

III SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
(SILUBESA)

SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

REFLEXÕES SOBRE A QUANTIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO
DE RESERVATÓRIOS COM FUNÇÕES SIMULTÂNEAS DE DISTRIBUIÇÃO E DE
REGULARIZAÇÃO DE TRANSPORTE

FRANCISCO OLIVEIRA PIQUEIRO (*)

JOSÉ TENTÚGAL-VALENTE (**)

MARIA TERESA TOMÁS (**)

RESUMO

É objectivo da presente comunicação sugerir uma metodologia de cálculo da capacidade de regularização de reservatórios, que não tenham por função exclusiva a regularização da função distribuição.

(*) Assistente Estagiário do 3º Grupo (Hidráulica) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Colaborador da Linha de Acção "Escoamentos" do Centro de Engenharia Civil da Universidade do Porto - INIC, Instituto Nacional de Investigação Científica.

(**) Professor Auxiliar do 3º Grupo (Hidráulica) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Colaborador da Linha de Acção "Escoamentos" do Centro de Engenharia Civil da Universidade do Porto - INIC, Instituto Nacional de Investigação Científica.

1. INTRODUÇÃO

Constitui procedimento corrente em Portugal quantificar a capacidade de regularização de reservatórios de distribuição, ou até mesmo de regularização de transporte, de acordo com o preconizado na Norma Portuguesa NP-839 (de 1971). Desta forma, a capacidade de regularização de um reservatório deverá fazer face "ao volume necessário ao funcionamento normal, entendendo-se como funcionamento normal o funcionamento possível em qualquer dia do ano". Como entre esses dias estará incluído o dia de maior consumo diário anual, isto significa que a capacidade de regularização de um reservatório deverá garantir, como situação mais desfavorável, a regularização do consumo correspondente ao "dia máximo". É, aliás, esta hipótese que as Normas para o Cálculo de Sistemas de Abastecimento de Águas emanadas do Conselho Superior de Obras Públicas, em 14 de Agosto de 1962, sugerem em relação à fixação da capacidade de regularização dos reservatórios de distribuição.

Se relativamente aos reservatórios de distribuição a adopção desta hipótese se afigura recomendável, no que diz respeito aos reservatórios de regularização de transporte ou, sobretudo, em relação aos reservatórios que desempenham funções mistas, considera-se que tal procedimento merece objecções pelo que se justificam algumas reflexões sobre o assunto.

Com efeito, estes tipos de reservatórios, ficam normalmente enquadrados em sistemas em que a montante ou a jusante, ou até nos dois casos, haverá lugar à instalação de reservatórios de distribuição cujas capacidades de regularização de verão ser avaliadas para a referida situação mais desfavorável, e que, portanto, deverão garantir a regularização dos consumos correspondentes ao "dia máximo".

A consideração de capacidades de regularização avaliadas nestes mesmos termos, nos reservatórios de regularização de transporte ou nos reservatórios com funções mistas, em princípio, poderá aumentar a segurança do sistema para além daquilo que será razoável, com consequentes agravamentos de ordem económica.

É objectivo da presente comunicação sugerir uma metodologia de cálculo da capacidade de regularização de reservatórios, que não tenham por função exclusiva a regularização de distribuição, visando uma optimização (no sentido de uma redução plausível dos factores de segurança envolvidos) das capacidades de regularização que provavelmente seriam estimadas com uma transposição das hipóteses correntemente utilizadas na avaliação das capacidades de regularização dos reservatórios de distribuição.

Como base de desenvolvimento da presente comunicação propõe-se a análise da situação de funcionamento esquematizada na FIGURA 1.

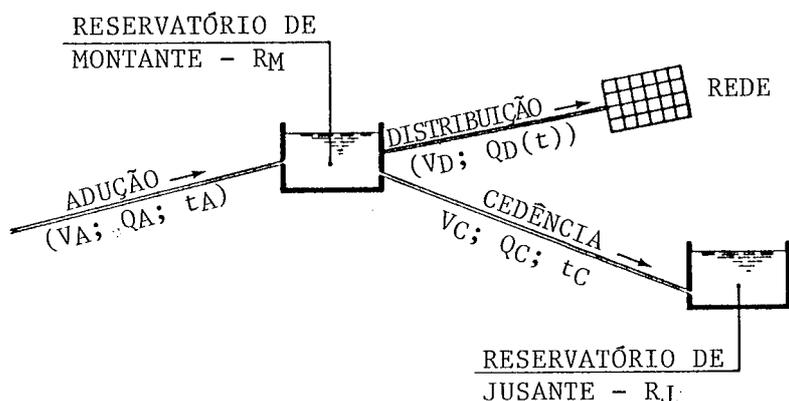


FIGURA 1 - ESQUEMA DA SITUAÇÃO DE FUNCIONAMENTO A ANALISAR

2. QUANTIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

A determinação da capacidade de regularização a atribuir a um dado reservatório é habitualmente efectuada estabelecendo uma comparação entre as curvas de caudais acumulados correspondentes aos regimes de adução, a montante, e da cedência, a jusante.

Diversos aspectos da concretização prática deste procedimento, especialmente no caso de o reservatório em estudo incluir funções de regularização de distribuição, podem ser objecto de diferentes interpretações.

Um destes aspectos, aliás primordial, está relacionado com a caracterização da lei de variação de consumos do "dia máximo". Com efeito, na maior parte dos casos, não é possível estabelecer tal lei, ou porque normalmente se vai projectar o primeiro sistema de abastecimento de água de uma dada zona, ou porque não se dispõe de curvas de consumos diários máximos obtidas nessa zona ou em zonas com características consideradas como semelhantes.

Esta dificuldade leva a que, muitas vezes, seja adoptada uma lei de consumos fictícia, em que se supõe que o volume diário (médio anual, médio do mês de maior consumo, ou do dia máximo) é distribuído uniformemente num período limitado do dia (por exemplo, 6 horas, 8 horas, 10 horas, etc.), de tal modo que o ciente entre o consumo diário considerado e o referido período iguale o caudal de ponta previsto.

Este modo de proceder conduz a valores da capacidade de regularização em estudo bastante desajustados da realidade, por exagerados. Numa tentativa de otimizar, no sentido de tornar mais real a capacidade de regularização de reservatórios que incluem funções de distribuição propõe-se em [2] uma metodologia de cálculo que pressupõe a adopção de diagramas cronológicos de consumos do tipo descontínuo, baseados nas características de consumos médios diários anuais que foi possível conhecer a partir da análise de diversos registos de consumos obtidos em diferentes sistemas de abastecimento de água em exploração.

Com este procedimento obtêm-se valores da capacidade de regularização bastante inferiores aos que o diagrama simplista do tipo uniforme conduziria e suficientemente majorados para cobrirem as discrepâncias entre os diagramas do tipo descontínuo propostos e os diagramas reais.

Naturalmente, a capacidade de regularização avaliada em termos de consumos médios diários anuais deverá ser majorada com vista à consideração da possibilidade de ocorrência dos consumos correspondentes ao "dia máximo". Para tal, é usual utilizar-se o factor de ponta diário preconizado pela Especificação E212 (1968) do LNEC.

Quando o reservatório em estudo abrange apenas funções de regularização de distribuição, considera-se este procedimento inteiramente recomendável. No entanto, se o reservatório em questão, para além de funções de distribuição inclui, ainda, funções de regularização de transporte (como na situação proposta na FIGURA 1), o agravamento da capacidade de regularização calculada, para atender à possibilidade de ocorrência do referido dia máximo, traduz-se num acréscimo da ordem de 50% que irá afectar as "parcelas" da capacidade do reservatório destinadas a dar cumprimento aos dois tipos de funções envolvidos.

Se fosse possível "separar essas parcelas", considera-se que apenas aquela que se destina a assegurar a regularização da distribuição deveria ser majorada. Com efeito, o agravamento da parcela destinada a garantir a regularização de transporte, que muitas vezes pode traduzir-se por um volume significativo, será perfeitamente dispensável na medida em que a possibilidade de regularização do consumo correspondente ao "dia máximo" terá que ser contemplada num reserva

tório de distribuição situado a jusante — no caso presente o reservatório RJ, (FIGURA 1), dispensando-se, portanto, a duplicação de acrêscimos, com os conseqüentes agravamentos de ordem econômica.

É precisamente esta questão que irá ser analisada no seguimento da presente comunicação.

Importa ainda salientar que, no que respeita à possibilidade de no funcionamento do reservatório estar incluída a situação de haver uma adução ou uma cedência realizada em período de tempo inferior a 24 horas, com recurso a grupos elevatórios, não há qualquer referência na regulamentação existente. É prática corrente considerar a hipótese mais desfavorável em que se admite que tais aduções ou cedências poderão ser realizadas, com caudal constante, ininterruptamente no período de tempo máximo previsto para funcionamento da elevatória — tempo de bombagem ou de elevação. Adicionalmente, é ainda habitual admitir a hipótese mais desfavorável de dimensionamento, ou seja, considerar as leis de adução e de cedência mais "afastadas" entre si, de forma a garantir a maior diferença, em termos de volume entre as curvas correspondentes.

A consideração destas hipóteses de cálculo conduz a capacidades de regularização maiores do que as que na realidade são necessárias. Com efeito, o funcionamento da elevatória não se processa continuamente ocorrendo antes com períodos de funcionamento e de paragem adaptados à lei de variação de consumos (ou, de um modo geral, à curva de cedência), traduzindo-se tal aproximação pela necessidade de capacidades de regularização menores. Visando uma optimização, no sentido de redução, das capacidades de regularização de reservatórios associados a condutas elevatórias, que normalmente seriam estimadas na hipótese de se considerar o correspondente funcionamento contínuo, propõe-se em [3] uma metodologia de análise baseada na adopção de diagramas específicos de funcionamento das referidas elevatórias. No entanto, este aspecto não é relevante para a questão em estudo pelo que na concretização do modelo que a seguir se desenvolve se considerará a hipótese mais desfavorável que pressupõe as leis de adução e de cedência contínuas e mais afastadas entre si.

3. METODOLOGIA DE ANÁLISE UTILIZADA

Com o objectivo de analisar a questão anteriormente apresentada, procurou-se estudar o "comportamento" da capacidade de regularização de um reservatório que abrange funções de distribuição a uma dada povoação e funções de regularização do abastecimento de outro reservatório situado a jusante — de acordo com a situação de funcionamento apresentada na FIGURA 1.

A situação considerada corresponde à possibilidade do reservatório RM, cuja capacidade se pretende calcular, receber um volume diário igual a V_A , durante um tempo de funcionamento da adutora, t_A , o que corresponde a um caudal de adução, Q_A , igual a V_A/t_A . Por seu lado, o referido reservatório alimenta uma rede de distribuição com uma lei de consumos variável no tempo, $Q_D(t)$, que corresponderá a um volume total diário acumulado de V_D , e um outro reservatório, RJ, com um caudal constante, Q_C , durante um tempo de funcionamento igual a t_C , fornecendo, portanto, o volume V_C . Naturalmente V_A será o somatório $V_D + V_C$.

Esquematizou-se uma metodologia de cálculo de capacidades de regularização, na hipótese mais desfavorável de dimensionamento, que abrangesse diferentes possibilidades de funcionamento susceptíveis de ocorrerem em situações reais, tendo-se considerado duas vias distintas de cálculo, esquematizadas na FIGURA 2:

- uma, em que a capacidade de regularização, C_R , será quantificada a partir da comparação da curva global de adução com a curva global de cedên

cia, que corresponde à soma dos volumes correspondentes à distribuição e dos volumes a fornecer ao reservatório RJ (FIGURA 2 - 2A);

- outra, em que a capacidade de regularização será quantificada através da soma das duas "parcelas" que contribuem para a mesma:
 - uma dessas parcelas, designadas por \underline{CR}_1 , será a capacidade de regularização calculada como se apenas fosse necessário regularizar a distribuição à rede, efectuando, portanto, uma comparação entre a curva de caudais acumulados correspondente à referida distribuição e a lei de adução parcelar referente apenas ao volume necessário a tal distribuição (FIGURA 2 - 2B);
 - a outra parcela, designada por \underline{CR}_2 , será a capacidade de regularização calculada de forma análoga, como se apenas fosse necessário regularizar o volume a fornecer a RJ (FIGURA 2 - 2C).

Com o objectivo de procurar estabelecer uma relação entre os valores das capacidades \underline{CR} e $\underline{CR}_1 + \underline{CR}_2$ foram fixadas diversas condições de funcionamento tipo, que abrangeram as seguintes hipóteses:

- Quatro situações distintas de redes de distribuição dependentes do reservatório de montante RM, correspondentes, respectivamente, a uma população de:
 - 1000 habitantes,
 - 7000 habitantes,
 - 12500 habitantes,
 - 100000 habitantes.

Na selecção destes valores procurou-se abranger os diversos diagramas cronológicos de caudais horários propostos na publicação [2], correspondentes à gama de factores de ponta horários normalmente considerada.

- Para cada população indicada, três valores distintos para o volume de cedência ao reservatório de jusante, VC, fixados como sendo 0.5, 1.0 e 2.0 do volume diário a fornecer à rede de distribuição, VD.

Cada uma das combinações susceptíveis de serem consideradas com as hipóteses indicadas foi analisada para diferentes combinações de tempos de funcionamento da adução a RM e da cedência a RJ, cada um dos quais se fez variar de hora a hora, entre 24 h e 8 h.

Para todas as hipóteses de funcionamento possíveis de realizar com os elementos anteriores foram calculadas as capacidades de regularização \underline{CR} e $\underline{CR}_1 + \underline{CR}_2$.

Estas capacidades estão referidas, em princípio, a valores médios diários anuais pelo que a consideração da possibilidade de ocorrência dos consumos correspondentes ao "dia máximo", nos termos em que a questão foi já anteriormente apresentada, se deverá traduzir da seguinte forma:

$$1^{\circ} \text{ CASO} - \text{Capacidade final de regularização} = \underline{CR} + 0.5 \underline{CR}_1 \quad (1)$$

$$2^{\circ} \text{ CASO} - \text{Capacidade final de regularização} = \underline{CR}_1 + 0.5 \underline{CR}_1 + \underline{CR}_2 \quad (2)$$

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Na sequência do estudo desenvolvido, a análise dos diferentes valores de capacidade de regularização obtidos permite comprovar o seguinte:

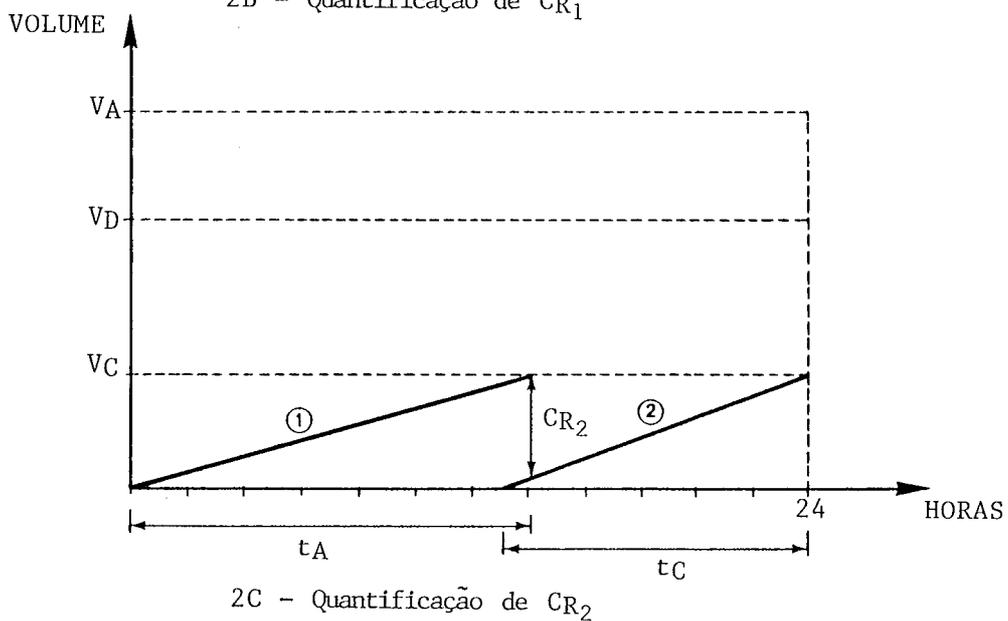
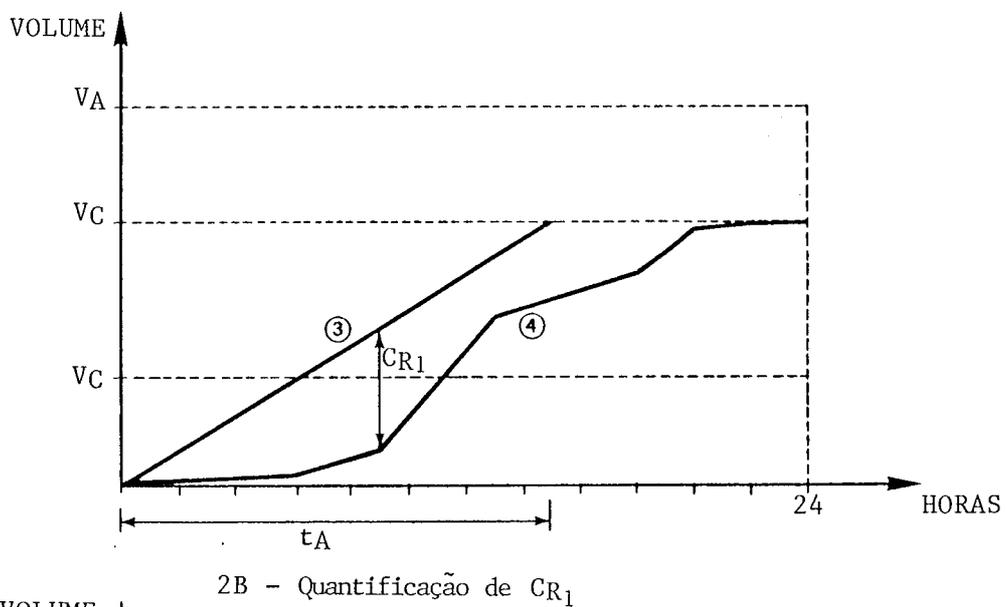
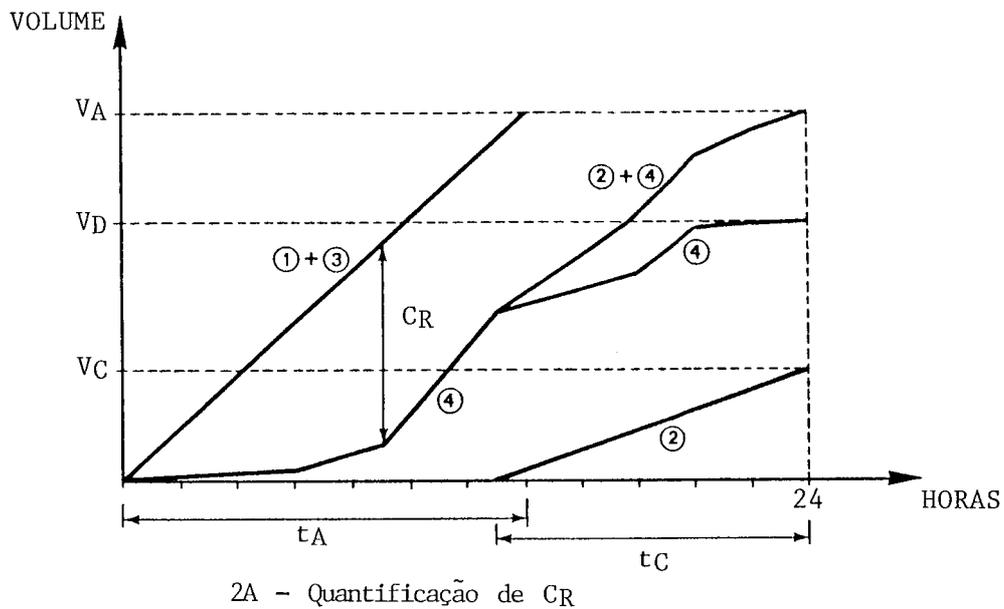


FIGURA 2 - EXEMPLO DE QUANTIFICAÇÃO DAS CAPACIDADES CR , CR_1 e CR_2

- A capacidade de regularização \underline{CR} tem valor idêntico ao da capacidade $\underline{CR_1+CR_2}$ para os casos em que o tempo de adução, $\underline{t_A}$, é inferior ou igual ao tempo de cedência, $\underline{t_C}$;
- Nos casos em que $\underline{t_C}$ é superior a $\underline{t_A}$ a capacidade \underline{CR} é sempre inferior a $\underline{CR_1+CR_2}$;
- Para qualquer valor de população considerada, os valores das capacidades de regularização referentes à rede de distribuição — $\underline{CR_1}$, são independentes do volume de água cedido ao reservatório de jusante e do tempo de cedência ($\underline{t_C}$) à respectiva adutora, dependendo apenas da população a servir e do tempo de funcionamento $\underline{t_A}$. Verifica-se, também, que não é possível encontrar qualquer relação genérica para determinação de $\underline{CR_1}$ em função dos outros parâmetros intervenientes;
- O valor da capacidade de regularização $\underline{CR_2}$ é, por seu lado, independente do valor da população, sendo variável com o volume \underline{VC} e com os tempos de adução $\underline{t_A}$ e de cedência $\underline{t_C}$.
 Importa salientar que $\underline{CR_2}$, ao contrário de $\underline{CR_1}$ (e nas hipóteses de períodos de funcionamento para $\underline{t_A}$ e para $\underline{t_C}$, contínuos e com o maior desfazamento possível entre si), pode ser facilmente quantificada em função dos parâmetros indicados obtendo-se:

$$\begin{aligned} \underline{CR_1} &= \underline{VC} \times (24-\underline{t_C})/\underline{t_A} && \text{para } \underline{t_A} \leq \underline{t_C} \\ \underline{CR_2} &= \underline{VC} \times (24-\underline{t_A})/\underline{t_C} && \text{para } \underline{t_A} \geq \underline{t_C} \end{aligned} \quad (3)$$

Daqui decorre que, para um dado valor de $\underline{t_A}$, a relação entre as capacidades de regularização correspondentes a duas situações distintas de $\underline{t_C}$ e de \underline{VC} , pode exprimir-se através da expressão:

$$\frac{\underline{CR_2}}{\underline{CR_2'}} = \frac{\underline{VC}}{\underline{VC'}} \cdot \frac{24-\underline{t_C}}{24-\underline{t_C'}} \quad (4)$$

em que $\underline{CR_2}$, \underline{VC} e $\underline{t_C}$ correspondem aos parâmetros caracterizadores de uma situação e $\underline{CR_2'}$, $\underline{VC'}$ e $\underline{t_C'}$ aos definidores de outra.

- Comparando o valor da capacidade \underline{CR} com o da capacidade $\underline{CR_1+CR_2}$, a diferença que se verifica é derivada apenas do valor de $\underline{CR_2}$, pois $\underline{CR_1}$ é, para uma determinada situação de tempo de adução $\underline{t_A}$ e de população, sempre o mesmo. Nestas circunstâncias pode afirmar-se que

$$\underline{CR} = \underline{CR_1} + f \cdot \underline{CR_2} \quad (5)$$

sendo f uma função dependente do valor da população, do tempo de adução $\underline{t_A}$, do tempo de cedência $\underline{t_C}$ e da relação entre volume cedido \underline{VC} e volume distribuído \underline{VD} . Contudo, não foi possível para a presente comunicação, caracterizar satisfatoriamente a função f .

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostram claramente que as duas vias de cálculo da capacidade de regularização do reservatório \underline{RM} utilizadas, não fornecem, pelo menos em algumas das hipóteses de funcionamento consideradas, valores idênticos.

A dificuldade de caracterização da função f , (expressão (5)) impede que, de momento, possa ser formulado um processo genérico que permita a quantificação da capacidade em estudo através da separação das respectivas "componentes".

No entanto, com vista à obtenção da capacidade de regularização, em termos de regularização do consumo do "dia máximo", e na perspectiva da abordagem desta

questão proposta na presente comunicação, seria necessário, mesmo optando pela primeira via de cálculo, aceder à quantificação de CR_1 , para a utilização da expressão (1).

Atendendo aos resultados obtidos, verifica-se que a "componente" CR_1 pode ser perfeitamente quantificada de forma isolada, na medida em que o seu valor depende apenas da população e das condições de adução ao reservatório em estudo, não sendo de forma alguma influenciada por qualquer dos parâmetros associados à cedência ao reservatório RJ .

Pode, assim, concluir-se que a quantificação da capacidade do reservatório em estudo, pode ser simplesmente realizada através da aplicação da expressão (1), desde que se proceda à determinação da capacidade de regularização avaliada em termos globais, e à avaliação da "parcela" da capacidade necessária para regularizar apenas a distribuição à rede.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] NOVAIS-BARBOSA, J. - Apontamentos de Hidráulica Aplicada do 4º ano da Licenciatura em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1986.
- [2] TENTÚGAL-VALENTE, J. - Reflexões sobre o cálculo da capacidade de reservatórios em sistemas de distribuição de água. Laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Abril de 1984.
- [3] TENTÚGAL-VALENTE, J. - Influência dos sistemas de elevação no cálculo da capacidade de regularização em reservatórios, IV Jornadas Técnicas da APRH, 2º Encontro Nacional de Distribuidores de Água, Outubro de 1987.

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos constitui uma tarefa de crescente complexidade na sociedade moderna. De facto, a progressiva urbanização e industrialização, a par da intensificação da agricultura, além de originarem maiores necessidades de água, são responsáveis pela grande quantidade de resíduos domésticos e industriais lançados no ambiente, provocando a deterioração da qualidade de águas subterrâneas e superficiais.

A complexa tarefa da gestão dos recursos hídricos disponíveis apresenta como factores determinantes o conflito de interesses gerados na sua utilização, o carácter aleatório dos fenómenos hidrológicos e limitações de ordem técnica, económica e social na tomada de decisões.

Na prática, a reprodução consistente e simplificadora da realidade por meio de modelos matemáticos em variadas situações de gestão de recursos hídricos, tem-se revelado muito atraente. A aplicação judiciosa dos modelos matemáticos a situações reais de planeamento, assumidas as suas limitações e hipóteses simplificadoras, pode constituir uma ferramenta poderosa capaz de proporcionar benefícios reais na actividade de gestão de recursos hídricos.

Neste contexto, têm sido desenvolvidos e aplicados modelos de simulação na definição do sistema natural, modelos de optimização, na geração de alternativas de esquemas de transporte e tratamento de águas e esgotos e modelos de decisão na escolha da melhor solução a implementar.

O modelo OPTIMA pode enquadrar-se no conjunto dos modelos de optimização ao qual se associa sempre o modelo de simulação do sistema natural.

2. DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO

O modelo OPTIMA considera o sistema natural numa bacia hidrográfica constituído pelo rio principal e seus afluentes e um sistema complexo de ETAR, ETA, descargas de esgotos directas sem tratamento e esquemas alternativos de afluxo de esgotos a ETAR.

A procura da melhor estratégia de funcionamento do sistema, isto é, aquela a que corresponde a solução de custo mínimo - máximo benefício, é realizada no domínio das alternativas definidas no intervalo de dois cenários extremos: a) permissão de todas as descargas de tratamento, utilizando as águas superficiais como receptor de esgotos; b) tratamento de todas as descargas ao nível mais avançado possível, a custos inabarcáveis.

Considerando dados da região obtidos a partir de estudos prévios de engenharia (topografia, demografia, caudais e concentração de poluentes nos esgotos produzidos e padrões de qualidade exigidos para as águas superficiais), são geradas hipóteses alternativas de número e distribuição de ETAR e ETA e esquemas de transporte de esgotos. A estratégia optima é então determinada aplicando a Programação Dinâmica num processo sequencial de decisões, considerando, para o período de projecto, variáveis de engenharia e variáveis económicas.

Tendo em conta a capacidade de assimilação de poluente das águas superficiais e os limites pré-estabelecidos para a sua qualidade, o modelo permite a consideração de três opções de planeamento distintas, de acordo com a capacidade de tratamento instalada na região: Opção 1-Ausência de esquemas de tratamento em que se determina o custo mínimo, localização, capacidade e tipo de tratamento para o sistema a construir; Opção 2-Existência de um esquema de tratamento, para o qual é definida uma estratégia óptima de funcionamento; Opção 3-Funcionamento deficiente do sistema existente, em que se define a estratégia óptima para a localização, capacidade e tipo de tratamento dos novos esquemas de tratamento a implementar, tendo em como referência o funcionamento óptimo do sistema existente.

3. OPTIMIZAÇÃO DOS ESQUEMAS DE TRATAMENTO

O modelo de optimização utiliza a formulação do processo ramificado de convergência em Programação Dinâmica na simulação do sistema natural constituído pelo rio principal e seus afluentes. Baseada no "Princípio de Optimalidade de Bellman", esta técnica computacional revela-se de grande utilidade na resolução de problemas de controlo que podem ser tratados como processos de decisão em n estágios (BELLMAN et al., 1962).

Em Programação Dinâmica, problemas de decisão de n variáveis são decompostos em n problemas de decisão simples, que se designam estágios e representam um ponto no tempo ou no espaço, conforme o sistema físico considerado. A cada estágio está associada uma variável de estado, S_n , variável de decisão, D_n , uma variável transição, T_n , e uma função contribuição de estágio, R_n .

Na formulação do modelo, os vários cursos de água que constituem o sistema são divididos em n troços, cada um dos quais constitui um estágio no processo de optimização. Na Fig.1 apresentam-se as relações entre os elementos mais relevantes dentro de um estágio, tendo os símbolos o seguinte significado: WP-aglomerado populacional (ou indústria importante); GW-captação de água subterrânea para abastecimento de WP; WT-ETA para abastecimento a WP (em número de 1 a M); WD-descarga pontual sem tratamento; WW-ETAR implantada no troço considerado; WF-produtores de esgotos significativos (aglomerados ou indústrias descarregando em WW (em número de 1 a P)).

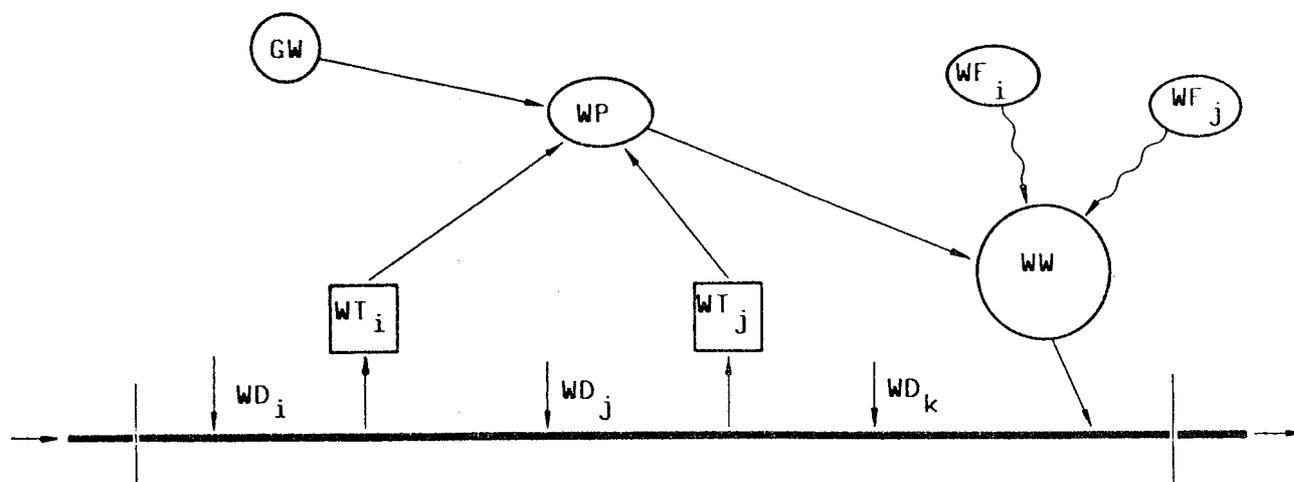


Fig. 1 - Representação esquemática de um estágio

A variável de estado (S_n) é representada pela concentração de material poluente nas águas superficiais. Considerou-se o caso mais geral de poluente degradável, em que a reacção de degradação foi assumida como de primeira ordem. No desenvolvimento do modelo, a carência bioquímica de oxigénio (CBO) foi tida como parametro-tipo. Para cada estágio, S_n é definida para um conjunto discreto de valores formando uma malha de nós limitada, inferior e superiormente, por valores que constituem os padrões de qualidade da água pré-estabelecidos ao longo de todos os troços do sistema. Após esta definição, o algoritmo de optimização cria um conjunto de decisões, D_n , do qual resulta um conjunto de contribuições de estágio, R_n , associado aos custos de cada decisão. Na Fig. 2 representa-se esquematicamente o processo de determinação da política óptima utilizado.

A função de transição em cada estágio, T_n , é obtida a partir de um balanço de massa, realizado em cada troço do sistema e define a forma como a variável de estado se transforma ao passar de um estágio para o seguinte.

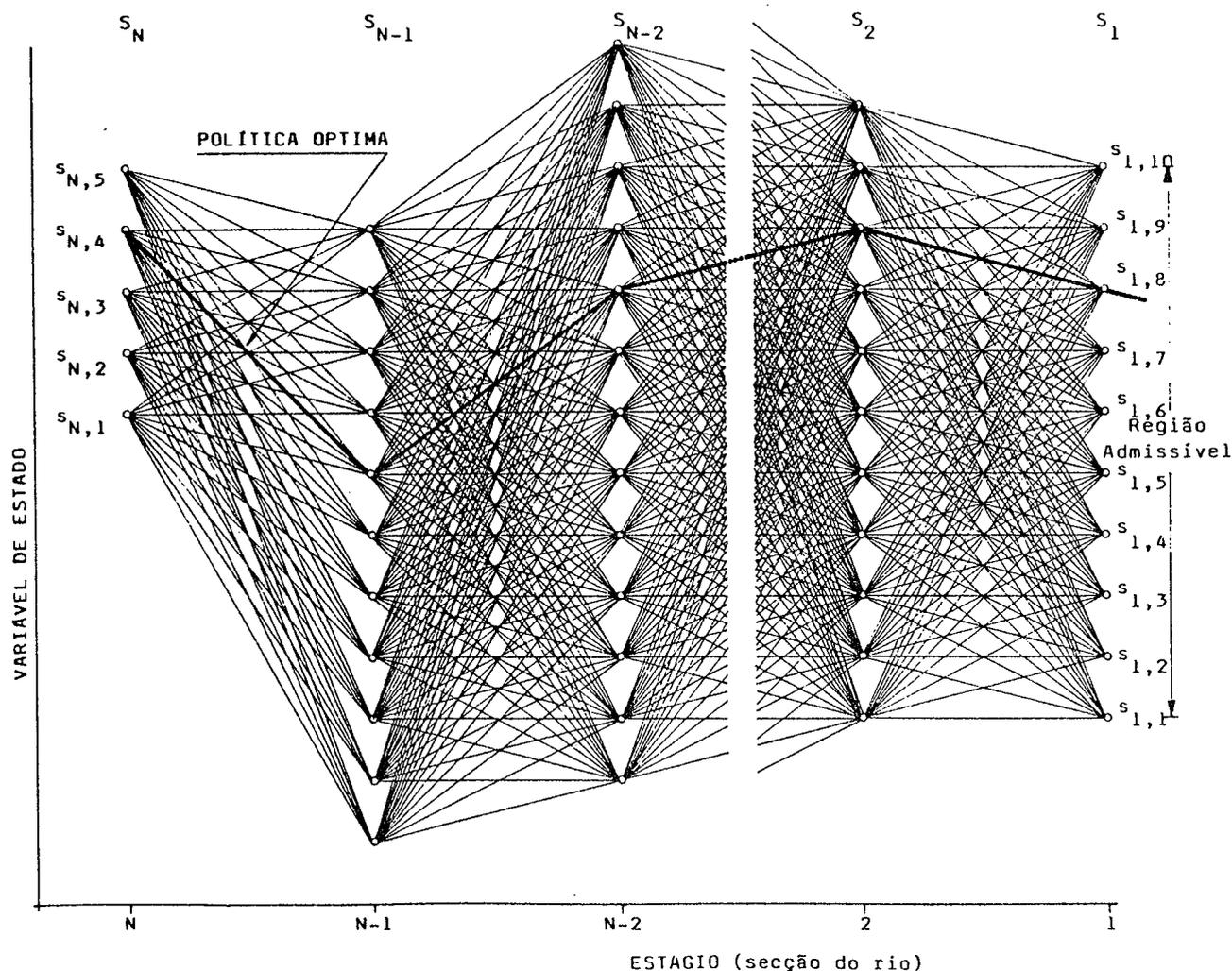


Fig. 2 - Esquema de determinação da solução optima utilizado em programação dinâmica

A função de contribuição de estágio, R_n , obtida para cada par de valores da variável de estado, S_n , e da variável de decisão, D_n , define-se pelo custo actualizado dos encargos de investimento, operação e manutenção de ETAR, ETA e sistemas de transporte de esgotos implantados no troço do rio considerado e tem a forma seguinte:

$$R_n = E_n + \alpha_n \sum_{m=1}^{M_n} C_{nm} + \beta_n \sum_{p=1}^{P_n} F_{np} - \sum B_n$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, N$$

em que:

E_n = custo total actualizado de WW (investimento + operação e manutenção);

C_{nm} = custo total de WT (m);

F_{np} = custo total actualizado de estações e condutas elevatórias ou emissários transferindo esgotos de WF (p) para WW;

B_n = benefício directo;

α_n = indicador de existência de WT; 1 = existente; 0 = não existente;

β_n = indicador de existência de sistemas de transferência de esgotos de outros aglomerados, que não WP, para WW; 1 = conduta elevatória existente; 2 = emissário gravítico existente; 0 = não existente;

M_n = número de WT no troço n;

m = índice variando de 1 a M;

P_n = número de WF no troço n;

p = índice variando de 1 a P;

N = número de troços do sistema.

Mais detalhes sobre o algoritmo de optimização e a solução técnica aplicada podem ser encontrados em VIEIRA, 1986 e 1987.

4. APLICAÇÃO DO MODELO

Para a verificação do seu comportamento, o modelo foi testado em situações reais de planeamento.

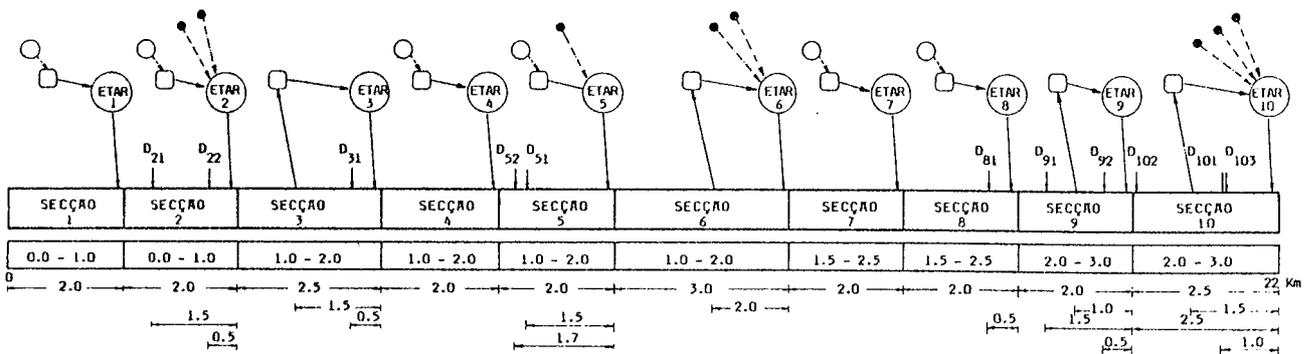
Numa primeira fase, todas as capacidades e opções de planeamento foram utilizadas na aplicação a uma bacia hidrográfica fictícia. Nesta fase foi considerado separadamente o comportamento do modelo num sistema de rio com e sem afluentes. O presente trabalho apresenta, sucintamente, os aspectos relevantes relacionados com os dados e resultados obtidos num sistema fictício de rio sem afluentes (designado a seguir por rio Branco).

Numa segunda fase, o modelo foi aplicado à bacia hidrográfica do rio Ave na opção de planeamento que considera a ausência de esquemas de tratamento, tendo como objectivo determinar o custo mínimo, localização, capacidade e tipo de tratamento para o sistema a construir. Detalhes desta aplicação podem ser obtidos em VIEIRA e LIJKLEMA, 1988.

As bases de planeamento utilizadas na aplicação de todas as opções ao caso do rio Branco, estão esquematicamente representadas na Fig. 3. O custo total de transporte e tratamento de água e esgotos considerando nas várias alternativas inclui custos de investimento e custos de operação e manutenção actualizados

a 1985. Nesta aplicação apenas foram consideradas as hipóteses de tratamento biológico de esgotos pelos processos de leitos percoladores e lamas activadas. Na Fig. 4 apresenta-se como exemplo, funções de custo para o processo de leitos percoladores.

Para cada alternativa seleccionada, o modelo determina o custo total actualizado associado a política optima (política de custo mínimo para os parametros de qualidade impostos). Para além desta informação, o "output" do programa faz uma descrição detalhada de: a) troços em que o rio foi dividido; b) limites para a variável de estado (CBO); c) dimensão máxima de grelha dos valores da variável de estado usada no algoritmo de optimização; d) tipo de tratamento em cada estágio; e) concentração de material poluente em cada estágio; f) custos de investimento e custos totais associados a cada ETAR, ETA e sistemas elevatórios no periodo de análise. Nos Quadros 1, 2 e 3 reproduzem-se saídas de dados e resultados nas diferentes opções de planeamento permitidas pelo modelo.



montante

Jusante

LEGENDA

- ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS (ETAR)
- AQUELERAÇÃO POPULACIONAL (OU INDÚSTRIA IMPORTANTE)
- CAPTAÇÃO DE ÁGUA INDEPENDENTE DO SISTEMA FLUVIAL
- ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTOS SEM TRATAMENTO

Fig. 3 - Bases de planeamento para o rio Branco. Caso de rio sem afluentes

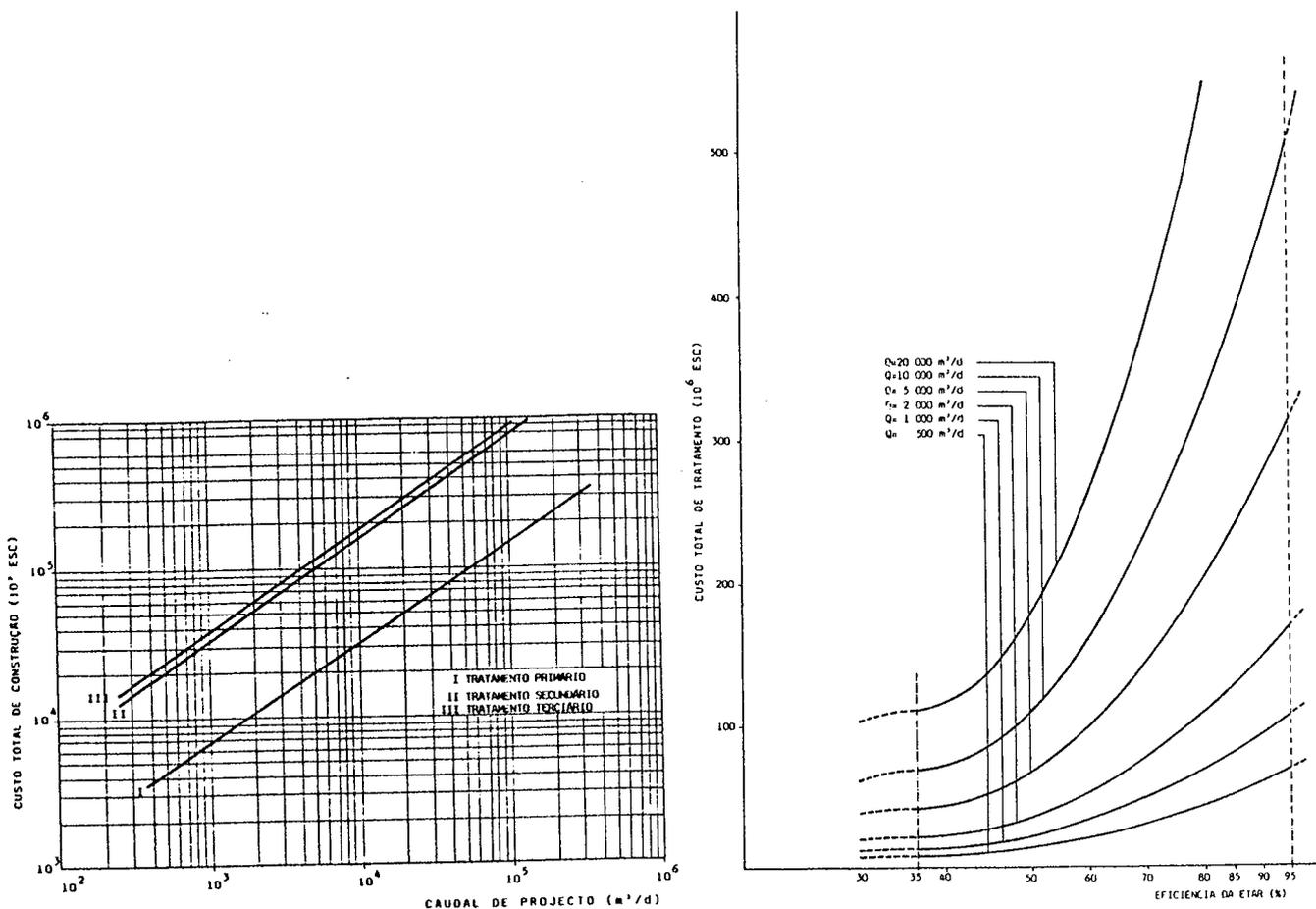


Fig. 4 - Custo total de tratamento para o processo de leitos percoladores

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Dos vários resultados do modelo, podem retirar-se algumas conclusões:

a) Os custos totais actualizados nas várias políticas simuladas (não variando os parametros base de projecto) apresentam um valor mínimo na Opção 1 e um valor máximo na Opção 2. Esta constatação confirma a expectativa obvia de que se deve encontrar uma política de menores custos sempre que seja possível estabelecer, em projecto, o tipo e localização dos vários esquemas de transporte e tratamento;

b) Alterando os limites de variação de CBO nos vários estágios, encontram-se trajectórias optimas diferentes da obtida na simulação base. Constata-se que o custo total actualizado das soluções diminui sempre que se eleva o nível permitido de CBO nas águas superficiais, implicando portanto, uma diminuição dos níveis de tratamento exigidos nas ETAR;

c) Os custos de tubagens e elevação de esgotos mostraram-se irrelevantes no comportamento do custo total actualizado nas várias simulações efectuadas. Contudo, outros factores, como o custo de energia, salários, taxas de juro e caudal do rio mostraram ter, em cada alternativa, uma influência significativa tanto no custo, como no esquema de tratamento a adoptar. Neste contexto a adopção de leitos percoladores (ETAR tipo 2) é nitidamente favorecida relativamente a lamas activadas (ETAR tipo 1).

QUADRO 1 - Exemplo de saída de dados e resultados. Opção 1

OPCAO SIMULADA 1

NESTA OPCAO O MODELO DEFINE UMA ESTRATEGIA OPTIMA DE IMPLANTACAO DE ETAR DOS TIPOS SIMULADOS, PARA A BACIA HIDROGRAFICA

IDENTIFICACAO POR SECCOES DA BACIA HIDROGRAFICA

FOONTE FOZ AFLUENCIA
RIO PRINCIPAL 1 10

LIMITES DA VARIIVEL DE ESTADO (BOD) (mg/L)

SECCAO	BOD MAX	BOD MIN	BODMAX FOZ	BODMIN FOZ	DIM GRELHA
1	1.00	.00			
2	1.00	.00			
3	2.00	1.00			
4	2.00	1.00			
5	2.00	1.00			
6	2.00	1.00			
7	2.50	1.50			
8	2.50	1.50			
9	3.00	2.00			
10	3.00	2.00	2.50	2.00	.05

POLITICA OPTIMA - CUSTOS DE INVESTIMENTO (CONTOS)

ESTAGIO	CT.ETAR	CT.ELEVAT	CT.ETAG
1	138737.	0.	C.
2	216333.	705.	C.
3	501003.	0.	C.
4	185167.	0.	C.
5	201460.	499.	C.
6	1843462.	0.	C.
7	482515.	1289.	C.
8	112868.	0.	C.
9	612228.	0.	C.
10	74233.	1734.	0.
TOTAL	4368007.	4226.	C.
CUSTO DE INVESTIMENTO TOTAL		4372233.	

POLITICA OPTIMA - CUSTOS TOTAIS (CONTOS)

ESTAGIO	CT.ETAR	CT.ELVAT	CT.ETAG	EFIC.ETAR	ESTA.BOD	TP ETAR
1	129522.	0.	0.	.487	.25 .24 .50	2
2	176963.	59677.	0.	.512	.50 .58 1.00	2
3	875279.	0.	0.	.763	1.00 1.02 1.30	2
4	309571.	0.	0.	.740	1.30 1.27 1.30	2
5	186941.	23527.	0.	.602	1.30 1.36 1.45	2
6	5603872.	0.	0.	.957	1.45 1.40 1.95	2
7	979492.	45235.	0.	.804	1.95 1.91 2.10	2
8	97337.	0.	0.	.555	2.10 2.10 2.15	2
9	1444092.	0.	0.	.853	2.15 2.19 2.35	2
10	101275.	58276.	0.	.435	2.35 2.43 2.50	2
TOTAL	9904344.	186716.	0.			
CUSTO TOTAL DA POLITICA SIMULADA				10091060.		

ERRATA

PÁG. 4

Onde lê-se "aproximadamente 70.000 Km²", leia "aproximadamente 70.000 Km², e a do reservatório de 18.450 Km²".

PÁG. 8

No Quadro II, na coluna onde constam aos "Limites Res. nº 20.."; os valores referentes aos parâmetros Alumínio até Zinco se procedem do símbolo matemático Δ .

PÁG. 10

Onde lê-se "pode-se afirmar", leia "pode-se dizer".