

POSICIONAMENTO DINÂMICO ATRAVÉS DE DISTÂNCIÔMETROS ELETRÔNICOS

Roberto Cruz Lessa, Anamaria M. Miotto, Carlos A. Galerani, Elaine A. Merenda

Universidade Estadual de Maringá, CTC-DEC, Av. Colombo, 5790

87020-900 Maringá / PR

fone (044) 261 4322 – FAX 223 2676

RESUMO

O posicionamento de embarcações em trabalhos de batimetria ou medida de vazão realizados em seções transversais de rios, é uma necessidade básica e se constitui numa dificuldade adicional.

O método para determinar a posição da embarcação depende, principalmente, da largura do rio, velocidade da corrente e se a tomada de dados é feita de forma pontual ou contínua.

Para rios de médio e grande portes a realização dos trabalhos com o barco em movimento torna o procedimento mais rápido e eficiente, porém o posicionamento da embarcação (posicionamento dinâmico) se torna uma tarefa bem mais complexa.

O principal objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de posicionamento dinâmico utilizando um distanciômetro eletrônico com coleta automática de dados (estação total). Para atingir o objetivo do trabalho desenvolveu-se uma interface, baseada nas informações do fabricante da estação total, para permitir a conexão da mesma com um microcomputador compatível com a linha IBM-PC. Desenvolveu-se também os softwares necessários para a conversão e o tratamento dos dados. Numa segunda etapa desenvolveu-se um estudo da precisão do posicionamento dinâmico em função da distância e velocidade do móvel.

Os dados obtidos nos levantamentos de campo mostraram que a estação total utilizada executa uma medida a cada 2,3 s quando não ocorre nenhum problema de comunicação entre ela e o computador. A perda de sinal pode ocorrer quando o prisma não estiver orientado corretamente para o distanciômetro, quando ocorre vibração no móvel ou então a velocidade

de deslocamento é excessiva. Nesse caso o intervalo de tempo entre dois posicionamentos consecutivos pode aumentar em demasia.

Os ensaios foram feitos com velocidades de deslocamento variando de 0,00 a 0,88 m/s. Com base nesses dados chegou-se à uma correlação linear do erro com a velocidade média dos prismas. Através dessa correlação corrigiu-se o erro cujos valores médio e máximo são, respectivamente, 0,024m (0,07%) e 0,18m (1,17%).

O posicionamento dinâmico através de distanciômetros eletrônicos se mostrou eficiente, preciso e versátil. Através desse método de posicionamento pode-se obter a trajetória e a velocidade do móvel em intervalos de tempo médio de 2,6 s, com redução de tempo e pessoal e com um grau de precisão geralmente superior aos conseguidos pelos métodos tradicionais, além de não exigir qualquer preparo antecipado da seção a ser estudada.

A automação do processo de medida é um fator altamente positivo pelo fato de eliminar os erros grosseiros.

No método apresentado o erro cometido no posicionamento dinâmico não é função da distância, ao contrário do que ocorre com o método da triangulação.

A velocidade de deslocamento e a distância máxima que a estação pode medir são fatores limitantes do método estudado.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O posicionamento de embarcações, em trabalhos de batimetria ou medida de vazão

realizados em seções transversais de rios, é uma necessidade básica e se constitui numa dificuldade adicional.

O método para determinar a posição da embarcação depende, principalmente, da largura do rio, velocidade da corrente e se a tomada de dados é feita de forma pontual ou contínua.

Para rios de médio e grande portes a realização dos trabalhos com o barco em movimento torna o procedimento mais rápido e eficiente, porém o posicionamento da embarcação (posicionamento dinâmico) se torna uma tarefa bem mais complexa.

O principal objetivo desse trabalho foi desenvolver uma metodologia de posicionamento dinâmico utilizando um distanciômetro eletrônico com coleta automática de dados (estação total). Para atingir o objetivo do trabalho desenvolveu-se uma interface, baseada nas informações do fabricante da estação total, para permitir a conexão da mesma com um microcomputador compatível com a linha IBM-PC. Desenvolveu-se também os softwares necessários para a conversão e o tratamento de dados. Numa segunda etapa desenvolveu-se um estudo da precisão do posicionamento dinâmico em função da distância e velocidade do móvel.

Os resultados obtidos com a aplicação do método estudado são apresentados e comparados com uma simulação dos possíveis erros cometidos com a utilização do método de triangulação.

O posicionamento dinâmico através de distanciômetros eletrônicos se mostrou eficiente, preciso e versátil. Através desse método pode-se obter a trajetória e a velocidade do móvel em intervalos de tempo médio de 2,6 s, com redução de tempo e pessoal e com um grau de precisão geralmente superior aos conseguidos pelos métodos tradicionais, além de não exigir qualquer preparo antecipado da seção a ser estudada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em muitos trabalhos de campo na área de recursos hídricos depara-se com um problema comum: o posicionamento da embarcação em relação à margem. Essa é uma necessidade básica e muitas vezes se constitui numa dificuldade adicional pois em condições normais de trabalho deve ser satisfeita com erro inferior a 2 % (Silveira, 1974).

Em geral, para rios com até 300 m de largura o posicionamento é feito através de um cabo de aço graduado, esticado de margem a margem. Nos casos em que a largura é superior a 300 m é comumente usado o método da triangulação ou um distanciômetro eletrônico (Fill, 1987). Esses métodos são empregados nos trabalhos de batimetria ou medida de vazão quando a embarcação permanece por algum tempo ancorada.

Freqüentemente, em rios muito largos, a aplicação de métodos convencionais de medida pode tornar-se impraticável pelo custo e tempo investido. Isso é comum durante as cheias, quando as instalações podem inundar-se ou ficar inacessíveis, ou em localidades onde as condições de fluxo variável exigem um levantamento rápido (Ordoñez, 1975).

Nessas situações os trabalhos hidrométricos realizados com o barco em movimento tornam-se muito mais rápidos e eficientes. À medida que a largura da seção e a velocidade da corrente aumentam essa pode ser a única solução aceitável. O posicionamento de uma embarcação em movimento (posicionamento dinâmico) é uma tarefa complexa.

Ordoñez (1975) e Silveira (1974) sugerem um procedimento no qual as posições são calculadas para cada intervalo de tempo, supondo que a travessia acontece em uma linha reta e com velocidade constante. Nesse procedimento deve-se medir diretamente a largura total do curso d'água e compará-la com a soma dos deslocamentos parciais calculados. Caso não se encontre

uma igualdade, deve-se corrigir as posições calculadas.

A precisão desse método aumenta quando diversas bóias instaladas ao longo da seção, com posições previamente determinadas. Essa solução é boa para seções em que as bóias podem permanecer instaladas, uma vez que esse processo é demorado.

Segundo Herschy (1985), Herschy (1978) e DNAEE (1968) o Método da Triangulação pode ser utilizado no posicionamento dinâmico. Neste método emprega-se dois teodolitos comuns e um sistema de comunicação entre as equipes para determinar o instante das leituras. No momento em que se deseja conhecer a posição do móvel, através de um sinal de comunicação, faz-se a leitura dos ângulos α e β , nos teodolitos 1 e 2, os quais devem estar visando o móvel (Figura 1). Conhecendo-se os ângulos α e β e o comprimento L_b da linha de base, pode-se determinar a posição do móvel através das leis do triângulo.

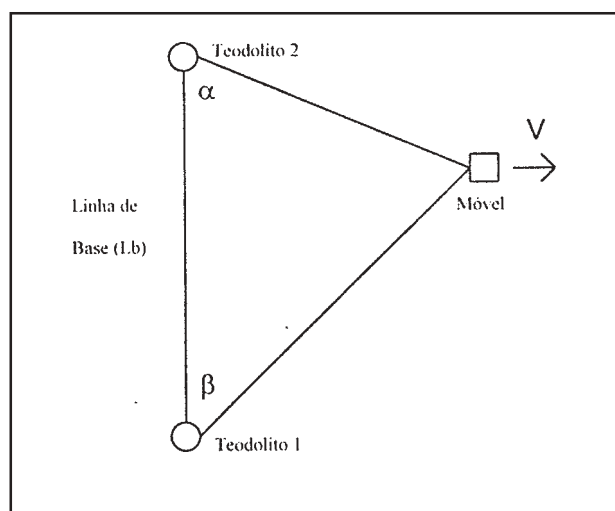


Figura 1. Esquema do método de posicionamento por triangulação.

Esta metodologia além de exigir três equipes bem afinadas e um sistema de comunicação, exige a instalação de uma linha de base com comprimento L_b conhecido. As condições naturais nas margens dos rios muitas vezes impedem o estabelecimento de

uma linha de base com comprimento suficiente para dar precisão aceitável ao posicionamento que, segundo Silveira (1974) deve ser pelo menos igual a 2/3 da largura do rio.

O posicionamento dinâmico através de distanciômetro eletrônico pode fornecer tanto o deslocamento como a velocidade do barco em cada intervalo de tempo especificado, sem a necessidade de um preparo antecipado da seção, utilizando-se apenas duas equipes.

METODOLOGIA

Neste trabalho utilizou-se uma Estação Total Eletrônica modelo GTS-301, que em boas condições atmosféricas pode medir até 4.400 m, utilizando 9 prismas, com precisão de $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$.

A coleta e armazenamento automático das coordenadas X, Y, e Z, referenciadas ao tempo de leitura, bem como o comando da estação total, foram feitos por um microcomputador, compatível com a linha IBM-PC. Essa automação do trabalho de posicionamento foi possível através de uma interface de conexão desenvolvida com base nas informações do fabricante. A interface compreende um cabo de ligação e um software, desenvolvidos de acordo com o Protocolo de Comunicação da Estação Total. Desenvolveu-se também os softwares necessários para a conversão e o tratamento dos dados coletados.

Na segunda etapa do trabalho executou-se um levantamento dinâmico, tendo em vista o estudo da precisão do posicionamento dinâmico em função da distância e velocidade do móvel.

O movimento de um bote, através da seção transversal de um rio, foi simulado por um carrinho se deslocando sobre dois trilhos com 12,0 m de comprimento. Na parte central dos trilhos foram instalados 3 sensores magnéticos com espaçamento igual a 2,0 m (Figura 2). A tração do carrinho foi realizada com um motor elétrico trifásico com potência de 0,16 CV e 1100 rpm à 60 Hz. Um

Conversor/Inversor de Frequência permitiu variar e inverter a velocidade do carrinho, provocando um movimento de vai e vem. Na parte superior do carrinho fixou-se um conjunto de 9 prismas orientados para a estação total e na sua parte inferior, centralizado com a posição do conjunto de prismas, foi instalado um imã que, no momento da passagem sobre cada sensor, emitia um pulso elétrico para o notebook.

As distâncias, entre a estação total e os sensores, medidas com os prismas parados, foram consideradas como padrão.

Neste trabalho utilizaram-se dois notebooks. Um conectado à estação total para armazenar o posicionamento dinâmico e outro para coletar o tempo relativo ao momento da passagem do carrinho em cada sensor instalado nos trilhos. À cada pulso elétrico era associado um tempo e uma distância padrão.

No início do levantamento o horário foi ajustado simultaneamente nos dois computadores para que fosse possível utilizar o tempo como referência. No final de cada levantamento os relógios foram lidos para verificar se ocorreu adiantamento ou atraso relativo. Nos casos onde ocorreram atraso ou adiantamento relativo, nos relógios dos computadores, as diferenças foram linearmente distribuídas.

Ao final de cada levantamento obtinha-se dois arquivos, um relativo ao posicionamento padrão, e outro relativo ao posicionamento dinâmico.

Posteriormente estes arquivos foram tratados por um software que interpolava linearmente as distâncias obtidas pelo posicionamento dinâmico tendo como referência o tempo padrão de passagem em cada sensor.

O erro cometido em cada medida foi calculado como o módulo da diferença entre as distâncias padrões e aquelas determinadas de forma dinâmica.

Inicialmente os levantamentos foram realizados colocando-se a estação total distanciada, em média, de 20m, 560 e 1570 m dos sensores. Para cada posição da estação realizou-se seis conjuntos de medidas

com velocidades constantes e iguais a 0,18, 0,30, 0,42, 0,53, 0,65 e 0,81 m/s objetivando-se encontrar a relação entre o erro cometido, a velocidade dos prismas e a distância da estação total. Com os resultados desses ensaios concluiu-se que o erro é função apenas da velocidade.

Em seguida fixou-se a estação total à uma distância média de 15,70m em relação aos sensores, e realizou-se diversas medidas variando-se a velocidade na faixa de 0,00 a 0,88 m/s com o objetivo de estabelecer uma correlação entre o erro e a velocidade de deslocamento dos prismas. Com os resultados desses ensaios verificou-se que existe uma correlação linear entre o erro e a velocidade dos prismas. Após determinar essa correlação o erro foi corrigido em função da velocidade dos prismas determinada pelos dados de posicionamento dinâmico (uma vez que nos trabalhos normais não se pretende realizar medidas de posicionamento padrão).

Numa etapa final pretende-se aplicar essa metodologia em uma seção do Rio Paraná, próxima à cidade de Porto Rico. Nesta oportunidade poderão ser identificados e solucionados os eventuais problemas que possam surgir durante a aplicação prática do método.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos nos levantamentos mostraram que a estação total utilizada executa uma medida a cada 2,3 s quando não ocorre nenhum problema de comunicação entre ela e o computador. A perda de sinal pode ocorrer quando o prisma não estiver orientado corretamente para o distanciômetro, quando ocorre vibração do móvel ou então a velocidade de deslocamento é excessiva. Neste caso o intervalo de tempo entre dois posicionamentos consecutivos pode aumentar em demasia.

A Figura 3 mostra a trajetória do carrinho durante um ensaio com velocidade constante igual a 0,53 m/s bem como os instantes em que o carrinho passou pelos sensores.

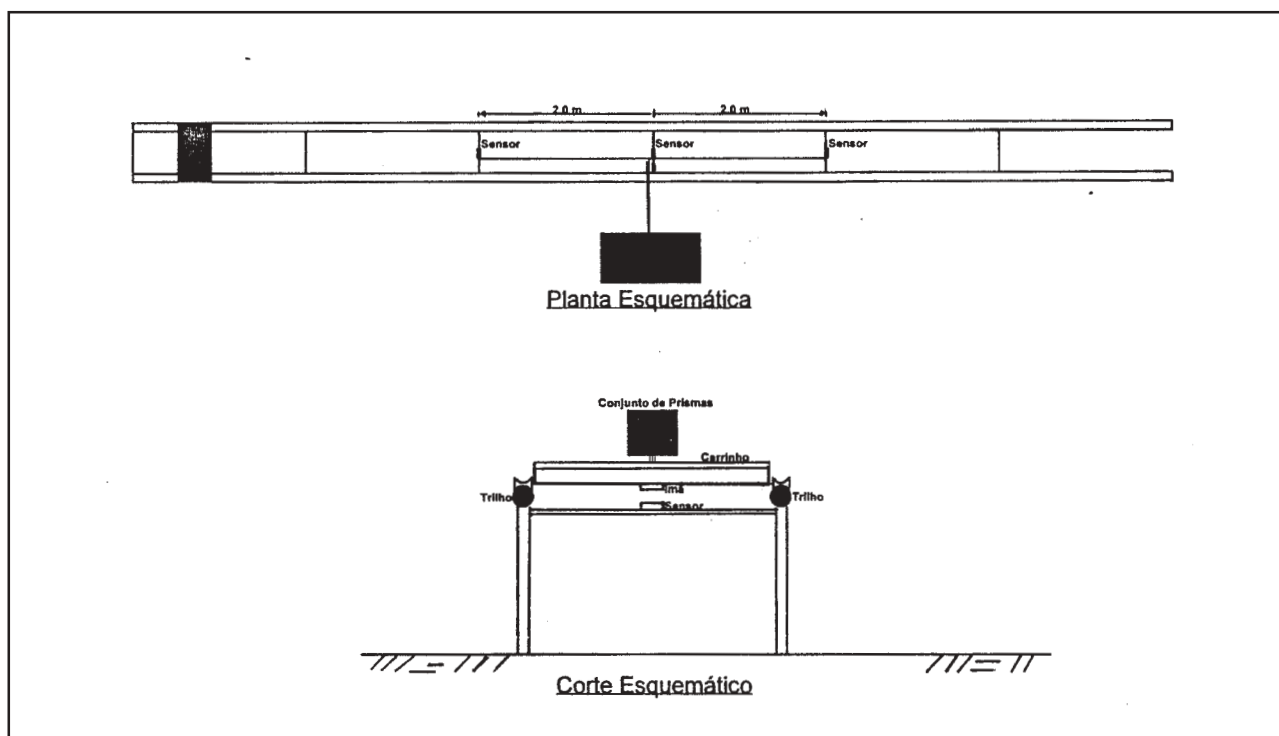


Figura 2. Esquema em planta e corte da instalação utilizada nos levantamentos.

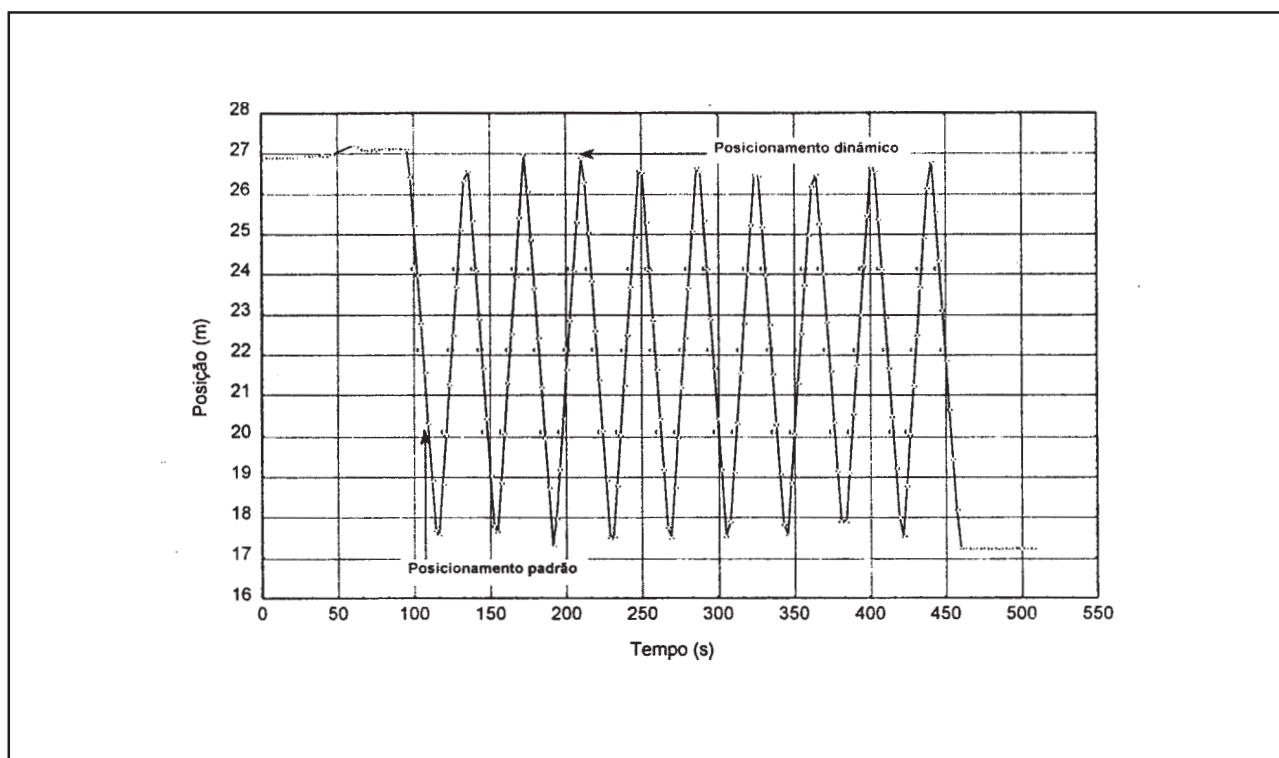


Figura 3. Trajetória do carrinho - posicionamento dinâmico e posicionamento padrão para Velocidade Média dos Prismas de 0,53 m/s.

A Figura 4 mostra, em uma superfície tridimensional, o erro (diferença em módulo, entre a distância padrão e a distância medida de forma dinâmica) cometido no posicionamento dinâmico quando não ocorre perda de sinal, em função da Velocidade Média dos Prismas e da Distância Média entre a Estação Total e os sensores (DET). Nesses levantamentos o intervalo de tempo médio entre as medidas foi de 2,6 s e verificou-se que o erro máximo cometido foi 1,24 m ($V = 0,81$ m/s). Através da Figura 4 nota-se que o erro se mantém aproximadamente constante com a Distância Média entre a Estação Total e os sensores (DET). Verifica-se, também, que o erro cresce quando a velocidade média dos prismas aumenta.

Após verificar que o erro apresenta uma dependência direta com a velocidade, intensificou-se os ensaios para cobrir a faixa de velocidade do carrinho entre 0,00 e 0,88 m/s, mantendo-se a Estação Total à uma distância média dos sensores de 15,70 m. A Figura 5 apresenta o comportamento do erro em função da velocidade média do carrinho, utilizando-se todas as leituras realizadas durante todos os levantamentos (1145 leituras). Utilizando-se o Método dos Mínimos Quadrados chegou-se à Equação 1, com um coeficiente de correlação igual a 0,992.

$$\text{ERRO} = 0,010 + 1,173 V \quad (1)$$

onde: ERRO = Diferença em módulo, entre a distância padrão e a distância medida de forma dinâmica (m); V = Velocidade média real dos prismas, calculada em função do posicionamento padrão (m/s)

Nos levantamentos hidrométricos não seria muito prático executar medidas padrões para se determinar a velocidade real dos prismas. Mesmo assim pode-se corrigir o erro assumindo que a velocidade real dos prismas é igual àquela obtida pelo posicionamento dinâmico. A Figura 6 apresenta o Erro Corrigido utilizando-se a Equação 1 e assumindo que V é igual à velocidade determinada através do posicionamento dinâmico. Nota-se que o Erro Corrigido cresce

ligeiramente em função da velocidade. Uma análise estatística desses dados revelou que o Erro Corrigido Médio é igual 0,024 m (0,07%) com um desvio padrão de 0,022 m. É importante realçar que o Erro Corrigido Máximo atingiu apenas 0,18 m (1,17%) para a faixa de velocidades pesquisadas, e que este erro não é função da distância entre a Estação Total e os prismas. Analisando-se os dados para Velocidades dos prismas iguais ou menores que 0,6 m/s o Erro Corrigido Máximo atinge apenas 0,090 m (0,66%). A Figura 7 apresenta o Erro Corrigido em termos percentuais, tomando como base as posições padrões.

Para velocidades dos prismas superiores a 0,88 m/s verificou-se que ocorrem freqüentes perdas de sinal. Por essa razão recomenda-se que os trabalhos práticos sejam realizados com velocidades inferiores a 0,88 m/s. Executando-se trabalhos com a velocidade máxima recomendada o posicionamento dinâmico registrará uma coordenada à cada 2,30 m de deslocamento, em média, o que confere um alto grau de detalhamento nos levantamentos.

Verificou-se também, durante os levantamentos, que para velocidades superiores a 0,60 m/s ocorrem perdas freqüentes de sinal somente quando os prismas estão se aproximando da Estação. Para uma mesma velocidade, quando os prismas estão se afastando da Estação não se perde o sinal. Não foi possível explicar nem resolver esse fato. Por essa razão recomenda-se que os levantamentos, executados com velocidades superiores a 0,60 m/s, sejam feitos com os prismas se afastando da Estação Total.

As Figuras 8 e 9 são apresentadas para exemplificar o problema da perda de sinal. Elas mostram o resultado de dois levantamentos realizados numa avenida, quando os prismas foram transportados por um trator, onde houve perda de sinal. Nesses casos o intervalo de tempo máximo entre duas medidas consecutivas atingiu 130 s, provocando um erro máximo de 8,69 m. A perda de sinal ocorreu em virtude do tráfego de veículos na avenida utilizada para realizar os levantamentos.

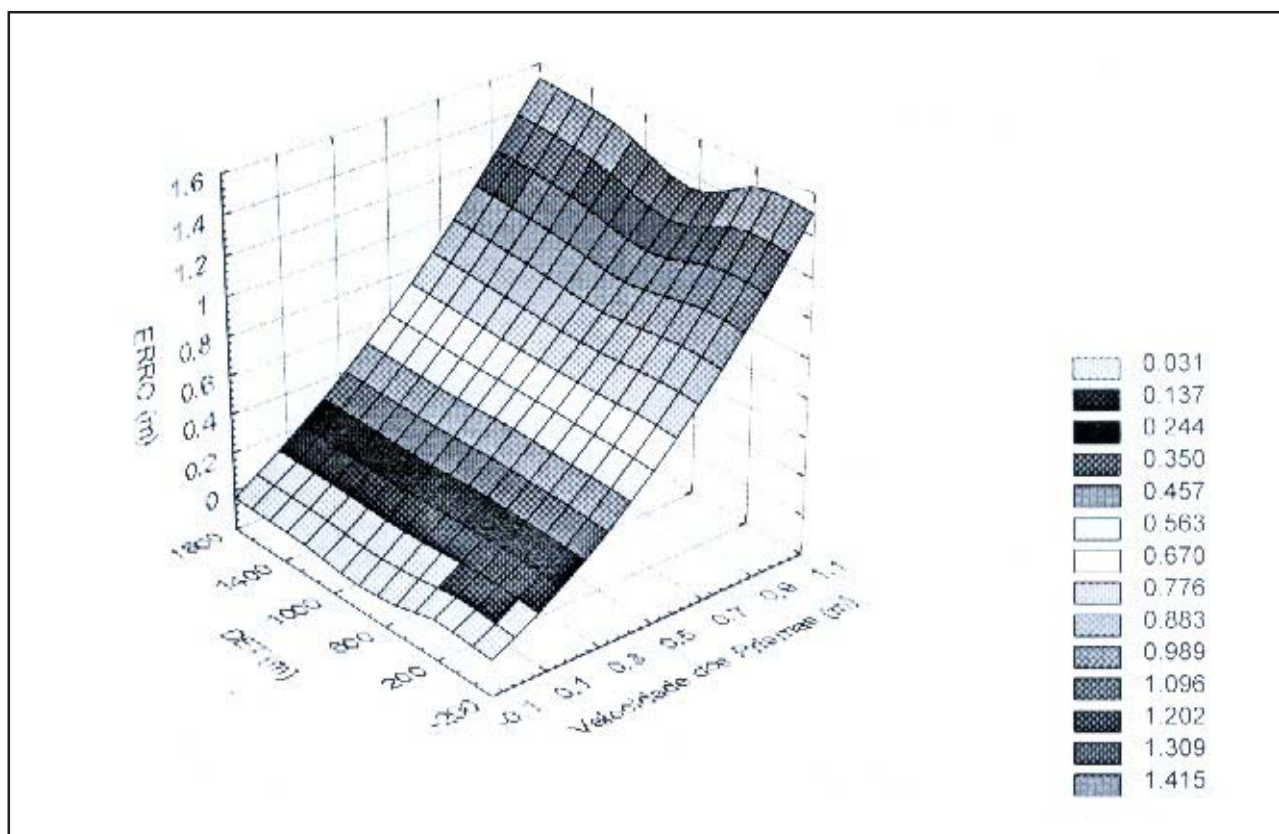


Figura 4. Erro cometido no posicionamento dinâmico em função da Velocidade Média dos Prismas e da Distância entre a Estação Total e os sensores (DET).

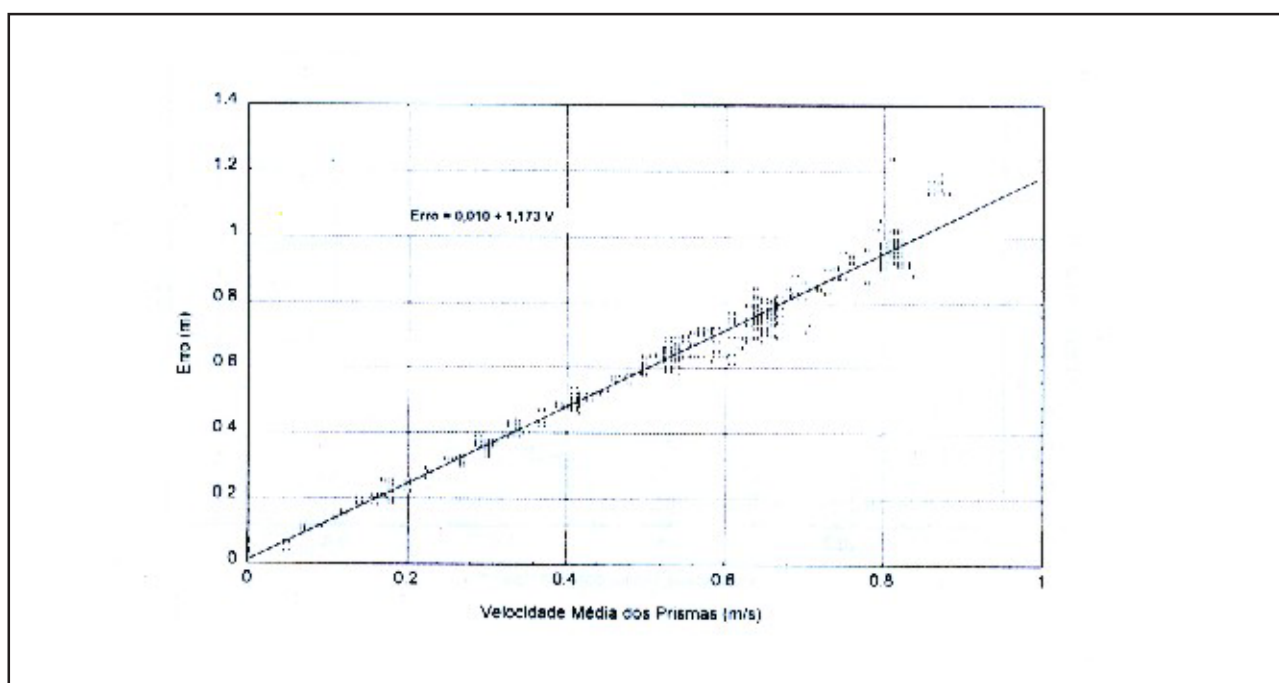


Figura 5. Erro cometido no posicionamento dinâmico em função da Velocidade Média dos Prismas.

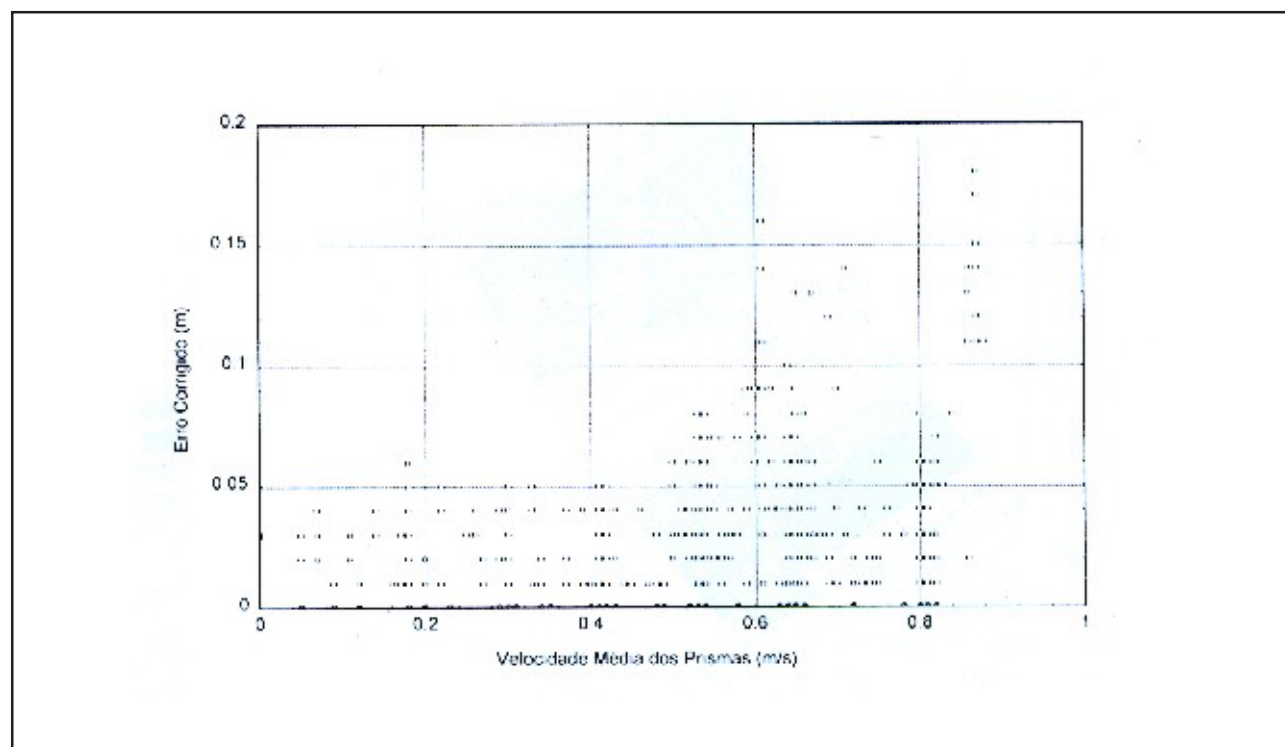


Figura 6. Erro Corrigido em função da Velocidade Média dos Prismas.

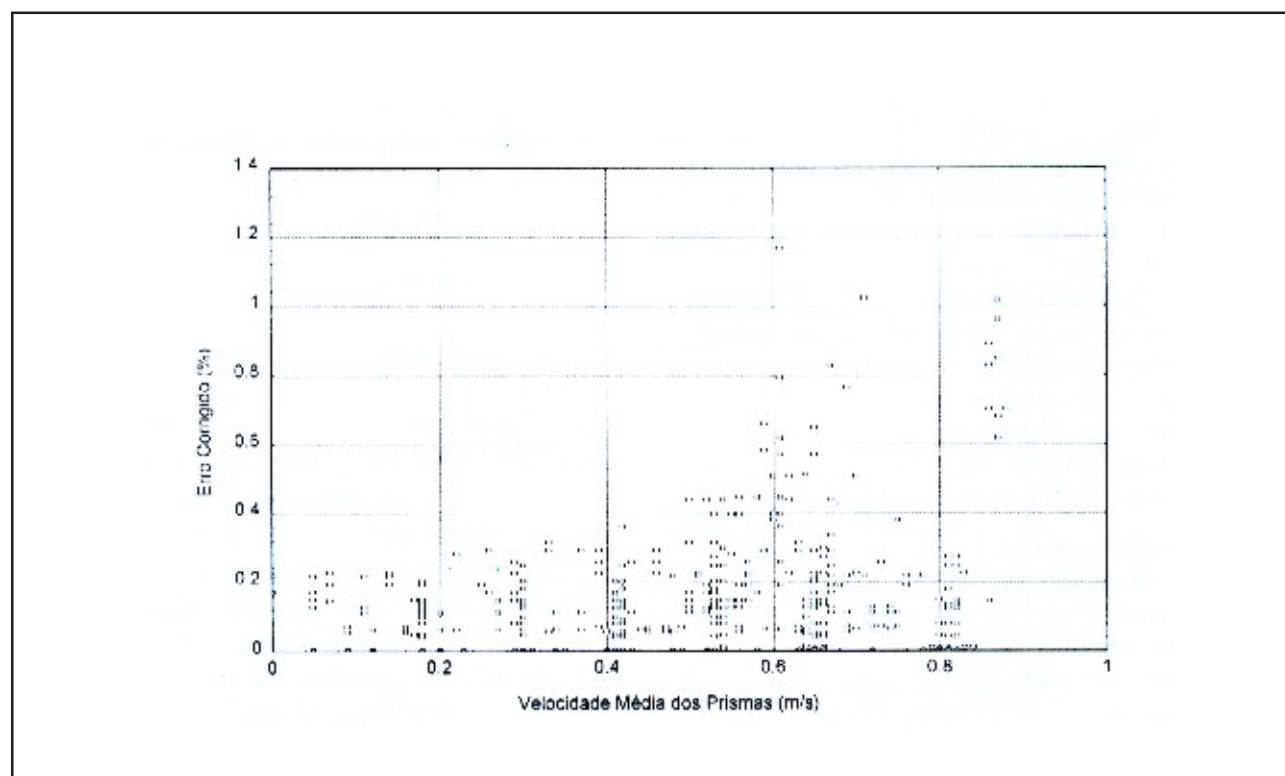


Figura 7. Erro Corrigido, expresso em porcentagem, em função da Velocidade Média dos Prismas.

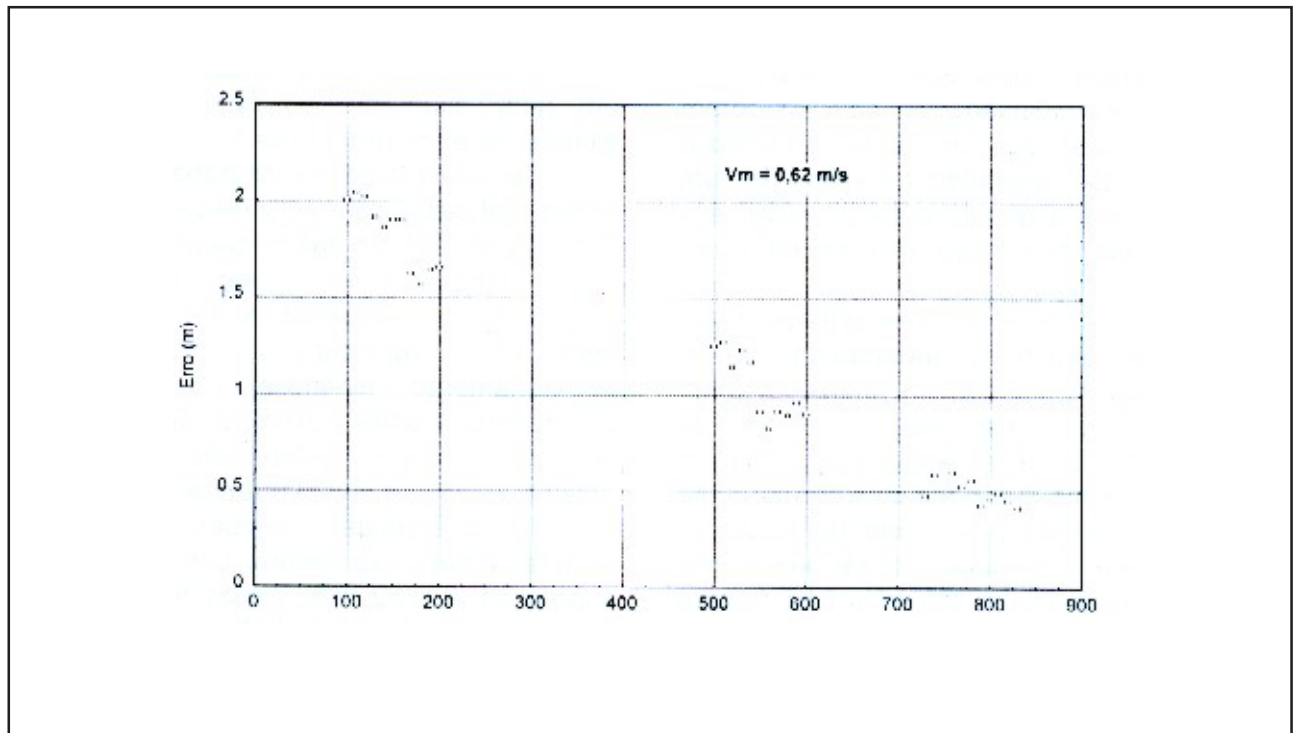


Figura 8. Erro no posicionamento dinâmico com perda de sinal ($V_m = 0,62 \text{ m/s}$).

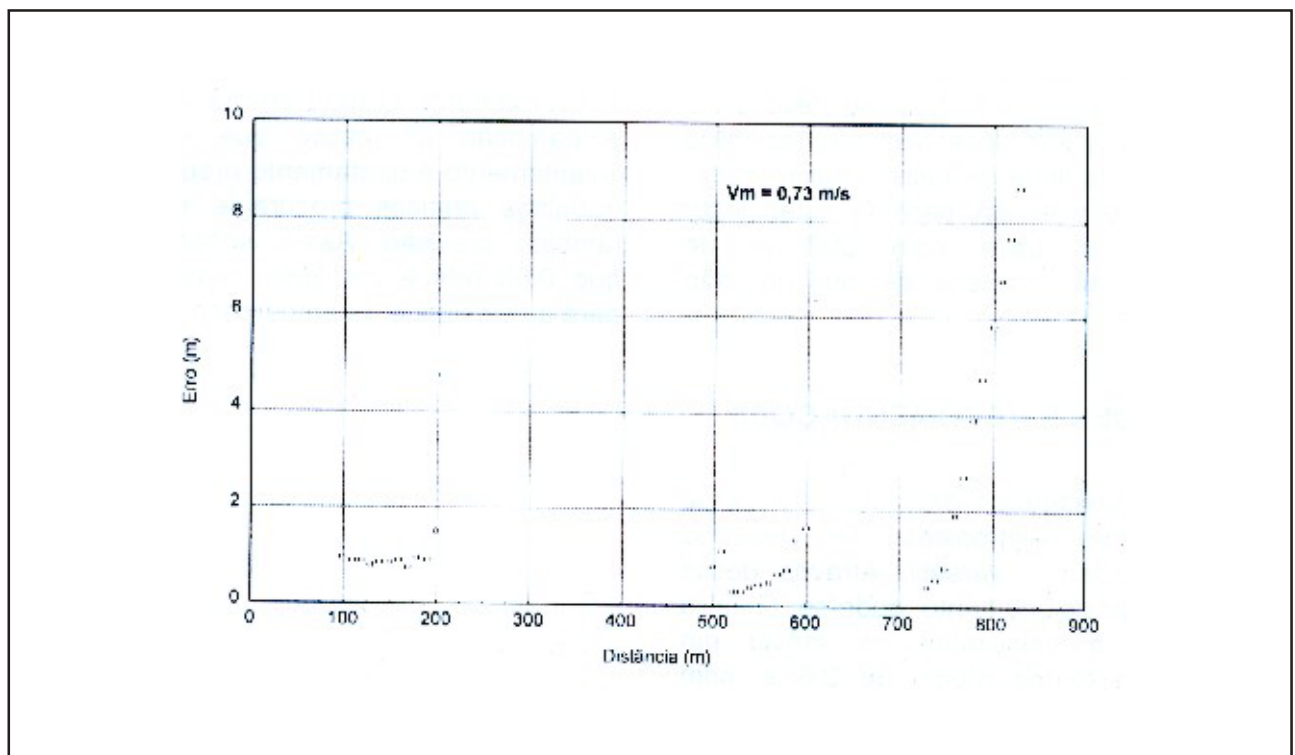


Figura 9. Erro no posicionamento dinâmico com perda de sinal ($V_m = 0,73 \text{ m/s}$).

Para efeito de comparação, simulou-se os possíveis erros cometidos em posicionamentos dinâmicos através do método de triangulação. Os cálculos foram feitos supondo-se que um móvel se desloca em linha reta, orientado através de um teodolito, e que o ângulo entre o móvel e a linha de base é medido através de outro teodolito.

A Figura 10 apresenta as estimativas de erros de posicionamento, supondo-se um erro de 5 minutos na medida do ângulo e tendo uma linha de base com 500 m de comprimento. O erro angular suposto é razoável, uma vez que 5 minutos corresponde à 1/16 da volta do ajuste fino do teodolito. Analisando-se esta figura nota-se que o erro cresce com a distância, atingindo 24,5 m para uma distância de 2800 m, o que representa 0,88%.

A Figura 11 mostra o que acontece quando supõe-se o mesmo erro angular e linha de base com comprimento igual a 2/3 da largura do rio. Nota-se que o erro cresce linearmente com a distância, chegando próximo de 6,00 m para uma posição de 2000 m.

Nos cálculos dos erros apresentados nas Figuras 10 e 11 não se levou em consideração os erros possíveis na medida do comprimento da linha de base. Vale ressaltar que o custo e o tempo, para se estabelecer uma linha de base com 500 m de comprimento às margens de um rio, são consideráveis.

de não exigir qualquer preparo antecipado da seção a ser estudada.

A automação do processo de medida é um fator altamente positivo pelo fato de eliminar os erros grosseiros.

Recomenda-se que os trabalhos práticos sejam realizados com velocidades inferiores a 0,88 m/s em virtude das freqüentes perdas de sinal quando as velocidades estão acima desse valor. Executando-se trabalhos com a velocidade máxima recomendada o posicionamento dinâmico registrará uma coordenada à cada 2,30 m de deslocamento, em média, o que confere um alto grau de detalhamento nos levantamentos.

Recomenda-se também que os levantamentos, executados com velocidades superiores a 0,60 m/s, sejam feitos com os prismas se afastando da Estação Total.

No método apresentado o erro cometido no posicionamento dinâmico não é função da distância, ao contrário do que ocorre com o método da triangulação.

A velocidade de deslocamento máxima recomendada (0,88 m/s) e a distância máxima que a estação pode medir (4400 m) são fatores limitantes do método estudado. O grau de detalhamento dos trabalhos hidrométricos é inversamente proporcional à velocidade da embarcação ao passo que o tempo de levantamento é diretamente proporcional. Nos trabalhos práticos procura-se rapidez, mas também precisão. Assim sendo acredita-se que 0,88 m/s é um limite máximo razoável para a velocidade da embarcação.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O posicionamento dinâmico através de distanciômetros eletrônicos se mostrou eficiente, preciso e versátil. Através desse método de posicionamento pode-se obter a trajetória e a velocidade do móvel em intervalos de tempo médio de 2,6 s, com redução de tempo e pessoal e com um grau de precisão geralmente superior aos conseguidos pelos métodos tradicionais, além

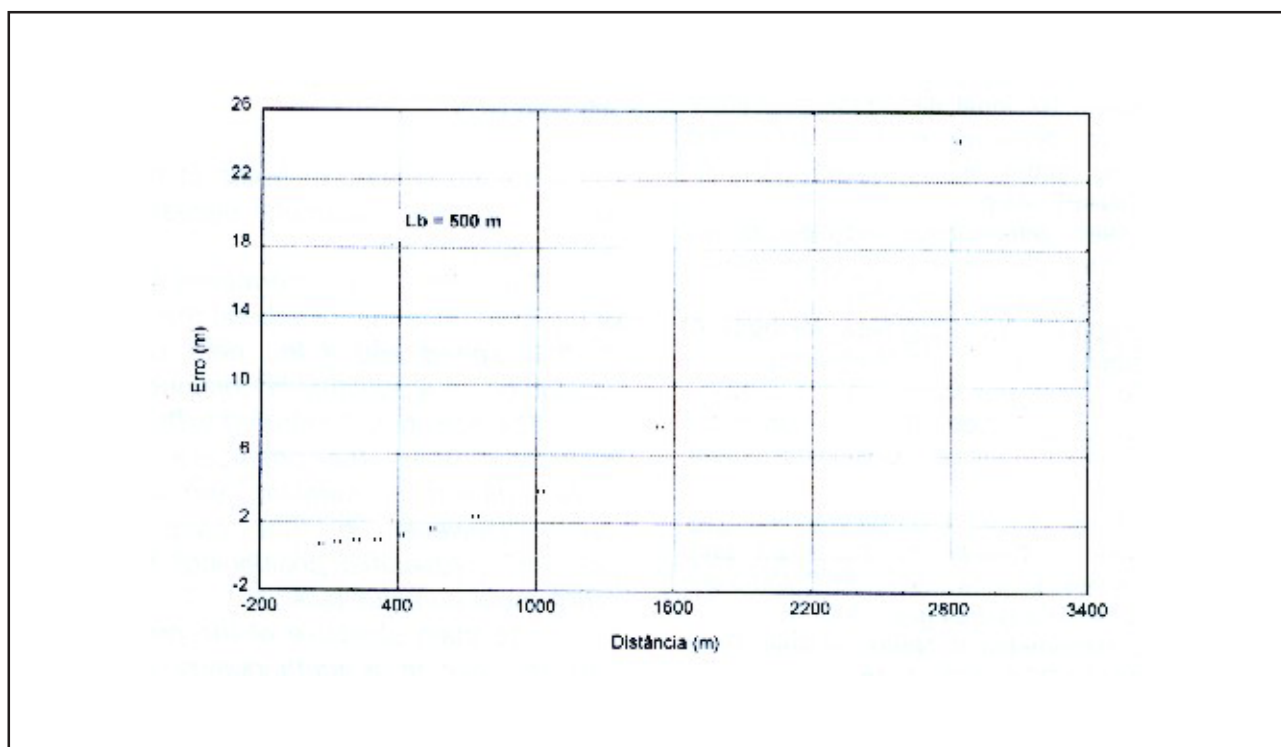


Figura 10. Simulação 1: Erro no método da triangulação.

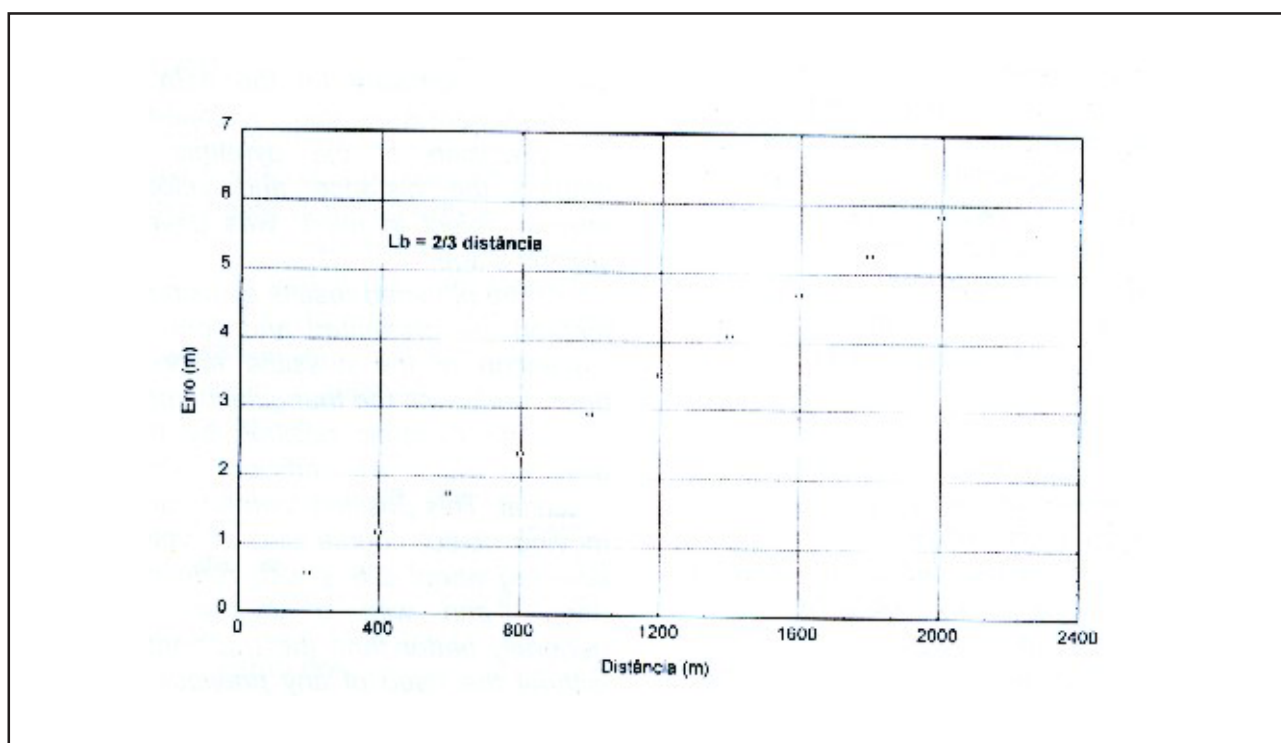


Figura 11. Simulação 2: Erro no método da triangulação.

BIBLIOGRAFIA

- BRASIL. 1968. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia. *Medição de descarga e seus problemas técnicos no maior rio do mundo*. Rio de Janeiro: DNAEE. 44 p.
- FILL, H. D. 1987. Informações Hidrológicas. In: *Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Nobel/ABRH. p.142-180.
- HERSCHY, Reginald W. 1985. New Methods of River Gauging. – In: *Facets of Hydrology*, J.C. Rodda, ed. Chichester, Wiley. v.1, p.119-124.
- _____, ed. 1978. *Hydrometry: principles and practice*. Chichester, John Wiley. p.73-79.
- ORDÓÑES, J. S. 1975. Hidrometria. In: _____. (recompilador). *Manual de hidrologia para hidromensores*. Bogota : Servicio Colombiano de Meteorologia e Hidrologia. p 63 – 76.
- SILVEIRA, R. *Hidrometria II: Notas de aula*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 1974.114p.

Dynamic Position Using an Eletronic Distance Meter

ABSTRACT

The positioning of boats in hydrological works is both a fundamental necessity and an additional difficulty.

The method for determining the position of the boat depends, mainly on the river width, its flow speed and if the data collection is conducted on a punctual or continuous basis.

The activities performed with the boat in movement make the procedure faster and more efficient in medium and large sized rivers. However in that case the boat positioning (dynamic positioning) becomes a much more complex task.

The main objective of the present study was to develop a methodology of dynamic positioning making use of an eletronic distance meter with an automatic data collector (total station). To carry out this objective an interface was developed. It was based on the total station builder's information so that its connection with a microcomputer compatible with an IBM-PC line was possible. The necessary software for the data conversion and treatment were also developed. A study of the precision of the dynamic positioning, bearing the distance and velocity of the moving object in mind, was developed at a second stage.

The obtained results by using the studied method are presented and compared with a simulation of the possible errors that have been made with the triangulation procedure.

The dynamic position by the eletronic distance meter was efficient, accurated and practical. This position method can supply the moving object course and its velocity with a time lag about 2.6 s with reduced time and people and with a degree of accuracy generally better than the traditional method's, without the need of any previous preparation of the studied section.