

**TRABALHOS ENCAMINHADOS AO VII SIMPÓSIO DA ABRH
SALVADOR/NOVEMBRO de 1987**

- 1. CALIBRAGEM DE POSTO FLUVIOMÉTRICO: ROTEIRO,
CUIDADOS E RECOMENDAÇÕES**
- 2. MEDIÇÕES DE DESCARGA LÍQUIDA DOS RIOS SOLIMÕES E
AMAZONAS PELO MÉTODO DO BARCO EM MOVIMENTO**

Autores

GILBERT JACCON

KAZIMIERZ J. CUDO

CALIBRAGEM DE POSTO FLUVIOMÉTRICO : ROTEIRO, CUIDADOS E RECOMENDAÇÕES

POR

1 2
G.JACCON e K.J.CUDO

RESUMO -- No decorrer do processamento das informações fluviométricas, a definição da relação cota-descarga constitui na grande maioria dos casos, um desafio que o hidrólogo vence, geralmente, com grandes dificuldades. É uma das tarefas que tem causado, normalmente, uma certa apreensão e até desistimulo pelo trabalho justamente pelos inúmeros problemas que se apresentam ao longo dos estudos sem que as causas sejam claramente identificadas. Os autores, relatam e comentam de maneira singular as oito etapas que conduzem à obtenção da tabela de calibragem, procurando enfatizar alguns pontos mais importantes como a crítica prévia e sistemática das medições, extrapolação da curva e checagem da tabela de calibragem.

INTRODUÇÃO

Desde 1981 vem sendo desenvolvido no Departamento Nacional de Aguas e Energia Eletrica - DNAEE, o projeto "Pesquisa Aplicada ao Gerenciamento de Recursos Hidricos", no âmbito do programa de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e o Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération - ORSTOM. Neste período, vários trabalhos de curva-chave foram concluídos mas, certamente, as publicações do manual técnico sobre o traçado de curva de calibragem de autoria de G.JACCON, ORSTOM-França, 1987 e em co-autoria com K.J.CUDO, Brasil, 1987, vêm contribuir para uma identificação mais fácil dos principais problemas e orientação na solução dos mesmos.

Na calibragem de um posto fluviométrico procura-se estabelecer uma relação prática entre cotas e descargas e não simplesmente uma representação por equações analíticas. Esta relação é caracterizada por um período de validade e uma faixa de amplitude entre as cotas mínimas e máximas observadas. É evidente que sempre existe uma correspondência entre cota e descarga mas na prática, a relação $Q(h)$ poderá ser impossível de determinar, seja devido a grande instabilidade do trecho hidrométrico ou a condições hidráulicas desfavoráveis (remanso, maré).

-
- 1 Engenheiro hidrólogo, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération - ORSTOM, Paris, França
Consultor do DNAEE, Convênio CNPq/ORSTOM, Brasília, DF
 - 2 Engenheiro hidrólogo, Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica - DNAEE/DCRH, Brasília, DF

Para definir esta relação, o hidrólogo dispõe de uma série de informações, uma cronologia de cotas e certo número de medições de descarga. A partir daí, é um trabalho progressivo que na nossa experiência sugerimos uma sequência de oito etapas seguintes: análise do dossiê; levantamento de cotas e medições de descarga; crítica das medições; análise da repartição dos pontos; traçado da curva chave; extrapolação; tabela de calibragem e relatório final.

ANÁLISE DO DOSSIÊ

O dossiê de uma estação fluviométrica deve conter todas as informações referentes ao funcionamento da mesma durante o período das observações. Entre as principais, citamos: localização do posto, importância da área de drenagem, características do trecho hidrométrico (largura, profundidade, zona de transbordamento, singularidades tanto no traçado do rio como na declividade do leito), equipamentos hidrométricos, período de observação, seções de régua, de controle (se existir) e de medição, levantamentos topográficos existentes (perfis transversais e longitudinais do leito e declividade da linha d'água), etc.

Já nesta etapa, ao final da análise das informações contidas no dossiê - isto é, se ele existir e estiver atualizado - deve-se ter uma idéia da estabilidade do trecho hidrométrico pelos levantamentos dos perfis transversais, das mudanças ocorridas no período de observação (tanto na parte de equipamentos como das obras civis) e quantos períodos homogêneos podem ser esperados.

LEVANTAMENTO DE COTAS E MEDIÇÕES DE DESCARGA

Estes documentos são básicos para a preparação da curva chave. Recomenda-se que o trabalho seja feito para cada um dos períodos homogêneos antes identificados e que todo empenho seja feito para dispor dos originais ou cópias das planilhas de campo relativas às medições de descarga, caso não se disponha de um arquivo magnético de medições, contendo dados essenciais como, o método utilizado, posição da seção de medição relativa à seção de régua, números do molinete e hélice, equação para cálculo, número de verticais, nome do hidrometrista, etc.

Os dados a serem levantados dentro de cada período são:

As cotas

Elas são lidas pelo observador ou extraídas dos limnigramas, geralmente disponíveis em arquivos magnéticos e previamente consistidas antes de abordar o trabalho de calibragem. As informações essenciais deste levantamento são as cotas mínimas e máximas de cada período.

As medições de descarga

São caracterizadas por um par cota associada e descarga. A cota associada é o valor lido na régua se o nível do rio permanecer estável durante a

medição ou uma média aritmética simples se a variação foi pequena ou uma média ponderada pelas vazões unitárias de cada vertical se a variação das cotas foi grande. Neste último caso, o cálculo da cota associada é feito pela expressão seguinte :

$$h = \frac{\sum_1^n h_i q_i}{\sum_1^n q_i}$$

sendo h_i e q_i , respectivamente, a cota e a descarga unitária relativas à vertical i de uma medição de n verticais.

Este levantamento leva a uma apreciação da repartição das medições, tanto no período da cronologia homogênea de cotas como no intervalo de cotas extremas.

CRÍTICA DAS MEDIÇÕES

A crítica das medições, para ser sistemática e objetiva, deve anteceder a qualquer plotagem. Para fazê-la, recomenda-se preparar duas tabelas, uma por ordem cronológica das medições e outra por ordem crescente das cotas. Estas tabelas reúnem as principais características da medição : data, cota associada, vazão, área molhada, velocidade média, largura, profundidade média e dados complementares como, modo de operação, tipo e número do molinete, número de verticais, duração da medição, etc.

Para cada medição deve ser dada uma nota de avaliação para detectar, sobretudo, as medições de péssima qualidade, identificando-se se os erros são sistemáticos ou não. Os controles, simples de serem feitos, são os seguintes: comparar os dados geométricos da medição com o perfil transversal da seção de medição; observar o número e a repartição das verticais quando o perfil for acidentado; analisar a variação transversal das velocidades medidas numa dada profundidade; etc.

Esta etapa pode ser feita por computador, como realizado para a estação de Manacapuru (Estudo da curva chave do posto de Manacapuru, no rio Solimões, relatado por JACCON - 1986), quando um dos critérios utilizados foi o desvio lateral médio do barco durante as medições executadas pelo método "Grandes Rios".

Geralmente, esta crítica é desprezada o que leva a considerar que todas as medições tem o mesmo grau de confiabilidade e mesmo peso no traçado da curva chave. A nossa experiência tem demonstrado que num conjunto de medições sempre ocorrem algumas de péssima qualidade.

ANÁLISE DA REPARTIÇÃO DOS PONTOS

A principal finalidade desta etapa é definir ao qual dos esquemas da figura 1 pertence a relação $Q(h)$. Esta análise é procedida por meio da plotagem de todas as medições, consideradas corretas na fase anterior, numa única folha em escala aritmética. Este procedimento, de utilizar uma só folha

de papel milimetrado, é fundamental para se obter uma visão global e não distorcida da repartição dos pontos. Para facilitar esta visão é importante utilizar vários símbolos e cores diferentes para identificar as medições de uma mesma cronologia, mesmo ano, tipo de equipamento, equipe de operação...

Aconselha-se que a plotagem dos pontos seja feita manualmente para que o hidrólogo possa sentir melhor as tendências, as anomalias e as peculiaridades do traçado. Nesta fase de análise da repartição dos pontos, procura-se descobrir a forma da relação $Q(h)$ e esboçar a curva de calibragem, logo, pouco importa se o trabalho é feito em folha A4, usando pequenas escalas, pois o traçado definitivo e preciso será feito na etapa seguinte durante a qual serão utilizados tanto o papel aritmético como o logarítmico e em várias escalas se necessário.

Após a plotagem dos pontos verifica-se, frequentemente, uma significativa dispersão que deve ter uma explicação lógica, seja devido a anomalias e/ou erros de medição ou porque trata-se de uma calibragem não unívoca.

O desvio sistemático dos valores pode ser devido ao material utilizado, ao modo de operação, ao método de cálculo ou ainda a uma heterogeneidade nas cotas medidas devido a um deslocamento entre os lances da régua ou à existência de duas réguas. Na figura 2 observa-se uma anomalia sistemática pois a dispersão não foi devido a uma instabilidade do leito do rio mas ao uso de uma fórmula de molinete inadequada enquanto que na figura 3 não se consegue explicar a dispersão havida, pois sendo a seção de réguas estável, o fato só pode ser atribuído a um conjunto de causas que muitas vezes é difícil de diagnosticar. Por isso é recomendável aos hidrometristas anotar nas planilhas de campo todas as informações desde o método utilizado ao cálculo final da descarga líquida.

A não-univocidade tem origem na instabilidade geométrica ou hidráulica.

Instabilidade geométrica

A instabilidade geométrica pode ser relativa à seção de réguas e/ou seção de controle. A evolução é progressiva, como mostra a figura 4, quando para uma mesma cota correspondem descargas crescentes ou decrescentes de acordo com o aumento ou a diminuição da seção molhada respectivamente.

Quando as cheias violentas ou a interferência humana implicam numa repentina deformação do leito, a evolução é rápida ou instantânea, como mostrado na figura 5. Neste caso, a data de ocorrência do pico da cheia, ou de um outro evento, deve ser identificada para se estabelecer o dia e até a hora da mudança de calibragem. Como esta mudança é totalmente independente do calendário, é pouco provável que a mesma ocorra às 24 horas do último dia de um mês e principalmente o dia 31 de dezembro, como é frequente nos anuários. O hábito de se traçar uma curva por ano pode resultar em deploráveis descontinuidades de descargas nas passagens de ano, civil ou hidrológico.

Instabilidade hidráulica

A instabilidade hidráulica num trecho hidrométrico, traduz-se por uma variação da declividade superficial em relação a uma mesma cota e ocasiona uma organização cíclica dos pontos, como mostrado na figura 6.

Os dois métodos mais usados para definir a relação $Q(h)$ quando da ocorrência da situação acima, muito comum em rios de grande porte, são o "Método do Desnível Normal" e o "Método do gradiente Limnimétrico".

Método do desnível normal -- Conhecido também como método da "queda constante" ou método "Boyer", consiste em procurar a correção que deve ser aplicada ao valor da descarga Q_n , correspondente a uma cota h quando a declividade do rio ou o desnível entre duas réguas, é diferente do valor normal D_n correspondente ao regime permanente, para o qual foi definida a relação $Q_n = f(h)$. Seria melhor conhecer o desnível real entre as duas réguas obtido por nivelamento mas, normalmente, a distância entre elas é grande e na prática, utiliza-se a diferença entre as cotas observadas na mesma hora (desnível relativo). Escolhe-se o valor mais frequente dos desníveis relativos (valor modal) como desnível normal, para corrigir o menor número possível de descargas no momento do cálculo, conforme "Estudo da curva chave do posto de Manacapuru no rio Solimões por JACCON (1986)", onde o valor modal do desnível normal entre os postos de Manacapuru e Manaus foi estabelecido em 140 cm.

Método do gradiente limnimétrico -- O gradiente limnimétrico é o valor, positivo durante a enchente e negativo durante a depleção, da tangente ao cotograma. Na prática, o método é semelhante ao anterior com a vantagem de utilizar somente a série de cotas do posto em estudo para o cálculo do índice utilizado na correção das descargas em regime permanente, isto é, para gradiente nulo. O princípio teórico com exemplo prático para a estação de Valparaíso no rio Purus, foi apresentado no trabalho "Calibragem em estações fluviométricas na bacia amazônica, aplicação do método do gradiente limnimétrico por JACCON e GUIMARAES (1983)".

Na nossa opinião, esta é a etapa mais importante da calibragem de uma estação, isto porque, se a interpretação for correta, ou seja, se a repartição dos pontos está de acordo com o provável funcionamento hidráulico do trecho hidrométrico, as etapas seguintes - traçado preciso, extrapolação e tabela - são desenvolvidas por processos clássicos bem definidos e os trabalhos, a partir daí, podem ser realizados pela equipe de apoio.

TRAÇADO DA CURVA CHAVE

O traçado preciso é feito numa folha em grande escala, seja aritmética ou logarítmica, com base no esboço realizado anteriormente. Nesta fase deve-se levar em conta duas régras básicas, a igual repartição dos pontos e a minimização dos desvios.

A primeira régua deve ser aplicada por pequenos intervalos de cotas, isto é, a setores horizontais sucessivos tão estreitos quanto possível, de forma que mesmo as irregularidades sejam observadas no traçado da curva feito a mão livre e não com o apoio de réguas francesas ou outros instrumentos, visto que não existe nenhuma razão para que a curva seja uma exponencial ou uma parábola em toda a sua extensão.

Em seguida, o traçado é feito minimizando-se os desvios de cada ponto à curva no mesmo intervalo de cotas. Observa-se que esta operação é muito mais difícil de ser realizada num papel logarítmico, no qual dois desvios visualmente iguais não têm a mesma amplitude.

EXTRAPOLAÇÃO

A extrapolação da curva é necessária quando para as cotas extremas do período correspondente não foram feitas medições de descarga. Para cotas altas, a extrapolação até a cota máxima observada, é realizada pelos três métodos seguintes: logarítmico, Stevens e Área/velocidade. As restrições de uso dos dois primeiros métodos são imperativas: a não descontinuidade do perfil transversal e a estabilização do produto KJ^2 (sendo K - o inverso do número de Manning e J - a declividade superficial), no intervalo de cotas extrapoladas. Para os três métodos, deve haver um número suficiente de medições na parte média/superior da curva para que se tenha condições de definir corretamente a reta a ser extrapolada nos métodos logarítmico, após retificação da curva, e Stevens, entre SJR e Q , assim como, avaliar com boa precisão o comportamento na faixa extrapolada de KJ^2 quando for aplicado o método área/velocidade.

Sem dúvida, quando a geometria do perfil transversal não tem restrições, é muito recomendado aplicar os três métodos para se obter um resultado final de maior confiabilidade. Ocorrendo grande discrepância nos resultados, significa que não há um número suficiente de medições no trecho superior, o que implica numa imprecisão no traçado das retas e/ou a não estabilização do produto KJ^2 . Neste caso, a extrapolação mesmo sendo imprecisa, recomenda-se optar pelo valor do método área/velocidade, no qual a extrapolação da velocidade é feita aplicando-se a fórmula de Manning em que se considera o valor de KJ^2 constante, se não há outras informações, ou crescente ou decrescente, conforme o provável comportamento do regime hidráulico no trecho hidrométrico. Este último ponto mostra a importância do levantamento topográfico, após as cheias excepcionais, para a determinação da declividade superficial.

O que não pode se admitir é a extrapolação de uma curva seguindo sua tendência, particularmente no método logarítmico, quando pelo menos o trecho superior da curva deve ser retificado. Da mesma forma, é muito perigoso extrapolar a curva $U(h)$ no método área/velocidade, sem o apoio da fórmula de Manning, mesmo no caso de se considerar somente a parte central do leito de uma seção complexa.

Para águas baixas, qualquer método utilizado é impreciso, visto que é comum observar a má sensibilidade das estações instaladas em leitos naturais e, neste caso, a recomendação é no sentido de periodicamente efetuar medições de descarga, para que a curva possa ser traçada com precisão aceitável.

TABELA DE CALIBRAGEM

A tabela de calibragem estabelece a correspondência entre cota e descarga para qualquer nível do rio observado na régua. Isto significa que ela deve ser centimétrica. Na prática, como é impossível ler as vazões para cada

centímetro, escolhe-se um número suficiente de pares chave para acompanhar perfeitamente o traçado e, entre os quais, os valores intermediários são calculados por interpolação linear.

A representatividade da tabela pode ser rapidamente verificada logo após a sua elaboração, calculando-se os desvios relativos ($\delta Q\%$) na sequência das cotas crescentes. Este procedimento permite apreciar se a igual repartição dos pontos e a minimização dos desvios foram observados nos diferentes intervalos de cotas.

A tabela é comumente substituída por uma ou várias equações. Neste procedimento é bom salientar dois pontos: primeiro, não é necessário para o cálculo das descargas, dispor de uma representação analítica da curva chave e segundo, as equações são, em muitos casos, menos precisas que a tabela, sobretudo quando o traçado for um pouco irregular. Isso é fácil de comprovar, aplicando-se o teste dos desvios relativos $\delta Q\%$.

RELATÓRIO

Sendo o traçado da curva chave, um trabalho de interpretação tanto sobre o regime hidráulico no trecho hidrométrico como no traçado da forma da relação $Q(h)$, o relatório descritivo e sucinto, comentando as hipóteses, alternativas e decisões tomadas, é indispensável pois é a única forma que permite dar continuidade a uma atualização periódica sem a necessidade de refazer todo o trabalho.

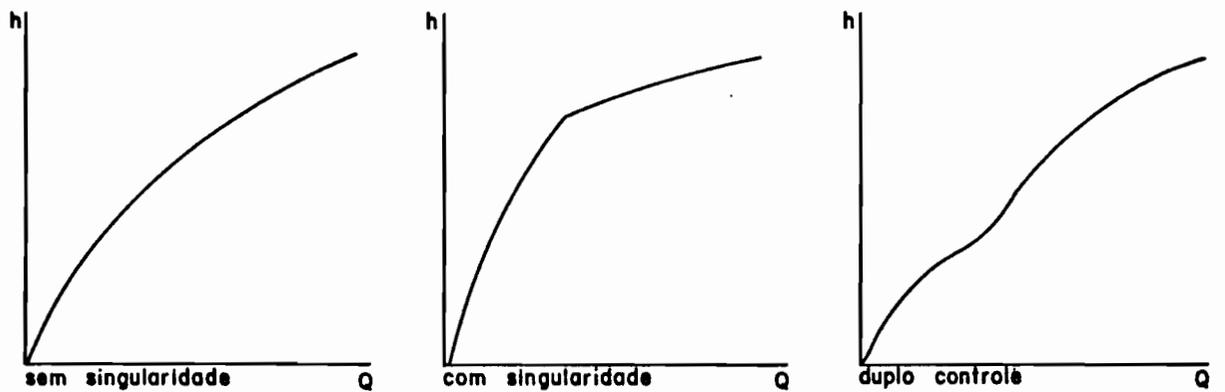
CONCLUSÃO

De uma maneira geral, é raro encontrar estudos de relação entre cotas e descargas de uma estação fluviométrica que abordem todas as etapas descritas neste trabalho. Normalmente, os hidrólogos responsáveis pelo estudo, não foram visitar o local da estação e mal conhecem as características físicas e hidráulicas do trecho hidrométrico. Consideramos que se esta sequência de etapas for aplicada de maneira sistemática em estudos de definição da curva de calibragem, com prévio conhecimento do trecho hidrométrico pelo técnico responsável, os resultados terão uma precisão bem melhor e os trabalhos de atualização poderão ser, em muito, facilitados.

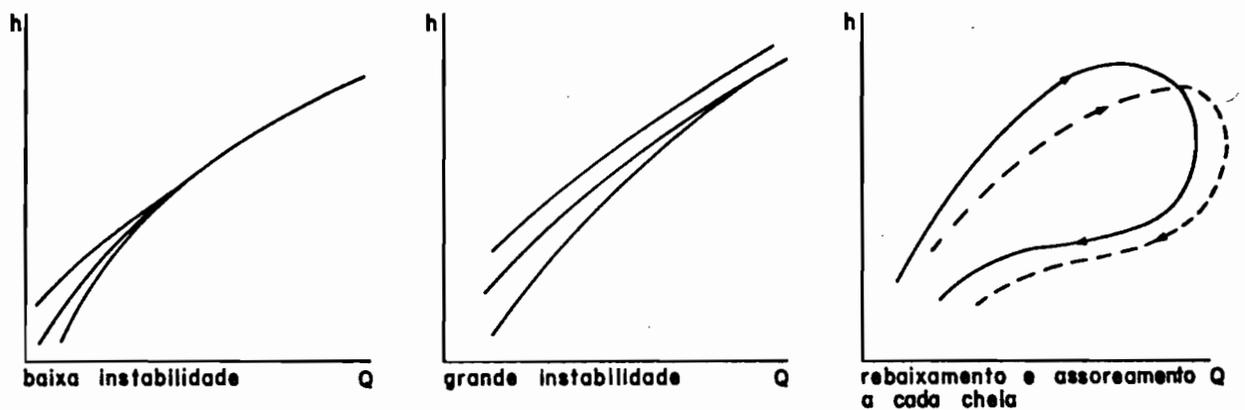
REFERÊNCIAS

- JACCON, G. - Tracé de la courbe de tarage et calcul des débits. ORSTOM - PARIS 1987, 400p.
- JACCON, G. e CUDO, K.J. - Traçado de curva de calibragem, 1987, 250p.
- JACCON, G. - Estudo da curva chave do posto de Manacapuru no rio Solimões. DNAEE/DCRH, 1986, 45p.
- JACCON, G. e GUIMARAES, V.S. - Calibragem em estações fluviométricas da bacia Amazônica. Aplicação do método do gradiente limnimétrico. Anais do V Simpósio da ABRH, BLUMENAU. 1983, pp. 473 - 479.

A - RELAÇÃO BI-UNÍVOCA



B - RELAÇÃO NÃO-UNÍVOCA EM RIO INSTÁVEL



C - RELAÇÃO NÃO-UNÍVOCA EM REGIME NÃO PERMANENTE

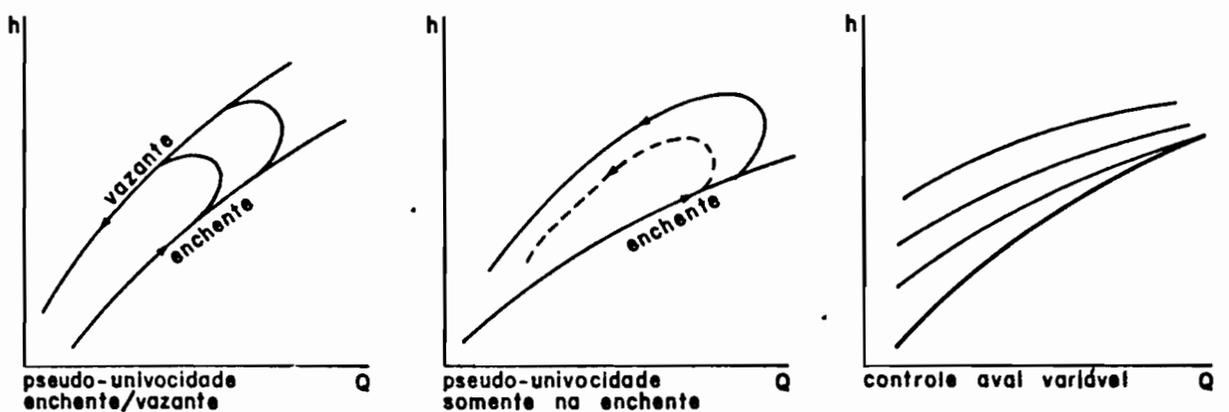


Figura 1. TIPOS DE CURVAS DE CALIBRAGEM

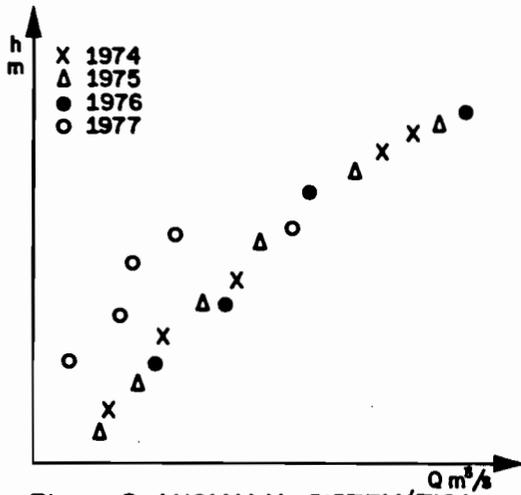


Figura 2. ANOMALIA SISTEMÁTICA

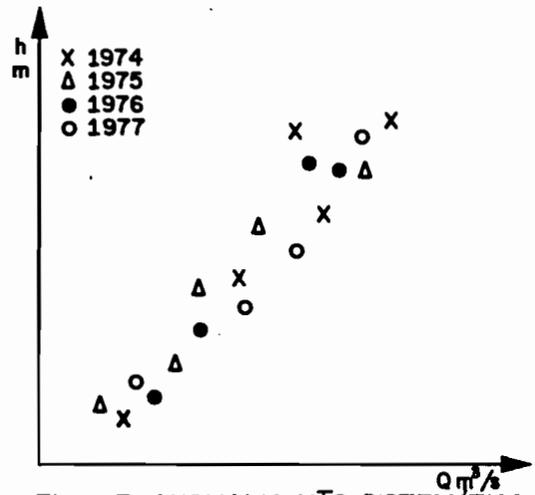


Figura 3. ANOMALIA NÃO SISTEMÁTICA

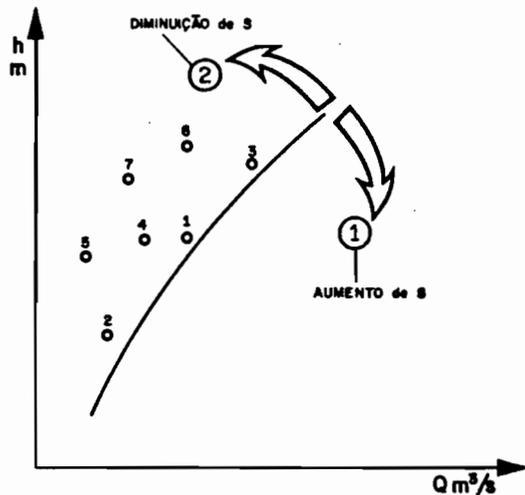


Figura 4. EVOLUÇÃO PROGRESSIVA DA SEÇÃO MOLHADA

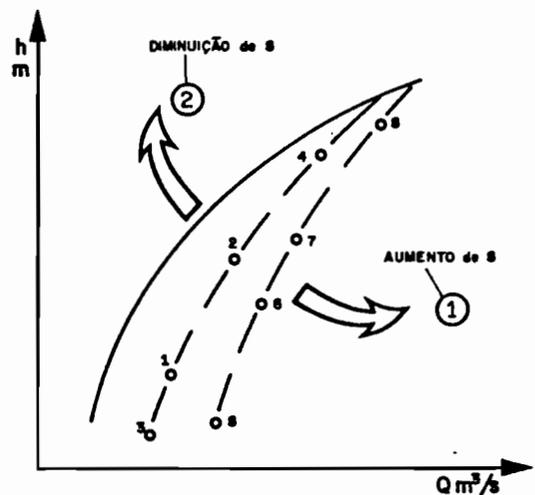


Figura 5. EVOLUÇÃO RÁPIDA DA SEÇÃO MOLHADA

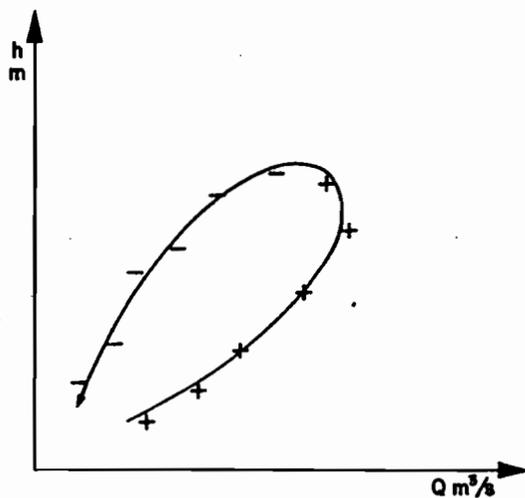


Figura 6. ORGANIZAÇÕES CÍCLICAS

STAGE-DISCHARGE RELATION : DETERMINATION METHOD, CARES AND RECOMMENDATIONS

By

¹
G.JACCON and ²
K.J.CUDO

Abstract - In order to establish the stage-discharge relation a lot of difficulties must be overcome. The authors present a logical process of solving the problem and comment the eight steps to obtain the calibrating curve. They emphasize important points, like need to criticize previously and systematically the measurements, the extrapolation of the curve and the checking of the calibrating table.

DEFINITION DE LA RELATION HAUTEUR-DEBIT : ETAPES, SOINS ET CONSEILS

par

¹
G.JACCON et ²
K.J.CUDO

Résumé - La définition de la relation hauteur-débit d'un poste hydrométrique présente généralement de nombreuses difficultés. Les auteurs de cet article proposent une démarche logique en huit étapes jusqu'à la solution finale et insistent sur certains points fondamentaux comme la critique préalable des jaugeages, l'extrapolation de la courbe de tarage et la vérification finale du barème d'étalonnage.

-
- 1 Ingénieur Hydrologue, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération - ORSTOM, Paris, France
Consultant au Département National des Eaux et de l'Énergie/DNAEE - Convention CNPq/ORSTOM, Brasilia, DF
- 2 Ingénieur Hydrologue, Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica - DNAEE/DCRH, Brasilia, DF

MEDIÇÕES DE DESCARGA LÍQUIDA DOS RIOS SOLIMÕES E AMAZONAS
PELO MÉTODO DO BARCO EM MOVIMENTO

POR

1 2
G.JACCON e K.J.CUDO

RESUMO -- O método de medição "Barco em movimento" ("Moving-Boat do Prof. G.Smoot) começou a ser utilizado no Brasil em 1967. O método foi empregado de maneira sistemática na estação de OBIDOS (Amazonas). Somente a partir de 1984, quando o DNAEE realizou simultaneamente medições detalhadas com barco ancorado e com barco em movimento, foi possível fazer uma melhor avaliação do método e estabelecer com maior precisão o coeficiente de correção relativo à velocidade média, até agora estimado em 0,90. Este trabalho apresenta os resultados obtidos em 5 (cinco) campanhas de medições, 2 no rio Amazonas em Óbidos e 3 no rio Solimões em Manacapuru

INTRODUÇÃO

O método do barco em movimento, desenvolvido por SMOOT e NOVAK, também conhecido por método "Moving-boat" ou "Smoot", foi introduzido no Brasil pelo primeiro autor que, em junho de 1967, realizou uma medição de demonstração na estação de Obidos. A partir desta data até o presente, mais de 100 medições foram realizadas somente neste posto.

Com a finalidade de avaliar a confiabilidade dos resultados que eram bastante criticados por muitos hidrólogos, o DNAEE, dentro do projeto "Pesquisa Aplicada ao Gerenciamento de Recursos Hídricos" no âmbito do programa de Cooperação Científica e Tecnológica entre o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, e o Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération - ORSTOM, organizou uma série de campanhas de medição, tanto em Óbidos no rio Amazonas como em Manacapuru no rio Solimões. Em cada campanha, com uma duração de 2 a 3 dias, foram utilizados os métodos do barco ancorado, grandes rios e barco em movimento.

-
- 1 Engenheiro hidrólogo, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération - ORSTOM, Paris, França
Consultor do Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica - Convênio CNPq/ORSTOM, Brasília, DF
- 2 Engenheiro hidrólogo, Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica - DNAEE/DCRH, Brasília, DF

Este trabalho apresenta uma síntese da metodologia necessária à interpretação dos resultados, elementos práticos observados durante as medições como percurso do barco, larguras e velocidades e uma análise final das descargas obtidas nas sete medições detalhadas e com barco em movimento.

Ao final, os autores mostram que é desejável uma maior utilização deste método no Brasil, em rios de grande porte, mas que para isso, é necessário que haja o desenvolvimento de uma tecnologia nacional na área de instrumentação.

METODOLOGIA

Para determinar a descarga líquida de um rio procura-se medir a área "A", produto da largura "L" pela profundidade média "Pm", e a velocidade média "U" na seção transversal.

$$Q = L.Pm.U$$

No método do barco em movimento, larguras e velocidades são medidas por meio de um molinete e as profundidades por meio de um ecobatímetro.

Procedimento

A medição é realizada deslocando-se o barco na seção transversal, sem interrupção, entre duas bóias ancoradas perto das margens, procurando manter o barco rigorosamente no alinhamento da seção transversal.

O molinete e o ecobatímetro funcionam continuamente durante a travessia de forma que a velocidade, a profundidade e o ângulo α (formado pela direção do molinete com a seção transversal) são medidos em mais de 30 verticais, como mostra a figura 1. A distância entre as verticais, correspondente a um número constante de passos da hélice do molinete registrado no contador de impulsos, é designada de distância teórica "l" e é escolhida pelo operador entre as cinco faixas disponíveis.

Em cada vertical a velocidade "Vm" é medida num único ponto, geralmente a um metro da superfície. Ela é a soma vetorial da velocidade (V) do rio, normal à seção transversal, e da velocidade (Vb) do barco em relação às margens, como representado na figura 2. Neste caso temos:

$$V = Vm \text{ sen } \alpha \tag{1}$$

A distância (lb) percorrida pelo barco entre duas verticais é calculada a partir da distância teórica (l) considerando-se α constante, pela expressão seguinte:

$$lb = l \text{ cos } \alpha \tag{2}$$

As expressões (1) e (2) só são corretas quando a velocidade do rio é perpendicular à seção transversal. Caso contrário, ocorre uma diferença entre os valores da largura medida entre as bóias na ida (de uma margem a outra) e na volta conforme mostra a figura 3. Então, estes valores devem ser corri-

dos pelo coeficiente de largura (K1), igual a razão entre as larguras "medida" e "real" entre as bóias.

Uma medição completa consta de 6 a 10 travessias seqüenciais, alternando-se a origem das mesmas. Para cada travessia calcula-se a descarga, aplicando-se os coeficientes de correção de largura e velocidade. O valor da descarga final é a média aritmética de pelo menos 6 travessias (3 na ida e 3 na volta).

Pela exposição acima, observa-se que o método é completo no que se refere ao termo geométrico da vazão (seção molhada) e parcial no que se refere ao termo hidráulico da vazão (velocidade medida a 1 metro de profundidade, isto é, somente na superfície).

Equipamentos

A medição é realizada por um barco hidrométrico equipado com molinete, leme e medidor de ângulo acoplados a um eixo que é fixado na proa do barco, conforme mostra a figura 4, além do medidor/contador de impulsos e ecobatímetro instalados na sala de operação.

O leme, lâmina de alumínio de 30 cm de altura por 45 cm de comprimento, orienta sempre o molinete na direção da corrente V_m , que é a resultante das velocidades do rio e do barco. O ângulo α formado com a seção transversal é lido no medidor de ângulos fixado na parte superior do eixo.

O molinete é do tipo rotor à hélice, diferente dos comumente utilizados pois este tipo é menos suscetível às componentes verticais de velocidade, oriundas do balanço do barco. Junto à engrenagem de 24 dentes fica um sensor, ímã permanente, que produz um campo magnético necessário para a geração dos 24 impulsos por revolução do rotor.

O medidor/contador registra os impulsos recebidos do molinete. No painel é apresentado o valor de número de impulsos por segundo e internamente o contador totaliza-os até um valor pré-escolhido que corresponde à distância teórica entre duas verticais. Atingindo-se este valor, é gerado um sinal sonoro e um sinal elétrico. O sinal sonoro serve para alertar a equipe e indica que o contador foi zerado enquanto o sinal elétrico é transmitido ao ecobatímetro que identifica a posição da vertical.

Cálculo da medição

A descarga líquida é calculada pelo processo da meia-seção, a partir das profundidades "P", velocidades d'água "V" e distâncias entre verticais "lb" para cada travessia. Desta forma, temos:

$V_m = a.N + b$
equação do molinete, onde N é o número de impulsos por segundo.

$V = V_m \sin \alpha$
onde V é a velocidade d'água (velocidade pontual a 1m da superfície).

$l_b = l \cos \alpha$
onde l é a distância teórica e l_b a distância entre verticais.

Para cada travessia, os somatórios das áreas parciais e descargas parciais são multiplicados pelo coeficiente de correção de largura K_l. Nesta etapa teremos para todas as travessias, as áreas totais corrigidas (isto é, o valor final para cada travessia) enquanto que as descargas são relativas às velocidades medidas a 1m (isto é, velocidades pontuais que não representam a velocidade média das verticais).

A média aritmética das descargas das travessias, excluindo aquelas que apresentaram problemas durante a operação, deve ser corrigida pelo coeficiente K_v, obtendo-se assim, o valor final da descarga.

O coeficiente K_v deve ser representativo da seção molhada. Na publicação "Measurement of discharge by the moving-boat por SMOOT (1969)" recomenda-se o levantamento do perfil de velocidades em várias verticais estrategicamente localizadas, de forma que representem a maior parte da descarga. Para uma seção, o valor de K_v será a média dos fatores de correção de velocidade das n verticais levantadas.

MEDIÇÕES DE REFERÊNCIA

No presente estudo foram consideradas cinco campanhas, sendo duas em Obidos e três em Manacapuru. Em cada uma delas foi feita uma medição detalhada para determinar o valor do coeficiente K_v.

Medições de Obidos

A estação de Obidos, no rio Amazonas, identificada pelo código DNAEE - 17050001, situa-se a 2 quilômetros à jusante da cidade de mesmo nome. A seção transversal tem uma largura de 2400 metros. O perfil apresenta uma forma bem regular, tendo para a cota zero, profundidades média de 47 metros e máxima de 65 metros. Uma das características da seção é a queda significativa da velocidade na margem esquerda devida a uma ponta, logo à montante.

As duas medições utilizadas, executadas pela equipe da CPRM (SUREG de Bélem), foram as seguintes:

Data	Cota	Nr.travessias	Nr.de referência
08.12.85	240	8	Ob.105
13.07.87	623	8	Ob.112

O mesmo equipamento foi utilizado para as duas medições, molinete A-1803B e hélice de equação .00558 N + .0237, contador analógico 0310B320 posicionado na faixa 4 (8.192 impulsos entre duas verticais) para uma distância teórica de 45,72 metros e ecobatímetro de marca Raytheon modelo DE 719.

Medições em Manacapuru

A estação de Manacapuru, no rio Solimões, com código do DNAEE - 14100000, tem a seção de medição situada a 6 Km à jusante da cidade de Manacapuru. A distância entre as margens é de 3.190 m. O perfil transversal é bastante irregular apresentando dois canais, profundidade média de 11,50 m e máxima de 26,50 m na cota zero, valores registrados em junho de 1987.

As três medições utilizadas foram executadas durante os cursos de medição de descarga líquida em grandes rios, promovidos pelo DNAEE e realizados em Manaus/Manacapuru, sempre com os mesmos equipamentos e equipe técnica. O contador analógico foi operado na faixa 5 (16.384 impulsos entre verticais) o que corresponde a uma distância teórica de 91,44 m. As medições são as seguintes:

Data	Cota	Nr.travessias	Nr.de referência
28.05.85	1560	10	Ma. 094
14.08.86	1756	10	Ma. 100
10.06.87	1863	10	Ma. 104

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Resultados Globais

Os resultados estão reunidos na tabela 1 onde nas colunas de 3 a 6, os dados são relativos às medições pelo método detalhado (vazão, área, velocidade média a 1m de profundidade entre as duas bóias, e a razão entre a velocidade média da seção e o valor anterior, que é o coeficiente Kv). Vazão e velocidade média a 1m foram calculadas pelo processo da meia-seção.

Tabela 1. Resultados Globais

Ref.	Cota	Medição detalhada				Medição com barco em movimento					
		Q (1)	A (2)	Vsa m/s	Kv	Q (1)	δQ %	A (2)	δA %	Vsm m/s	δV %
Ob.105	240	126,3	112,4	1,143	0,983	133,4	+5,6	115,6	+2,8	1,114	-2,5
Ob.112	623	222,0	125,9	1,772	0,996	229,8	+3,5	124,2	-1,4	1,747	-1,4
			Média		0,990		+4,6		+0,7		-2,0
Ma.094	1570	116,2	81,9	1,548	0,917	118,2	+1,7	81,1	-1,0	1,543	-0,3
Ma.100	1750	123,6	91,1	1,506	0,901	127,8	+3,4	89,9	-1,3	1,542	+2,4
Ma.104	1863	148,0	93,9	1,708	0,923	149,1	+0,7	92,4	-1,6	1,690	-1,1
			Média		0,914		+1,9		-1,3		+0,3

(1) Q = vazão em milhares de m³/s

(2) A = área em milhares de m²

Vsa = velocidade média a 1m de profundidade entre as 2 bóias

Vsm = média aritmética de todas as velocidades pontuais

Kv = coeficiente de correção de velocidade

Nas 6 últimas colunas estão apresentados os valores da medição com barco em movimento (vazão corrigida pelo coeficiente Kv, área e a média de todas as velocidades pontuais medidas nas n travessias). Para cada um destes três valores foi calculado o desvio relativo correspondente.

Na tabela 1, podemos fazer as seguintes observações:

Velocidades -- A diferença dos valores médios das velocidades medidas a 1m de profundidade encontra-se numa faixa de $\pm 2,5\%$, o que pode ser considerada baixa visto a variação tanto dos equipamentos como dos procedimentos adotados. Este fato será confirmado no item seguinte quando da análise da figura 5. Para os Kv, observa-se uma nitida diferença dos valores médios para as duas estações, 0,990 em Óbidos e 0,914 em Manacapuru, diferença que interpretamos sendo devida à forma mais convexa dos perfis de velocidade e/ou pelo fato de a profundidade a 1m se situar duas vezes mais próxima da superfície (isto é, relativamente à profundidade média) em Óbidos (2% da Pm) do que em Manacapuru (4% da Pm). Observa-se também, para o Kv, uma variabilidade significativa na mesma estação, contudo, o número de medições ainda não permite determinar a lei de variação com a cota.

Áreas -- A discrepância entre os valores de área tanto em Óbidos como em Manacapuru é pequena, sendo o método do barco em movimento mais confiável, visto o número maior de verticais. O desvio sistematicamente negativo encontrado em Manacapuru mostra um pequeno erro de aferição (contador do quincho ?).

Descargas -- Os desvios relativos encontrados entre os dois métodos são da ordem de + 5% em Óbidos e 2% em Manacapuru, valores excelentes se considerar o tamanho dos rios e o caráter parcial do método do barco em movimento. O desvio maior observado em Óbidos pode ser devido à imprecisão relativa da medição detalhada, por causa do arraste muito grande que torna difícil a medição das velocidades, em grandes profundidades.

Comentários

Percurso do barco -- Nas duas primeiras travessias (ida e volta) da medição "Ma.100" o percurso do barco foi acompanhado por meio de dois teodolitos. Das 125 posições levantadas, constatou-se que somente 3 vezes o afastamento do barco à seção PI-PF foi superior a 10m, sendo que o valor máximo observado foi de 15,2 m à montante da seção. Este afastamento em 96 vezes (77%) foi inferior a 5 metros. Relativamente à distância real entre as bóias, o acréscimo do percurso do barco foi somente de 12 m na ida e de 14 m na volta. Valores muito pequenos que mostram que, apesar da grande distância (3150 m), a exigência de se manter o barco alinhado é uma tarefa facilmente atingida.

Velocidades pontuais -- A figura 5 representa a variação das velocidades superficiais medidas (1 m de profundidade) para 4 travessias da medição Ma.094 em Manacapuru. A curva de referência corresponde à variação da velocidade superficial medida com o barco ancorado.

O aspecto denteado das curvas ilustra muito bem a característica do método utilizado, isto é, a baixa precisão das velocidades pontuais em relação aos valores reais (desvio de $\pm 20\%$). Este fato é explicado pela forma

instantânea das tomadas de velocidade e ângulo α em cada sinal sonoro (vertical), em oposição à forma integrada (tempo de 40 segundos) utilizada no método detalhado.

Em compensação, no método barco em movimento o número de verticais é bem superior (40 a 70 contra 20) e o resultado final apresenta uma convergência de valores médios satisfatória, como pode se observar na figura 5.

Coefficiente de correção da largura -- Para as cinco campanhas, a tabela 2 apresenta os valores da largura medida e do coeficiente de correção da largura para as idas (travessia da margem direita à margem esquerda) e voltas (travessia em sentido contrário) e os valores médios.

Observa-se que as 5 larguras medidas são inferiores às reais, isto implica em um coeficiente de correção superior a 1, quase o mesmo para as duas estações (1,019 e 1,022). A explicação para este fato, já que o equipamento é o mesmo, é de que a distância teórica utilizada é menor em 2% ao valor correto, seja pelo passo da hélice ser maior que o passo da equação ou porque a contagem dos impulsos apresenta um desvio por excesso. A aferição precisa do molinete e do contador deveria determinar a causa deste desvio.

Tabela 2. Coeficientes de correção da largura.

Ref.	Cota	Largura entre bóias m	Largura medida			Coeficientes K1		
			MD-->ME m	ME-->MD m	Média m	MD-->ME	ME-->MD	Média
Ob.104	240	2224	2049	2332	2191	1,085	0,954	1,019
Ob.112	623	2250	2064	2377	2220	1,090	0,947	1,019
					Média	1,088	0,950	1,019
Ma.094	1570	3113	3131	2959	3045	0,994	1,053	1,024
Ma.100	1750	3100	3085	2965	3025	1,006	1,046	1,026
Ma.104	1863	3136	3236	2953	3095	0,968	1,062	1,015
					Média	0,989	1,054	1,022

MD-->ME : travessia da Margem Direita até a Margem Esquerda
ME-->MD : travessia da Margem Esquerda até a Margem Direita

Ângulo da seção de medição com o fluxo d'água -- Na mesma tabela 2, observa-se uma diferença dos coeficientes de correção da largura nas idas e voltas. A situação é invertida nas duas estações e é devida ao valor do ângulo θ formado pela seção transversal com a direção principal do fluxo d'água. A situação de Manacapuru está representada na figura 3 (ângulo θ superior a 90 graus) e pela diferença dos valores, dá para constatar que em Óbidos a situação é exatamente contrária.

Com a diferença entre as larguras medidas nas idas e nas voltas - δl , o número médio de verticais numa ida/volta - N_v e o valor médio do ângulo α , é possível calcular para cada medição o valor do ângulo θ , sabendo que $\text{tg } \theta$ (figura 3) é a razão entre os catetos CB e DB onde CB é a razão entre δl e N_v e DB é igual a $l \text{ sen } \alpha$.

A tabela 3 apresenta na última coluna os valores do ângulo θ . Observa-se que a seção transversal não é perpendicular ao fluxo d'água: o afastamento atinge $2,5^\circ$ em Manacapuru (parece aumentar com a cota) e 4° em Óbidos. Neste último posto, a seção de medição foi realmente implantada de forma incorreta e sugerimos que seja feita brevemente uma retificação (aproveitando essa oportunidade para fugir do remanso da margem esquerda).

Tabela 3. Angulos α e θ .

Ref.	Cota	Núm. de trav.	Núm. de vert.	Dif. entre larg. m	Angulos α ($^\circ$)			Angulo θ ($^\circ$)
					MD--->ME méd. r	ME--->MD méd. r	Total méd. r	
Ob.105	240	6	410	283	43,4 4,3	43,7 3,7	43,6 4,0	$86^\circ 15'$
Ob.112	623	8	570	313	45,5 2,8	45,0 2,6	45,3 2,7	$85^\circ 58'$
Ma.094	1570	8	388	172	44,2 4,5	45,7 5,1	44,9 4,8	$91^\circ 34'$
Ma.100	1750	8	383	120	43,5 3,0	44,6 2,8	44,0 3,0	$91^\circ 08'$
Ma.104	1863	10	500	285	45,0 1,9	45,9 2,4	45,4 2,2	$92^\circ 30'$

α é o ângulo do molinete com a seção de medição e é medido em cada vertical
 θ é o ângulo da seção de medição com o escoamento.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, o método é válido porque a variação das descargas medidas é, para as 5 medições, inferior a 6%, valor que consideramos excelente, mesmo considerando que o coeficiente de correção K_v foi determinado com precisão para cada uma delas.

O fato acima evidencia a importância de se medir a velocidade superficial, mesmo quando for aplicado o método de rotina em dois pontos, no decorrer das medições de rios de grande porte. É suficiente, para isso, medir um terceiro ponto perto da superfície. O valor de K_v determinado para cada estação é um parâmetro essencial para as medições de águas altas, seja com flutuadores, seja pelo método do barco em movimento.

De fato, como este método é de rápida execução, sem a necessidade de algum equipamento nas margens, sua utilização é principalmente recomendável em períodos de cheias excepcionais, quando normalmente as margens se encontram alagadas.

Somos de opinião que o método não deve ser utilizado com exclusividade, como em Obidos, mas constituir um recurso para as medições em casos específicos fora da rotina.

Para isso, consideramos necessário e até indispensável que seja desenvolvida uma tecnologia brasileira moderna, visando a melhoria operacional deste método, que pode ser automatizado com facilidade, e conseqüentemente da precisão dos resultados.

REFERÊNCIAS

- SMOOT, G.F. e NOVAK Ch.E. - Measurement of Discharge by the Moving-Boat Method
USGS, Book 3, Chapter A 11
- DA SILVEIRA, R.E.I. - Medição de Descarga pelo Método do Barco Móvel -
CPRM, SUREG/SP (tradução em português do precedente)
- FERRAZ, E. - Medição da Descarga Líquida do rio Amazonas em Obidos -
Campanha de Dezembro 1985 - DNAEE/DCRH, Janeiro 1986
- JACCON, G e CUDD, K.J. - Medição da Descarga Líquida do rio Amazonas em Obidos -
Campanha de Julho 1987 - DNAEE/DCRH, Julho 1987
- JACCON, G e CUDD, K.J. - Curso sobre Técnicas de Medição de Descarga Líquida
em Grandes Rios - DNAEE/DCRH
Relatórios técnicos dos Cursos de 1985, 1986 e 1987.

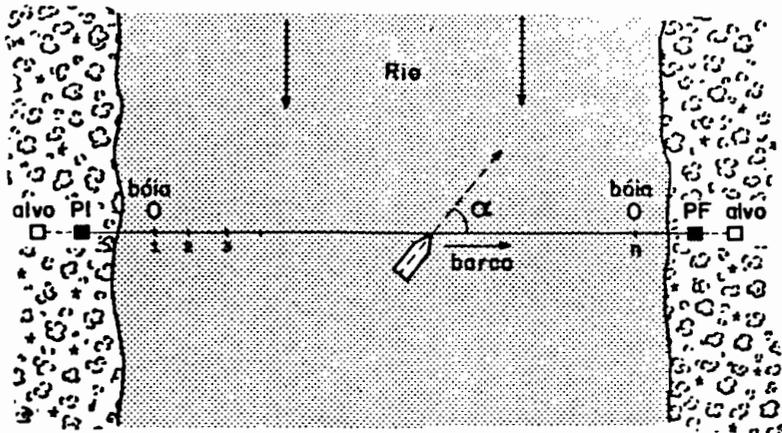


Figura 1. MEDIÇÃO DE BARCO EM MOVIMENTO

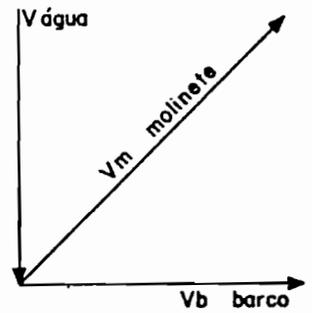
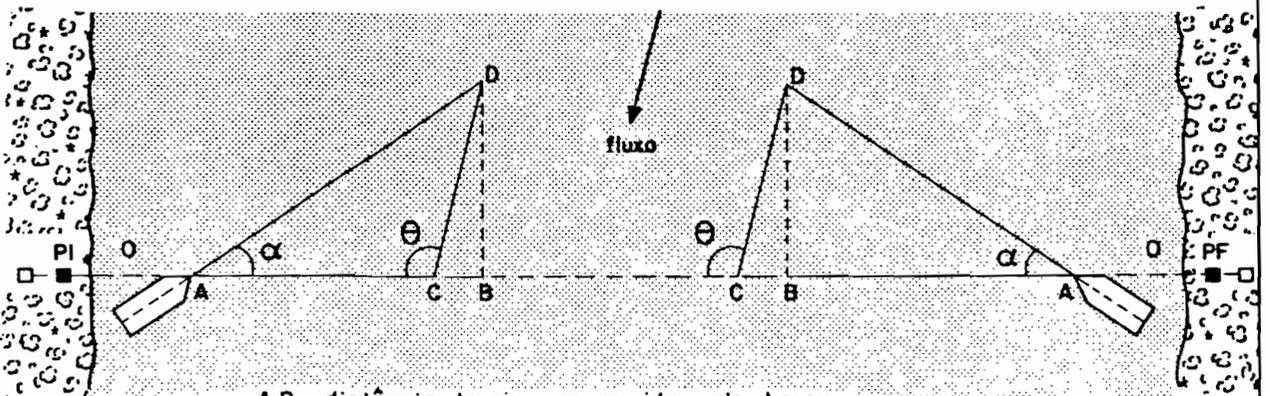


Figura 2. VELOCIDADES



AB - distância teórica percorrida pelo barco
 AC - distância real percorrida pelo barco

Figura 3. CORREÇÃO DE LARGURA

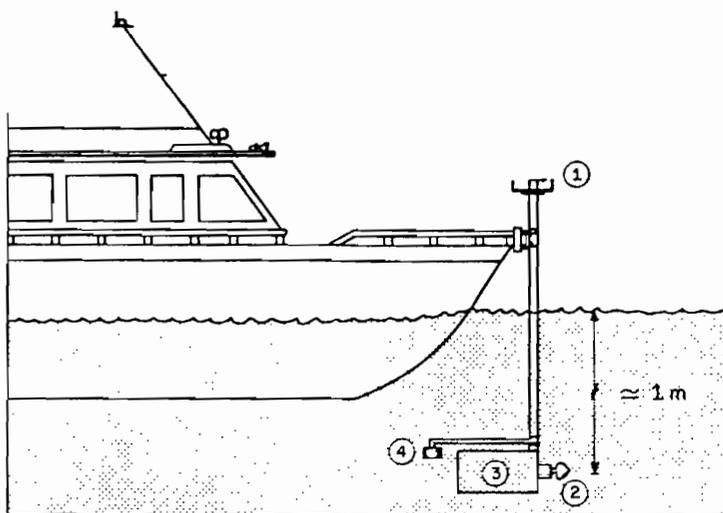
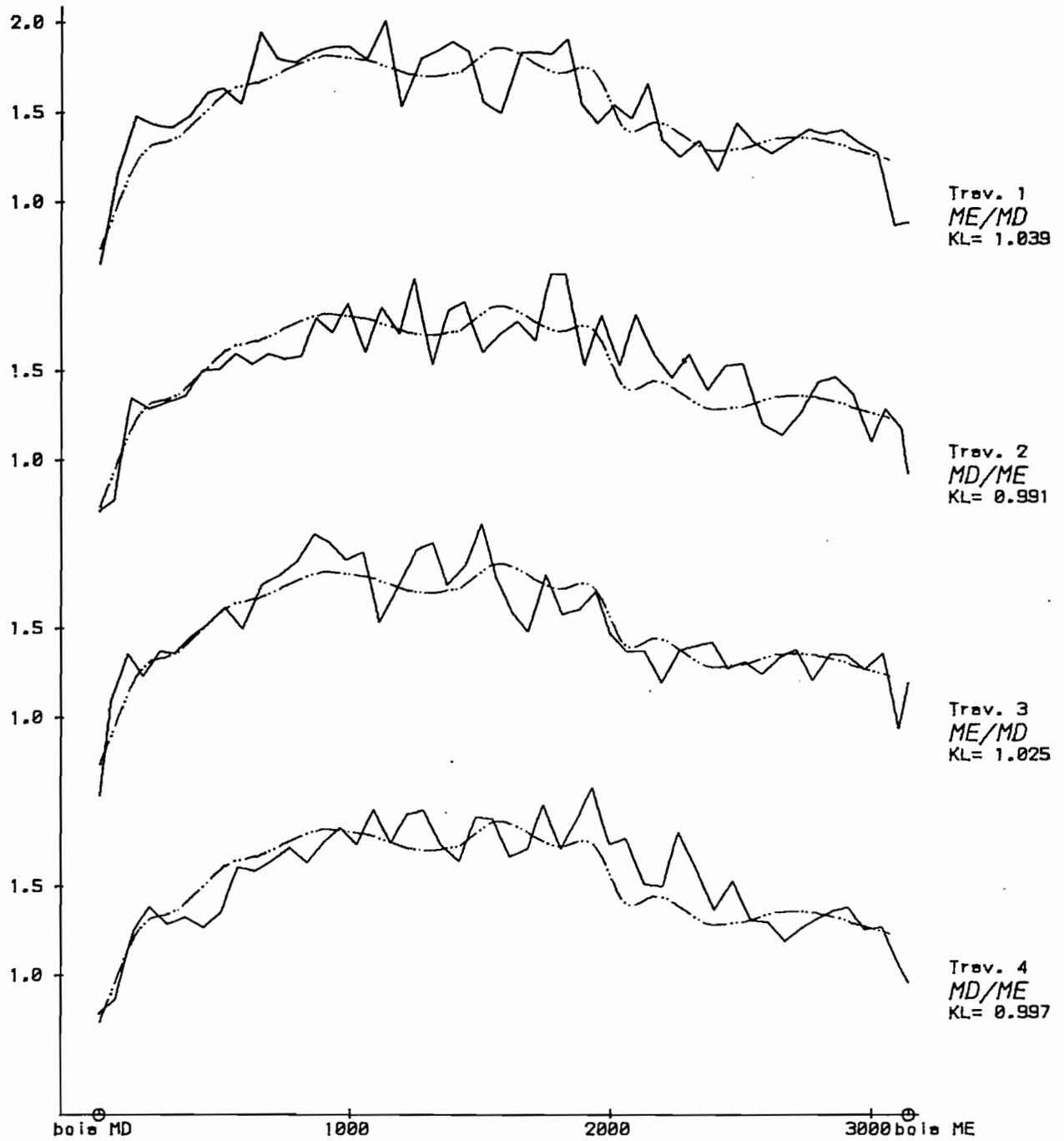


Figura 4. EQUIPAMENTOS

VARIACAO DA VELOCIDADE



— velocidade medida com o barco em movimento
- - - velocidade medida a 1m com o barco ancorado

Plotter EPSON HI-80 - programa G. JACCON

Figura 5.

MEASUREMENT OF THE SOLIMÕES AND AMAZON RIVERS DISCHARGES
BY THE MOVING-BOAT METHOD

By

¹ G.JACCON and ² K.J.CUDO

Abstract - The Moving-Boat Method is being used in Brazil since 1967, especially at the gauging station of Obidos-Amazon River, where more than a hundred measurements have been done. Since 1984, DNAEE accomplished detailed measurements by the anchored boat method in order to establish the reliability of the vertical-velocity coefficient and to estimate the moving-boat method precision in the largest river of the world. This paper presents the results obtained after 5 measurements, 2 at Obidos and 3 at Manacapuru gauging station-Solimões river.

MESURE DU DEBIT LIQUIDE DE L'AMAZONE ET DU SOLIMÕES
PAR LA METHODE DU BATEAU MOBILE

par

¹ G.JACCON et ² K.J.CUDO

Résumé - La méthode du bateau mobile a été introduite au Brésil en 1967, par son auteur G.SMOOT et a été utilisée depuis cette date essentiellement à la station de Obidos sur l'Amazone, où plus de 100 jaugeages ont été réalisés. A partir de 1984 le DNAEE a exécuté une série de mesurages complets, afin de déterminer avec précision la valeur du coefficient de correction de la vitesse et d'évaluer la précision de la méthode du bateau mobile pour le jaugeage du plus grand fleuve du monde. Cet article présente les résultats obtenus au cours de 5 campagnes de mesures, 2 à Obidos et 3 à la station de Manacapuru sur le Solimões.

-
- 1 Ingénieur Hydrologue, Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération - ORSTOM, Paris, France
Consultant au Département National des Eaux et de l'Énergie/DNAEE - Convention CNPq/ORSTOM, Brasília, DF
- 2 Ingénieur Hydrologue, Departamento Nacional de Aguas e Energia Elétrica - DNAEE/DCRH, Brasília, DF