



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPOSIO LUSO-BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
SISTEMAS DE COLECTA, TRATAMENTO E
DISPOSIÇÃO FINAL DE ESGOTOS SANITÁRIOS
ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO PARA REDES
DE COLECTORES DE ÁGUAS RESIDUAIS

António S. Câmara^{1,3}, David Pereira², Ana T. Janeiro³
e Alexandra Fonseca

¹ PhD em Engenharia Civil (Virginia Tech), Professor
Auxiliar, Departamento de Ciências e Engenharia do
Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal

² Engenheiro Civil (FTUC) e Engenheiro Sanitarista (Delft),
Assistente, Departamento de Ciências e Engenharia do
Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal e
Colaborador, CESL, Lisboa, Portugal

³ Alunas finalistas, Departamento de Ciências e Engenharia
do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal

RESUMO

Neste trabalho apresentam-se os primeiros resultados de um programa de investigação que visa a formulação de um modelo matemático computadorizado aplicável a redes de dimensão média a grande e que pretende definir quais as operações de manutenção (inspecção e limpeza periódica, reparação/substituição), sua extensão e timing, por que uma autarquia deve optar de forma a minimizar custos e maximizar a qualidade do serviço da rede.

Na fase actual, desenvolveram-se simples exercícos de simulação que visam demonstrar a utilidade de práticas de manutenção preventiva e apontam-se dados que se torna necessário colher para implementar uma base racional de decisões.

1. INTRODUÇÃO

Situações de entupimento, infiltrações, fugas, produção de gases e roturas são alguns dos problemas decorrentes da operação de redes de colectores de águas residuais. A resolução destes problemas por parte das autarquias exige a adopção de práticas de manutenção.

A esmagadora maioria dos serviços municipais portugueses tem conduzido a manutenção dos seus sistemas numa perspectiva correctiva -- não se previne, remedeia-se. Estudos recentes realizados nos Estados Unidos têm demonstrado que se podem obter economias significativas e condições de serviço nas redes substancialmente melhoradas quando a definição das estratégias de manutenção é realizada utilizando uma base racional assente numa filosofia preventiva.

Neste trabalho pretende-se mostrar o interesse em obter um sistema que permita a tomada de decisões associadas com a manutenção de redes de colectores de águas residuais numa perspectiva preventiva, recorrendo-se a exercícios de simulação simples. Subsequentemente apresenta-se a estrutura de um modelo matemático computadorizado aplicável a redes de dimensão média a grande que pretende definir quais as operações de manutenção (inspecção e limpeza periódica, reparação/substituição), sua extensão e "timing", por que uma autarquia deve optar de forma a minimizar custos e maximizar a qualidade do serviço da rede.

2. TIPOLOGIA DAS OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO

Na Tabela 2 apresenta-se uma tipologia dos principais problemas ligados à operação de colectores de águas residuais, seus impactes, causas e métodos de solução. Entendeu-se que esta sistematização facilita grandemente a compreensão da problemática da manutenção e conseqüentemente a formulação do modelo que se pretende criar.

Esta classificação auxiliará também ao planeamento de bases de dados, necessárias para implementar o referido modelo. Mencione-se que que a estrutura dos sistemas de informação assentará no cadastro minucioso da rede de colectores de águas residuais.

3. FORMULAÇÃO DE UMA BASE RACIONAL PARA A MANUTENÇÃO DE COLECTORES DE ÁGUAS RESIDUAIS

Nesta secção pretende-se ilustrar as vantagens de práticas de manutenção preventiva para dois dos problemas citados na Tabela 2: rotura mecânica e acumulação de materiais. A análise realizada para estes casos é extensível aos problemas relacionados com fugas, infiltrações e produção de gases. Na parte final apresenta-se a base do modelo matemático computadorizado a desenvolver, enumerando-se os dados que se tornará necessário colher para o implementar.

3.1 Comparação de duas formas de abordagem dos problemas de manutenção

3.1.1 Decisões reparação/substituição

Sempre que ocorrem situações de rotura mecânica dos colectores de águas residuais e admitindo que se pretendem restaurar as condições normais de funcionamento da rede, existem duas opções: reparar ou substituir. A escolha de uma destas opções numa perspectiva preventiva exige a determinação do tempo óptimo de substituição. Numa visão correctiva, ou se substitui demasiado cedo ou, a situação mais frequente, se substitui demasiado tarde, normalmente quando o colector abate.

TABELA 1

TIPOLOGIA DAS OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO DE COLECTORES DE ÁGUAS RESIDUAIS

Problemas	Valores Típicos	Impactes	Causas	Métodos de Solução
1. Acumulação de materiais	Ex: C.M. de Almada. tem de desassorear 2,5 km de rede / ano	.redução da capacidade hidráulica .ascensão à via pública -impactes na saúde públ.	.colectores com declives baixos .inexisten- cia de manut.	.evitar lançamentos inde- vidos de materiais nos colectores .limpeza da bacia, sarje- tas .limpeza periódica dos colectores .desassoreamento
2. Fugas	.3-100l/min por junta	.contamina- ção de aqui- feros	.juntas -roturas	.inspecção das ligações domiciliarias .controle dos caudais .inspecção de rotina da rede ."selagem" das juntas .controle de raízes de árvores
3. Infiltrações	.7-40m ³ /ha de bacia de recep. por dia	.diminuição capac. trans. .sobrecarga est. elev. e ETAR's	.juntas -roturas	ver métodos de solução para o caso 2
4. Roturas	.registaram-se 12 casos de abatimento de colectores na C.M. de Almada	.interrupção de serviço .impactes da substituição no tráfego, comércio	.assent. deficiente. .carga .mov. do solo .raízes .juntas defeituosas .corrosão H ₂ S	.controle de raízes .reparação local ."relining" .substituição do colector .evitar lançamento de materiais nocivos .limpeza
5. Gases		.odores .acidentes por explosão	.descargas materiais nocivos -industria -garagens .fugas de gás	. "traps" nas industrias e garagens .detectar fugas de gás .limpeza, arejamento

De acordo com Karaa (Karaa, 1983) o tempo óptimo de substituição é encontrado minimizando os custos actualizados das despesas futuras em manutenção e substituição. O tempo óptimo de substituição será pois a solução do problema

$$\min \sum_{t=t_p}^{t_k} \frac{C_M(t)}{(1+R)^{t-t_p}} + \frac{C_R}{(1+R)^{t-t_p}}$$

em que:

$C_M(t)$ = custo de manutenção de um dado colector no ano $t = C_b \cdot N(t)$

C = custo de uma reparação

$N(t)$ = numero de roturas esperado no ano t se o colector não foi substituído nesse ano

Shamir e Howard, 1979 derivaram uma fórmula para $N(t)$. Segundo eles:

$$N_1(t) = N_1(t_0) \cdot \exp(A(t-t_0))$$

em que:

t = tempo em anos

l = índice do colector

$N(t)$ = numero de roturas por 300 metros lineares de colector no ano t

A = parametro que depende da idade, profundidade, carga e tipo de assentamento do colector; varia entre 0.01 e 0.15

$N(t_0)$ = constante igual a 0.1-0.2

C_r = custo de substituição

R = taxa de juro

t_p = tempo presente em anos

Ainda segundo Karaa (Karaa, 1983), o caso contínuo pode ser formulado como a minimização de

$$\int_{t_p}^{t_k} C_M(t) e^{-R(t-t_p)} dt + C_R \cdot e^{-R(t_k-t_p)}$$

A solução deste problema pode ser encontrada diferenciando a função e igualando o diferencial a zero. O valor encontrado para o tempo óptimo de substituição é então:

$$t_k = t_0 + \frac{1}{A} \ln \left[\frac{R \cdot C_R}{N(t_0) \cdot C_b} \right]$$

É possível portanto obter para cada colector o seu tempo óptimo de substituição ou pelo menos um tempo aproximado. O principal problema desta metodologia reside na determinação do coeficiente A . Cálculos utilizando dados de Almada demonstraram porem que é possível estimar valores aproximados. Existe também informação razoavelmente fiável sobre custos de reparação e substituição nessa autarquia pelo que se presume que outras Camaras do país possam também obter uma estimativa do tempo óptimo de substituição para as suas redes e assim melhorar as actuais práticas de manutenção.

3.1.2 Decisões limpeza periódica/desassoreamento

Numa análise comparativa da opção limpeza periódica/assoreamento perante o problema de depósito contínuo de materiais em determinados pontos do colector estamos a avaliar uma prática de manutenção preventiva (limpeza periódica) e uma prática de manutenção correctiva (desassoreamento--normalmente realizado em situações de entupimento).

É relativamente fácil provar que a limpeza periódica é bem mais económica do que o desassoreamento. Utilizando uma camara de corrente de varrer, cada limpeza custará aproximadamente 5\$00/metro linear de colector. O custo de um desassoreamento, mesmo não considerando os custos sociais decorrentes de uma situação de entupimento, importam em cerca de 1000\$00/metro linear (experiencia de Almada).

Assim com 1000\$00 poderemos realizar 200 limpezas por metro de colector. Admitindo uma frequencia de 4 limpezas por ano, poderíamos pois realizar com as verbas de um desassoreamento quase meio século de limpezas. Como os entupimentos numa rede plana ocorrem em bem menores intervalos de tempo se não se registarem cuidados com a manutenção da rede, é obviamente aconselhável optar pela limpeza periódica dos colectores e sobretudo daqueles que são mais propicios a situações de entupimento.

Escolhida a prática preventiva ter-se-á de determinar qual a periodicidade de limpeza e quais os colectores prioritários. Neste ultimo caso, poder-se-á utilizar um modelo hidráulico de transporte de sólidos para detectar os locais criticos da rede mas provavelmente observações empiricas chegarão para se obter uma informação sobre as condições de deposição de materiais nos diversos colectores do sistema. Em relação ao primeiro ponto, ter-se-á de obter os custos associados com diversas frequencias de limpeza o que não parece ser problemático e depois estimar os beneficios dessas frequencias, em termos do aumento da capacidade hidráulica dos colectores. A periodicidade optima será aquela em que os custos marginais igualam os beneficios marginais.

3.2 Desenvolvimento de um modelo para a manutenção de uma rede de colectores de águas residuais

Pretende-se desenvolver um modelo matemático computadorizado que tenha como variáveis de decisão a frequencia, "timing" e localização das inspecções, limpezas, reparações e substituições de colectores de águas residuais interagindo uma rede e objectivos a minimização de custo anual e o assegurar de condições de serviço com um grau de qualidade a definir. Este é um problema tipico de optimização combinatorial com variáveis inteiras.

Provou-se que se não existirem restrições orçamentais podemos tomar decisões óptimas no que se refere à substituição/reparação de colectores e sua limpeza pois podemos determinar os seus tempos óptimos de substituição e frequencias óptimas de limpeza. Os dados que permitem a tomada dessas decisões não são muitos: custo médio de reparação, custo de substituição, valores para o coeficiente A, custos e beneficios associados com diferentes periodicidades de limpeza. Embora não seja obviamente possível obter valores rigorosos para algumas destas variáveis poder-se-á trabalhar com valores aproximados e não obter erros substanciais.

Na realidade existem restrições orçamentais pelo que o modelo deverá ser formulado de forma a estipular valores para as variáveis de decisão tendo em conta essas restrições e como objectivo a manutenção de condições de serviço satisfatórias. A natureza combinatorial do problema e o facto das variáveis serem inteiras sugere a adopção de um algoritmo eficiente de programação inteira. De momento pensa-se que de acordo com a experiencia de Karaa (Karaa, 1983) esse algoritmo utilize uma relaxação lagrangiana. Outros algoritmos serão porem avaliados num futuro próximo.

4. CONCLUSÕES

A maioria dos serviços municipais portugueses tem conduzido a manutenção dos seus sistemas de colecção e transporte de águas residuais numa perspectiva correctiva. Neste trabalho demonstra-se que a adopção de práticas de manutenção preventiva permitirá obter economias significativas e condições de serviço substancialmente melhoradas. Para tal foram utilizados dois casos simples envolvendo decisões reparação/ substituição e limpeza periódica/ desassoreamento.

Na parte final do trabalho introduz-se um modelo matemático computadorizado a desenvolver referindo-se os dados que se tornará necessário colher para o implementar. Este modelo assentará fundamentalmente num algoritmo de programação inteira.

REFERENCIAS

1. Blanchard, B.S. e W.J. Fabrycky, Systems Engineering and Analysis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1981.
2. Caldwell, J., "When to Repair, Rehabilitate or Replace Sewers", Water Pollution Control Federation, Deeds and Data, 18, 12, 1981.
3. Clark, R. M et al., "A Spatial and Cost Evaluation", Journal of the Water Resources Planning and Management Division, ASCE, 108, WR3, 1982.
4. Huber, J.L., "Water Main Replacement and Rehabilitation", 1980 AWWA Annual Conference Proceedings, 1980.
5. Karaa, F. A., "Maintenance Decision-Making in Urban Water Distribution Systems", tese de Master of Science in Management, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Ma., 1983.
6. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Collection and Pumping of Wastewater, McGraw Hill, New York, N.Y., 1981.
7. O'Day, O. K., "Organizing and Analyzing Leak and Break Data for Making Replacement Decisions", Journal AWWA, 589, 1982.
8. Shamir, V. e C. Howard, "An Analytic Approach to Pipe Replacement", Journal AWWA, 248, 1979.
9. Steel, E.W. e T. J. McGhee, Water Supply and Sewerage, McGraw Hill, New York, N.Y., 1979.
10. Sullivan, J., "Maintaining Aging Systems-Boston's Approach", Journal AWWA, 555, 1982.
11. Walski, T., "Economic Analysis of Rehabilitation of Water Mains", Journal of the Water Resources Management Division, ASCE, 108, WR3, 1982.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração do Eng. Maia da Câmara Municipal de Almada.