

## MODELO DE APOIO À DECISÃO EM GRUPO APLICADO À SETORIZAÇÃO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

**Marcele Elisa Fontana**

Universidade Federal de Pernambuco-UFPE  
Centro Acadêmico do Agreste – CAA. Rodovia BR-104 km 59 - Nova Caruaru. 55002-970 –  
Caruaru, PE – Brasil.  
E-mail: marcelelisa@gmail.com

**Danielle Costa Morais**

Universidade Federal de Pernambuco-UFPE  
Rua Acadêmico Helio Ramos s/n (9º andar do prédio administrativo do Centro de Tecnologia e  
Geociência – CTG), Cidade Universitária. 50740-530 – Recife, PE – Brasil.  
E-mail: dcmorais@ufpe.br

### RESUMO

Com infraestruturas depreciadas, as perdas de água por vazamento em sistemas de abastecimento de água são frequentemente altas. Somente nas redes de distribuição de água é comum mais de um terço da água ser perdida antes da distribuição final. Com vistas às questões ambientais, as políticas públicas enfatizam o combate aos vazamentos, bem como manutenções preventivas de modo a evitar estes vazamentos. Para realizar manutenções é necessário fechar parte da rede de distribuição de água, os chamados setores para manobras. No entanto, vários aspectos devem ser avaliados para a alocação eficientes das válvulas de fechamento. Portanto, este trabalho propõe um modelo de apoio à decisão em grupo para a geração de um índice de priorização que mede o impacto da falta de água às unidades consumidoras. Este índice pode ser utilizado em modelos de otimização para geração de setores para manobra.

**PALAVRAS CHAVE.** Decisão em grupo, Métodos multicritério, Índice de Priorização, Rede de distribuição de água.

### ABSTRACT

Due depreciated infrastructure, water losses through leakage in water supply systems are often high. Only in water distribution networks is common over one third of the water is lost before the final distribution. Aiming to environmental issues, public policies emphasize the combat to leakage, as well as preventive maintenance to avoid these leaks. To perform maintenance is necessary to close part of the water distribution network, called network segmentation. However, several aspects must be evaluated for the efficient allocation of segmentation valves. Therefore, this paper proposes a model to support group decision making to generate a prioritization index that measures the impact of water lack on consumer units. This index can be used in optimization models to generate network segmentations.

**KEYWORDS.** Group decision, Multicriteria methods, Index prioritization, Water distribution network.

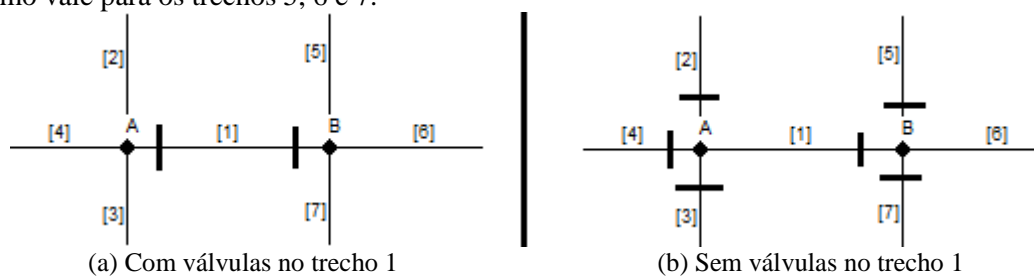
## 1. Introdução

Em geral, problemas de abastecimento de água envolvem a sociedade como um todo, não só por se tratar de um recurso escasso, mas pelo grau de importância que tem na vida das pessoas. Por este fato, decisões que envolvem a rede de distribuição de água têm um caráter social (Fontana & Morais, 2013). O aumento da pressão sobre os recursos hídricos e a crescente ênfase na prática empresarial sustentável nos últimos anos, levaram os prestadores de serviços de água a considerar a perda de água como uma chave de indicadores de desempenho do sistema (Mounce *et al.*, 2010).

No entanto, o problema de redução das perdas na distribuição de água como um todo é complexo e exige ações coordenadas em diferentes áreas da gestão de rede de água, como a detecção direta e reparo de vazamentos, os programas de reabilitação geral de tubulações e controle da pressão operacional. Além disso, um atendimento adequado aos consumidores terá bons resultados apenas quando as empresas de saneamento conseguirem, entre outros fatores, minimizar o déficit de água, maximizar a segurança e a confiabilidade do sistema, maximizar a qualidade do serviço prestado e empregar tarifas adequadas na cobrança dos serviços (Morais & Almeida, 2006; Morais & Almeida, 2007).

Contudo, não se pode falar em manutenção adequada das redes de distribuição de água sem uma correta setorização para manobra destas. As interrupções programadas (manutenção preventiva, por exemplo) e não programadas (manutenção corretiva, por exemplo) ocorrem regularmente, tornando-se necessário isolar os trechos de tubulações (Giustolisi & Savic, 2010). Além disso, um fracionamento da rede pode tornar mais fácil as atividades de manutenção, sejam preventivas ou corretivas.

O autor Walski (1993) definiu um setor (segmento) como a porção da rede de distribuição de água que pode ser isolada por válvulas de fechamento. Do ponto de vista da confiabilidade do sistema, estas válvulas são de grande interesse porque elas determinam a extensão do isolamento necessário para inspeção ou manutenção de parte do sistema. O efeito de válvulas em termos de confiabilidade do sistema de distribuição tem dois aspectos importantes, conforme colocação de Ozger & Mays (2004), que são: conectividade dos trechos de tubulação e atendimento ao consumidor. O efeito do isolamento sobre a conectividade do sistema pode ser entendido pelo exemplo da Figura 1. Note que quando o trecho 1 falhar a conectividade entre os trechos 2, 3 e 4 seria preservado na Figura 1 (a), mas seria perdido no caso da Figura 1 (b). O mesmo vale para os trechos 5, 6 e 7.



Fonte: adaptado de Ozger & Mays (2004)

Figura 1. Esquema de isolamento para o trecho 1

Como se pode observar, um setor poderá ser apenas um único trecho de tubulação se este possuir duas válvulas localizadas em suas extremidades. Caso contrário, o isolamento de um trecho de tubulação irá requerer o fechamento das válvulas em outras tubulações, bem como, o setor assim formado será constituído por tubulações e nós adjacentes (Walski, 1993). Quando uma ruptura em um trecho de tubulação ocorre, alguns consumidores ficarão sem abastecimento de água durante as atividades de reparo. E a extensão espacial do isolamento é principalmente determinada pelas localizações de válvulas no sistema. Assim, o ideal, ao isolar um trecho de tubulação na rede, é fechar apenas um subconjunto de válvulas que separam diretamente uma pequena porção da rede, isto é, causando a interrupção mínima possível. Contudo, isto nem sempre é fácil, pois o sistema de válvula, normalmente, não é concebido para isolar cada trecho de tubulação separadamente. Para tanto, é importante melhorar a concepção do sistema de

válvula, a fim de aumentar a confiabilidade da rede (Giustolisi & Savic, 2010). Neste sentido, Jun (2005) afirma que a colocação de válvulas eficiente melhora a confiabilidade da rede de distribuição de água.

Segundo Ozger e Mays (2004) as válvulas de fechamento são normalmente localizadas em torno de junções (nós) e recomendam uma “regra de ouro” para sua localização, em que no máximo quatro válvulas devem ser requeridas para isolar um trecho de tubulação. Já Ysusi (2000) destaca a utilização das regras “N e N-1” para alocação das válvulas, sendo N o número de trechos de tubulação (condutos). Enquanto a norma NBR 12218 diz que nos condutos secundários deverá ser prevista uma válvula junto ao ponto de ligação aos condutos principais (ABNT, 1994).

Contudo Heller & Pádua (2006) argumentam que estas regras e normas pode demasiar a utilização de válvulas na rede de distribuição. A alocação de válvulas eleva substancialmente os custos às empresas abastecedoras de água, tanto pelo custo da implantação das válvulas quanto pela sua manutenção. Além disso, as válvulas que permanecem na mesma posição por longos períodos de tempo tornam difícil sua operação, a menos que sejam “exercidas” de vez em quando (Mays, 2000). Para tanto, exige-se um esforço sobre-humano dos operadores para fechar (e posteriormente abrir) as válvulas. Isto quando ele consegue localizar todas as válvulas, visto que não rara a omissão de sua localização no cadastro da rede, bem como, a dificuldade no acesso das válvulas devido às dimensões da caixa protetora. Para evitar esses problemas deve-se fazer uso racional das válvulas. Mas, a adequada concepção e delimitação dos setores de manobra, na elaboração de projetos de rede de distribuição de água, ainda seja encarada, comumente, como atividade marginal (Heller & Pádua, 2006).

Contudo, o impacto total das falhas em válvulas deve ser avaliado e as seguintes medidas podem ser utilizadas: (1) número total de clientes fora de serviço; (2) comprimento total de trechos de tubulação, e (3) quantidade de água que deixou de circular na rede (Jun *et al.*, 2007). Desta forma, autores como Creaco *et al.* (2010) e Giustolisi & Savic (2010) estudaram as consequências no déficit da demanda de água durante uma interrupção do abastecimento em redes de distribuição para determinação da localização ótima das válvulas de fechamento.

No entanto, Fontana & Morais (2013) destacam que além destes fatores, existem outros que podem medir o impacto social à falta de água durante uma interrupção do fornecimento, tal como o tipo do setor econômico da unidade consumidora. Segundo os autores, não se pode dizer que a falta de água a duas ou três residências tem o mesmo impacto que a falta de água em um hospital, mesmo que a quantidade consumida seja equivalente.

Além disso, em redes de distribuição percebe-se a existência de extensas regiões com poucas unidades consumidoras e/ou com baixo consumo de água. Assim uma avaliação considerando apenas um aspecto ou critério pode ser subótima, o que levanta a necessidade de uma avaliação multiobjetivo ou multicritério. A grande vantagem da abordagem multicritério reside no fato de que, de uma só vez, vários *trade-offs* entre as alternativas são encontrados, proporcionando assim o conjunto de soluções ótimas, com um nível diferente de compromisso entre os objetivos conflitantes (Nicolini & Zovatto, 2009).

Em resumo, verifica-se a necessidade de minimizar os custos com a alocação de válvulas e, ao mesmo tempo, minimizar os impactos gerados pela falta de água às unidades consumidoras. Acredita-se que uma setorização da rede que leve em consideração as características das unidades consumidoras poderá minimizar problemas sociais gerados pelo desabastecimento durante uma manutenção. Logo, Fontana & Morais (2013) propuseram um modelo que considera estes pontos. Para isso, estes agregaram as características das unidades consumidoras, por meio de uma abordagem multicritério, em um índice que consegue medir o impacto à falta de água nos setores para manobra.

Desta forma, o modelo de setorização proposto por estes autores permite que em regiões com baixo impacto à falta de água, como por exemplo, regiões com baixa densidade demográfica, poucas válvulas sejam alocadas, formando um setor com uma extensão territorial maior e minimizando os custos com válvulas. Por outro lado, permite que sejam formados setores com extensão territorial menor em regiões que apresentam elevado impacto à falta de água.

Assim, o investimento com as válvulas é realizado não apenas por questões técnicas, mas pelas reais necessidades sociais de cada local daquela rede de distribuição de água analisada.

No entanto, neste trabalho considerou-se apenas um decisor (DM) representante da empresa de saneamento, porém, na prática, vários profissionais estão envolvidos em uma decisão desta magnitude. Além disso, na gestão da manutenção do abastecimento público de água as divergências com relação à ação corretiva a ser implementada é um problema complexo, pois os decisores deste setor estão envolvidos com questões técnicas, ambientais, econômicas e sociais simultaneamente. Assim, o que parece uma alternativa ideal para um gestor (decisor) num determinado intervalo de tempo, pode não agradar e não ser uma opção muito atrativa para outro.

Então, decidir sobre quais caminhos o setor de manutenção do abastecimento de água deverá seguir é uma tarefa difícil, pois os gestores das áreas correlatas são afetados diretamente pelas consequências das decisões e, por esse motivo, eles também devem estar envolvidos com o processo decisório. Dessa forma, este artigo concentra-se em desenvolver um modelo de apoio à decisão em grupo para a geração de um índice de priorização que mede o impacto da falta de água às unidades consumidoras em setores para manobra.

Além desta introdução, o artigo está organizado da seguinte maneira: A Seção 2 apresenta o modelo de decisão em grupo aplicado a setorização de redes de distribuição de água, bem como as referências que embasaram seu desenvolvimento. Uma ilustração do modelo é apresentada na Seção 3. E por fim, são feitas as considerações finais do artigo.

## 2. Modelo de decisão em grupo aplicado a setorização de redes de distribuição de água.

O objetivo deste modelo é chegar a um índice, chamado de índice de priorização, que seja capaz de agregar as opiniões dos  $m$  decisores, bem como das características das unidades consumidoras, para medir a sensibilidade ou impacto destas à falta da água durante uma interrupção do abastecimento. Neste artigo não será apresentado o modelo de setorização da rede de distribuição de água usando este índice, pois pode ser visto em Fontana & Morais (2013).

### 2.1. Levantamento das alternativas e critérios

Para a geração do índice de priorização as alternativas são todos os trechos de tubulação pertencentes à rede de distribuição de água analisada. Os critérios são algumas características relevantes das unidades consumidoras. No trabalho de Fontana & Morais (2013) quatro características foram levantadas, que são:

- ✓ **Cr<sub>1</sub> - Número de unidades consumidoras (economias):** este mede o número de unidades consumidoras em cada trecho de tubulação. Quanto maior o número de economias em um trecho maior deve ser sua valoração no índice de prioridade, ou seja, menor deve ser o setor de manobra no qual se encontra este trecho.
- ✓ **Cr<sub>2</sub> - Tipo de setor econômico:** este examina o tipo de unidade consumidora existente no conduto. Em cada trecho de tubulação considera-se a classificação mais alta encontrada. Quanto maior a classificação do setor, menor deve ser o setor de manobra no qual se encontra este trecho.
- ✓ **Cr<sub>3</sub> - Valor da tarifa:** montante total pago pelos usuários pela utilização da água. Para determinar o valor em cada conduto é utilizado o consumo médio de água de cada estabelecimento constituinte deste trecho de tubulação. Neste critério, quanto maior o valor, pior são as consequências da falta de água (do ponto de vista do fornecedor).
- ✓ **Cr<sub>4</sub> - Consumo:** quantidade total média de água consumida no conduto. Quanto maior o consumo de água, maior é a insatisfação pela falta de água durante a interrupção do fornecimento, e, portanto, menor deve ser o setor de manobra no qual se encontra este trecho.

Note que o número de pessoas atendidas pelo abastecimento de água em cada trecho de tubulação não foi considerado diretamente por ser difícil sua mensuração em setores tais como comerciais, hospitalares ou industriais. Contudo, sua influência é verificada, indiretamente, pelo consumo de água de cada estabelecimento (Fontana & Morais, 2013).

## 2.2. Escolha do método multicritério de agregação

Para a geração deste índice vários métodos podem ser utilizados, a depender das características específicas de cada rede de distribuição de água, bem como das preferências dos decisores envolvidos. No entanto, alguns aspectos importantes devem ser destacados que levaram a escolha do método SMARTER (*Simple Multi-Attribute Rating Technique Extended to Ranking*) pelos autores Fontana & Morais (2013), que são:

- ✓ O índice deve ser um valor numérico que representa cada trecho de tubulação. Desta apenas os métodos que fazem a ordenação das alternativas com base em um valor são apropriados, ou seja, alguns dos métodos da problemática de ordenação ( $P.\gamma$ ).
- ✓ Todos os métodos têm algum(s) parâmetro(s) à ser(em) elicitado(s), como por exemplo, as constantes de escala. É importante que o método escolhido tenha um processo de elicitação estruturado para facilitar ao decisor (ou grupo de decisores) a expressão de suas preferências.
- ✓ Redes de distribuição de água não são estáticas, sofrendo constantes alterações e/ou ampliações, os métodos que realizam uma comparação entre pares de alternativas podem não ser apropriados, pois quando adicionado ou removido um trecho de tubulação a avaliação numérica dos demais trechos pode se alterar.
- ✓ Das características levantadas há aquelas que privilegiam mais aos usuários ( $Cr_1$ ) e aquelas que privilegiam mais a empresa ( $Cr_3$ ). Assim, parece interessante que haja uma compensação (*trade off*) entre estas características em cada trecho de tubulação. Ou seja, um *trade-off* entre o que é melhor para a empresa abastecedora e o que é melhor para os usuários, permitindo que a empresa seja bem quista pela sociedade por esta visão, sem contudo considerar os benefícios para ela.
- ✓ Por fim, deve-se verificar a propriedade de independência entre critérios. No caso analisado é considerável que um representante da companhia de abastecimento sempre irá preferir mais tarifação independentemente da quantidade de unidades consumidoras, ou seja, a quantidade destas não altera a preferência do decisor no critério tarifação da água. Neste caso, todos os são considerados independentes.

## 2.3. A avaliação de cada alternativa em cada critério

Para a avaliação de cada alternativa *versus* critério, todas as unidades consumidoras presentes no trecho de tubulação (alternativa) são consideradas. Para os critérios  $Cr_1$ ,  $Cr_3$  e  $Cr_4$  a avaliação é feita diretamente, a partir de bancos de dados da empresa. Neste caso, somam-se os valores de todas as unidades consumidoras presentes em cada trecho tubulação. Enquanto que para o critério  $Cr_2$  é verificado a maior categoria de setor econômico presente no trecho. Para exemplificar, suponha os valores da Tabela 1.

Tabela 1. Exemplo da geração das avaliações dos trechos da tubulação

Trecho	Estabelecimento	$Cr_1$ - n° economias	$Cr_2$ - Setor	$Cr_3$ - Tarifa (R\$)	$Cr_4$ - Consumo ( $m^3$ )
[1]	A <sub>1</sub>	1	1	5,25	10
	A <sub>2</sub>	1	4	24,52	9
	A <sub>3</sub>	1	1	5,25	7
	A <sub>4</sub>	1	3	64,67	14
<b>Total</b>		<b>4</b>	<b>4</b>	<b>99,69</b>	<b>40</b>

Na Tabela 1 tem-se um trecho [1] com um total de 04 unidades consumidoras, uma quantidade média total de água consumida de  $40 m^3$ , o valor da tarifa média total do trecho é de R\$ 99,69 e a maior categoria de setor econômico presente é 4. Para aplicar o SMARTER são estes valores totais que representariam um trecho [1]. Além de ilustrar a geração dos valores que representará cada trecho, pode-se observar uma miscigenação de setores em um mesmo trecho de tubulação. Isto se justifica em muitos municípios brasileiros como, por exemplo, Recife (PE) onde, segundo Koster & Nuijten (2012), abriga muitas comunidades, resultantes de ocupações ilegais de terras públicas e privadas. Estas comunidades estão localizadas ao longo dos



manguezais e canais que cortam a cidade, do centro para a periferia, resultando em uma paisagem urbana em que modernos bairros de classe média estão situados ao lado de comunidades carentes.

Contudo, a ordem de importância de cada setor econômico (critério  $Cr_2$ ) pode mudar dependendo das características de cada município a qual a rede de distribuição pertence. Segundo dados cedidos por uma companhia de abastecimento de água, as unidades consumidoras podem ser categorizadas em: (a) Tarifas sociais; (b) Residencial, (c) Turismo, (d) Industrial, (e) Serviços de saúde, (f) Comércio, (g) Serviços públicos ou sem fins lucrativos e (h) Outros serviços. Neste ponto, para esse critério  $Cr_2$ , os decisores devem ser consultados para avaliar a ordem de relevância destes setores, com relação ao impacto à falta de água. O grupo de decisores, neste caso, pode ser constituído tanto por representantes da empresa abastecedora como pelo governo que representam a opinião pública.

Para isto o grupo de decisores deve-ser reunir em workshops, onde serão apresentados os pontos que devem ser avaliados pelos mesmos. O ideal é que durante estes workshops seja possível chegar a um consenso. Contudo, o consenso pode ser difícil devido às divergências nas preferências dos agentes. É normal que representantes do governo estejam mais preocupados com o bem estar da população de baixa renda, locais que em geral apresentam elevada densidade populacional, enquanto a companhia de abastecimento pode se preocupar mais com os setores que apresentam uma maior arrecadação tarifária, por exemplo.

Assim, quando o consenso não for possível deve ser coletar as preferências individuais e depois agregá-las em uma opinião global. “A agregação das opiniões em grupo envolve um procedimento analítico” (Almeida *et al.*, 2012). Decisões em redes de distribuição de água têm um caráter social, uma vez que o problema da falta de água impacta a sociedade como um todo. Os métodos de votação ordinais são típicos modelos para escolhas sociais. A função de escolha social é uma regra que atribui a cada conjunto de preferências individuais e alternativas, um subconjunto de alternativas viáveis (NURMI, 1983). Destacam-se os métodos: lexicográfico, Borda, Condorcet e Copeland (BLACK, 1958; KLAMLER, 2005a; KLAMLER, 2005b; NURMI, 1983; YOUNG, 1988; YOUNG, 1990).

Assim como no caso dos critérios (discutido anteriormente), as divergências que pode ocorrer entre os decisores com relação aos setores mostra que um *trade off* entre as opiniões é interessante. Neste caso, a informação de que um setor *A*, na opinião de um decisor, sofre um maior impacto à falta de água do que o setor *B* não é suficiente. É importante conhecer, também, a distância entre estes setores com relação ao impacto da falta de água na opinião de cada decisor. Por exemplo, na ordem  $A > B > C$  apesar do setor *A* ser considerado sofrer um impacto maior do que *B*, a diferença entre eles é menor do que na ordem  $A > C > B$ , ou seja, a medida da distância entre as alternativas é interessante no momento da agregação. Além disso, estas opiniões serão inseridas no método SMARTER, que é um modelo aditivo. Logo é interessante o uso de um método compensatório que considere a distância entre as preferências, observando a sua posição no ranking considerado. Desta maneira, o método de Borda mostra-se apropriado para o cenário em análise.

O método de Borda é uma forma de votação preferencial que tenta selecionar um candidato, de certa maneira, preferido pelo grupo. Neste método, cada decisor ordena as alternativas (ou candidatos) do primeiro até o último lugar. Então, a cada posição desta ordem é atribuída uma pontuação da seguinte maneira: dado *m* alternativas aquela que aparecer na primeira posição recebe *m* pontos, a alternativa na segunda posição recebe *m-1*, e assim por diante, até o último colocado, que receberá 0 ponto. Para agregar as preferências dos eleitores basta somar a pontuação recebida por cada alternativa. Aquela que receber o maior número de pontos é ordenada na primeira posição e assim por diante até a última colocada (Gilbert & Hatcher, 2000; Klamle, 2005 a).

### 2.3. Normalização das avaliações

Analisando os critérios levantados tem-se  $Cr_1$ ,  $Cr_3$  e  $Cr_4$  registrados em uma escala de razão, uma vez que o ponto zero é claramente uma ausência de valor. Enquanto o critério  $Cr_2$  registra as alternativas em uma escala intervalar, na qual existe uma ordem clara, com a distância

entre as avaliações definidas e o ponto zero é apenas um ponto de referência. Para dar continuidade na aplicação do SMARTER é necessário que todas as avaliações estejam na mesma escala de medida.

Assim sendo, respeitando a hierarquia das medidas e tornando todas as avaliações na mesma escala (intervalar), o procedimento de normalização adotado será:  $v'_j(a_i) = [v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)] / [\text{Max } v_j(a_i) - \text{Min } v_j(a_i)]$  (Almeida, 2011). Os valores serão expressos entre 0 e 1, em que 0 é a pior alternativa e 1 a melhor alternativa em cada critério, independentemente se o seu objetivo é maximizar ou minimizar naquele critério. No caso deste trabalho busca-se a maximização em todos os critérios.

#### 2.4. Análise das constantes de escala

Posteriormente à normalização, é importante determinar a importância de cada critério. É fundamental observar que nos métodos de agregação aditivos o grau de importância de um critério depende de sua dispersão (valores possíveis). *Por exemplo*, o déficit na demanda de água em um trecho de tubulação é importante, mas deveriam ainda ser importante se o déficit em todos os trechos considerados estiver entre  $2.000m^3$  e  $2.050m^3$ ? (Edwards & Barron, 1994). Em tal caso, fala-se em constantes de escala e sua estimativa é equivalente à taxa de substituição: as questões a serem colocadas são em termos de “ganho no que diz respeito a um critério que permita compensar a perda com relação a outro” e não em termos de ‘importância’ do critério (Vincke, 1992).

Assim, o processo chamado de “*swing* dos pesos” consiste em incluir uma alternativa hipotética que tem o pior desempenho em todos os critérios. Então, algumas perguntas são feitas ao decisor, tal como: “Dada a oportunidade de substituir a avaliação desta alternativa em apenas um critério, em qual critério você escolheria?” O DM responde ‘ $x$ ’ (consequência de maior valor), por exemplo, (Fontana *et al.*, 2011). Este processo é continuado até que todos os critérios tenham sido avaliados e seja possível ordená-los por meio desta avaliação das consequências resultantes do “*swing* dos pesos”.

Contudo, em uma decisão em grupo pode ser difícil chegar a um consenso sobre uma única ordem das preferências sobre os critérios pelo “*swing* dos pesos”. A primeira tentativa deve ser atingir esse consenso, porém quando não for possível, sugere-se a agregação das  $m$  ordens individuais, resultantes do “*swing* dos pesos”. Novamente, o método Borda pode ser usado para agregar estas ordens, pelos mesmos motivos relatados anteriormente.

Sabe-se que as constantes de escala são dependentes do range entre os valores das alternativas em cada critério. No entanto, embora as redes de distribuição de água não serem estáticas, as constantes de escala determinadas aqui podem ser usadas até que um novo decisor faça parte do grupo ou até que as preferências deste grupo se alterem, verificando-se a necessidade de alteração. Isto porque, as cidades costumam ter bairros com características diferentes, ou seja, com grande amplitude entre os valores. Recife (PE), como mencionado anteriormente, apresenta dentro de um mesmo bairro unidades consumidoras com características muito distintas. Logo, pequenas alterações nas redes não irão comprometer as constantes de escala já determinadas.

Após este processo, o SMARTER utiliza valores predeterminados chamados de *Rank Order Centroid weights* (ROC). Esta curva foi desenvolvida após uma série de estudos psicológicos que envolvem as preferências dos decisores. Com esta, Edwards & Barron (1994) relatam muito pouca perda de precisão na determinação do valor das constantes de escala. Eles afirmam que uma decisão baseada nestas, o SMARTER, em média, apresenta ganhos de 98% a 99% na função valor obtida através do levantamento completo das constantes de escala. Então, dado  $m$  critérios, tal que  $j = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ , e uma ordem dos critérios determinada pelo DM no procedimento de *swing* dos pesos igual a:  $w_1 \succ w_2 \succ w_3 \succ \dots \succ w_m$ . As constantes de escala pela curva ROC são calculadas da seguinte maneira:  $w_1 = (1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/m) / m$ ;  $w_2 = (1/2 + 1/3 + \dots + 1/m) / m$ ;  $w_3 = (1/3 + \dots + 1/m) / m$ ; ...;  $w_m = (1/m) / m$ .

### 2.5. Resultado final

Como resultado, o SMARTER compreende na soma da ponderação entre as avaliações das alternativas em cada critério pela sua constante de escala (chamada de ‘peso’ pelos desenvolvedores do método). Assim, a função valor global para uma alternativa ‘a’ será:  $U_a = \sum_{j=1}^m w_{crj} * u_a(x_{acrj})$ . As etapas do modelo proposto podem ser resumidas na Figura 2.

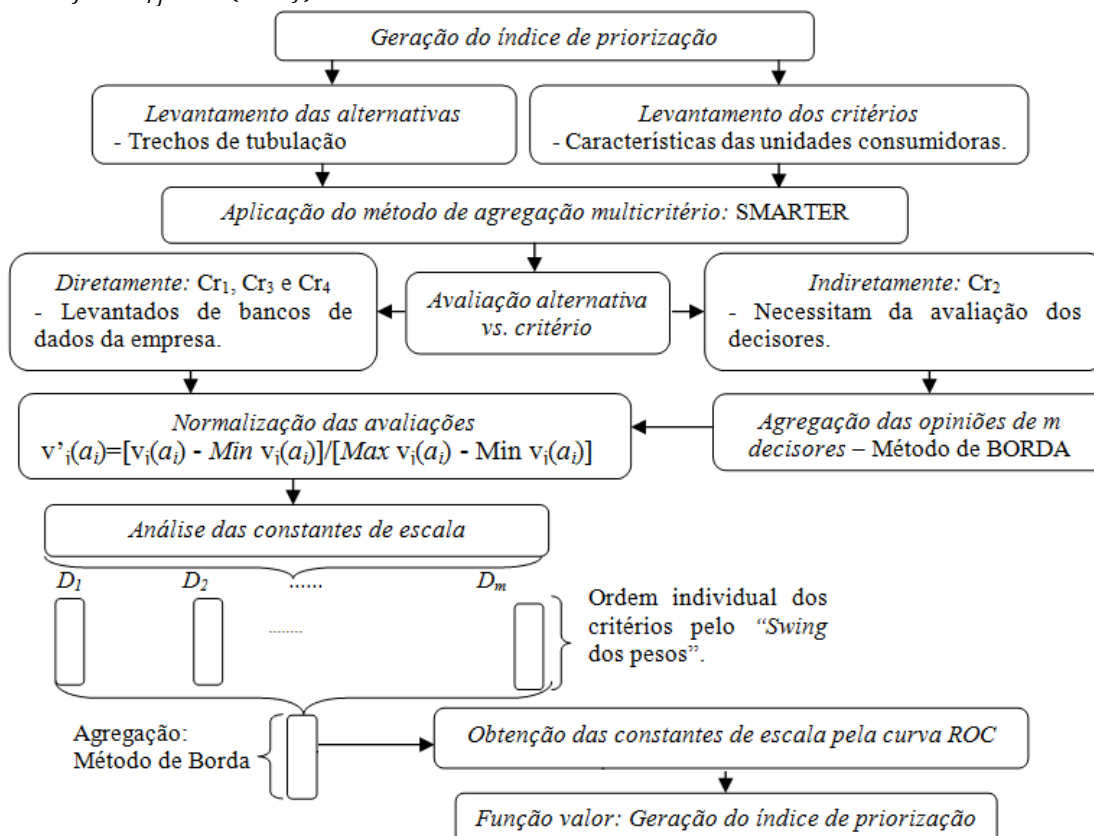


Figura 2. Sumarização do modelo proposto

Assim, para melhorar a compreensão do modelo proposta segue-se com uma aplicação ilustrativa.

### 3. Aplicação da proposta

A primeira etapa para a geração do índice é, então, o levantamento das alternativas e critérios. Os critérios serão os mesmos relatados anteriormente. As alternativas são os trechos de tubulação presentes na rede de distribuição de água apresentada na Figura 3.

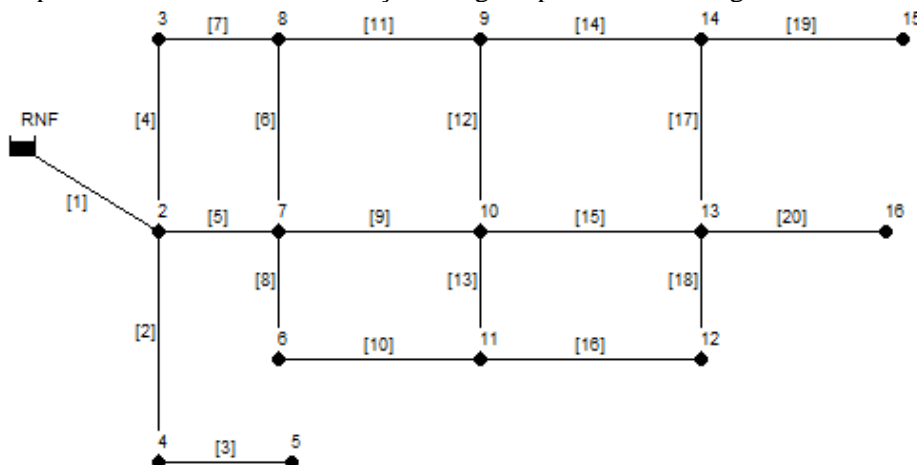


Figura 3. Ilustração da rede malhada para obtenção dos índices de priorização



Para o critério  $Cr_2$  (tipo de setor) é preciso inferir dos decisores qual será a ordem de importância dos setores com relação sensibilidade a falta de água. Logo, os decisores irão ranquear suas preferências e, em seguida, aplica-se o método de Borda para agregar as  $m$  preferências. Assim, dado 03 decisores,  $D = \{D_1, D_2, D_3\}$ , as ordens individuais e a ordem agregada podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2. Agregação das preferências dos DMs sobre a importância dos setores econômicos

Posição	$D_1$	$D_2$	$D_3$	Ordem final (agregado)	Borda	Valor considerado*
1º	<i>e</i>	<i>e</i>	<i>e</i>	( <i>e</i> ) <i>Serviços de saúde</i>	21	8
2º	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>c</i>	( <i>c</i> ) <i>Turismo</i>	15	7
3º	<i>h</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	( <i>d</i> ) <i>Industrial</i>	14	6
4º	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>h</i>	( <i>h</i> ) <i>Outros serviços</i>	13	5
5º	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	( <i>b</i> ) <i>Residencial</i>	12	4
6º	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	( <i>f</i> ) <i>Comércio</i>	5	3
7º	<i>g</i>	<i>a</i>	<i>f</i>	( <i>g</i> ) <i>Serviços públicos ou sem fins lucrativos</i>	3	2
8º	<i>a</i>	<i>g</i>	<i>a</i>	( <i>a</i> ) <i>Tarifas sociais</i>	1	1

\* O valor considerado serve para representa a importância do setor econômico na decisão final. Quanto maior o valor significa que o setor sofre um impacto maior à falta de água na opinião dos decisores.

Assim, considerando todos os trechos apresentados na Figura 3, a matriz de avaliação alternativa vs. critérios é resumida na Tabela 3. Os dados são ilustrativos, gerados a partir de uma base de cadastros de uma empresa brasileira distribuidora de água.

Tabela 3. Matriz de avaliação das alternativas vs. critérios

Trecho	Nó (i)	Nó (j)	$Cr_1$ - nº economias (unidades)	$Cr_2$ - Setor (categoria)	$Cr_3$ - Tarifa (R\$)	$Cr_4$ - Consumo* ( $m^3$ )
[1]	RNF	2	--	--	--	--
[2]	2	4	11	4	21.653,00	2.640
[3]	4	5	15	4	18.628,00	2.560
[4]	2	3	24	4	19.577,00	3.120
[5]	2	7	18	6	22.241,00	2.450
[6]	7	8	9	8	6.619,00	1.100
[7]	3	8	15	4	9.091,00	1.650
[8]	7	6	12	5	16.500,00	1.850
[9]	7	10	20	5	18.167,00	2.640
[10]	6	11	11	4	8.134,00	1.350
[11]	8	9	11	3	6.402,00	950
[12]	10	9	6	5	3.853,00	700
[13]	10	11	15	3	5.260,00	810
[14]	9	14	12	4	10.207,00	1.600
[15]	10	13	14	4	14.354,00	2.100
[16]	11	12	12	4	12.827,00	1.850
[17]	13	14	7	4	7.177,00	1.050
[18]	13	12	17	4	15.858,00	2.400
[19]	14	15	11	4	8.972,00	1.430
[20]	13	16	12	4	19.640,00	2.500

\* Destaca-se que, em geral, prédios residenciais apresentam apenas uma unidade consumidora e, portanto, podem apresentar elevado consumo. O trecho [1] é o principal que abastece os trechos secundários; seu interrompimento afetará todos os trechos; assim, não se calcula um índice de priorização para este.

Em seguida aplica-se o procedimento de “*swing dos pesos*” aos  $m$  decisores. Através de workshops a figura de um analista irá conduzir este procedimento. Quando um consenso não for atingido se aplica novamente o método de Borda para agregação das  $m$  opiniões. Desta forma, a Figura 4 apresenta as ordens obtidas por este procedimento, bem como a ordem global que representa a opinião do grupo. Deve-se destacar que o uso de um método que apoie esta decisão

torna-se mais importante à medida que se aumentam o número de critérios e/ou decisores, bem como em ambientes de elevada divergência entre estes.

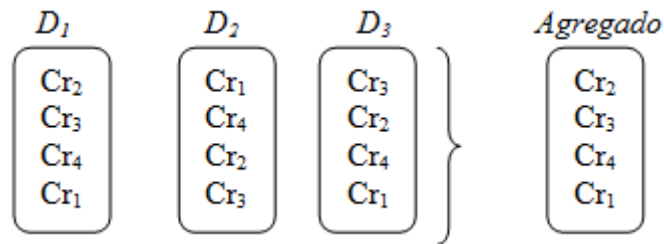


Figura 4. Obtenção da importância dos critérios pelo “swing dos pesos” e agregação com método de Borda

Desta forma, tem-se uma ordem agregada dos critérios sendo:  $Cr_2$  - tipo de setor  $\succ$   $Cr_3$  - tarifas da água  $\succ$   $Cr_4$  - consumo  $\succ$   $Cr_1$  - número de economias. Aplicando-se a curva ROC, as constantes de escala nesta ordem serão:  $Cr_2 = (1+1/2+1/3+1/4)/4 = 0,5208$ ;  $Cr_3 = (1/2+1/3+1/4)/4 = 0,2708$ ;  $Cr_4 = (1/3+1/4)/4 = 0,1458$ ; e  $Cr_1 = (1/4)/4 = 0,0625$ .

Por fim, o SMARTER compreende a obtenção de uma função valor para cada alternativa a partir da soma da ponderação entre as avaliações das alternativas em cada critério pela constante de escala deste. A Tabela 4 apresenta o resultado final da agregação das características pelo método SMARTER para todos os trechos de tubulação.

Tabela 4. Resultado final - Índice de priorização pelo SMARTER

Trecho	Índice	Trecho	Índice	Trecho	Índice	Trecho	Índice
[1]	---	[6]	0,596	[11]	0,070	[16]	0,326
[2]	0,501	[7]	0,270	[12]	0,208	[17]	0,178
[3]	0,465	[8]	0,485	[13]	0,059	[18]	0,422
[4]	0,544	[9]	0,585	[14]	0,273	[19]	0,241
[5]	0,730	[10]	0,224	[15]	0,371	[20]	0,466

#### 4. Conclusão

Este trabalho propôs um índice de priorização dos trechos da tubulação da rede de distribuição por meio de um modelo de decisão em grupo. O método de Borda foi utilizado para agregar as preferências dos decisores tanto na determinação da ordem de importância dos setores econômicos, em que as unidades consumidoras são classificadas, como para determinar ordem global de importância das constantes de escala necessárias para a aplicação do SMARTER, proposto por Fontana & Morais (2013) para agregação das características das unidades consumidoras em um único índice.

O índice de priorização, que pode ser usado para otimizar a formação de setores de manobra na rede, é uma importante medida do impacto da falta de água nas unidades consumidoras. Neste artigo apresenta-se o índice sendo gerado a partir de um contexto de decisão em grupo. O índice agrega apenas quatro características, mas sua metodologia é importante visto a possibilidade de outras características serem adicionada. Além disso, não há um limite claro do número de decisores em uma decisão desta natureza, o que reforça a importância do uso de métodos de suporte a decisão.

Uma limitação ao trabalho é o cadastro das informações. Embora não seja difícil é a parte mais extensa a ser realizada. Em geral, as empresas já possuem as informações necessárias e, caso não as tenha, podem ser facilmente coletadas pelos funcionários que realizam a leitura dos hidrômetros. Lembrando, que a atualização cadastral deve ser feita periodicamente, pois ocorrem mudanças nas características das unidades consumidoras, que devem ser analisadas. Além disso, as etapas de decisão em grupo podem ser difíceis de realizar, quando o grupo não tiver conhecimento em análise multicritério à decisão, fazendo-se necessária a figura de um facilitador.

Como sugestão para trabalho futuro, pode-se deixar o estudo e levantamento de outros critérios/características relevantes na análise da prioridade no abastecimento de água para a formulação do índice de priorização. Além disso, um estudo sobre a sazonalidade do consumo de água, durante o ano e suas implicações no índice de prioridade pode agregar mais impacto ao índice. Por exemplo, em uma cidade turística, há áreas com grande concentração de hotéis e

pousadas. Na época de alta no turismo, estes estabelecimentos consomem mais água do que na baixa temporada. Isso pode alterar significativamente o índice de prioridade proposta. No entanto, as dimensões de seu impacto devem ser estudadas.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro deste estudo.

### Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.** (1994), NBR 12218/1994. Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Brasil.
- Almeida, A. T. de** (2011), *O conhecimento e o uso de métodos multicritério de apoio a decisão*. – Recife: Ed. Universitária da UFPE.
- Almeida, A. T. de, Morais, D. C., Costa, A. P. C. S., Alencar, L. H., Daher, S. F. D.** (2012), *Decisão em grupo e negociação: métodos e aplicações*. – São Paulo: Atlas.
- Black, D.** (1958), *The Theory of Committees and Elections*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Creaco, E., Franchini, M., Alvisi, S.** (2010), Optimal Placement of Isolation Valves in Water Distribution Systems Based on Valve Cost and Weighted Average Demand Shortfall. *Water Resour Manage*, 24, 4317–4338.
- Edwards, W. e Barron, F. H.** (1994), SMARTS and SMARTER: improved simple methods for multiattribute utility measurement, *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 60, 306-325.
- Fontana, M. E., Morais, D. C., Almeida, A. T.** (2011), *A MCDM model for urban water conservation strategies*. Evolutionary Multi-Criterion Optimization – EMO In: Lecture Notes in Computer Science, 6576, 564–578.
- Fontana, M. E. e Morais, D. C.** (2013), Modelo para setorizar redes de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras, *Revista Produção*. (aceito para publicação)
- Gilbert, G. T. e Hatcher, R. L.** (2008), *Mathematics Beyond the Numbers*. Wiley & Sons, Inc.
- Giustolisi, O. e Savic, D.** (2010), Identification of segments and optimal isolation valve system design in water distribution networks. *Urban Water Journal*. 7 (1), 1-15.
- Heller, L. e Pádua, V. L.** (2006), *Abastecimento de água para consumo humano*. – Belo Horizonte: editora UFMG.
- Jun, H.** (2005), Strategic valve locations in a water distribution system. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. (Tese).
- Jun, H., Loganathan, G. V., Deb, A. K., Grayman, W., Snyder, J.** (2007), Valve distribution and impact analysis in water distribution systems. *Journal of Environmental Engineering*. 133, 790–799.
- Klamler, C.** (2005 a), On the Closeness Aspect of Three Voting Rules: Borda – Copeland – Maximin. *Group Decision and Negotiation*, 14, 233–240.
- Klamler, C.** (2005 b), The Copeland rule and Condorcet’s principle - Exposita Notes. *Economic Theory*, 25, 745–749.
- Koster, M. & Nuijten, M.** (2012), From preamble to post-project frustrations: the shaping of a slum upgrading project in Recife, Brazil. *Antipode*, 44 (1), 175–196.
- MAYS, L. W.** (organizador). (2000), *Water distribution systems handbook*. McGraw-Hill, EUA.
- Morais, D. C. e Almeida, A. T. de.** (2006), Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. *Pesquisa Operacional*, 26 (3), 567-584.
- Morais, D. C. e Almeida, A. T. de.** (2007), Group decision-making for leakage management strategy of water network. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 441-459.
- Mounce, S. R., Boxall, J. B., Machell, J.** (2010), Development and Verification of an Online Artificial Intelligence System for Detection of Bursts and Other Abnormal Flows. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 136, 309-318.

- Nicolini, M. e Zovatto, L.** (2009), Optimal Location and Control of Pressure Reducing Valves in Water Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 135 (3), 178-187.
- Nurmi, H.** (1995), On the difficulty of making social choices. *Theory and Decision*, 38 (1), 99-119.
- Ozger, S. e Mays, L. W.** (2004), Chapter 7 - Optimal location of isolation valves in water distribution systems: a reliability/optimization approach. In: Mays, L. W. *Water resource systems management tools*. McGraw-Hill Professional Engineering.- ed 1.
- Vincke, P.** (1992), *Multicriteria Decision-Aid*. Wiley, Bruxelles.
- Walski, T.M.** (1993), Practical aspects of providing reliability in water distribution systems. *Reliability Engineering and System Safety*. 42, 13-19.
- Young, H. P.** (1988), Condorcet's Theory of Voting. *The American Political Science Review*, 82 (4), 1231-1244.
- Young, H. P.** (1990), Condorcet's Theory of Voting. *Mathématiques et Sciences Humaines*, 28 (111), 45-49.
- Ysusi, M.A.** (2000), System Design: An Overview. In: Mays, L.W. *Water Distribution System Design*.- McGraw-Hill, New York.