de feedback, os cálculos devem ser refeitos.

#### Etapa 3: Avaliações sobre o consenso.

Esta etapa realiza o teste com relação ao consenso dos especialistas. O primeiro teste realizado é do grau de consenso na relação. Se  $cr \geq cl$  a solução chegou a um patamar de consenso aceitável e pode-se seguir para etapa 5.

Caso  $cr < cl$ , o estudo deve realizar mais dois testes a fim de saber se ainda é possível ou relevante realizar ajustes na opinião para proximidade do consenso.

**Teste 1:** rodada atual  $\leq$  rodada limite (maxround)

**Teste 2:**  $(cr_{(atual)} / cr_{(antecessor)} - 1) \geq dc$

Se houver uma reprovação no teste 1, significa que o modelo alcançou o limite máximo de repetições no sistema. Este limite pode ser constituído em função da disponibilidade dos especialistas, por exemplo. Por outro lado, se houver reprovação no teste 2, significa que a melhoria de desempenho na última interação foi tão pequena que não se justifica a realização de mais uma rodada. Em qualquer um dos casos, o modelo deve direcionar o caso para a etapa 5 e apresentar o resultado obtido.

Caso os dois testes sejam aprovados, o modelo deve direcionar para a etapa 4 e prover um feedback sobre o sistema para que os especialistas tenham a possibilidade de refazerem a sua análise, caso julguem necessário.

Por último, cabe ressaltar que o Teste 2 só pode ser utilizado a partir da segunda rodada, pois na primeira ainda não existem dois valores  $cr$  de referência.

#### Etapa 4: Feedback do processo aos especialistas

Como o processo não obteve um valor de consenso requerido para sua aceitação ( $cr \geq cl$ ) e os testes da etapa 3 não finalizaram o modelo, deve-se sugerir modificações para os especialistas. Nesta etapa, os especialistas devem utilizar a classificação de relevância da etapa 1 e os feedbacks para cada grupo são diferentes:

Baixa relevância: os especialistas de baixa relevância devem estar mais propensos a modificar sua opinião em termos que se distanciem da avaliação global. Seu conhecimento sobre o problema pode ser menor ou sua importância é restrita. Portanto, as regras de sugestão de alteração para os especialistas de baixa relevância são as mais abrangentes:

As relações  $cm_{ij}$  que o especialista de baixa relevância sofre a sugestão de mudança são definidas pelo conjunto  $R^k_{baixa}$  onde

$$R^k_{baixa} = \{(i,j) | cm_{ij} < \square_1\}$$

Todas as relações para o especialista  $k$  que estiver com um grau de consenso mais baixo do que a média recebe uma sugestão de alteração.

**Média relevância:** os especialistas de média relevância têm um pouco mais de confiança sobre as suas avaliações das alternativas. Portanto se cria um conjunto de apoio  $Z$ , que representa uma relação de possíveis alterações para os especialistas de média relevância.

$$Z = \{(i,j) | R^k_{baixa} \wedge ca_i < \square_2\}$$

Cada especialista específico de relevância média então tem uma sugestão de alteração conforme a expressão abaixo

$$R^k_{média} = \{(i,j) \in Z | pa^k_i < \square_1\}$$

Esta computação faz que o a sugestão de alteração para especialistas de relevância média não seja apenas avaliando os valores baixos do  $cm_{ij}$ , mas também em alternativas onde a opinião a opinião pessoal se distancia de uma possível opinião de consenso.

**Alta relevância:** Para os especialistas de alta relevância, as regras são ainda mais restritas. Os testes são relevantes aos anteriores com uma condição a mais

$$R^k_{alta} = \{(i,j) \in Z | pa^k_i < \square_1 \wedge pp^k_{ij} < \square_2\}$$

Esta restrição extra indica que para a sugestão de mudança de alguma avaliação para alguém de alta relevância, é necessário, além da condição da alternativa ter uma avaliação menor do que o valor do consenso de  $\square_1$ , também é necessário que os valores específicos da relação  $pp^k_{ij}$  estejam distantes dos valores obtidos em  $P^C$ . Desta forma, a mudança de opinião de algum especialista de alta relevância acontecerá apenas em um caso onde sua modificação de opinião será claramente importante para o processo.

Depois das avaliações das relações onde a mudança é mais relevante, os resultados devem ser apresentados aos especialistas. Uma forma comum de se fazer isso é apresentar uma matriz sinal  $a_{ij}$  onde se utiliza “+” se a avaliação do especialista for abaixo da média e seja necessário aumentar e “-“ no outro caso

### Etapa 5: Apresentação dos resultados

Após a utilização do método, duas possibilidades podem acontecer. Quando o procedimento alcança uma avaliação onde  $cr \geq cl$ , significa que a matriz  $P^C$  representa uma opinião consensual entre os especialistas e pode ser apresentada como resultado final da avaliação.

Outra possibilidade é o caso de não se alcançar o consenso, quando o processo não passa dos testes 1 e 2 da etapa 3, ou seja, o consenso não foi alcançado. Quando isso acontece, deve ser apresentado  $P^C$  como uma aproximação do consenso e outros índices que ajudem a entender o processo, como os valores de  $pr^k$  para o especialista que vai indicar quais os especialistas mais distantes da opinião consensual. O ganho percentual da primeira para a última avaliação de  $cr$ , que indicaria a porcentagem que a solução se aproximou de um consenso, entre outros.

É importante ainda que todo o processo seja documentado e as discussões sobre o modelo, valores e o processo em si sejam registrados para servir como apoio para decisões futuras.

### 3. Simulação

O modelo proposto é bastante adequado para problemas de recursos hídricos que se enquadram no cenário 3. A definição da etapa 1, o que aumenta a discussão sobre o modelo e

pequenos ajustes como a organização das etapas e a utilização do dc para evitar trabalho desnecessário fazem com que o modelo tenha a possibilidade de se adequar a problemas um pouco mais complexos, onde se exige eficiência de ação e há pouco tempo dos especialistas.

Para o estudo deste modelo, será discutido um problema de um plano de expansão da capacidade distribuição de recursos hídricos, proposto por Cunha e Morais (2012).

### Etapa 1

A etapa de discussão e obtenção dos valores foi comentada no próprio modelo em Cunha e Morais (2012). Estuda um plano de distribuição de recursos hídricos para uma região onde haveria um intenso crescimento urbano e exigisse um plano de expansão na distribuição de recursos hídricos.

Foram utilizados quatro especialistas que participaram do processo em Cunha e Morais (2012).. Para o problema apresentado, os especialistas podem ser técnicos de agências ambientais, agências de financiamento do governo, representantes da sociedade e analistas de projeto responsáveis pelo estudo de viabilidade do projeto. O cliente que pretende utilizar o conhecimento dos especialistas para fundamentar o processo de decisão para problemas de expansão de sistemas públicos de abastecimento seria o governo do estado, representado neste exemplo pela Secretaria de recursos hídricos e energéticos (SRHE). Portanto, os especialistas deste problema são apresentados na tabela 1 junto com o valor de  $\alpha_m$ :

Tabela 1: Definição dos especialistas

	$\alpha_m$
E1	0,3
E2	0,25
E3	0,3
E4	0,15

É importante destacar que nesta simulação o valor de  $\alpha_m$  do modelo representa a o conhecimento sobre as especificidades do problema e não a importância absoluta. Os valores dos limiares deste modelo são designados como  $\alpha_1 = 0,27$  e  $\alpha_2 = 0,23$ .

Após esta definição prévia, os especialistas apresentaram suas avaliações e os dados foram adaptados para a relação de preferência fuzzy, os valores foram apresentados na tabela 2:

Tabela 2: Conhecimento dos especialistas

Preferência E1					Preferência E2				
	a1	a2	a3	a4		a1	a2	a3	a4
a1		0,31	0,49	0,44	a1		0,25	0,20	0,06
a2	0,69		0,62	0,64	a2	0,75		0,39	0,47
a3	0,51	0,38		0,53	a3	0,80	0,61		0,61
a4	0,56	0,36	0,47		a4	0,94	0,53	0,39	
Preferência E3					Preferência E4				
	a1	a2	a3	a4		a1	a2	a3	a4
a1		0,08	0,18	0,16			0,30	0,44	0,35
a2	0,92		0,20	0,42		0,97		0,52	0,60
a3	0,82	0,80		0,48		0,66	0,48		0,48

a4	0,84	0,58	0,52		0,65	0,40	0,52	
----	------	------	------	--	------	------	------	--

Por último, são definidos alguns valores de referência para avaliação: Maxrounds =5,  $cl = 0,85$ . Estes valores, além dos valores de  $\alpha$  e  $\beta$ , são designados pelo analista que conduz o processo e suas designações dependem do problema. Com estes valores definidos, pode-se avançar ao estágio seguinte.

### Etapa 2: Cálculo das medidas de consenso

Nesta etapa, são realizados cálculos de valores importantes do consenso e alguns limiares. Alguns valores calculados são apresentados abaixo:

$$cr = 0,83 \quad Pr(E1) = 0,828 \quad Pr(E3) = 0,819$$

$$\alpha_1 = 0,835 \quad Pr(E2) = 0,858 \quad Pr(E4) = 0,857$$

Tabela 3. Matriz  $CM_{ij}$

		0,876	0,805	0,778
(ij)	0,832		0,768	0,869
cm	0,821	0,768		0,927
	0,778	0,869	0,927	

Alguns valores são apresentados conforme o andamento do modelo. Tendo calculado todos os valores, passa-se à etapa 3.

### Etapa 3: Avaliações sobre o consenso

Os testes são realizados nesta etapa. Para o teste do consenso, observa-se que  $cl > cr$ . Portanto, o consenso ainda não foi encontrado, apesar de  $cr$  estar bem próximo do valor de  $cl$ .

A avaliação segue para o teste de possibilidade/relevância da recondução do processo a etapa 2.

Teste 1: (rodada atual)  $1 < 5$  (rodada limite/maxround).

Teste 2: ainda não se aplica por estar na primeira rodada

Como houve aprovação nos dois testes, o modelo segue para a etapa 4

### Etapa 4: Feedback do processo aos especialistas.

Conforme o modelo descrito, separam-se nesta etapa os especialistas em três grupos:

#### Baixa relevância:

Pela definição da etapa 1, o especialista E4 é de baixa relevância. Para a definição das relações o modelo sugere que o E4 mude. Deve-se avaliar o valor de  $\alpha_1$  e da tabela  $cm_{ij}$ . Sendo assim, as relações (1,3), (1,4), (2,1), (2,3), (3,1), (3,2), (4,1) estão entre as relações onde se sugere uma modificação de valores da avaliação.

#### Média relevância:

O especialista E2 está no intervalo de média relevância. Neste caso, além da restrição do especialista de baixa relevância. Os valores de  $ca_i$  são definidos por  $ca_1 = 0,815$ ;  $ca_2 = 0,83$ ;  $ca_3 = 0,836$  e  $ca_4 = 0,858$ . Desta forma, apenas as alternativas 1 e 2 passam abaixo do limite e devem ser modificadas, o que exclui as relações (3,1), (3,2) e (4,1) da avaliação.

Ainda é necessário realizar o teste do  $\alpha_1$  que avalia a distância do analista para as avaliações de  $P^C$ . Para a compreensão do teste, foi observada a tabela 4:

Tabela 4 – Comparação  $pa_2$   $\alpha_1$

Alternativa	1	2	3	4
$pa_2$	0,873	0,907	0,868	0,785
$\alpha_1$	0,879	0,857	0,825	0,8

Analisando a tabela 4, as avaliações do E2 sobre a alternativa 2 estão acima do limiar de consenso. Portanto, as relações às quais há uma sugestão de mudança para o especialista 2 não devem incluir a alternativa 2, restando então (1,3) e (1,4).

Alta relevância: Os especialistas de alta relevância partem do conjunto de relações  $Z = ((1,3), (1,4), (2,1), (2,3))$ . Os testes de  $\square_1$  são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Comparação  $pa, \square_1$ .

Alternativa	1	2	3	4
pa1	0,851	0,848	0,800	0,813
pa3	0,876	0,816	0,783	0,801
$\square\square$	0,879	0,857	0,826	0,801

Desta forma, não há impedimentos para os ajustes nas alternativas 1,2 pelo critério  $\square_1$ , mas há para a o ponto (1,4). Após esta avaliação, deve-se calcular os valores de  $\square_2$  e comparar com os valores de  $pp_k$  separadamente. Esta avaliação é apresentada na tabela 6.

Tabela 6: Comparação  $pa, \square_1$

Relação	(1,3)	(1,4)	(2,1)	(2,3)
pp <sub>E1</sub>	0,839	0,812	0,851	0,812
pp <sub>E3</sub>	0,852	0,908	0,913	0,765
$\square\square$	0,86	0,86	0,89	0,86

Com base nas tabelas anteriores, pode-se observar que todas as relações devem ser recomendadas para uma possível modificação para o E1, exceto (1,4). Já o E3 não deve receber uma sugestão de mudança de opinião para as relações (1,4) e (2,1), que estão acima do limiar  $\square_2$ .

Após a descoberta de que valores devem sofrer alterações, é apresentada uma tabela com sugestões de mudança, antes dos especialistas reavaliarem suas opiniões e o processo voltar para a etapa 2. As sugestões podem ser vistas na tabela 7, que representam a matriz sinal.

Tabela 7: Sugestões de reavaliação para os especialistas

E1					E2				
	a1	a2	a3	a4		a1	a2	a3	a4
a1	■	=	-	=	a1	■	=	+	+
a2	+	■	-	=	a2	=	■	=	=
a3	=	=	■	=	a3	=	=	■	=
a4	=	=	=	■	a4	=	=	=	■
E3					E4				
	a1	a2	a3	a4		a1	a2	a3	a4
a1	■	=	-	=	a1	■	=	-	-
a2	=	■	-	=	a2	-	■	-	=
a3	=	=	■	=	a3	+	+	■	=
a4	=	=	=	■	a4	+	=	=	■

Com esta tabela os especialistas devem reavaliar suas opções e o processo volta pra a etapa 2. Após algumas modificações, o processo segue para a etapa 5.

## Etapa 5: Apresentação dos resultados

No processo realizado, chegou-se a uma solução onde o consenso é aceitável e é representado pela matriz  $P^C$ . A avaliação final deste processo deve conter as discussões relevantes, os cálculos realizados e as sugestões de feedback do modelo.

Uma decisão de expansão da rede de distribuição de água é uma decisão que pode ser tomada mais adiante na mesma área ou em diversas outras. Portanto, uma boa documentação dos resultados pode auxiliar avaliações futuras sobre o assunto.

## 4. Análise de sensibilidade

A fim de entender melhor o método e dar mais robustez a decisão, é interessante que se realize alguns testes de sensibilidade do processo. Foram realizados dois testes e os resultados discutidos abaixo

Em um primeiro momento foi sugerido um consenso isoladamente para cada uma das alternativas e foi avaliado se o novo valor de  $cr$  seria suficiente para aceitar a solução de consenso. Foi observado que o consenso em pelo menos uma das relações (1,3), (1,4), (2,3), (3,2), (4,1), conseguem alcançar o valor estipulado para o consenso. Além disso, a relação (2,1) se posiciona em cima do limiar. Foi calculado então qual o valor absoluto que os valores de  $CM$  devem aumentar em conjunto para  $cr > cl$ . A soma dos acréscimos dos valores de  $cm$  deve ser maior do que 0,179.

O alinhamento unilateral de opiniões de 6 das 12 relações faria com que os valores de  $P^C$  fossem aceitáveis. Desta forma, é possível aceitar a informação dada neste artigo que afirmava que o consenso estava bastante próximo e também é coerente com o fato de ter ocorrido apenas duas rodadas de avaliação.

Também foi avaliado o cenário em que E2 e E4 estivessem em condições de alta relevância. No caso do E2, a relação (1,3) sairia da avaliação. Enquanto para o E4 não teria sugestões de mudança. Por conta disso, pode-se aceitar que as opiniões mais distantes do consenso estão justamente com os especialistas de avaliação mais importante. Esta é uma diferenciação fundamental do modelo: enquanto no caso de opiniões com especialistas homogêneos, E1 e E3 teriam suas opiniões alteradas de maneira mais brusca, neste processo estes especialistas podem influenciar outras partes com menos conhecimento no assunto para um resultado mais realista.

## 5. Conclusão

Este artigo apresentou um modelo de decisão em grupo que busca reduzir a diferença de acerto de opiniões entre os especialistas e se aproximar de uma decisão consensual. O modelo não garante uma solução de consenso, mas estimula uma opinião coletiva, caso seja possível se aproximar de um consenso.

Como característica própria, este modelo trabalha com níveis diferentes de conhecimento do problema pelos especialistas. Além disso, há uma etapa de discussão prévia a fim de que a solução seja balizada de maneira efetiva. Por estas características, algumas decisões importantes sobre recursos hídricos podem se enquadrar no modelo.

Para uma avaliação do desenvolvimento do modelo, foi realizada uma simulação com base em uma decisão sobre a ampliação de um sistema de distribuição de água, considerando as diferenças de conhecimento entre os especialistas.

O modelo apresentou um bom desempenho e junto com a análise de sensibilidade, foi possível se chegar a uma solução representativa de avaliação em grupo e levantar informação para melhor compreensão do problema e utilização no futuro.

Como limitação do modelo, observa-se a utilização da avaliação dos especialistas na mesma formatação (relação de preferências fuzzy) e pouco uso das diferenças de intensidade das

avaliações. Para trabalhos futuros, podem ser feitas mais aplicações na área de recursos hídricos e ferramentas que melhorem a eficácia do processo.

### Agradecimentos

Este trabalho faz parte de um programa de pesquisa apoiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), a quem os autores agradecem.

### Referências

- Cunha, A. A. R.; MORAIS, D. C.**(2012) Proposed multicriteria model for group decision support in water resources planning. In: 2012 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics SMC, 2012, Seoul. 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2012. p. 617.
- de Almeida, A.T., Morais D.C., Costa A.P., Alencar L.H., Daher S.** (2012). Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações Ed. Atlas, São Paulo
- de Almeida, A.T.; Cavalcante, C.A.V.; Alencar, M.H.; Ferreira, R.J.P.; Almeida-Filho, A.T.; Garcez T.V.;** (2015) Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. International Series in Operations Research & Management Science. New York: Springer
- Herrera-Viedma, E., Herrera, F., Chiclana, F.,** (2002)“A consensus model for multiperson decision making with different preference structures,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., A Syst. Humans*, vol. 32, no. 3, pp. 394–402,
- Silva Filho, J.L. , Fontana, M. E. ; Morais, D.C.;** (2014)Strategic Options Development and Analysis to identify criteria to evaluate segmentation problems of a water distribution network. In: IEE- SMC, 2014, San Diego. IEEE SMC,
- Mata, F., Martínez, L., Herrera-Viedma E,** (2009) “An adaptive consensus support model for group decision making problems in a multigranular fuzzy linguistic context,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 17, no. 2, pp. 279–290,
- MOREIRA, D. A.** (2008) Administração da produção e operações. São Paulo: Pioneira, 2ed.
- Pérez I.J., Cabrerizo, F. J., Herrera-Viedma, E.,** (2010) “A mobile decision support system for dynamic group decision making problems,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., A Syst. Humans*, vol. 40, no. 6, pp. 1244–1256.
- Perez, I.J.; Cabrerizo, F.J.; Alonso, S.; Herrera-Viedma, E.** (2014), "A New Consensus Model for Group Decision Making Problems With Non-Homogeneous Experts," *Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions on* , vol.44, no.4, pp.494,498,
- Torra, V., Narukawa, Y.,** (2009) “On hesitant fuzzy sets and decision,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, Jeju Island, Korea, pp. 1378–1382.
- Urtiga, M., Silva Filho, J.L., Morais, D.C., Guimarães, L. (2013).** MODELO DE ALOCAÇÃO E NEGOCIAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES SEMIÁRIDAS. In: ENEGEP 2013, 2013, Salvador. ENEGEP 2013,
- URTIGA, M. M. B. A. ; MORAIS, D. C. .** (2014) Uma Abordagem Multicritério de Decisão em Grupo para Apoiar a Avaliação de Alternativas no Gerenciamento de Recursos Hídricos. In: XLVI Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2014, Salvador. XLVI SBPO.,
- Xu, Z. S. , Yager, R. R.,** (2011) “Intuitionistic fuzzy Bonferroni means,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., B, Cybern.*, vol. 41, no. 2, pp. 568–578,.
- Yagger, R.** (1998) ; On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. IEEE Transactons on systems, man ad cybernetics. Vol 18. N 1
- TROJAN, F. ; MORAIS, D. C.** (2011). Avaliação em grupo para manutenção de redes de distribuição de água. In: XLIII SBPO, , Ubatuba. XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional