



**ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS**



**ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE  
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

TEMA 1 - SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA  
REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA. PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

FERNANDO HOYAUX SEQUEIRA RIBEIRO  
Engº Civil (IST), Membro da APRH nº 59  
Técnico da HIDROPROJECTO, Lisboa, Portugal

RESUMO

É citado como exemplo o estudo, recente, de remodelação da rede de distribuição da cidade de Macau, pretendendo-se salientar o tipo de deficiências que correntemente existem ao nível dos elementos de base que vão condicionar a concepção de soluções.

A utilização de informações incorrectas ou incompletas pode conduzir, como neste caso, a um sub-aproveitamento de modelos matemáticos com grandes potencialidades. Para obviar a este resultado, será necessário que os organismos de gestão de serviços de abastecimento de água se disponham a fomentar a continuidade de actuação que permita a calibração dos modelos. A partir dessa iniciativa não só se poderá confirmar ou corrigir as conclusões dos estudos que deram origem à elaboração do modelo, como esses organismos passarão a dispôr da extraordinária possibilidade de simular de forma extremamente rápida o comportamento do sistema que gerem.

## 1. INTRODUÇÃO

A dimensão e mesmo a natureza dos problemas a estudar, assim como os próprios meios disponíveis para sua resolução, têm evoluído de forma extremamente rápida podendo ser postas em causa muitas regras habituais até aqui utilizadas na sua abordagem.

São com efeito arbitradas com frequência simplificações na caracterização dos problemas que seriam perfeitamente legítimas face aos métodos expeditos de cálculo tradicionalmente utilizados, mas que são capazes de prejudicar os resultados de cálculos efectuados com métodos actuais mais sofisticados e, logo, potencialmente mais rigorosos.

O estudo das redes de distribuição de água é um exemplo de aplicação das considerações anteriores: trata-se de campo privilegiado para aplicação de métodos de simulação matemática, permitindo uma análise com pormenor até agora difícil, mesmo de redes de dimensão importante; mas incide geralmente sobre sistemas cuja caracterização enferma de deficiências dificilmente ultrapassáveis.

Apresenta-se a seguir a experiência colhida recentemente com o estudo, a nível de anteprojecto, da reformulação de uma rede de distribuição de água de dimensão apreciável - a rede da cidade de Macau. Procura-se apontar as dificuldades encontradas na sua caracterização, para exemplificação das considerações anteriores.

## 2. O PROBLEMA ESTUDADO

### 2.1 - Posição do problema

O Território de Macau é constituído por três parcelas: a península do mesmo nome e as ilhas da Taipa e de Coloane, no seu conjunto com uma área, apenas, de cerca de 15 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Embora os valores dados pelos recenseamentos populacionais sejam de validade duvidosa, pode-se estimar a população do Território em cerca de 400 mil habitantes. Esta população concentra-se praticamente toda ela na Península, pois só nos últimos anos se iniciou a expansão da ocupação em direcção às ilhas.

Foi admitido que na Península seriam instaladas duas redes de distribuição de água distintas: uma abrangendo a maior parte da área que já dispõe de rede antiga, a abastecer a partir de um depósito situado na colina da Guia, à cota de soleira 72,5 metros; a outra, englobando novas urbanizações em áreas conquistadas ao mar, a abastecer directamente a partir de um reservatório subterrâneo situado mais baixo (cota 40 a 50 metros).

O estudo em causa apenas se debruçou sobre as obras de reforço da primeira das redes referidas. O faseamento destas obras deverá ter em conta a urgência de cada troço, mas também as implicações que necessariamente terá a sua instalação na vida da cidade, pelo que elas não serão provavelmente encaradas como empreitada única. Justificou-se por isso o exame global prévio do problema a nível de anteprojecto.

Para efeitos de projecção demográfica, foram tidas em conta análises anteriores, que indicaram uma população da ordem dos 400 000 habitantes para o ano 2000 (horizonte de projecto). A capitação, variável consoante o tipo de população situar-se-ia entre 140 e 225 l/hab.dia em 1985, crescendo para valores entre 200 e 300 l/hab.dia no ano 2000. O caudal de ponta total desta rede no ano 2000 seria de 1,9 m<sup>3</sup>/seg.

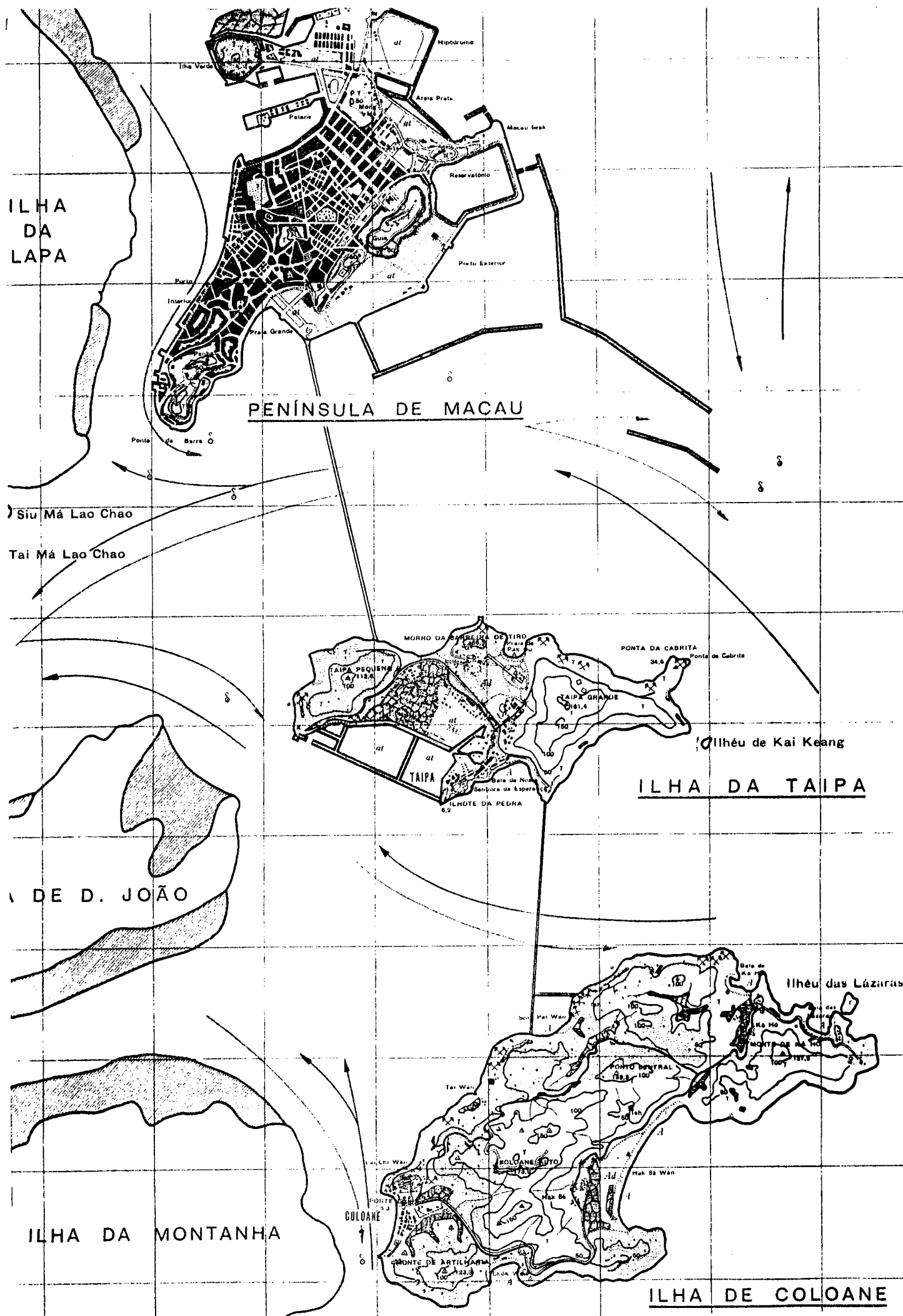


FIGURA 1 - GEOGRAFIA DO TERRITÓRIO DE MACAU

Dispôs-se de uma planta da rede de distribuição actual, à escala 1:4000. As dúvidas que subsistiram quanto à validade da informação dela extraída, iriam ter influência em alguns critérios seguidos no desenvolvimento do trabalho.

## 2.2 - Modelo utilizado

A análise das várias soluções para o equilíbrio hidráulico do sistema de distribuição foi realizada recorrendo ao programa de cálculo REDMAR, desenvolvido no sistema SPERRY/80 do Centro de Informática da HIDROPROJECTO, pela empresa associada HIDROSISTEMAS.

O método numérico utilizado na resolução do sistema de equações não linear, é o de Newton-Raphson, sendo as respectivas incógnitas as correcções de caudal em cada malha. O número de equações do sistema é, para cada problema, reduzido ao mínimo visto que o número de equações é igual ao número de malhas.

O algoritmo constrói automaticamente as malhas e numera-as, de tal forma que a matriz do sistema de equações é simétrica e em banda, o que diminui o tamanho da memória e aumenta a velocidade de execução; define ainda os caudais iniciais do processo iterativo, de tal forma que em termos práticos é garantida a convergência do método de Newton-Raphson.

Para o cálculo das perdas de carga, o programa possibilita a opção entre as expressões de Manning-Strickler e de Hazen-Williams.

## 2.3 - Metodologia

Embora a intenção do presente documento não seja a de estudar o comportamento hidráulico da rede, mas sobretudo dar relevo às dificuldades referidas no capítulo seguinte, resume-se a metodologia utilizada.

A rede actual é abastecida por bombagem directa a partir de uma estação de tratamento situada na Ilha Verde, a noroeste da cidade. O estudo foi elaborado no entanto supondo distribuição gravítica a partir de um novo centro de distribuição a situar na colina da Guia, alimentado por uma estação de tratamento ainda por construir.

Procurou-se em primeiro lugar solucionar o problema com uma rede apoiada apenas no depósito da Guia. Para tal definiram-se os troços onde surgiriam as deficiências mais notórias na rede actual, suposta a funcionar com aquela origem para os consumos de 1985 (futuro imediato), assim como para os do ano 2000. Nesta segunda hipótese, o exame da piezométrica não faz evidentemente sentido, mas o registo das velocidades verificadas torna possível a percepção dos troços mais deficientes (Figura 2).

Constata-se que, com carácter de urgência (visto que já insuficientes face aos caudais de 1985), existem dois sentidos a reforçar: radialmente, em direcção a noroeste e no sentido de um núcleo central situado a oeste do centro de distribuição. Com menor premência, haveria ainda que reforçar o abastecimento em direcção a sul. Estas conclusões foram desenvolvidas por meio de simulações sucessivas, até obtenção de uma solução equilibrada.

As análises feitas a nível de Plano Geral, no entanto, previram que a estação de tratamento da Ilha Verde não seria imediatamente abandonada, mantendo-se em exploração até 1990, em conjunto com a nova estação. Só naquela data, com a construção da 2ª fase desta última, ela seria desactivada.

Houve então que verificar qual o comportamento da rede proposta na hipótese de duas origens em simultâneo - Guia e Ilha Verde - e ainda quais as condições de



funcionamento da bombagem na segunda daquelas origens.

A curva da Figura 3, obtida a partir de simulações de comportamento da rede para várias hipóteses de alturas de elevação na Ilha Verde, indica a relação de contribuições de uma e outra origem. Verificou-se que a cota mínima a que deveria ser feita a elevação à saída da Ilha Verde seria de 75 metros, a fim de permitir o seu pleno aproveitamento em horas de ponta (em períodos de menores caudais, a relação seria mantida por funcionamento de menor número de bombas). Para que fosse mantido um regime tanto quanto possível regular de saída da estação, no entanto, tornar-se-ia aconselhável um aumento dessa altura, para cerca de 80 metros. Uma ainda maior altura parece desaconselhável, tendo em conta as altas pressões que se verificariam na rede próxima da Ilha Verde, e mesmo a forma da curva obtida (concavidade para cima) que mostra a fraca contrapartida que seria obtida em termos de aumento de caudais.

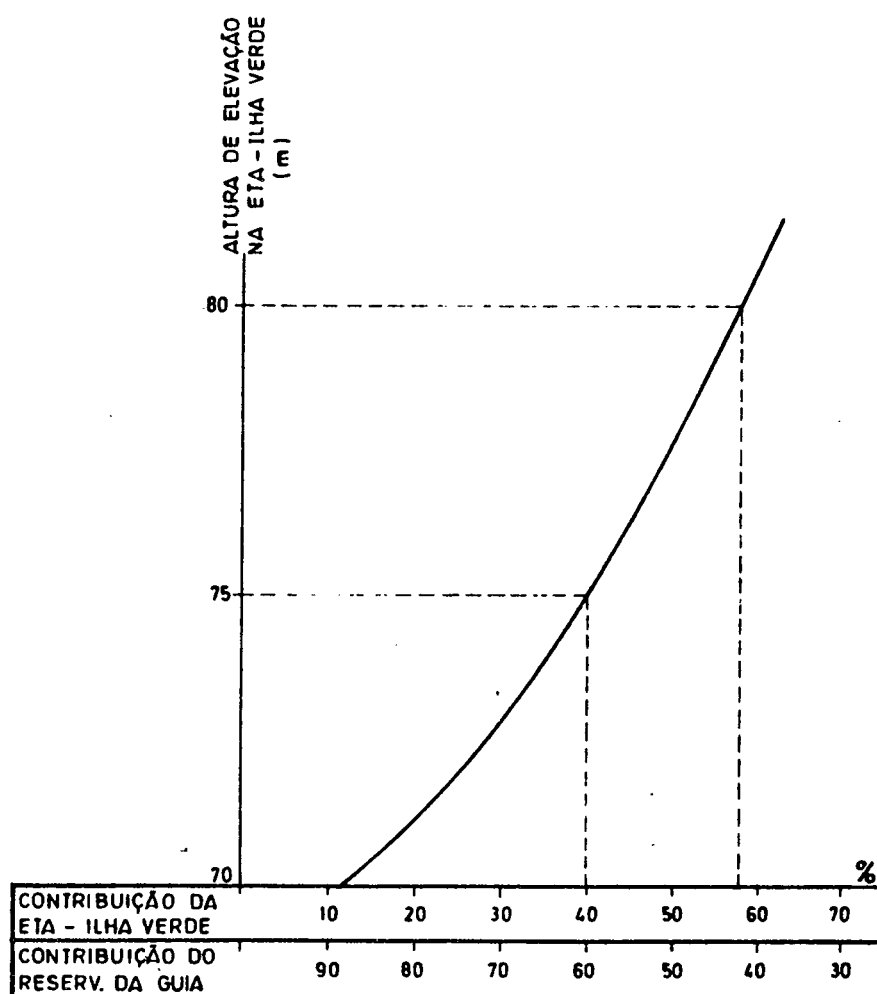


FIGURA 3 - CONTRIBUIÇÃO DA ETA DA ILHA VERDE (Ano 1990)

Atendendo à reduzida área ocupada pela cidade e portanto as pequenas distâncias a percorrer, as oscilações de pressão ao longo do dia são também pouco importantes o que sugere a pouca utilidade de qualquer solução com reservatórios adicionais de extremidade. Apenas no extremo sul (Colina da Penha) simultaneamente mais afastado e a cotas relativamente elevadas, o exame desta hipótese se justificou.

A solução de construção de um reservatório foi rejeitada, já que se constatou que a sua construção nos locais onde isso seria possível daria uma contribuição demasiado reduzida em caudal, e teria reflexos igualmente pouco sensíveis em pressão (limitou-se a análise a cerca de 30 metros de altura). No entanto o principal óbice estaria na dificuldade em encontrar um local conveniente, simultaneamente do ponto de vista hidráulico e do ponto de vista urbanístico. A forma de contornar o problema estaria então em optar por sobre-elevação directa para a rede, a qual poderia ser implantada quase que em qualquer local.

Testada esta hipótese com uma instalação na encosta leste da colina da Penha, verificou-se a necessidade de reforço de alguns diâmetros junto desse local e de válvulas de seccionamento em duas condutas a fim de limitar os caudais à zona mais elevada. Constatou-se que nesta eventualidade, uma pequena sobre-elevação para 70 metros, conduz a resultados satisfatórios, sendo mais económica que a solução com depósito elevado.

### 3. HIPÓTESES SIMPLIFICATIVAS

Como primeiro passo para simulação do comportamento de uma rede de distribuição, haverá que a caracterizar geometricamente. Nessa caracterização, concorre o conhecimento do cadastro tão exacto quanto possível da rede actual, no que respeita a localização de condutas, sua interligação e, mesmo, as suas características (material, estado de conservação, rugosidade, perdas de carga).

A tradução dessa geometria não é no entanto possível sem introdução de simplificações.

Assim, é normal a selecção de troços (e definição de malhas por eles formadas) principais, desprezando os diâmetros menos significativos. Ora a rede actual de Macau, embora contemplando apenas cerca de 4 km<sup>2</sup> de área, distribui-se por um grande número de ruas, o que conduz a também grande número de troços de diâmetro reduzido. Para mais, sendo resultante do crescimento progressivo de uma rede inicialmente pouco importante, os reforços executados no passado consistiram no lançamento sucessivo de condutas paralelas, sempre de diâmetro pouco importante. Desta forma o diâmetro máximo que se encontra na rede actual é apenas de 375 mm, embora em várias ruas existam três ou mesmo mais condutas em paralelo; e quase todos os troços se situam entre 100 e 200 mm de diâmetro, o que conduz a especial dificuldade no arbítrio de malhas principais.

Optou-se por isso pela representação, no modelo, de todas as condutas de diâmetro igual ou superior a 100 mm de diâmetro, embora isso conduzisse ao tratamento de um número de dados relativamente alto: para a rede actual, mais de 500 troços e de 300 nós.

Note-se que o recurso à conversão em diâmetros equivalentes (por agrupamento de troços situados em ruas paralelas) foi utilizado em exame sumário realizado em primeira abordagem, mas é na maior parte dos casos difícil, devido à sua difícil sistematização e discutível objectividade. Tal tipo de simplificação, aliás, permite definir grandes linhas de reforço mas fornece indicações deficientes quando se trata de discutir os pontos de ligação desse reforço a um núcleo de ruas a abastecer.

Tendo em conta, para mais, que todo o processo se baseia na repetição da simulação de variantes, as dificuldades resultantes da utilização de um modelo demasiado simplificado, por utilização de critérios demasiado flexíveis, seriam afinal maiores do que aquelas que resultam do maior número de dados a introduzir. Mesmo no caso de muitos troços que, por se situarem em extremos da rede, poderiam não ser tidos em conta, se preferiu não abrir excepção ao princípio enunciado a fim de evitar o risco de dificuldades de interpretação que pudessem surgir

em fase mais adiantada do trabalho.

Outro aspecto capaz de aumentar muito significativamente não só o número de dados a tratar como ainda especialmente a dificuldade de interpretação dos resultados, seria a tradução exacta, no modelo, da forma de interligação entre as condutas tal como ela é referida no cadastro que se possui.

Aqui sim, decidiu-se simplificar o modelo supondo que em todos os cruzamentos as condutas estavam, todas elas, interligadas.

Esta hipótese está muito longe da realidade, visto que em cerca de 1/3 dos nós considerados nos cálculos nem todas as condutas neles convergentes estão interligadas (veja-se como exemplo os nós 29 e 38, da Figura 4). No entanto a tradução com maior rigor da situação real não só acarretaria um muito maior número de dados a tratar (dificuldade menor), como também pressuporia uma confiança no conhecimento do cadastro da rede que em boa verdade se não tinha; e obrigaria ainda a relacionar cada conduita, no caso de várias condutas em paralelo numa mesma rua, com as ligações domiciliárias a ela ligadas.

O aparente maior rigor traduzir-se-ia afinal numa série de arbítrios de validade duvidosa.

Foi depois verificado, em cada um dos nós em que a hipótese do modelo não coincidia inteiramente com a situação apontada no cadastro, se o facto de possuírem condutas desligadas impedia o cumprimento da circulação de caudais dada pela simulação. Nos casos afirmativos, foi estudado o tipo de obra a executar.

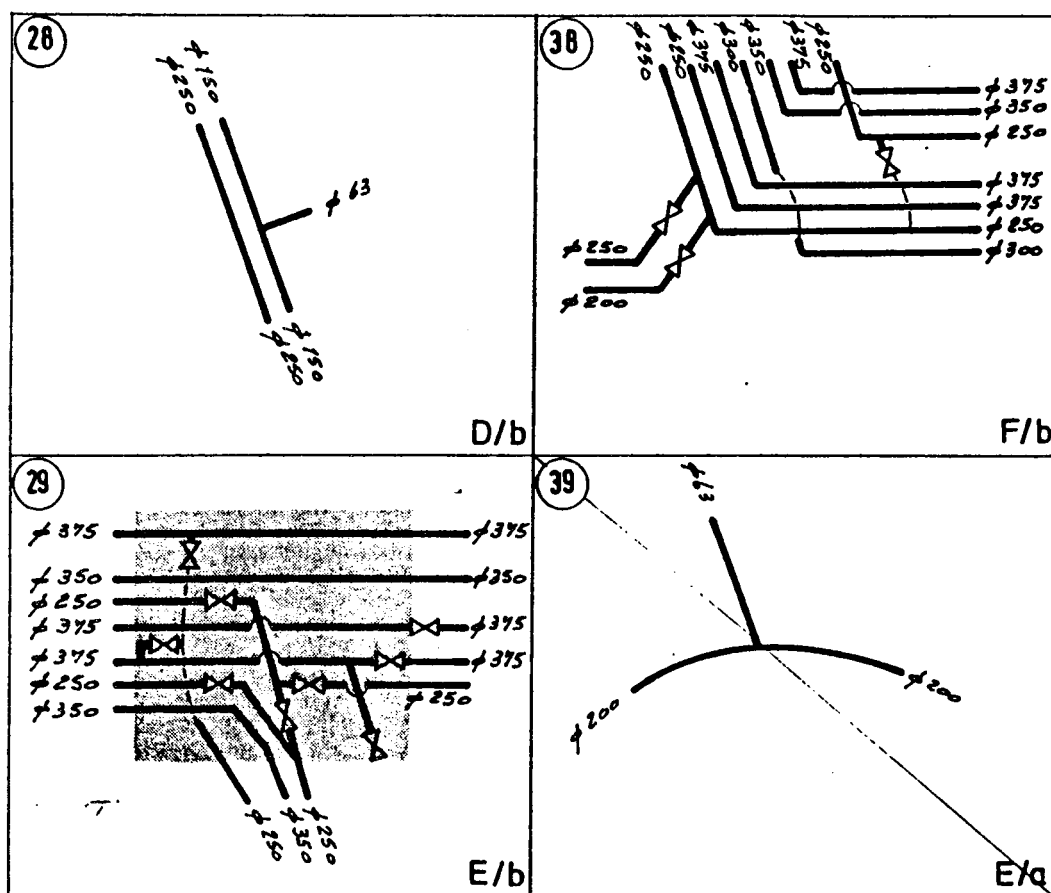


FIGURA 4 - LIGAÇÃO DE CONDUTAS NOS NÓS (Exemplo)

Outra simplificação, consistiu em supôr a rede constituída toda ela por tubagem com igual coeficiente de rugosidade.

Na realidade, a rede existente é constituída na sua maior parte por tubagem de ferro fundido, mas parece haver actualmente tendência para o uso de fibrocimento. Qualquer dos materiais tendo vantagens e inconvenientes, é de crer que se mantenha a aplicação de ambos, ponderados caso a caso os diâmetros, condições de fundação e de execução, e mesmo de importação e fornecimento - estes últimos aspectos são particularmente condicionantes no caso de Macau.

Por esse motivo se não descriminou o tipo de material, caracterizando-se toda a canalização por um coeficiente de rugosidade único ( $K_s = 80$ ).

Para introdução no modelo, os consumos poderiam ser supostos distribuídos ao longo das condutas e/ou concentrados nos nós. Também neste caso o facto de se desconhecer a distribuição das ligações domiciliárias entre condutas paralelas, assim como a maior facilidade que de aí resulta para a introdução de variantes, levou à consideração dos caudais sempre concentrados nos nós.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tem-se a convicção de que o modelo e a forma como foi aplicado cumpriram o fim pretendido: caracterizar o conjunto de obras a projectar para que a rede de distribuição de Macau possa cumprir a sua finalidade dentro de condições aceitáveis de segurança e de qualidade de abastecimento.

No capítulo anterior, citou-se um pequeno grupo de simplificações a que houve que recorrer para construção do modelo. Pretendeu-se assim, utilizando como referência este estudo recente, apontar o tipo de dificuldades que surgem correntemente, na introdução de dados em programas algo sofisticados e com grandes potencialidades.

Da experiência colhida, poder-se-á lamentar o facto de se dispôr actualmente de meios de simulação que não são utilizados na sua capacidade total, por vezes apenas devido à dificuldade em dispôr de elementos fidedignos de caracterização dos sistemas a estudar.

Não será nunca possível evitar totalmente este tipo de dificuldades. A forma de contornar esta questão estará em não deixar "morrer" os estudos executados, procurando proceder ao trabalho de calibração que permita aferir e corrigir o modelo.

Mas esta tarefa depende normalmente da vontade dos organismos gestores dos sistemas, que se deveriam dispôr à realização das medições de campo necessárias, devidamente programadas (incidindo sobre valores de pressão e caudal em pontos da rede e em períodos seleccionados). Assim seria também possível, quase sem investimento adicional, aqueles organismos disporem de instrumentos permitindo simular no futuro quaisquer situações que possam vir a surgir na exploração da rede, dispondo de resposta quase instantânea aos problemas.