



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS DE  
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA URBANOS E REGIONAIS

Maria Helena Alegre <sup>(1)</sup>

Jaime Melo Baptista <sup>(2)</sup>

José Miguel Maia <sup>(3)</sup>

#### RESUMO

Tem-se assistido nos últimos anos em Portugal a um crescente interesse das entidades exploradoras de sistemas de abastecimento de água pela utilização de modelos matemáticos de simulação, para apoio à operação dos sistemas.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) tem vindo a desenvolver esses modelos, com aplicação a alguns dos mais importantes sistemas de abastecimento de água do País.

A experiência entretanto adquirida tem feito salientar diferenças sensíveis entre os modelos de sistemas urbanos (por exemplo a nível de cidade) e de sistemas regionais (por exemplo a nível de concelho). Essas diferenças residem quer nos objectivos a atingir com a modelação dos sistemas, quer nas características a que o modelo deve obedecer, quer ainda nos métodos de calibração a seguir em cada um dos casos.

O objectivo fundamental desta comunicação é portanto mostrar as especificidades de cada um dos dois tipos de modelos, apresentando-se sucintamente exemplos de sistemas de distribuição de água urbanos e regionais modelados matematicamente no LNEC.

---

(1) Engenheiro Civil (IST), Assistente de Investigação do LNEC

(2) Engenheiro Civil (UP), especializado em Engenharia Sanitária (UNL), Investigador Auxiliar do LNEC

(3) Engenheiro Civil (FEC), Chefe dos Serviços de Água e Saneamento dos SM de Almada

## MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUAS URBANOS E REGIONAIS

### 1 - INTRODUÇÃO

Iniciou-se em 1980 no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um projecto de investigação que tinha como objectivo último a implementação de novos métodos de dimensionamento económico de sistemas de distribuição de água (i) de qualquer dimensão e com qualquer tipo e número de elementos (1).

A primeira das três fases desse projecto pretendia focar, não ainda o dimensionamento, mas apenas o equilíbrio hidráulico deste tipo de sistemas. A justificação era não só preparar uma rotina de equilíbrio hidráulico que pudesse apoiar eficientemente o dimensionamento como também implementar uma nova forma de apoio à operação e gestão de sistemas, designada por simulação (ii).

É exactamente a simulação matemática de SDAs que se refere esta comunicação, numa perspectiva comparativa de modelos de sistemas urbanos e de sistemas regionais, que constituem os dois casos mais representativos.

### 2 - EXEMPLOS DE SDA MODELADOS NO LNEC

O primeiro SDA modelado matematicamente em Portugal com objectivos de simulação foi o da cidade de Almada em 1982, abastecendo mais de 50 000 habitantes (3), por solicitação dos Serviços Municipalizados de Almada (SMA).

Em 1983, a Empresa Pública de Águas Livres (EPAL) encomendou ao LNEC a construção do modelo matemático do SDA da cidade de Lisboa, indispensável para a correcta gestão. Este sistema, considerando os concelhos limítrofes dele dependentes, abastece mais de milhão e meio de habitantes. O modelo, já construído, encontra-se em fase de calibração, com a participação dos serviços técnicos responsáveis pelo sistema.

Em 1983 os SMA voltaram a solicitar ao LNEC a construção de um outro modelo matemático, não referente à cidade de Almada mas a todo o Concelho. Esse modelo deveria compreender as captações, elevações, aduções e armazenamentos, e tinha como objectivo melhorar a gestão global do abastecimento concelhio, que alimenta cerca de 100 000 habitantes.

Em 1984 os Serviços Municipalizados do Barreiro (S.M.B.) solicitaram ao LNEC a construção do modelo matemático do SDA do Concelho, abrangendo captações, elevações, aduções, armazenamentos e distribuições para 90 000 habitantes.

Como se pode verificar, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil tem vindo a desenvolver modelos matemáticos fundamentalmente para dois tipos de sistemas de abastecimento, os urbanos e os regionais.

Os sistemas urbanos caracterizam-se por terem fundamentalmente uma função distribuidora, enquanto que os sistemas regionais (concelhos ou inter - concelhos) têm uma função global de captações, elevações, aduções e armazenamentos, alimentando depois os sistemas urbanos.

Os modelos referidos das cidades de Almada e Lisboa são tipicamente sistemas urbanos, enquanto que o do concelho de Almada é tipicamente regional. O do Barreiro é simultaneamente urbano e regional.

Sendo o objectivo desta comunicação mostrar as especificidades de cada um dos tipos de modelos, seleccionaram-se como típicos o SDA da cidade de Almada (urbano) e o SDA do concelho do mesmo nome (regional), pelo que seguidamente se fará uma descrição sucinta de cada um.

(i) Ao longo da comunicação serão referidos pela sigla SDAs

(ii) A rotina de equilíbrio hidráulico foi implementada a partir do algoritmo de Epp e Fower (2), cedido pelo Instituto Superior Técnico.

### 3 - SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA À CIDADE DE ALMADA

#### 3.1 - Descrição

A cidade de Almada é sede do concelho do mesmo nome e situa-se na margem sul do Rio Tejo, albergando actualmente uma população superior a 50 000 habitantes e a apresentando uma elevada taxa de crescimento.

Tendo sido recentemente remodelado por completo, o sistema de distribuição de água pode considerar-se actualizado e bem dimensionado. É constituído por um conjunto de reservatórios de armazenamento apoiados, localizados na zona do Pragal, que alimenta uma extensa rede mista, cobrindo praticamente toda a cidade. A rede está dividida em dois andares de pressão, devido à grande variação topográfica, definindo as designadas Zona Alta e Zona Baixa.

O SDA apresenta actualmente um total de 762 troços, 625 nós e 150 malhas, resumindo-se os elementos especiais aos reservatórios que alimentam o sistema e a duas válvulas redutoras - estabilizadoras de pressão, uma para separar a Zona Alta da Zona Baixa e outra para controlar a pressão num troço ramificado que vai alimentar a zona ribeirinha.

As condutas de distribuição são em fibrocimento, com diâmetros variáveis entre 80 e 700 mm.

#### 3.2 - Aquisição de dados sobre os componentes do sistema

Para a construção do modelo matemático do SDA de Almada foi obviamente necessário compilar informações sobre as condutas, os reservatórios e as válvulas redutoras de pressão.

Esses elementos foram extraídos do cadastro do sistema, completados com informações adicionais dos SMA. Elementos adicionais como a rugosidade das tubagens, que para o mesmo material variam com a idade respectiva, foram facilmente estimáveis por se tratar de um sistema novo, portanto sem envelhecimento sensível.

No que respeita aos consumos, não é feita a sua medição nos pontos de alimentação (reservatórios) nem no ponto de ligação entre os andares de pressão, ou seja, não há informação rigorosa em termos de macromedição. Foi apenas possível recorrer ao registo de caudais elevados na Central Elevatória de Corroios que, desprezando eventuais perdas e deduzindo uma pequena parcela que não se destina a alimentar a rede, pode ser considerado o caudal diário de alimentação. Pela inexistência de outros dados foi necessário estimar factores de ponta para estimar caudais instantâneos, que vieram a ser introduzidos no modelo. A sua evolução ao longo do tempo foi feita com base na previsão efectuada no projecto de remodelação(4).

Os valores de consumos obtidos, embora não rigorosos, permitiram no entanto tornar o modelo operacional e obter umas quantas informações importantes. Durante a fase de calibração estes valores serão naturalmente verificados e corrigidos.

#### 3.3 - Simulações efectuadas

Após a conclusão do modelo matemático, foram de imediato definidos seis situações possíveis de funcionamento para efeitos de simulação. Pretendia-se com elas ganhar alguma sensibilidade ao sistema, tanto em condições normais como em condições excepcionais de funcionamento.

Como situações normais simularam-se as hipóteses de funcionamento para os caudais de ponta no ano 2 000 e no ano 1983 e para os caudais médios diários no ano 1983. Constata-se um bom funcionamento actual do sistema e alguma deficiência no horizonte de projecto, em termos de velocidades excessivas nos troços, parcialmente provocados por alterações ao projecto efectuados durante a obra.

Como situações anormais simularam-se as hipóteses de incêndio na zona hidraulicamente mais desfavorável da cidade e de rotura num troço principal da Zona Alta, tendo-se constataado uma excelente resposta do sistema.

Simulou-se ainda a possibilidade de ligação da Lisnave ao sistema público

para os caudais de ponta no ano 2000, tendo-se constactado, tal como os SMA receavam, que essa ligação iria prejudicar gravemente o funcionamento global do SDA.

### 3.4 - Utilização do modelo

Com a construção do modelo matemático, os SMA passaram a dispor de uma eficiente ferramenta de apoio à operação e gestão do SDA de Almada, capaz de dar em poucos segundos uma resposta correcta a qualquer situação que se possa deparar aos técnicos responsáveis.

Foram já posteriormente simuladas situações que preocupavam os SMA. A primeira dizia respeito à ligação a Almada de uma nova grande urbanização (PP7), que se verificou ser possível desde que se reforçasse a ligação dos reservatórios à rede através de uma conduta antiga que está fora de serviço. A segunda situação dizia respeito à necessidade de reforçar os pontos de ligação entre os dois andares de pressão, já detectada na primeira simulação, e foi resolvida pela instalação de mais duas válvulas redutoras de pressão.

Em qualquer destes casos se verificou a enorme vantagem da utilização de um modelo de simulação, pela rapidez e rigor com que permite tomadas de decisão.

É obviamente indispensável manter o modelo permanentemente actualizado, tanto em termos de geometria como em termos de consumos, o que tem vindo a ser feito.

## 4 - SISTEMA DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA AO CONCELHO DE ALMADA

### 4.1 - Descrição

O sistema de captação, adução e armazenamento de água do concelho de Almada abrange, além do próprio concelho, uma parcela significativa do município vizinho do Seixal, onde se situam a quase totalidade das captações.

A distribuição é feita a partir de quinze unidades de armazenamento situados por todo o concelho de Almada. A necessidade de consideração, para efeitos de modelação matemática, de torres de pressão separadamente de outros tipos de reservatórios (apoiados ou semi-enterrados), devido às diferenças significativas de cotas piezométricas, eleva o número total destes elementos a 20. O Quadro 1 apresenta a designação, o tipo e o volume de cada um.

A interligação entre as captações, os reservatórios e as centrais elevatórias é feita por uma rede de adutores de fibrocimento, sem distribuição de percurso, com uma extensão total de 64231 m. Os diâmetros variam entre 80 e 500 mm.

Os grupos elevatórios do sistema situam-se junto às captações, nas estações elevatórias intermédias, junto aos reservatórios apoiados que abastecem torres de pressão, e junto de alguns reservatórios que, além de fazerem distribuição, são também reservatórios de passagem. No modelo matemático foram considerados um total de 12 instalações elevatórias.

Em regra as captações não foram incluídas directamente no modelo, porque o seu funcionamento é constante no tempo e não conduz a problemas de gestão significativos. Optou-se por considerar o sistema a partir das estações elevatórias intermédias, que recebem água de um conjunto de furos de captação e a bombam para condutas elevatórias ligadas a reservatórios de armazenamento. Incluem-se neste caso as estações elevatórias de Vale de Milhaços (800 m<sup>3</sup>/h), de Quinta da Bomba (550 m<sup>3</sup>/h), e de Corroios (550 m<sup>3</sup>/h). Constituem excepção os furos de captação situados em Sobreda (75 m<sup>3</sup>/h) e em Niza (60 m<sup>3</sup>/h), que, por bombarem directamente para a rede, foram incluídos no modelo.

No modelo matemático consideram-se 89 troços e 77 nós, 6 redutores de pressão e 18 válvulas de retenção, assim como diversas válvulas de seccionamento (fechadas ou parcialmente abertas), variando em número e grau de abertura com a hipótese de funcionamento simulada. As cotas piezométricas variam entre 4,45 m e 147,0 m.

Note-se a diferença de valores da razão entre nº de nós do sistema e o número de reservatórios e de instalações elevatórias, que no caso do sistema urbano é cerca de 700:1, contra 77:32 no sistema regional.

QUADRO I  
CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS

LOCALIZAÇÃO	APOIADO OU SEMI-ENTERRADO		ELEVADO	
		Volume (m <sup>3</sup> )		Volume (m <sup>3</sup> )
Laranjeiro	*	1 650	-	
Feijó	*	2 000	*	750
Pragal	*	21 000	-	
Cristo-Rei	-		*	100
Corroios	*	500	-	
Raposo	*	20 000	*	990
Monte de Caparica	*	3 000	*	100
Murfacém	*	1 500	-	
Lazarim	*	5 000	*	400
Estrelinha	*	1 500	*	100
Fonte-Santa	*	300	-	
Lisnave	*	150	-	
Brielas	*	3 000	-	
Pica-galo	*	1 500	-	
Trafaria	*	250	-	250

#### 4.2 - Aquisição de dados sobre os componentes do sistema

Tal como no caso do modelo do sistema urbano, houve que compilar informação sobre as condutas, os reservatórios, as instalações elevatórias e as válvulas do sistema, trabalho que contou com a participação activa dos SMA.

Os elementos referidos às condutas adutoras foram extraídos do cadastro. Não foi possível recolher informações exactas sobre a idade de cada troço. Desta forma, será através da calibração que se poderá vir a corrigir rugosidades eventualmente mal arbitradas. Recordá-se que se trata de condutas de fibrocimento, material que não apresenta em geral variações significativas de rugosidade com o envelhecimento.

As características de cada reservatório (capacidade, cota de soleira e cotas da superfície livre) foram extraídas do cadastro do sistema cedido pelos SMA, assim como a localização e tipo de válvulas.

As instalações elevatórias das quais, para efeito do estudo em causa, interessa conhecer as curvas características, foram os elementos que mais dificuldades trouxeram à recolha de dados. Por um lado eram muito poucos os casos em que se dispunha das curvas características das bombas, por outro, mesmo as existentes não correspondem já à realidade, devido ao desgaste entretanto sofrido pelo material.

Tal como na grande maioria dos sistemas, todos os grupos são de velocidades constante, procurando-se variar ao mínimo o ponto de funcionamento da bomba de modo a garantir um bom rendimento. Conhecidos que são os caudais bombados, com um nível de confiança aceitável, e dado que as bombagens são sempre efectuadas da câmara de aspiração para um reservatório de cota piezométrica conhecida, o problema fica hidraulicamente definido, desde que as perdas de carga contínuas sejam correctamente determinadas. Foi esta a base da metodologia utilizada na modelação das instalações elevatórias: para os caudais médios bombados, calcularam-se alturas manométricas correspondentes (incluindo as perdas de carga localizadas a jusante dos grupos) como sendo a soma do desnível a vencer com as perdas de carga contínuas. Seguidamente considerou-se uma curva características fictícia que contivesse em cada caso o ponto de funcionamento correcto, em vez de considerar a curva característica real. No capítulo 5.3 propõe uma metodologia de calibração para a determinação das curvas correctas.

Para finalizar, analisa-se o problema da estimação de consumos. Presentemente os SMA não têm elementos fiáveis sobre os consumos de água que cada reservatório deve fornecer, nem mesmo conhecem com um mínimo de rigor exigível as áreas de influência de cada um deles nem, conseqüentemente, as populações servidas. Os SMA prevêem que a delimitação das áreas de influência venha a ser feita a um prazo não muito longo, embora incompatível com o prazo esperado para as primeiras utilizações práticas do modelo. A instalação de debitómetros para contabilização dos caudais distribuídos é de momento inviável dado o investimento necessário. Estas razões fizeram com que não se justificasse a alteração do programa de cálculo automático utilizado de forma a incluir uma sobrotina de gestão de "stocks". Este assunto voltará a ser afluído no ponto 5. Note-se que, não sendo feita uma análise de evolução de "stocks", não é necessário, do ponto de vista hidráulico, conhecer os caudais distribuídos pelos reservatórios.

#### 4.3 - Simulações efectuadas

Ao contrário do que aconteceu no caso do sistema urbano, não é possível dar um significado físico a cada uma das situações simuladas. Como se trata de um modelo exclusivamente de equilíbrio hidráulico, não há interferência entre as adutoras ligadas ao mesmo reservatório. Somente interessa testar hipóteses diferentes de funcionamento de bombagem de uma dada instalação elevatória, ou circuitos diferentes pelos quais um dado reservatório pode ser abastecido. Através de seis hipóteses diferentes de funcionamento, conseguiram-se cobrir as situações normais de funcionamento e ainda as situações de eventual rotura em alguns troços.

Como conclusão geral pode-se dizer que as zonas críticas do sistema são as condutas gravíticas, com grandes desníveis entre reservatórios, em que é necessário

nobras de válvulas mais indicadas para cada situação (quer normal quer de emergência); permite pesquisar soluções conducentes a menores custos de energia, desde que se estabeleça a relação caudal bombado - energia consumida para cada grupo elevatório; permite aproveitar globalmente a capacidade de elevação, de transporte e de armazenamento dos sistemas.

## 5.2 - Exigências de eficiência dos modelos

Ao escolher-se a metodologia a adoptar para modelar matematicamente SDAs, a primeira decisão a tomar é a de optar entre um conjunto de técnicas suficientemente genéricas de modo a permitir a sua utilização para sistemas urbanos e para sistemas regionais, ou se, pelo contrário, se torna a sua utilização mais restrita. A decisão deve ser tomada ponderando os diversos factores em jogo:

- a) Nem sempre os sistemas podem ser classificados facilmente como urbanos ou como regionais, sendo vulgares as situações intermédias.
- b) Os programas de cálculo automático a utilizar não devem ser demasiado limitados ao sistema a que se vão aplicar. Mesmo que não se pretende vir a aplicá-los a outro sistema diferente, devem ter-se em conta possíveis alterações a introduzir (por exemplo novas urbanizações ou novas origens de água).
- c) Aos programas de uso muito geral são feitas simultaneamente exigências difíceis de compatibilizar, senão antagónicas.

Seguidamente analisam-se alguns qualificadores que permitem avaliar a eficiência de um programa de cálculo automático que serve de suporte à modelação de SDAs em geral (seja regional seja urbano):

- a) Aplicabilidade a SDAs malhados, ramificados, ou mistos - Trata-se de um atributo essencial sem o qual o programa é demasiado limitativo.
- b) Aplicabilidade a SDAs com qualquer combinação de reservatórios, instalações elevatórias, instalações sobressoradoras, redutores de pressão e válvulas de seccionamento com qualquer grau de abertura - Mesmo em sistemas urbanos há que prever a existência de vários destes elementos. No entanto este qualificador toma maior peso quando se pretende vir a modelar sistemas regionais.
- c) Exigência de um pequeno volume de dados de entrada - Uma das medidas de eficiência de um programa de cálculo automático é a forma e o volume dos dados de entrada. Programas de grande capacidade e generalidade, com velocidades de convergências altas, mas que exijam uma preparação de dados morosa, não são globalmente eficientes. Deve ser dada uma grande atenção a este ponto, escolhendo algoritmos que permitam partir de dados simples e curtos para a partir deles gerar toda a informação necessária. No caso em questão pode-se contar por exemplo a utilidade de algoritmos que evitem a especificação dos troços constituintes das malhas e a indicação de valores a adoptar como solução inicial (caudais nos troços ou cotas piezométricas nos nós, consoante o método iterativo adoptado na resolução da matriz representativa da situação a simular). A facilidade de introdução de dados não deve implicar limitações ao uso do programa. É importante prever que o material das tubagens (ou a idade) não seja o mesmo em todos os troços, que a pressão mínimo exigida nos nós pode ser variável de nó para nó, etc.
- d) Facilidade em alterar os dados - Como se viu, o interesse dos modelos matemáticos de SDAs é a facilidade de estudar rapidamente hipóteses alternativas quer de consumo, quer de geometria, como ainda de condição de funcionamento dos elementos especiais (cotas piezométricas dos reserva-

introduzir perdas de carga significativas para dissipar a energia disponível sem ultrapassar velocidades admissíveis nas condutas. Embora neste momento já haja redutores de pressão e válvulas de seccionamento parcialmente fechadas, o modelo permite quantificar qual o valor de perda de carga localizada a introduzir em cada caso, corrigindo as actuais regulações. Em algumas das condutas elevatórias verifica-se que ainda há uma capacidade de transporte significativa não utilizada, o que faz salientar o interesse já manifestado pelos SMA de vir a interligar o sistema com o do concelho do Seixal, que poderia usufruir dessa capacidade disponível, assim como dos benefícios de uma gestão global e integrada dos recursos hídricos disponíveis.

#### 4.4 - Utilização do modelo

Na forma actual, o modelo, quando devidamente calibrado, permitirá aos SMA decidir sobre quais as modificações a introduzir no sistema (sobretudo no que diz respeito a órgãos que provocam perdas de carga localizadas) para melhorar o seu funcionamento normal. Permitirá igualmente estudar fundamentadamente percursos de água alternativos para situações rotura, ou mesmo com carácter definitivo, tendo em conta uma melhor gestão dos recursos, procurando aumentar sempre que possível a eficiência do sistema e diminuir os custos de mão-de-obra e de energia.

Concretamente, está já em fase adiantada a modelação matemática da ligação entre os reservatórios do Raposo, do Monte-da-Caparica e do Cristo-Rei e da Tagol através da rede da urbanização do Plano Integrado de Almada (PIA), com vista entre outros objectivos a pôr fora de serviço os reservatórios elevados do Monte do Cristo-Rei (com a diminuição de custos de exploração correspondente) e a ligar a Tagol ao reservatório apoiado do Raposo (actualmente é abastecido pelo elevado), poupando custos de bombagem. Note-se que só o estudo integrado dos sistemas concelhios de Almada e urbano da PIA, com recurso à modelação matemática, permite estudar a viabilidade de destas hipóteses.

Embora a utilidade prática do modelo na sua forma actual seja, na opinião dos autores, incontestável, pensa-se que a médio prazo deverá vir a ser incluída a gestão de "stocks" para poder gerir a capacidade global dos reservatórios, e a estudar eventuais modificações a introduzir.

### 5 - ANÁLISE COMPARATIVA DOS MODELOS DOS SISTEMAS URBANO E REGIONAL

#### 5.1 - Objectivo dos modelos

A razão de ser desta comunicação prende-se com o conhecimento adquirido através de experiência do LNEC neste domínio e que mostrou claramente que modelar matematicamente SDAs urbanos ou regionais são suas tarefas que apresentam diferenças significativas, tanto nos objectivos a atingir como nos dados a recolher e nos métodos de cálculo e de calibração a adoptar.

Os sistemas urbanos caracterizam-se por apresentarem relações elevadas entre o número de nós e o número de elementos especiais (reservatórios, instalações elevatórias e sobressoras), por terem grande número de malhas e por quase todas as condutas constituintes fazerem serviço de percurso. Em contrapartida, os sistemas regionais apresentam valores muito mais baixos da relação referida, as condutas são em geral adutoras sem serviço de percurso e as redes são em geral ramificadas ou com uma baixa percentagem de malhas.

Nos sistemas urbanos, o objectivo fundamental da gestão é garantir que a água chega ao consumidor na quantidade e com a qualidade que ele necessita e com uma pressão conveniente. O modelo matemático pode ajudá-lo nessa tarefa, permitindo-lhe conhecer quantitativamente o comportamento do sistema tanto para situações normais de funcionamento como para situações de emergência, como ainda para o estudo de eventuais remodelações. Quando associado à medição em campo (depois do modelo estar calibrado), permite-lhe conhecer os hábitos dos consumidores e a sua evolução, assim como detectar eventuais anomalias de funcionamento.

Nos sistemas regionais, o modelo matemático permite determinar quais as ma-



tórios e características dos grupos elevatórios e sobrepresores. Deste modo, qualquer destes tipos de alteração deve poder ser feita com a maior rapidez e simplicidade possível. Suponha-se que se pretende simular o fecho de uma válvula de seccionamento inserida num troço pertencente a uma malha. Em programas de cálculo bem concebidos, bastará alterar um valor pontual. Em programas que usem por exemplo as equações das malhas sem terem implementados algoritmos que evitem a discriminação, nos dados, dos troços constituintes das malhas e a distribuição inicial de caudais, as alterações para ter em conta o fecho da válvula seriam muito mais profundas. Outro exemplo que pela sua importância não pode deixar de ser referido é o modo como é feita a numeração dos troços e dos nós da rede. Se o programa eventualmente exigir uma referência rígida de numeração, a introdução ou eliminação dos troços ou de nós pode obrigar à total renumeração da rede, com as consequências inevitáveis de perda de tempo, introdução de erros, reformulação de desenhos, etc. Deste modo, em programas que se pretendam vir a aplicar à gestão de SDAs não deverá haver restrições ao modo como a numeração é feita.

- e) Rapidez de execução - Este é um qualificador que progressivamente vai perdendo importância à medida que os computadores se vão tornando cada vez mais rápidos e mais potentes. No entanto, há que ver se os tempos de execução estão dentro de limites aceitáveis. Como ordem de grandeza indica-se que o tempo de cálculo total para um sistema grande e complexo não deverá exceder 5 a 10 minutos.
- f) Tipo de resultados - Qualquer programa deverá fornecer caudais, velocidades e perdas de carga nos troços e pressões e cotas piezométricas nos nós, bem como as características dos elementos especiais. É conveniente que seja feita também automaticamente uma análise crítica dos resultados do equilíbrio hidráulico em termos de pressões e velocidades.
- g) Probabilidade de convergência do processo iterativo - Está provado que os melhores resultados neste aspecto têm sido conseguidos com os métodos de Newton-Raphson (equação das malhas) e da teoria linear, associados a algoritmos colaterais. A experiência dos autores demonstrou claramente que à medida que a razão entre o número de nós e o número de elementos especiais diminui, a probabilidade do processo iterativo divergir aumenta significativamente. Assim, para programas de cálculo automático a aplicar em sistemas regionais, é necessário ter muito cuidado no método de cálculo hidráulico a escolher, nos algoritmos para geração da solução inicial (quando necessária) e nos algoritmos para tratamento de redutores de pressão e grupos elevatórios. Se estes cuidados forem tomados, é possível quase eliminar os casos de divergência.
- h) Aplicabilidade a SDAs fragmentados por manobras de válvulas de seccionamento - Sobretudo nos sistemas regionais é vulgar ter-se um conjunto de condutas interligando elementos especiais que não estão em funcionamento simultâneo. Para cada hipótese a simular, o comportamento hidráulico é o de um conjunto de subsistemas independentes e fisicamente separáveis, mas certamente diferente de simulação para simulação. Nestes casos, os programas de cálculo automático devem estar preparados para os resolver directamente, sem necessidade de reformular os dados relativos a cada subsistema separadamente sempre que as manobras de válvulas provoquem diferentes fragmentações.
- i) Saída de resultados na forma gráfica - Como se pode concluir através de (5), a apresentação de resultados na forma gráfica pode ser vantajosa como alternativa à forma numérica.
- j) Funcionamento quer haja ou não serviço de percurso - Nos sistemas regionais pode não haver consumos na rede, mas apenas transferências de cau-

dais de uns reservatórios para outros. Se forem usados algoritmos para geração de caudais iniciais, eles terão que prever esta situação.

- 1) Capacidade de estudar a evolução no tempo dos "stocks" disponíveis e dos caudais, pressões e velocidades na rede - É uma opção possível do programa que, como já se referiu, pode ter grande utilidade.

### 5.3 - Calibração de modelos

Os métodos e os objectivos de calibração de modelos matemáticos de sistemas urbanos diferem bastante dos de sistemas regionais.

Nos primeiros há que verificar a validade das hipóteses de consumo consideradas, tanto no que respeita a valores médios como às flutuações no tempo. Esta tarefa pode ser efectuada através de leituras em debitómetros de registo contínuo e numa amostra significativa de pontos. A selecção destes pontos deve ser feita a três níveis diferentes: junto dos nós de alimentação (macromedição), junto dos consumidores (micromedição) em zonas seleccionadas e em algumas condutas principais do sistema.

Outro elemento a calibrar é a expressão utilizada para cálculo da perda de carga, incluindo os respectivos coeficientes. A instalação criteriosa de medidores de pressão associados a debitómetros permite fazer esta aferição.

Calibrada que esteja a expressão, é também possível verificar indirectamente as hipóteses de consumo através da leitura de pressões, o que pode evitar a necessidade de instalar um número elevado de debitómetros.

Finalmente, devem ser calibrados os elementos especiais, os redutores de pressão e as perdas de carga localizadas introduzidas por válvulas.

Nos sistemas regionais, e no que se refere a registos de caudais, basta calibrar a macromedição (no caso de não haver distribuição de percurso).

Em adutoras gravíticas ligando dois reservatórios, o caudal é função unicamente das perdas de carga existentes, pelo que deve ser dada ainda mais atenção à calibração das respectivas expressões de cálculo.

O único controle de caudal existente é através da manobra de válvulas e a colocação e regulação correcta de redutores de pressão. Consequentemente a calibração destes órgãos também é essencial.

Em condutas elevatórias, além dos factores apontados anteriormente, há ainda os grupos elevatórios. É a fase mais complexa na calibração dos modelos matemáticos de sistemas regionais, para a qual se propõe a metodologia seguinte:

- i) Registrar os valores das cotas piezométricas na(s) câmara(s) de aspiração dos grupos durante a realização do ensaio, assim como das cotas piezométricas dos reservatórios que eventualmente estejam a elas directamente ligados, se forem diferentes.
- ii) Instalar um medidor de pressão previamente calibrado a jusante da instalação elevatória, de modo a contabilizar implicitamente as perdas de carga localizadas devidas a curvas, tês, válvulas, debitómetros e outros acessórios que normalmente se concentram imediatamente a seguir aos grupos elevatórios.
- iii) Efectuar leituras de pressão para vários valores de caudal, controlados por válvulas a jusante do medidor de pressão. Em caso algum deverá ser alterado o grau de abertura de válvulas de seccionamento ou reguladoras de caudal situadas entre o grupo e o ponto onde a pressão está a ser medida.
- iv) Simultaneamente com o registo das pressões, registrar o caudal bombado através de um debitómetro calibrado.
- v) O ensaio completo deverá ser repetido pelo menos três vezes.
- iv) O número de pontos da curva característica assim determinada deve ser tão grande quanto possível, como um valor mínimo de cinco.

vii) Para cada instalação elevatória deverão ser traçadas tantas curvas características quantas as combinações possíveis de funcionamento simultâneo de grupos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) - BAPTISTA, J.M. - Dimensionamento Económico de Sistemas de Distribuição de Água, Tese apresentada ao concurso para acesso a investigador auxiliar e obtenção do grau de especialista, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1983.
- (2) - Epp R. and Fowler A.G., Efficient Code for Steady-State Flow in Networks, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 96, No. HY1, Proc. Paper 7002, pp. 43-56, Jan. 1970.
- (3) - BAPTISTA, J.M., ALEGRE, M.H. e SOUSA, E.R. - Modelação Matemática do Sistema de Distribuição de Água da Cidade de Almada, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Janeiro de 1983.
- (4) - HIDROTÉCNICA PORTUGUESA - Remodelação da Rede de Distribuição de Água da Cidade de Almada, Lisboa, 1976.
- (5) - ALEGRE, M.H., BAPTISTA, J.M. - Metodologias de Controle de Sistemas de Distribuição de Água, I Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Lisboa, 1984.