



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HIDRÍCOS

RELATÓRIO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Título:

RESERVATÓRIOS DE COMPENSAÇÃO :
SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DE
BÉLANGER USANDO TURBO PASCAL

Aluno - Estagiário: Elton Silva Cruz, Mat.: 29921088

Orientador: Dr. Sarma Kameswara Venkata Seemanapalli, PhD

Supervisor: Dr. Sarma Kameswara Venkata Seemanapalli, PhD

Campina Grande – Paraíba
Julho de 2001



Biblioteca Setorial do CDSA. Agosto de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

O aluno estagiário, Elton Silva Cruz, agradece profundamente ao Dr. Sarma K. V. Seemanapalli, Ph.D. (EUA), Professor da Área de Engenharia de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil da U.F.P.B., Campus-II, Campina Grande - Paraíba pela orientação objetiva e pelos programas computacionais desenvolvido por ele, com auxílio do Sr. Alex Neyves, então aluno de I.C. do Dr. Sarma Seemanapalli. O aluno Elton Silva Cruz agradece ainda a Coordenação da Área de Engenharia Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil da U.F.P.B., Campus-II, Campina Grande, Paraíba pelo apoio, dado no qual possibilitou a conclusão satisfatória desta pesquisa no Laboratório Hidráulica na já citada instituição de ensino, e não esquecer de agradecer ao meu Deus, por ter iluminado em mais um estudo.

Índice

1.0 – Resumo	01
2 .0 –Introdução	01
2.1 - Definição Do Problema De Distribuição D'água Nos 3 Ou Mais Reservatórios	01
2.2- Definição e Finalidades	02
2.3 – Classificação de Tubulações	02
2.4 – Traçados dos condutos	03
2.5 – Condições para Dimensionamento	04
2.6 - Localização e Dimensionamento dos Órgãos Acessores	05
3.0 – O Problema de Bélanger	09
3.1 – Área específica de aplicação	10
3.2 – Zona de Pressão em Redes de Distribuição	11
3.3 – Entrada e Saída dos Reservatórios (Volume a armazenar e Reservas)	12
3.4 – Reserva de Equilíbrio	12
3.5 – Rede de Distribuição	13
3.6 – Solução Gráfica para o Problema de Bélanger	13
3.7 – Aplicação do Método – Um exemplo Ilustrativo	14
3.8 - Um outro exemplo com dados diferentes para mostrar a generalidade da aplicação do programa em Turbo Pascal para resolver o problema de Bélanger.	15
4 .0 – Conclusão	16
5.0 – Bibliografia	16

1.0 - RESUMO

O problema de Bélanger ou três reservatórios , consiste em determinar as condições do fluxo nos três reservatórios com níveis de cotas conhecidas. Essas condições são dependentes da cota piezométrica do ponto de bifurcação dos condutos, conforme verifica-se pelos esquemas diferentes. O Problema de “Bélanger” significa a determinação da carga hidráulica na junção dos três reservatórios de compensação. Com níveis conhecidos nos três Reservatórios, será resolvido a outra carga (ou cota) na junção das tubulações, usando Turbo Pascal (TP) Versão 6.0. A generalização deste tipo do problema permitirá a obtenção da carga de qualquer um dos três reservatórios citados acima ou a cota na junção, dada informações sobre as outras três cotas, diâmetros das tubulações, fatores de atrito dos tubos e comprimentos dos mesmos e ainda ajudará em conhecer a cota do reservatório a ser ainda projetado e construído , visando a aplicação deste procedimento para uso na agricultura ou no abastecimento público da água.. Para mostrar a eficácia deste dispositivo, um exemplo prático foi fornecido a fim de mostrar a efetividade da Linguagem Pascal.

2.0 - INTRODUÇÃO

2.1-DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE DISTRIBUIÇÃO D'ÁGUA NOS 3 OU MAIS RESERVATÓRIOS

Chama-se de sistema de distribuição o conjunto formado pelos reservatórios e rede de distribuição, sub-adutoras e elevatórias que recebem água de reservatórios de distribuição, enquanto que rede de distribuição é um conjunto de tubulações e de suas partes acessórias destinado a colocar a água a ser distribuída a disposição dos consumidores, de forma contínua e em pontos tão próximos quanto possível de suas necessidades.

É importante, também, o conceito de vazões de distribuição que é o consumo distribuído mais as perdas que normalmente acontecem nas tubulações distribuidoras. Tubulação distribuidora é o conduto da rede de distribuição em que são efetuadas as ligações prediais dos consumidores. Esta tubulação pode ser classificada em condutos principais, aqueles tais que por hipóteses de cálculos permite a água alcançar toda a rede de distribuição, e secundários, demais tubulações ligadas aos condutos principais.

2.2- Definição e Finalidades

Os reservatórios são unidades hidráulicas de acumulação e passagem de água situados em pontos estratégicos do sistema de modo a atenderem as seguintes situações:

- garantia da quantidade de água (demandas de equilíbrio, de emergência e de anti-incêndio);
- garantia de adução com vazão e altura manométrica constantes; menores diâmetros no sistema;
- melhores condições de pressão.

2.3- Classificação de Tubulações

Normalmente as redes de distribuição constituem-se de tubulações principais, também denominadas de *tubulações tronco* ou *mestras*, alimentadas diretamente por um reservatório de montante, ou por um de montante e um de jusante, ou, ainda, diretamente da adutora com um reservatório de jusante. Destas principais partem as secundárias das quais saem praticamente a totalidade das sangrias dos ramais prediais. As redes podem ser classificadas nos seguintes grupos:

a) de acordo com o traçado,

- ramificada (pequenas cidades, pequenas áreas, comunidades de desenvolvimento linear, pouca largura urbana, etc.);
 - malhada (grandes cidades, grandes áreas, comunidades com desenvolvimento concêntrico, etc).
- b) de acordo com a alimentação dos reservatórios,
- com reservatório de montante;
 - com reservatório de jusante (pequenos recalques ou adução por gravidade);
 - com reservatórios de montante e de jusante (grandes cidades);
 - sem reservatórios, alimentada diretamente da adutora (pequenas comunidades).
- c) de acordo com a água distribuída,
- rede simples (rede exclusiva de distribuição de água potável);
 - rede dupla (uma rede de água potável e uma outra de água sem tratamento, principalmente quando há dificuldades de obtenção de água de boa qualidade).
- d) de acordo com o número de zonas de pressão,
- zona única;
 - múltiplas zonas (comunidades urbanas com desníveis geométricos acentuados - mais de 50m ou muito extensas).
- e) de acordo com o número de condutos distribuidores numa mesma rua
- distribuidor único;
 - com distribuidores auxiliares (conduto principal com diâmetro mínimo de 400 mm);
 - dois distribuidores laterais (ruas com tráfego intenso, largura superior a 18 m e dependendo do custo da reposição do pavimento).

2.4- Traçado dos Condutos

A redes de distribuição dos sistemas públicos de abastecimento de água constituem-se de seguimentos de tubulação denominados de trechos que tanto

podem estar em posições tais que terminem em extremidades independentes como em início de outros trechos. Desta maneira a disposição dos trechos podem também ser de tal forma que formem circuitos fechados. De acordo com ocupação da área a sanear e as características dos arruamentos, os traçados podem resultar na seguinte classificação:

- ramificados;
- malhados;
- mistos.

Embora as redes ramificadas sejam mais fáceis de serem dimensionadas, de acordo com a dimensão e a ocupação urbana da comunidade, para maior flexibilidade e funcionalidade da rede e redução dos diâmetros principais, recomenda-se que os condutos devem formar circuitos fechados quando:

área a sanear for superior a 1 km²;

condutos paralelos consecutivos distarem mais de 250 m entre si;

condutos principais distarem mais de 150 m da periferia;

vazão total distribuída for superior a 25 l/s;

for solicitado pelo contratante;

justificado pelo projetista.

2.5- Condições para Dimensionamento

No dimensionamento hidráulico das redes de distribuição devem ser obedecidas determinadas recomendações que em muito influenciarão no resultado final pretendido, como as que seguem:

- nos condutos principais o $Q_{máx}$ deve ser limitado por uma perda limite de 8m/km;
- o diâmetro mínimo nos condutos principais deverão ser de 100 mm e nos secundários 50 mm (2"), permitindo-se particularmente para comunidades com população de projeto de até 5000 hab e per capita máximo de 100 hab, o emprego de 25 mm (1") para servir até 10

economias, 30 mm (1.1/4") até 20 e 40 mm (1.1/2") para até 50 economias;

- ao longo dos trechos com diâmetros superiores a 400 mm deverão ser projetados trechos secundários com diâmetro mínimo de 50 mm, para ligação dos ramais prediais;
- condutos com diâmetros superiores a 400 mm não deverão trabalhar com velocidades superiores a 2,00 m/s;
- deve-se adotar, no mínimo, uma rugosidade equivalente de 1 mm para trechos novos e 3 mm para os existentes.

2.6 - Localização e Dimensionamento dos Órgãos Acessórios

A malha de distribuição da rede não é composta somente de tubos e conexões. Dela também fazem parte peças especiais que permitem a sua funcionalidade e operação satisfatória do sistema, tais como válvulas de manobra, ventosas, descargas e hidrantes. Os circuitos fechados possuem válvulas de fechamento (em geral registros de gaveta com cabeçote e sem volante) em locais estratégicos, de modo a permitir possíveis reparos ou manobras nos trechos a jusante. Nos condutos secundários estas válvulas situam-se nos pontos de derivação do principal.

Nos pontos deverão ser indicadas válvulas de descarga (registros de gaveta com cabeçote) para possibilitarem o esgotamento dos trechos a montante, no caso de eventuais reparos. Estas válvulas poderão ser substituídas por hidrantes. Nestes casos deve-se ter o máximo de esmero na localização e drenagem do local para que não haja perigo de contaminação da rede por retorno de água esgotada. Nos pontos mais altos deverão ser instaladas ventosas para expurgo de possíveis acúmulos de ar no interior da tubulação. No caso de existir ligações de consumidores nestes pontos a ventosa poderá ser economizada em função dos custos de aquisição, instalação e manutenção e de maior garantia contra eventuais infiltrações de água contaminada nos condutos, embora, em sistemas de distribuição medidos e intermitentes possa haver um pequeno prejuízo financeiro para o usuário.

De um modo geral deve-se observar que:

- em um nó com três ou mais trechos deve haver válvula de fechamento;
- as válvulas de descarga deverão ser no diâmetro do trecho e no máximo de 100 mm;
- habitualmente a distância máxima entre hidrantes é de 600 m.

NOTA: para densidades habitacionais de até 150 hab/ha devem ser feitos cálculos pra vazão por hidrante de 30 l/s e para as demais situações podemos empregar 15 l/s, desde que haja anuência do Corpo de Bombeiros (CB) responsável pela segurança da localidade. Em qualquer circunstância o CB atuante na localidade deverá ser ouvido antes do início do cálculo de qualquer projeto de abastecimento urbano de água. Lembrar também, que no Brasil, os CB são corporações estaduais e, portanto, suas normas podem variar de estado para estado.

As condições do movimento dependem, como é evidente, além das cotas dos níveis dos reservatórios e do ponto de bifurcação, dos diâmetros e dos comprimentos das canalizações e, segundo os elementos conhecidos, o problema se apresenta sob dois aspectos:

- a) Problema direto: dadas as cotas dos níveis dos reservatórios e do ponto de bifurcação, os comprimentos e os diâmetros dos trechos, determinar as vazões dos condutos.
- b) Problema inverso: dadas as cotas dos níveis dos reservatórios e o ponto de bifurcação, os comprimentos e as vazões dos condutos, calcular os respectivos diâmetros. Para a solução desses problemas, dispõe-se das seguintes equações:

A equação da perda de carga no trecho $R_1 R_j$

$$x = z_1 - \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) = k \cdot \frac{Q_1^2}{D_1^5} \cdot l_1 \quad (1)$$

e no trecho $R_1 R_2$

$$h_2 - x = \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) - z_2 = k \cdot \frac{Q_2^2}{D_2^5} \cdot l_2 \quad (2)$$

e no trecho R₁R₃

$$h_3 - x = \left(z + \frac{p}{\gamma} \right) - z_3 = k \cdot \frac{Q_3^2}{D_3^5} \cdot l_3 \quad (3)$$

e da relação das vazões

$$Q_1 = Q_2 + Q_3. \quad (4)$$

No problema direto, as incógnitas são a perda de carga x e as vazões, e no problema inverso tem-se a determinar a perda x e os diâmetros D_1 , D_2 e D_3 ; no segundo caso, a equação das vazões é uma identidade, e deve-se procurar uma quarta equação para tornar o sistema determinado, o que se obtém recorrendo à condição do mínimo custo das canalizações. A forma mais simples de resolver o problema direto é proceder por tentativas, tirando os valores de Q_1 , Q_2 e Q_3 nas três primeiras equações, em função da perda x , e substituindo-se na equação das vazões:

$$Q_1 = k \sqrt{D_1^5 \cdot \frac{x}{l_1}}; \quad Q_2 = k \sqrt{D_2^5 \cdot \frac{h_2 - x}{l_2}}; \quad Q_3 = k \sqrt{D_3^5 \cdot \frac{h_3 - x}{l_3}} \quad (5)$$

$$k \sqrt{D_1^5 \cdot \frac{x}{l_1}} = k \sqrt{D_2^5 \cdot \frac{h_2 - x}{l_2}} + k \sqrt{D_3^5 \cdot \frac{h_3 - x}{l_3}}$$

Na expressão 4, a única incógnita é a perda x , de modo que, arbitrando diversos valores para x , pode-se chegar aquele que satisfaz a igualdade; como os demais elementos são conhecidos, pode-se escrever:

$$A\sqrt{x} = B\sqrt{h_2 - x} + C\sqrt{h_3 - x}, \quad (6)$$

que, resolvida por tentativas, dá as próprias vazões procuradas.

Para reconhecer se o problema cai no caso (a), (b) ou (c), basta fazer $x = h_2$, quando não haveria escoamento no trecho CR_2 ; se, para essa hipótese, calculadas as vazões Q_1 , e Q_3 , obtém-se $Q_1 > Q_3$, o problema se enquadra no primeiro caso, isto é, o reservatório R_1 fornece água para R_2 e R_3 ; se $Q_3 > Q_1$, o problema se enquadra no segundo caso, isto é, R_3 é alimentado por R_1 e R_2 ; se $Q_1 = Q_3$, não há vazão no trecho CR_2 . Realmente, se para $x = h_2$ se obtém $Q_3 > Q_1$, não é possível admitir-se o primeiro caso, porquanto sendo então $x < h_2$, o reservatório R_3 recebe água dos dois outros; ora, para $x < h_2$, Q_3 aumenta e Q_1 diminui em relação aos valores encontrados para $x = h_2$, e tornando-se ainda maior a diferença entre ambos, seria absurdo pretender-se chegar à relação $Q_1 = Q_2 + Q_3$.

Uma quarta equação pode ser obtida através da condição do custo mínimo da instalação. Chamando c o custo de um conduto de 1 m de diâmetro e 1 m de comprimento, e supondo que da instalação varie linearmente com o diâmetro da tubulação e com o comprimento, tem-se, para custo das canalizações;

$$C = c_1 D_1 + c_2 D_2 + c_3 D_3 \quad (7)$$

e, como condição de custo mínimo;

$$\frac{dC}{dx} = c_1 \frac{dD_1}{dx} + c_2 \frac{dD_2}{dx} + c_3 \frac{dD_3}{dx} \quad (8)$$

Derivando as expressões do sistema, obtém-se;

$$\frac{dx}{dD_1} = -\frac{5kQ_1^2 l_1}{D_1^6}, \quad \frac{dx}{dD_2} = -\frac{5kQ_2^2 l_2}{D_2^6}, \quad \frac{dx}{dD_3} = -\frac{5kQ_3^2 l_3}{D_3^6} \quad (9)$$

e ;

$$\frac{dD_1}{dx} = -\frac{D_1^6}{5kQ_1^2 l_1}, \text{ etc.} \quad (10)$$

Substituindo esses valores, obtém-se a condição de custo mínimo aliás, já demonstrada anteriormente.

$$\frac{D_1^6}{Q_1^2} = \frac{D_2^6}{Q_2^2} = \frac{D_3^6}{Q_3^2}, \text{ ou } \frac{D_1}{J_1} = \frac{D_2}{J_2} = \frac{D_3}{J_3} \quad (11)$$

Expressando D_1 , D_2 e D_3 pelos seus valores tirados das equações, obtém-se a expressão:

$$\frac{Q_1^{2/5} l_1^{6/5}}{x^{6/5}} = \frac{Q_2^{2/5} l_2^{6/5}}{(h_2 - x)^{6/5}} + \frac{Q_3^{2/5} l_3^{6/5}}{(h_3 - x)^{6/5}} \quad (12)$$

na qual o único valor desconhecido é x , que pode ser determinado por tentativa; o valor de x que satisfaz, levado ao sistema, permite calcular D_1 , D_2 e D_3 .

Fazendo, portanto, $h_1 = h_2$, e determinado o sentido do escoamento nos trechos CR_2 e CR_3 : basta, conforme o caso, aumentar ou diminuir H_j , para, com algumas aproximações, encontrar a solução da Eq. 6. Para limitar ainda mais o campo das aproximações, pode-se observar o seguinte: se $H_1 < H_2$, o seu valor deve estar compreendido entre H_1 e $H_2 * l_1 / (l_1 + l_2)$, podendo-se tomar, como 2ª aproximação, a média desses valores; se $h_1 > h_2$, o mesmo deve estar compreendido entre H_2 e $H_3 * l_1 / (l_1 + l_2)$, procedendo-se da mesma maneira.

3.0 - O PROBLEMA DE BÉLANGER

O problema de 3 reservatórios, comumente chamado como o problema de Bélanger consiste na determinação das condições do fluxo nos três reservatórios com níveis de cotas conhecidas. Essas condições dependem das cotas piezométricas do ponto de bifurcação dos condutos, conforme verifica-se pelos esquemas diferentes. (Figura 1).

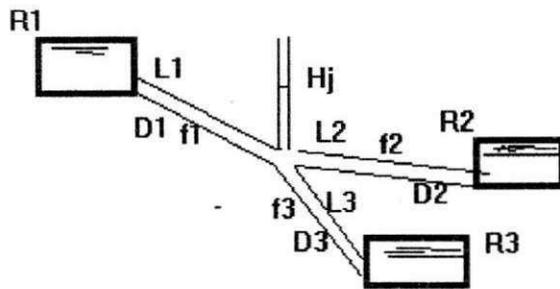


Fig. 01 – O Problema de Três Reservatórios de Bélanger: R₁, R₂ e R₃ são os 3 Reservatórios; L₁, L₂ e L₃

L₁, L₂ e L₃ Comprimentos dos Conduitos sob Pressão; D₁, D₂ e D₃ = Diâmetros e f₁, f₂ e f₃ são respectivamente os Fatores de Atrito dos conduitos. H_j = a Carga Hidráulica na Junção

a) Se essa cota piezométrica for superior ao nível do reservatório R₂ (ou perda da carga no primeiro trecho inferior à diferença das cotas de R₁ e R₂), o R₁ alimenta os dois outros;

b) Se a cota piezométrica de R_j é menor que a do reservatório R₂ , o reservatório R₃ é alimentado pelos dois outros, e, finalmente;

c) Se a cota piezométrica de C é igual à do nível de R₂ , este não recebe nem fornece água.

3.1 - ÁREA ESPECÍFICA DE APLICAÇÃO

Em um sistema de distribuição denomina-se de *área específica* cada área cujas características de ocupação a torna distinta das áreas vizinhas em termos de densidade demográfica e do tipo de consumidor predominante. Chama-se de *vazão específica* a vazão média distribuída em uma área específica.

As áreas específicas podem ser classificadas em função da predominância ou totalidade de ocupação da área, da seguinte maneira: a) áreas residenciais; b) áreas comerciais; c) áreas industriais; d) mistas.

3.2 - ZONAS DE PRESSÃO EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Zonas de pressão em redes de distribuição são cada uma das partes em que a rede é subdividida visando impedir que as pressões dinâmica mínima e estática máxima ultrapassem os limites recomendados e preestabelecidos. Nota-se, então, que uma rede pode ser dividida em quantas zonas de pressão forem necessárias para atendimento das condições técnicas a serem satisfeitas.

Convencionalmente, as zonas de pressão em redes de abastecimento de água potável estão situadas entre 15 e 50 mca, tolerando-se até 60 mca em até 10% da área e até 70 mca em até 5% da mesma zona, como pressão estática máxima, e até 10 mca em 10% e até 8 mca em até 5% da mesma zona para pressão dinâmica mínima. Em circunstâncias especiais, para populações de até 5000 hab. , pode-se trabalhar com até 6 mca com justificativas garantindo que não ocorrerá riscos de contaminação da rede.

Um ou mais exemplos de uso do programa serão apresentados, com dados concretos dos reservatórios, que incluem Comprimentos das linhas, Diâmetros das linhas, Fator de Atrito das linhas e Cota dos Reservatórios. As Cargas Tentativas na Junção serão escolhidas e os resultados Computacionais das Cargas nas Junções após certo número das iterações serão apresentados.

Conclusões úteis serão apresentadas para uso prático num caso de Abastecimento Público. O programa em TP-6.0 a ser desenvolvido para o problema de três reservatórios de compensação servirá como uma ferramenta muito útil num projeto de cotas dos reservatórios ou a cota na junção, qualquer que seja a incógnita, dadas as outras informações sobre os tamanhos dos condutos como diâmetros e comprimentos e os fatores de atrito dos mesmos.

3.3 - Entradas e saídas dos reservatórios (Volume a armazenar e Reservas)

Os reservatórios de distribuição são dimensionados de modo que tenham capacidade de acumular um volume útil que supra as demandas de equilíbrio, de emergência e anti-incêndio.

3.4 - Reserva de equilíbrio

A reserva de equilíbrio é assim denominada porque é acumulada nas horas de menor consumo para compensação nas de maior demanda, ou seja, como o consumo é flutuante e a vazão de adução é constante, principalmente nas aduções por recalque, nas horas em que o consumo for inferior a demanda o reservatório enche para que nas horas onde o consumo na rede for maior o volume acumulado anteriormente compense o déficit em relação a vazão que entra. A parcela de equilíbrio, V_e , pode ser determinada com o emprego do diagrama das massas ou de Rippl, onde os volumes acumulados são colocados em um par ordenado em função da variação horária. No caso de adução contínua a reserva mínima de equilíbrio será a distância vertical entre as duas tangentes, e no caso de adução durante um intervalo de algumas horas consecutivas do dia (situação comum para pequenos sistemas em virtude dos custos operacionais e da indisponibilidade de operadores qualificados, principalmente em cidades do interior), então a reserva mínima será o volume necessário para suprimento do consumo durante as horas onde não houver adução. Para que a reserva de equilíbrio seja a menor possível devemos colocar a adução no intervalo onde o consumo for mais intenso, de modo que a quantidade de água que saia permita o menor acúmulo possível no reservatório.

3.5 - REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Problema de Três Reservatórios na Irrigação pela Analogia Elétrica e Uso de Turbo - Pascal

Chama-se de *sistema de distribuição* o conjunto formado pelos reservatórios e rede de distribuição, sub-adutoras e elevatórias que recebem água de reservatórios de distribuição, enquanto que *rede de distribuição* é um conjunto de tubulações e de suas partes acessórias destinado a colocar a água a ser distribuída a disposição dos consumidores, de forma contínua e em pontos tão próximos quanto possível de suas necessidades.

É importante, também, o conceito de *vazões de distribuição* que é o consumo distribuído mais as perdas que normalmente acontecem nas tubulações distribuidoras. *Tubulação distribuidora* é o conduto da rede de distribuição em que são efetuadas as ligações prediais dos consumidores. Esta tubulação pode ser classificada em condutos principais, aqueles tais que por hipóteses de cálculos permite a água alcançar toda a rede de distribuição, e secundários, demais tubulações ligadas aos condutos principais.

3.6 - Solução Gráfica para o Problema de Bélanger

O problema foi resolvido graficamente: arbitram-se valores de H_{j1} e H_{j2} e constroem-se, as curvas de descarga para cada conduto; traçando a curva $Q_2 + Q_3$, com a devida atenção para o sentido do escoamento, pela interseção de Q_1 com $Q_2 + Q_3$ obtém-se a vazão em (2). Para os valores de H_{j1} e H_{j2} , as alternativas serão:
Alternativa 1: H_{j1} fica entre H_1 e H_2, H_3 , então o erro na vazão, $\delta Q_1 = q_1 - q_2 - q_3$;
Alternativa 2 : H_{j2} fica entre H_2 e H_3 ; então o erro na vazão, $\delta Q_2 = q_1 + q_2 - q_3$.

Usando a igualdade:

$$\frac{(c \arg aHj1 - c \arg aHj2)}{\delta Q1 - \delta Q2} = \frac{(c \arg aHj1 - c \arg aHj)}{\delta Q1 - \delta Q0}$$

a incógnita H_j foi determinada. A figura 2 é auto-explicativa para esclarecer a maneira de determinar a carga incógnita H_j na junção J

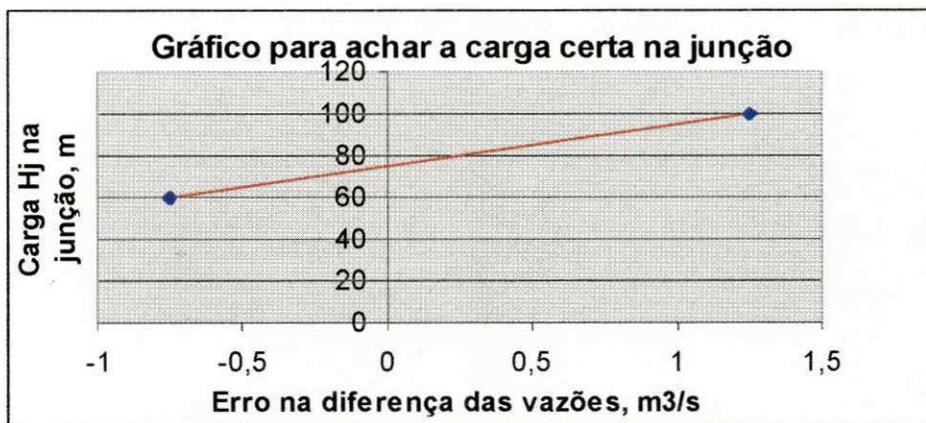


Fig.2 – Gráfico para achar a carga H_j certa na junção.

A interseção dos eixos X e Y representa H_j , que é o valor da carga certa na junção. E os pontos azuis são dois valores das duas tentativas.

Enquanto o 1º resultado obtido poderá mostrar um erro na ordem de 6 a 10%, com iteração, o resultado sai com uma precisão maior. O programa dará as opções de (D) Verificar dados; (R) Verificar resultados; (M) Modificar dados; (T) Interagir o valor final; (I) Reinicializar o programa; ou (F) Finalizar o programa e então mostrar na tela ou imprimir o Resultado Final (R).

3.7 - Aplicação do Método - Um Exemplo Ilustrativo

Um exemplo de uso do programa será demonstrado aqui, com dados concretos dos reservatórios.

Comprimentos das linhas: $L_1 = 300\text{m}$, $L_2 = 400\text{m}$ e $L_3 = 500\text{m}$: Diâmetros das linhas : $D_1 = 0.3\text{m}$, $D_2 = 0.4\text{m}$ e $D_3 = 0.5\text{m}$: Fator de Atrito das linhas: $f_1 = 0.01$,

$f_2 = 0.02$ e $f_3 = 0.03$: Cota dos Reservatórios: $H_1 = 100\text{m}$, $H_2 = 80$ e $H_3 = 70\text{m}$: As Cargas Tentativas na Junção: $H_{j1} = 85\text{m}$, $H_{j2} = 75\text{m}$.

Resultado Computacional da Carga na Junção: $H_j = 79.506\text{m}$: Após Iteração: $H_j \text{ real} = 79.82\text{m}$. Quaisquer que sejam as duas tentativas escolhidas como cargas de teste, sejam 99m e 71m ou 91m e 79m e assim por diante, este resultado final será sempre o mesmo, isto é, H_j na junção será na ordem de 79.82m .

3.8 - Um outro exemplo com dados diferentes para mostrar a generalidade da aplicação do programa em Turbo Pascal para resolver o problema de Bélanger

Comprimento dos 3 condutos: $L_1 = 250\text{m}$, $L_2 = 300\text{m}$ e $L_3 = 350\text{m}$

Diâmetros dos mesmos: $D_1 = 0,3\text{m}$, $D_2 = 0,4\text{m}$ e $D_3 = 0,5\text{m}$

Fator de atrito dos condutos: $f_1 = 0.01$, $f_2 = 0.015$ e $f_3 = 0.02$:

Cotas de Reservatórios: $H_1 = 100\text{m}$, $H_2 = 90\text{m}$ e $H_3 = 80\text{m}$

Tentativas feitas com H_{j1} na Junção = 92m e $H_{j2} = 84\text{m}$.

Resultado Final Computado após de certas iterações : $H_j = 87.584\text{m}$

Assim, quaisquer que sejam as duas tentativas supostas de cargas na junção H_{j1} e H_{j2} , sejam 91m e 98m ou 87m e 82m e assim por diante, o resultado final será o mesmo, seja a carga computada de H_j igual exatamente ao um valor de 87.584m .

O programa de Pascal desenvolvido por Dr. Professor Sarma e Alex e ele vale também para qualquer outra situação. Por exemplo, se as cargas respectivas de H_1 e H_3 sejam dadas como 100m e 80m e a carga ou cota na junção H_j for 87.584m , e as duas cargas tentativas de H_2 foram 85m e 95m , o Cota H_2 do Reservatório R2 poderá ser determinada como 90m . Assim, dado os valores de fatores de atrito f_1 e f_2 das duas tubulações L_1 e L_2 , é possível a determinação de terceiro valor de fator de atrito f_3 da tubulação de Diâmetro D_3 e do comprimento L_3 . É assim o programa é tão generalizado que serve calcular qualquer variável física do Sistema da Rede de Bélanger.

4.0 - Conclusões

O programa em TP-6.0 desenvolvido para o problema de três reservatórios de compensação servirá como uma ferramenta muito útil num projeto de cotas dos reservatórios ou a cota na junção, qualquer que seja a incógnita, dadas as outras informações sobre os tamanhos dos condutos como diâmetros e comprimentos e os fatores de atrito dos mesmos, faz então, uma grande ferramenta de auxílio à o que diz respeito a dimensionamento de tubulações e até mesmo de planejar vazões e capacidade de uma determinada cidade por exemplo.

5.0 - Bibliografia

- AZEVEDO NETTO, J. M. **MANUAL DE HIDRÁULICA**. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda.
- CROLEY E. THOMAS, **Hydraulic Computations on Small Programmable Computations**, Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa, 1977, p.1-837
- GILES, Ranald V. **MECÂNICA DOS FLUIDOS E HIDRÁULICA**. São Paulo, Mc Graw-Hill do Brasil.
- HAZEN e WILLIAMS. **HYDRAULIC TABLES**. Nova York, Editora John Wiley & Sons, Inc. 1963.
- LENCASTRE, Armando. **HIDRÁULICA GERAL**. Lisboa, Edição Luso-Brasileira. 1983.
- RUIZ, L.A. Facorro. **CURSO DE HIDRÁULICA**. Buenos Aires, Libreria y Editorial Alsina. 1960.
- KING e BRATER. **HANDBOOK OF HYDRAULICS**. Nova York, Editora Mc Graw- Hill Book Company. 1963.
- NEVES, E.T. **Curso de Hidráulica**, Editora Globo, Porto Alegre, R.S., 1974, pp.1-577;
- NEVES, Eurico Trindade. **CURSO DE HIDRÁULICA**. Porto Alegre, Editora Globo. 1979.

O'BRIEN, Stephen. **T. Pascal 6**, Makron Books, McGraw-Hill, New York, 1993, pp.1-716.

PASHKOV E DOLQACHEV. **HIDRÁULICA X MÁQUINAS HIDRÁULICAS**. Moscou, Editorial Mir.

QUINTELA, Antônio de Carvalho. **HIDRÁULICA**. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 1981.

RUSSELL, G. E. **HYDRAULICS**. Nova York, Editora Holt, Rinehart and Wiston. 1963.

SARMA, S.V.K. e ALEX N.M. ALVES, **Solução Generalizada para três Reservatórios**, XXVI SBEA, C. Grande, PB, 1997, p. 112-115

SOUZA, Hiran Rodrigues de. **HIDRÁULICA**. São Paulo, Centro de Comunicação Gráfica da Escola "Pro-Tec". 1977.