

Modelo de Sistema de Informação e Decisão para Intervenções de Reabilitação em Redes de Distribuição de Água

Ana Paula da Silva Farias, Marcele Elisa Fontana*, Danielle Costa Morais*

ana_paula2778@hotmail.com; marcelelisa@gmail.com; dcmorais@ufpe.br

Recebido: 15/01/11 - revisado: 08/11/11 - aceito: 04/02/13

RESUMO

Os problemas relacionados às redes de distribuição de água (RDA) devido à infraestrutura envelhecida, vão desde estrutural a hidráulicos, podendo gerar um fornecimento inadequado, acarretar a elevação dos índices de perdas de água e a consequente insatisfação dos usuários. Neste contexto, as decisões sobre reabilitação de redes de distribuição são complexas, não apenas pela sua importância, mas pelo elevado número de possíveis alternativas e dos critérios que podem ser usados na sua avaliação, bem como os conflitos existentes, tais como o custo das alternativas versus seu benefício. Assim, este artigo propõe um modelo de sistema de informação e decisão, que além de coletar dados e fornecer informações relevantes ao problema, auxilia o decisor, efetivamente, na tomada de decisão sobre qual alternativa de reabilitação adotar para cada problema diagnosticado, considerando os múltiplos critérios de avaliação envolvidos. Espera-se, assim, facilitar o processo de gestão das redes de distribuição de água de forma integrada para atender a população, em quantidade e qualidade satisfatórias.

Palavras-chave: Sistemas de informação e decisão, recursos hídricos, redes de distribuição de água, intervenções de reabilitação.

INTRODUÇÃO

O fornecimento da água, com qualidade para o consumo e em quantidade suficiente para o atendimento da demanda populacional, é realizado pelos sistemas de abastecimento de água (SAA) de cada região. No entanto, em muitas cidades do mundo, essa infraestrutura vem apresentando deficiências operacionais, seja pelo elevado incremento na demanda ou pela falta de manutenção adequada (SHERALI & SMITH, 1997; SAVIC et al., 1997).

As interrupções constantes no fornecimento da água podem estar associadas a problemas como quebras e corrosão dos componentes, o que compromete a função principal do SAA que é a distribuição de água potável contínua e dentro dos limites necessários à utilização. Isto porque uma infraestrutura antiga propicia um processo acelerado de deterioração, o que tem como consequência maiores problemas de manutenção, elevando os índices de perdas de água, reduzindo a água disponível no sistema e aumentando a insatisfação dos usuários (CHRISTODOULOU & DELIGIANNI, 2010; MORAIS et al., 2010; SHERALI & SMITH, 1997; SAVIC et al., 1997).

Em determinadas situações, substituir essa infraestrutura, de forma a contemplar padrões e práticas tecnologicamente atuais, pode ser inviável, do ponto de vista econômico. Contudo, é indispensável que sejam realizadas ações de manutenção e conservação da infraestrutura. Para lidar com questões desse tipo, sistemas de informação podem ser usados, a fim de auxiliar na inspeção, controle, operação, manutenção e reabilitação adequada (SAE-GROV et al., 1999).

Este trabalho propõe um modelo de sistema de informação e tomada de decisão que pode contribuir nas ações de planejamento das intervenções de reabilitação das redes de distribuição de água (RDA) dos SAA. Esse modelo permite que os responsáveis pelas decisões tenham a sua disposição, um melhor acesso às informações para avaliar o impacto de cada alternativa a ser implementada e escolher, dentre essas, a que melhor se adequar a cada situação.

Dado o número de critérios envolvidos em uma decisão desta natureza, a escolha da melhor alternativa feita de maneira intuitiva pode se tornar complexa. Assim, é integrada uma plataforma ao modelo proposto que realiza a análise das alternativas por meio de um método de apoio a decisão multicritério.

*Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

O artigo está estruturado da seguinte maneira. A seção 2 traz uma revisão da literatura sobre os sistemas de informação e decisão para recursos hídricos. Na seção 3 apresentam-se as etapas do modelo proposto. Um exemplo de aplicação pode ser vistos na seção 4. Na seção 5 são realizadas algumas discussões sobre a proposta e por último as considerações finais do estudo são relatadas.

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E DECISÃO (SID) PARA RECURSOS HÍDRICOS

Lidar com questões relacionadas a recursos hídricos envolve diversos tipos de decisões: de simples a complexas, de ação imediata ou de longo prazo, etc. (BATEMAN & SNELL, 1998). Uma tomada de decisão deve buscar a opção que apresente o melhor desempenho, a melhor avaliação, ou ainda, o melhor acordo entre as expectativas e capacidades do “decisor”, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos (SOARES, 2003 *apud* VILAS BOAS, 2005).

Um SID pode ser entendido como um sistema flexível, interativo e adaptável, desenvolvido principalmente, para dar suporte à solução de um problema gerencial não estruturado e para apoiar a tomada de decisão final. Provê uma *interface* amigável com o usuário e tem como opção agrupar *insights* do próprio decisor. Em geral, utilizam-se de simulações e apresentam capacidade analítica, o que possibilita o emprego de vários modelos para o estudo do problema, considerando informações geradas por banco de dados internos e de fontes externas (BARBOSA, 2003; TURBAN & ARONSON, 1998).

No que se refere aos sistemas de informação para recursos hídricos, de acordo com Cirilo *et al.* (2000) espera-se que o mesmo forneça suporte à gestão da água, por meio de informações referentes a séries históricas de dados hidrometeorológicos e de qualidade da água; deve possuir um cadastro de obras, redes de monitoramento, usuários, municípios; um estudo sobre as características físicas e socioeconômicas das regiões, mapas e imagens; informações documentais, como leis, planos, estudos, resoluções. Além disso, deve conter um sistema de informação geográfica integrado; sistemas periféricos de coleta de dados primários (redes telemétricas); ter a capacidade de analisar dados sobre o tratamento de dados de chuva, vazão, qualidade da água; geração dinâmica de cadastros; entrada de novas informações e atualização do banco de dados;

busca e cruzamento de informação; modelos de simulação; e, disseminação das informações aos usuários.

Quando se agrega a estes sistemas de informação dispositivos computacionais, bem como sensores localizados em componentes do SAA, permite-se o monitoramento e a medição de alguns parâmetros. Os pacotes de software coletores disponíveis utilizam os mesmos princípios e algoritmos de correspondência. Diferenças essenciais entre estes pacotes residem na abordagem de dados de entrada, manipulação de dados, métodos de conexão, com bancos de dados, tecnologias CAD e GIS e sistemas SCADA, na qualidade de apresentação e manipulação de resultados, definição de múltiplos cenários e alternativas, o cálculo das despesas de construção e, finalmente, o desenvolvimento tecnológico documentação e apoio (MATTHEWS *et al.*, 2011).

Na literatura encontram-se alguns sistemas de informação, considerados de apoio à decisão, que foram desenvolvidos com o objetivo de coletar dados e gerar informações que são usadas pelo decisor na tomada de decisão sobre qual reabilitação adotar em recursos hídricos. Destacam-se:

- a) WRIAM (*Water Resources Issues Assessment Method*): Este é uma variação do RIAM (*Rapid Impact Assessment Method*), permite a realização de classificações subjetivas justificadas para cada item analisado, fornecendo de uma forma clara o resultado da avaliação, bem como um registro de reavaliações subsequentes.
- b) KANEW (*KANE Water*) e PRAWDS (*Procedure for Rehabilitation Analysis of Water Distribution Systems*) utilizam métodos estatísticos para relacionar taxas de quebra e de pressão com a idade da tubulação e identifica as substituições necessárias à rede.
- c) WRAP (*Weighing & Ranking Procedure*): Sistema que estabelece uma metodologia de *score* e avalia as falhas do sistema de abastecimento pela relação custo x benefício da estratégia.
- d) PARMS-PLANNING (*Performance Assurance Reporting and Monitoring System – Planning*): É um sistema de planejamento de longo prazo, incluindo as questões orçamentárias. É utilizado para a previsão de taxas de insucesso, despesas e custos de uma série de estratégias.

Para maiores informações a cerca destes e outros sistemas sugere-se a consulta das seguintes

bibliografias: Araújo *et al.* (2005); Matthews *et al.* (2011); Milicevic *et al.* (2010); Moglia *et al.* (2006); Pastakia & Jensen (1998); Stone *et al.*, 2002.

Os sistemas relatados coletam um número substancial de dados do SAA e os processa fornecendo informações importantes, bem como apontam os problemas prioritários para a reabilitação. Porém, verifica-se uma carência da integração destes sistemas de informação a um método que apoie o decisor na tomada de decisão final sobre qual alternativa de reabilitação adotar para cada problema encontrado, considerando os múltiplos critérios envolvidos nesta avaliação. Portanto, é neste ponto que se concentra a proposta e contribuição deste artigo.

As intervenções de reabilitação em redes de distribuição de água

As redes de distribuição de água são, frequentemente, responsáveis por mais de um terço do total da água perdida no SAA (MOUNCE *et al.*, 2010). Tem sido crescente a preocupação da sociedade, governos e entidades ambientais por um controle de perdas e uma gestão de manutenção adequada. Porém, o problema de redução das perdas na distribuição de água como um todo é complexo e exige ações coordenadas em diferentes áreas da gestão desta rede, como a detecção direta e reparo de vazamentos, os programas de reabilitação de tubulações e controle operacional da pressão da água (MORAIS & ALMEIDA, 2007).

A reabilitação das redes de distribuição deve ser entendida como melhorias nos sistemas, através de qualquer intervenção física que prolongue a vida de um sistema existente e/ou melhore o seu desempenho estrutural, hidráulico e/ou de qualidade da água, envolvendo uma alteração da sua condição ou especificação técnica (ALEGRE *et al.*, 2004; VENTURINI & BARBOSA, 2002).

O processo de reabilitação de redes pode ser dividido em duas fases: diagnóstico e implantação de medidas para a superação dos problemas. A etapa do diagnóstico compreende o conhecimento da questão, através da simulação do funcionamento hidráulico do abastecimento, com a calibração de modelos que possam reproduzir o que, efetivamente, se dá na prática. Já o estabelecimento de estratégias de reabilitação, que deve levar em conta os aspectos técnicos e econômicos (minimização de custos), faz parte da etapa de implantação (GOMES & BEZERRA, 2005).

Modelo proposto de Sistema de Informação e Decisão (SID)

O modelo proposto é constituído de cinco fases interligadas, que são: Caracterização sumária da rede de distribuição de água; Monitoramento da rede; Avaliação das oportunidades de Reabilitação; Tomada de decisão e; Verificação e atualização dos dados. A figura 1 sumariza as fases do modelo.

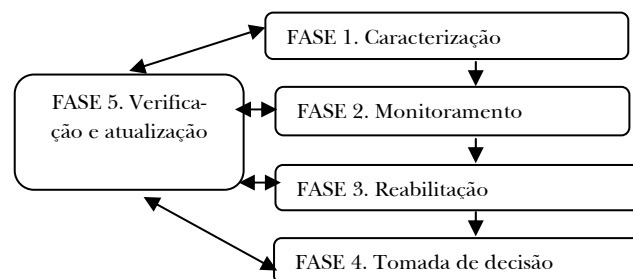


Figura 1 – Sumarização do modelo proposto

É importante destacar que o modelo se aplica apenas à rede de distribuição de água e não ao SAA como um todo.

Fase 1 – Caracterização da rede

Nesta fase é feito o levantamento de todos os dados relevantes da rede de distribuição de água que são necessários para caracterizá-la. Esta se divide em três partes principais, que são: identificação, descrição e comportamento hidráulico da rede.

Os dados coletados para a identificação incluem: nome do SAA à que pertence, instituição responsável, unidade de federação, que locais são abastecidos (que município, nomes dos distritos), data do cadastro (dia, mês e ano) e a indicação se a rede analisada pertence a um sistema integrado (mais de um reservatório que atende mais de um comunidade) ou isolado (um reservatório que atende a uma comunidade).

Na descrição encontram-se dados que se referem ao número total e por categoria das ligações existentes (residenciais, comerciais, industriais, públicas), média anual de consumo de água, coordenadas do ponto de captação (latitude e longitude), tipo de manancial e o tipo de tratamento utilizado.

O comportamento hidráulico do sistema dispõe de dados que incluem: o projeto hidráulico completo, com memoriais, especificação de materiais e serviços, planilhas de cálculos e desenhos. Os relatórios de gestão fornecidos nessa etapa devem

conter informações do tipo: áreas abastecidas; população atendida; tamanho da rede; ano de construção da rede; volumes de água demandados; velocidades mínimas e máximas da água, a partir do diâmetro das tubulações; localização das zonas de pressão, das tubulações principais e secundárias e as características das ruas etc.

Fase 2 – Monitoramento da rede

As informações referentes a condição física da rede em funcionamento, tal como a existência de pontos de vazamento, por exemplo, são disponíveis apenas fazendo-se a observação e monitoramento constante dos componentes da rede, através de tecnologias apropriadas. São técnicas ligadas a macro-medição e micromedição, bem como a utilização de sensores para transmissão de dados em tempo real (telemetria e telecomando) e o geoprocessamento.

Desta forma, a utilização dessas tecnologias deve possibilitar atividades de: pesquisa de vazamentos não aparentes; determinação instantânea da vazão e pressão de todos os componentes (antigos ou recém-instalados); aferição e calibração de macromedidores; manutenção e redimensionamento de hidrômetros; monitoramento do consumo de clientes especiais; dentre outros.

Além desse processo, deve-se levar em conta a análise dos registros de reclamações dos usuários que estão relacionadas ao não abastecimento em dias ou horários previstos pela empresa, bem como da alteração de cor ou sabor da água.

Fase 3 – Reabilitação

Nesta fase é realizada a avaliação das oportunidades de reabilitação da rede de distribuição de água. Divide-se em duas etapas básicas: identificação do problema e diagnóstico do problema.

a) Etapa 1: Identificação de problemas

A identificação de uma oportunidade de reabilitação nas redes de distribuição (problema) acontece quando se prevê uma situação em que um ou vários componentes do sistema não irão trabalhar conforme o esperado ou de acordo com o que se projetou.

O uso de indicadores de deterioração pode ser utilizado como uma fonte de identificação de possíveis problemas. De acordo com Saegrov *et al.*, (1999), o indicador mais utilizado é o número de quebras. No entanto este deve ser utilizado com cuidado, já que as quebras podem ter origens distintas, tais como: deterioração normal da rede, questões ambientais ou operacionais.

Com base nas entradas de dados no sistema, relatórios são gerados com o objetivo produzir informações para quatro grupos principais: (1) problemas identificados, (2) causas, (3) efeitos (4) quantidade e/ou qualidade da água afetada. A cada registro de dados nesses grupos formam-se listas, que estarão disponíveis para consulta e avaliação em outras oportunidades. A tabela 1 apresenta uma ilustração do conteúdo destes relatórios em forma de listagem dos problemas identificados.

Tabela 1 – Exemplo de listas de problemas, causas e efeitos

Problema	Causas	Efeitos	Quantidade e/ou qualidade
Rupturas (quebras)	Desgaste	Localidades não abastecidas	Quantidade e qualidade
Falhas	Aumento da pressão	Redução de água disponível	Quantidade
Interrupções	Corrosão	Aumento do número de reclamações	Quantidade

Onde: Rupturas são avarias na estrutura da rede que provocam a parada do fornecimento de água de maneira não programada; Nas falhas ocorre a variações da vazão, mas não ocasionam a interrupção do fornecimento; Interrupções são paradas do fornecimento de água programadas.

Essas listas também podem ser criadas no momento da elaboração do SID, através de dados registrados na caracterização sumária, do monitoramento para identificação de problemas e da experiência do decisor.

b) Etapa 2: Avaliação dos problemas identificados

O diagnóstico completo do sistema pode ser iniciado analisando-se as informações registradas nas listas confeccionadas na etapa 1. É nessa etapa que se pretende verificar a extensão, a severidade e a natureza do envelhecimento da rede de distribuição de água e definir qual(is) a(s) prioridade(s) para a implantação da reabilitação.

De acordo com Alibhai (1996), a reabilitação do sistema é onerosa. Então, o aspecto econômico é um dos critérios mais importantes nessa etapa. Informações a respeito de investimentos anteriores

res, custos específicos da tecnologia de reabilitação, custos fixos e variáveis da produção de água, preço da água, índices de preços e restrições orçamentárias são fundamentais.

Outros critérios como a taxa anual de reabilitação dos componentes; a idade dos componentes; a taxa anual de falhas e de perdas de água; os índices de ruptura no mesmo ano; os índices de pressão e vazão; a qualidade da água; e as restrições no uso de determinadas técnicas, como a impossibilidade de aberturas de valas em determinados locais, também podem ser estabelecidos como requisitos para as intervenções de reabilitação.

Questões políticas, ambientais e sociais podem aparecer nessa avaliação. Como por exemplo, a ampliação de SAA para a urbanização de localidades, a fim de atender um projeto cuja autoria é da Prefeitura; características topográficas, geológicas e geotécnicas das regiões; e os possíveis impactos sobre a saúde dos usuários.

Os critérios utilizados dependem exclusivamente das características de cada rede de distribuição e das preferências dos decisores envolvidos. Assim, a definição destes critérios pode ser considerada uma etapa preliminar para a implantação de tal sistema. Um exemplo é demonstrado na sequência.

Portanto, a fim de se analisar e classificar os problemas identificados, de modo a priorizar as ações de reabilitação, optou-se por adotar o WRIAM (*Water Resources Issues Assessment Method*), por ser capaz de avaliar questões como a necessidade de água, fatores econômicos, políticos, sociais e ambientais. Além disso, o WRIAM permite a identificação e classificação das causas e efeitos decorrentes de possíveis situações de reabilitação em sistemas de recursos hídricos. Com o WRIAM é possível atribuir valores quantitativos para questões subjetivas. Uma pontuação é atribuída aos diferentes tipos de problema que podem surgir no sistema e cada um deles pode ser avaliado independentemente de acordo com critérios pré-definidos.

Para a aplicação do WRIAM, o primeiro passo é identificar e classificar as principais causas e efeitos das oportunidades de reabilitação, relacionadas às redes de distribuição de sistemas de abastecimento de água. O gestor, através das listas criadas na etapa 1, pode fazer essa classificação. Caso não haja a identificação de determinado problema na lista, o gestor pode adicionar um novo.

Em seguida faz-se necessário classificar tais problemas. Logo, uma pontuação é atribuída aos diferentes tipos de problema e cada um deles pode ser avaliado, independentemente, de acordo com os critérios pré-definidos. Os critérios para avaliação de

problemas podem ser divididos em dois grupos distintos:

- A. Critérios relacionados com a importância do problema ou do efeito, que podem modificar a pontuação de forma considerável.
- B. Critérios relacionados com detalhes de cada problema. Estes têm menor efeito na classificação dos problemas.

Para o grupo A, a pontuação, dada pelo decisor aos critérios, é multiplicada, o que garante que o peso do sistema de pontuação em cada um dos requisitos seja levado em consideração. Para o grupo B a pontuação de cada critério é somada, o que garante que a pontuação de um determinado critério possa não ter influência no resultado final. Essa soma também garante que a importância coletiva de todos os requisitos seja levada em consideração. Então, dados n critérios do grupo A e m critérios para o grupo B, têm-se:

$$OS = (\prod_{i=1}^n A_i)(\sum_{j=1}^m B_j) \quad (1)$$

Em que:

A_i = pontuação do critério i do grupo A;

n = número de critérios do grupo A;

B_j = pontuação do critério j do grupo B;

m = número de critérios do grupo B;

OS = é o resultado final da importância do problema considerado, classificado, por exemplo, conforme a tabela 2.

Tabela 2 – Resultado da matriz de avaliação

OS	CLASSIFICAÇÃO	
0	0	Sem importância
1-9	1	Baixo impacto negativo
10-18	2	Moderado impacto negativo
19-35	3	Impacto negativo
36-71	4	Significante impacto negativo
72-108	5	Máximo impacto negativo

Fonte: Adaptado de Feilberg, 2007.

Embora seja possível definir vários critérios, os que irão ser utilizados pelo sistema, nos grupos A e B, devem obedecer a dois princípios básicos: (1) universalidade e importância do critério; e (2) a natureza do critério, pois esta determina se ele deve pertencer ao grupo A ou B. Em outras palavras, os critérios devem ser independentes entre si, devem ser relevantes ao processo decisório, o grupo ao qual

este pertence deve ser conhecido e quando um critério pertence a um grupo não pode pertencer a outro simultaneamente. Estes princípios são analisados pelo decisor com base em dados objetivos e/ou subjetivos, tais como dados históricos e experiências pessoais.

Pode-se utilizar uma escala cardinal para avaliar os problemas em cada critério. No grupo A esta escala pode variar de 3(alto) a 0(nulo), já no grupo B considera-se apenas valores entre 3(alto) e 1(baixo). Assim, A_i varia entre 3 e 0 e B_j varia entre 3 e 1.

Deve-se salientar que a avaliação dos critérios é totalmente subjetiva, baseada nas preferências e conhecimentos do decisor, bem como em informações disponíveis, apoiado ou não por um analista (especialista na área).

Fase 4 – Tomada de Decisão

Nessa fase, o decisor precisa decidir: O que melhorar? Onde esta melhoria será efetivada? Quando ocorrerá? Quanto custará? Como realizar tal operação? Ou seja, com base na identificação de um problema (Fase 2) o decisor terá que decidir qual(is) alternativa(s) adotar mediante um conjunto de alternativas viáveis resultante da etapa anterior. Informações sobre os custos da operação, bem como o tempo para execução da obra, a população atingida e qual a melhor técnica a ser utilizada irão nortear a escolha da melhor alternativa.

Como pode ser observado, existem múltiplos critérios, em geral conflitantes, que devem ser considerados na análise das alternativas de reabilitação da rede. O processo decisório realizado de maneira intuitiva pode ser tão complexo quanto maior for o número de alternativas e critérios de avaliação. Portanto, o uso de algum método multicritério de apoio à tomada de decisão deve ser usado nesta fase, a fim de auxiliar o decisor.

Podem-se destacar alguns métodos multicritério, presentes na literatura, tais como: Analytical Hierarchy Process (AHP), Elimination et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE), Multi-Attribute Utility Theory (MAUT), Método dos Pesos, Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations (PROMETHEE), e Programação de Compromisso (BELTON & STEWART, 2002; ROY, 2006; ROY & BERTIER, 1973; SAATY, 1980, VINCKE, 1992). A escolha do método dependerá das características das alternativas e o tipo de critério de avaliação utilizado.

As informações geradas, nessa fase, garantem ao gestor as respostas quanto à exequibilidade

da implantação de cada alternativa (em termos de recursos e das obrigações legais). Também, essa fase avalia se a alternativa é satisfatória, ou seja, como ela atende as metas de decisão e, por fim, permite identificar quais as consequências possíveis de determinada escolha, através da análise de como esta afeta todas as áreas envolvidas e como é possível diminuir ou eliminar as consequências negativas. A escolha da melhor alternativa vem acompanhada de dados com alocação de recursos, orçamentos, cronogramas para o cumprimento das ações e atribuição de responsabilidades.

Fase 5 – Verificação e atualização dos dados

Após a escolha da melhor alternativa e do cumprimento das ações estabelecidas nos documentos de execução das intervenções, os dados referentes à implantação devem ser registrados, monitorados e analisados. O objetivo dessa etapa é criar um número maior de informações sobre as reabilitações empreendidas pela empresa, a fim de que possa ser consultado futuramente e, em situações semelhantes, agir mais rapidamente, sabendo dos benefícios e possíveis problemas que poderão ser encontrados.

Os relatórios dessa etapa disponibilizam informações sobre o número de dias para execução da reabilitação, especificações dos equipamentos e materiais usados, a resposta imediata do sistema (em termos de desempenho). Espera-se, nessa fase, a obtenção de um documento que possa oferecer ao gestor um confronto do que foi projetado com o que foi praticado, identificando, em especial, quais as principais dissonâncias apresentadas, bem como os motivos dessas (coleta equivocada de dados, técnica não disponível no mercado, profissional não capacitado para execução etc.).

O objetivo principal dessa etapa é que o cadastro técnico torne-se elemento fundamental para a operação dos SAA. E este precisa ser o mais completo possível e atualizado. O registro e atualização constante dessas informações, tais como quebras, levam o decisor a identificar, mais rapidamente, pontos a serem melhorados.

ILUSTRAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para compreender melhor como o modelo proposto é aplicado, suponha uma rede de distribuição de água, em que já se realizou a etapa de caracterização (Fase 1).

A partir do o monitoramento da rede (Fase 2), a equipe técnica identificou alguns problemas candidatos a reabilitação (Fase 3). No entanto a empresa fornecedora de água necessita determinar as prioridades de ação, por dois motivos principais: custos e dimensão do problema (população que pode ser atingida pelo problema).

Neste caso, cinco critérios são definidos pelo decisor ou grupo de decisores envolvidos, para ranquear os problemas do mais urgente para o menos urgente, com base no trabalho de Feilberg (2007). Este destaca dois critérios para o grupo A e três para o grupo B, como os mais importantes para avaliação dos problemas dessa natureza. Assim, tem-se:

- A_1 - Número de usuários afetados com a intervenção (Por quanto tempo? Quanto custará a interrupção?).
- A_2 - Grau de comprometimento dos componentes da rede (Necessita de troca urgente? Que fatores podem contribuir para uma possível ruptura?). Grau de monitoramento da área afetada (Área toda monitorada? Em quais horários? São horários de pico?).
- B_1 - Frequência desse tipo de problema (anual, semestral, etc.).
- B_2 - Grau em que pode ser evitado (O problema é evitado com uma simples manutenção? Com a troca de componentes?).
- B_3 - Gravidade das consequências negativas (A técnica a ser utilizada é a mais complicada? Tem pessoal qualificado para executá-la? É muito cara?)

Os critérios do grupo A recebem a seguinte pontuação de acordo com sua avaliação: 3 – Alto; 2 – Médio; 1 – Baixo; 0 – Nulo/Nenhum. Do grupo B: 3 – Alto; 2 – Médio; 1 – Baixo. Assim sendo, a tabela 3 lista os problemas e mostra a avaliação do decisor, considerado os critérios do grupo A e B.

Tabela 3 - Exemplo de calculo da importância do problema (OS)

Problema	Grupo A		Grupo B			OS
	A_1	A_2	B_1	B_2	B_3	
Rupturas	3	3	3	2	3	72
Falhas	1	2	3	3	3	18
Interrupções	3	3	2	1	2	45

Nota: exemplo de cálculo do OS da 1ª linha: $(3 \times 3) \times (2 + 1 + 2) = 45$

Na tabela 3 tem-se o problema de rupturas como primeiro a ser resolvido por meio da reabilitação (maior OS), classificado como problema de máximo impacto negativo (ver tabela 2), seguido de interrupções, classificado como de significativo impacto negativo, e, por último, falhas, com classificação de moderado impacto negativo.

Na Fase 4 do modelo, com base no ranqueamento dos problemas dado pelo sistema WRIAM, o decisor deve ser questionado quanto às melhorias. Em outras palavras, o que deve ser reabilitado e como será executada a medida escolhida para determinado problema.

Nesta fase cada problema deve ser analisado separadamente dos demais. Isto porque cada problema apresentará uma complexidade diferente, seja pelo nível de urgência, seja pelo conjunto de alternativas admissíveis, e até mesmo pelos critérios de avaliação que influenciam a tomada de decisão final.

Vários cenários podem ser formulados, com alternativas de curto, médio e longo prazo. Assim sendo, usando-se como exemplo “Rupturas”, questionou-se ao decisor quais as alternativas que, dentro de seus conhecimentos, são possíveis ações de reabilitação para o problema. As seguintes alternativas foram listadas:

- S_1 - Reentubamento simples da parte danificada da tubulação;
- S_2 - Reentubamento simples de tubulação inteira;
- S_3 - Reentubamento com tubulação de parede dobrada (da parte danificada);
- S_4 - Reentubamento com tubulação de parede dobrada (da tubulação inteira);
- S_5 - Reentubamento por destruição da tubulação existente.

Para maiores informações sobre tipos de alternativas de reabilitação indica-se a consulta de Grilo (2007). A tabela 4 apresenta as alternativas de reabilitação, bem como sua avaliação quanto aos critérios: (C_1) custo de operação, (C_2) tempo de execução, (C_3) população atingida e (C_4) vida útil da alternativa após sua execução. Esta avaliação é dada pelo decisor mediante seu conhecimento e experiências no assunto.

Ao analisar as alternativas da tabela 4, percebe-se que uma avaliação destas sem o uso de um método específico pode ser muito complexa, uma vez que se têm alternativas muito boas em alguns critérios e muito ruins em outros. Neste momento,

como mencionado anteriormente, há inúmeras abordagens multicritério que podem ser utilizadas, mas a título de demonstração optou-se pela utilização do Promethee II, método de abordagem de sobreclassificação que fornece um ranqueamento das alternativas como solução final. Esse método é de fácil aplicação, não ocorrendo compensações entre as avaliações.

Tabela 4 - Alternativas de reabilitação para “Rupturas”

Alternativas	C ₁ (R\$)	C ₂ (h)	C ₃ (mil)	C ₄ (meses)
S1	5.000	50	40	5
S2	7.000	80	20	35
S3	20.000	70	10	10
S4	35.000	15	35	80
S5	13.000	25	5	60

OBS: valores associados às ações de reabilitação são apenas ilustrativos; existem outras alternativas viáveis no caso de rupturas e a seleção do conjunto de alternativas dependerá das características de cada problema e da opinião dos gestores.

No Promethee II, a cada critério j é dado um peso w_j . Os pesos são medidas de importância relativa do critério (BRANS & MARESCHAL, 2002). Neste trabalho, como se trata apenas de um exemplo, os critérios foram considerados de mesma importância, porém, isto deve ser avaliado pelo decisor. Deve-se ressaltar que nos critérios custo e tempo de execução deseja-se a minimização e nos demais a maximização.

Para a avaliação das alternativas é necessário definir uma função de preferência para cada critério que descreve a intensidade de preferência de uma alternativa ‘a’ sobre uma alternativa ‘b’, por um dado critério j (VINCKE, 1992). A preferência é expressa por um número no intervalo [0, 1], sendo 0 para não preferência ou indiferença e 1 para preferência estrita. A função de preferência de cada critério é determinada pelo decisor (ALBADVI *et al.*, 2007).

No exemplo é utilizada a função de preferência de critério usual, com avaliação 0 ou 1, ou seja, se a alternativa ‘a’ for preferível a ‘b’ receberá a avaliação 1, se for indiferente ou menos preferível, receberá 0. Porém, deve-se avaliar junto ao decisor se existem faixas de valores onde uma alternativa possa ser indiferente à outra em um determinado critério, ou a existência de intervalos de preferência estrita entre alternativas que caracterizem a função de preferência mais adequada a cada critério. A matriz de avaliação alternativa *versus* critério (ou decisores) pode ser visualizada na tabela 4.

O Promethee II provê um ranque completo das alternativas da melhor para a pior, por meio do fluxo líquido de sobreclassificação que é a diferença entre o fluxo positivo e o fluxo negativo, e representa o balanço entre a força e a fraqueza de cada alternativa. Quanto maior o fluxo líquido, melhor é a alternativa (MACHARIS *et al.*, 2004). Maiores informações sobre as funções de preferência e sobre os procedimentos de cálculos utilizados no Promethee II são encontradas em Belton & Stewart (2002); Vincke (1992); Macharis *et al.* (1998); e Macharis *et al.* (2004).

Assim sendo, o resultado do Promethee II pode ser visualizado na figura 2, obtido com o auxílio do Software *Decision Lab 2000*.

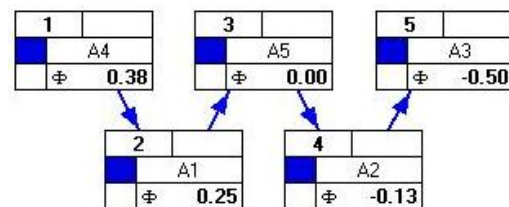


Figura 2 – Resultado pelo Promethee II, em que ϕ é o fluxo líquido de sobreclassificação.

Portanto, tem-se como alternativa de melhor compromisso a A4. Apesar de ser a mais custosa, esta é realizada em menor tempo de execução, atinge o segundo maior número de pessoas e tem a maior taxa de eficiência.

A última etapa do modelo refere-se à implementação, verificação e controle. Esta etapa consiste em avaliação e documentação. É importante registrar e avaliar a execução da alternativa escolhida. Nesta fase é avaliado se a alternativa cumpriu o esperado ou se será necessária outra(s) alternativa(s). Também serve como banco de dados de próximas reabilitações neste ponto, ou em outros, com problema similar.

DISCUSSÕES DO MODELO PROPOSTO

A escolha da plataforma WRIAM como sistema de informação é benéfica por esta ser capaz de avaliar questões, tais como: demanda por água, fatores econômicos, políticos, sociais e ambientais. Com esta proposta é possível atribuir valores quantitativos para assuntos subjetivos, por meio de pontuações

dadas pelo decisor com base em informações e/ou experiência profissionais.

No processo decisório destaca-se que a escolha do método a utilizar depende da problemática envolvida (escolha, classificação, ordenação) e do conjunto de alternativas disponível. Portanto, este pode mudar de problema a problema, devendo ser avaliado pelo decisor a cada novo procedimento. No entanto, esta discussão não é levantada neste trabalho, assumindo que o decisor seja capaz de fazer este tipo de análise do problema.

No caso ilustrado, embora a utilização do método Promethee II seja simples, a inferência de alguns parâmetros, tal como a função de preferência de cada critério, pode ser uma tarefa árdua. Este procedimento de estruturação do problema não é abordado de maneira clara pelo método se tornando uma limitação ao seu uso. Para minimizar este fato, é importante que os decisores estejam bem familiarizados com a metodologia escolhida, bem como terem conhecimentos suficientemente grandes nas questões de reabilitação de redes de distribuição de água para avaliar coerentemente as alternativas.

Outra característica que pode influenciar na escolha do método são os cenários analisados, com diferentes alternativas para cada nível temporal de gestão (curto, médio e longo prazo). No exemplo proposto considerou-se apenas um nível de prazo de execução (curto prazo). Uma análise aprofundada, a respeito de quais métodos são mais apropriados em cada horizonte de planejamento, é deixada como sugestão de futuros trabalhos.

Contudo, uma inovação do modelo proposto diz respeito à integração feita entre o sistema de informação e a abordagem de apoio à tomada decisão multicritério, o que propicia um auxílio ao decisor na avaliação de diferentes alternativas de reabilitação por diferentes critérios de avaliação, para este chegar a uma solução final de maneira mais clara, fácil, estruturada e objetiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes de distribuição de água apesar de terem características de grande durabilidade, estão envelhecendo e isso pode, dentre tantos fatores, oferecer riscos à saúde dos consumidores que têm acesso ao serviço de abastecimento de água e prejudicar o fornecimento em casos de quebras e vazamentos.

Portanto, a adoção de uma política para o monitoramento e reabilitação é essencial para a melhor gestão de uma rede de distribuição de água. O objetivo do modelo proposto é ter funcionalidades como a construção de cenários, com a avaliação do diagnóstico obtido; estabelecer um *ranking* de medidas, com prioridades de nível superior e inferior; detectar o mais rapidamente possíveis problemas e/ou oportunidades; ter a possibilidade de visualizar muitas informações, através de mapas, gráficos etc; e, ter acesso, de forma direta e flexível, a dados históricos e atualizáveis.

Entende-se que a adoção de uma forma sistematizada de planejar as ações de reabilitação pode amenizar os impactos provocados pelo tempo, pela falta de manutenção ou monitoramento adequados. Além disso, pode oferecer à sociedade um produto de qualidade e na quantidade suficiente para o consumo, evitando desperdícios e perdas desnecessárias. Ademais, permite aos fornecedores desses serviços evitar, ao máximo, operações onerosas que prejudicam não só o ambiente como também os usuários.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelas bolsas concedidas. Agradecem também as valiosas contribuições dos revisores anônimos.

REFERÊNCIAS

- ALBADVI, A.; CHAHARSOOGHI, S. K.; ESFAHANIPOUR, A. Decision making in stock trading: An application of Promethee. *European Journal of Operational Research*, v. 177, p. 673-683, 2007.
- ALEGRE, H., BAPTISTA, J. M., COELHO, S., DUARTE, P., LOUREIRO, D., MONTEIRO, J., RAMOS, H., E COVAS, D. *Apoio a EPAL no estabelecimento de uma estratégia de investimento na rede de distribuição de Lisboa: relatório preliminar das atividades A1 e A2* - versão para apreciação. LNEC, 2004.
- ALIBHAI, K. Problems facing water supply and sewage. In: *WEDC Conference, 22nd*, New Delhi, 1996.

- ARAÚJO, P. S.F. de; MOURA, E. F.S.C.; HAIE, N. Application of RIAM to the Environmental Impact Assessment of Hydroelectric Installations. *The fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources*. Guimarães - Portugal: 11-14, Jul 2005.
- BARBOSA, G. R. Sistemas de apoio à decisão sob o enfoque de profissionais de TI e decisores. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003. 96f. (Dissertação).
- BATEMAN, T. S.; SNELL, S. A. *Administração: construindo vantagem competitiva*. São Paulo: Atlas, 1998.
- BELTON, V. & STEWART, T. J. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- BRANS, J.P. & MARESCHAL, B. (2002). *PROMÉTHÉE-GAIA: une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples*. Éditions de L'Université de Bruxelles, Bruxelles.
- CHRISTODOULOU, S. & DELIGIANNI, A. A neurofuzzy decision framework for the management of water distribution networks. *Water Resour Manage*, v. 24: p.139-156, 2010.
- CIRILO, J. A.; OLIVEIRA, B.F.; AZEVEDO, J.R.G. Sistemas de informações sobre os recursos hídricos: o estado da arte. In: *Seminário de Sistemas de Informações Sobre Recursos Hídricos o Estado da Arte*, Recife: MMA-SRH, 2000.
- Decision Lab 2000. Disponível em <http://homepages.ulb.ac.be/~bmaresc/decision_lab.htm>
- FEILBERG, M. Introduction to WRIAM a tool to evaluate and rank water resources issues. In: *Presentation at regional workshop*, Batumi, 2007.
- GIROL, G. V. Análise de perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água no município de Capinzal – SC. Universidade Federal de Santa Catarina: 2008. (Dissertação)
- GOMES, H. P.; BEZERRA, S. T. M. Reabilitação de redes coletivas de sistemas pressurizados de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 457-463, out/dez. 2005.
- GRILO, T. V. Técnicas de Reabilitação de Sistemas de Abastecimento de Água Metodologia conceptual e aplicação a casos de estudo. Universidade Técnica de Lisboa. 2007. (Dissertação).
- MACHARIS, J.; BRANS, P.; MARESCHAL, B. The GDSS PROMETHEE procedure. *Journal of Decision Systems*, v. 7, p. 283-307, 1998.
- MACHARIS, C.; SPRINGAEL, J.; BRUCKER, K. DE; VERBEKE, A. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, v. 153, p. 307-317, 2004.
- MATTHEWS, J.; CONDIT, W.; MCKIM, R. Decision support for renewal of wastewater collection and water distribution systems. *U.S. Environmental Protection Agency*. 2011. (www.epa.gov/nrmrl)
- MILICEVIC, D.; MILENKOVIC, S.; MILICEVIC, S. Water Distribution and Sewer System Modeling Like Prereasons of Succesfull Reconstruction/ Rehabilitation. *BALWOIS 2010 - Ohrid*, Republic of Macedonia - 25, 29 May 2010.
- MOGLIA, M.; BURN, S.; MEDDINGS, S. Decision support system for water pipeline renewal prioritisation. *The Journal of Information Technology in Construction - IT con*, v. 11, special issue, p. 237-256, May. 2006.
- MORAIS, D. C. & ALMEIDA, A. T. de. Group decision-making for leakage management strategy of water network. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52: p. 441-459, 2007.
- MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. de. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. *Pesquisa Operacional* (Impresso), v. 30, p. 15-32, 2010.
- MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B.; MACHELL, J. 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*, v. 136: p. 309-318, 2010.
- PASTAKIA, C.R. & JENSEN, A. The rapid impact assessment matrix (Riam) Forcia. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 18, p. 461-482: Sep. 1998.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1996.

ROY, B. & BERTIER, P. La méthode Electre II – une application au média-planning. *Operational Research*, p. 291-302. 1973.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. N. York: McGraw-Hill, 1980.

SAEGROV, S.; BAPTISTA, J.F.M.; CONROY, P.; HERZ, R.K.; LEGAUFFRE, P.; MOSS, G.; ODDEVALD, J.E.; RAJANI, B.; SCHIATTI, M. Rehabilitation of water networks: survey of research needs and on-going efforts. *Urban water*, v. 1, n. 1, p. 15-22, mar. 1999.

SAVIC, D.; WALTERS, G.; ASHCROFT, P.G.; ARSCOTT, A. Hydroinformatics technology and maintenance of UK water networks. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 3, n. 4, p. 289-301, abr. 1997.

SHERALI, H. D.; SMITH, E. P. A global optimization approach to a water distribution network design problem. *Journal of Global Optimization*, v. 11, n. 2, p. 107-132, set. 1997.

STONE, S. J., E. DZURAY, D. MEISEGEIER, A. DAHLBORG, AND M. ERICKSON. Decision-support tools for predicting the performance of water distribution and wastewater collection systems. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-02/029 (NTIS PB2003103052), 2002.

TURBAN, E. ARONSON, J. E. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. 5. ed. USA: Prentice Hall, 1998.

VENTURINI, M. A. A. G.; BARBOSA, P. S. F. Subsídios à escolha de técnicas de reabilitação de redes de distribuição de água. In: Seminário de Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água: *O Estado da Arte e Questões Avançadas*, João Pessoa. Anais. 2002.

VILAS BOAS, C. de L. Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2005.

VINCKE, P. *Multicriteria decision aid*. Bruxelles, Jonh Wiley & Sons, 1992.

Model Of An Information And Decision-Making System For Rehabilitation Interventions In Water Distribution Networks

ABSTRACT

Problems of Water Distribution Networks (WDN) due to the aged infrastructure range from structural to hydraulic and they may lead to inadequate supply, causing the water loss indexes to rise leading to user dissatisfaction. In this context, the decisions about distribution network rehabilitation are complex, not only because of their importance, but due to the great number of possible alternatives and the criteria that can be used to evaluate them, as well as existing conflicts, such as cost of the alternatives versus their benefit. This article, therefore, proposes a model of an information and decision-making system that, besides collecting data and supplying information that is relevant to the problem, helps the stakeholder to really decide which rehabilitation alternative should be adopted for each problem diagnosed, considering the multiple evaluation criteria involved. It is thus expected to make the integrated process of water distribution networks easier, to provide a satisfactory quantity and quality of service to the population.

Key-words: Information and decision-making systems, water resources, water distribution networks , rehabilitation interventions