

## INSTRUMENTALIZAÇÃO E OBTENÇÃO DA CURVA CHAVE PARA A MICROBACIA DO RIO CAIABI, AFLUENTE DO RIO TELES PIRES - MT

*Rafael Alberto Menon<sup>1</sup>; Frederico Terra de Almeida<sup>2</sup>; Adilson Pacheco de Souza<sup>3</sup>; Jackson dos Santos da Silva<sup>4</sup>; Rômulo Costa Martins<sup>5</sup>; Wheliton Paulo de Santana<sup>6</sup>; Fabiano Marin<sup>7</sup>; Ivam Franceschet<sup>8</sup>; Fábio Cavale<sup>9</sup>; Paulo Henrique Celestino da Silva<sup>10</sup>; Cornélio Alberto Zolin<sup>11</sup>, Kelte Resende Arantes<sup>12</sup>.*

**Resumo** – A instrumentalização de bacias hidrográficas é de fundamental importância para o gerenciamento adequado dos seus recursos e, neste contexto, encontram-se as medidas da vazão dos rios. Medidas diretas de vazão são geralmente caras e demandam muito tempo. Assim a obtenção da curva chave tem muita utilidade, pois além de relacionar a altura da lâmina d'água em uma determinada seção e a vazão da mesma, permite uma economia significativa de tempo e recursos financeiros. O presente trabalho reuniu dados coletados entre março de 2011 e abril de 2013, num afluente do rio Teles Pires, situado no estado do Mato Grosso. Tais medidas foram feitas com uma frequência aproximadamente mensal, obtendo um total de dezessete dias amostrados. Para as amostragens foi utilizado um molinete do modelo MLN-7, da fabricante JCTM Ltda, o qual foi submerso em três alturas diferentes, sendo 20%, 60% e 80% da profundidade total, e com três medidas em cada profundidade, cada uma em um intervalo de tempo de trinta segundos. Foram observadas medidas de lamina d'água entre 1,72 e 3,20 metros e vazão entre 15,52 e 52,53 metros cúbicos por segundo. Os resultados obtidos apresentaram-se bastante confiantes ( $R^2=0,989$ ), sendo a curva-chave considerada satisfatória.

**Palavras-Chave** – Curva Chave, Molinete Hidrométrico, Região Amazônica.

## INSTRUMENTALIZATION AND GETTING THE KEY CURVE TO RIVER WATERSHED CAIABI, TRIBUTARY RIVER OF TELES PIRES-MT

**Abstract** - The instrumentalization of watershed is of fundamental importance for the proper management of its resources, and in this context, are the measures of the discharge. Direct measurements of flow are generally expensive and time demanding. Thus obtaining the key curve has much use, because in addition to relate the height of the water depth in a particular section and it flow, thereby saving significant time and financial resources. This study gathered data collected between March 2011 and April 2013, in a tributary of the Teles Pires River, located in the state of Mato Grosso. These measurements were made with a frequency approximately monthly, obtaining a total of seventeen sample days. Was used for sampling a hydrometric vane model MLN-7 manufacturer's JCTM Ltda, which was immersed in three different heights, wich were 20%, 60% and 80% of the total depth and three measurements at each depth, each in a time interval of thirty seconds. Depth measurements between 1,72 and 3,20 meters and discharges between 15,52 and 52,53 cubic meters per second were observed. The results are quite confident ( $R^2 = 0,989$ ) and the key curve was considered satisfactory.

**Keys words**– key curve, hydrometric vane, Amazon region.

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da UFMT, Sinop/MT. E-mail: [eng.menon@yahoo.com.br](mailto:eng.menon@yahoo.com.br).

<sup>2,3,12</sup> Professores Adjuntos do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais da UFMT, SINOP/MT. E-mail [fredterr@gmail.com](mailto:fredterr@gmail.com), [adilsonpacheco@ufmt.br](mailto:adilsonpacheco@ufmt.br), [kelte@ufmt.br](mailto:kelte@ufmt.br).

<sup>4,5,6,10</sup> Alunos de graduação em Agronomia, UFMT, SINOP/MT. E-mail: [jackson\\_dossantos1@hotmail.com](mailto:jackson_dossantos1@hotmail.com), [romulo\\_costa11@hotmail.com](mailto:romulo_costa11@hotmail.com), [w\\_heli\\_ton@hotmail.com](mailto:w_heli_ton@hotmail.com), [pncs@gmail.com](mailto:pncs@gmail.com).

<sup>7</sup> Mestrando do Programa de Pós Graduação em Agronomia da UFMT, Sinop/MT. E-mail: [marin\\_fabiano@hotmail.com](mailto:marin_fabiano@hotmail.com)

<sup>8,9</sup> Graduados em Agronomia, UFMT, SINOP/MT. E-mail: [ivam.franceschet@yahoo.com.br](mailto:ivam.franceschet@yahoo.com.br), [fabiocavaletsnp@gmail.com](mailto:fabiocavaletsnp@gmail.com).

<sup>11</sup> Pesquisador da EMBRAPA Agrosilvipastoril – Sinop/MT. E-mail: [cornelio.zolin@embrapa.br](mailto:cornelio.zolin@embrapa.br)

## INTRODUÇÃO

Durante grande parte dos anos que sucederam os anos setenta, diversos incentivos foram dados para que a região centro-oeste e norte fosse ocupada, gerando assim um grande fluxo de pessoas para essas regiões (LEMOS, 2011). Esse êxodo para regiões anteriormente inabitadas era visto com bons olhos pelos governantes, uma vez que tornariam produtivas terras anteriormente inocupadas. Mais de quarenta anos após a implantação dessas políticas, vemos hoje o estado do Mato Grosso como o maior produtor de soja do Brasil e um dos maiores do mundo, sendo responsável por aproximadamente 27% e 7% da produção do grão no Brasil e no mundo, respectivamente (IIS, 2012).

A modelagem hidrológica é uma ferramenta muito utilizada para o maior entendimento de importantes processos que ocorrem na bacia hidrográfica (BARROS, 2012). Esse conhecimento é de fundamental importância para uma gestão eficaz dos seus recursos hídricos. Para uma modelagem satisfatória, diversos tipos de medições devem ser realizados, a fim de caracterizá-la de forma eficiente, tais como: precipitação, vazão, mapeamento do tipo e uso do solo, para se verificar eventuais pontos de sensibilidade à erosão, medição no aporte de sedimentos, etc. Neste contexto se encontra a instrumentalização da microbacia do Rio Caiabi. Este é um afluente do rio Teles Pires, que vem a ser um importante rio da bacia amazônica, com diversos empreendimentos hidroenergéticos em fase de implantação e em planejamento, bem como imenso potencial para utilização na irrigação. A instrumentalização desta microbacia foi feita através da instalação de três estações meteorológicas automáticas, um linígrafo instalado na seção de controle, que vem a ser a mesma na qual se estabeleceu a curva-chave, bem como a caracterização dos parâmetros do solo e o uso e ocupação da microbacia para que, futuramente, ela venha a ser modelada da forma mais precisa possível.

A modelagem hidrológica vem a ter um importante papel no estado do Mato Grosso, pois existe uma grande carência de dados hidrológicos na região. Processos de outorga têm como base dados obtidos através de regionalização ou mesmo através interpolação entre dados existentes, gerando grande desconfiança por parte dos profissionais sobre a qualidade dos mesmos.

Tendo em vista que as medições de vazão demandam muito tempo e recursos financeiros, é comum fazer-se uso da curva chave para as medições de vazão, pois “a curva-chave de um curso de água é uma função que descreve a relação entre a vazão e a altura ou cota de escoamento, levando em conta as características geométricas e hidráulicas da seção transversal do curso de água considerado” (JACON; CUDO, 1989) facilitando em muito as medições da vazão. A bacia hidrográfica do rio Amazonas é constituída pela mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ocupando uma área total da ordem de 6.110.000 km<sup>2</sup> (ANA, 2012); porém é notadamente a menos instrumentalizada. Neste contexto, a obtenção da curva chave é de grande importância para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois ela reduz custos e a demanda por recursos humanos.

A curva chave pode ser dada por uma equação exponencial do tipo:

$$Q = a(H \pm H_0)^b \quad (1)$$

Sendo:

Q=Vazão (m<sup>3</sup>/s);

H=Leitura da Régua correspondente à vazão “Q”; e

“a”, “b” e “H0”, são parâmetros característicos da seção.

Poder-se-ia utilizar da equação 1 na forma linearizada, a qual seria:

$$\text{Log}Q = \text{Log} a + b \text{Log} ( H \pm H_0 ) \quad (2)$$

No presente trabalho usou-se a equação 1 citada, sendo os valores de seus coeficientes determinados pelo método de iterativo de Newton com o auxílio da função Solver® do software Excel®.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Escolha da Seção

Para a instalação da estação fluviométrica, foi estudada uma seção localizada a aproximadamente 5 km da foz do Rio. Essa escolha foi feita por ser esta a seção mais convenientemente posicionada, bem como a hidraulicamente mais uniforme. Outro ponto positivo em relação a essa seção foi a não influência das marés do rio Teles Pires, uma vez que este último é um rio de grandes dimensões. A seção localiza-se envolta por uma grande área de plantio intercalado de soja e milho, tendo a mata ciliar intacta com aproximadamente cinquenta metros de largura. A bacia hidrográfica é caracterizada no seu uso e ocupação do solo com predominância do plantio de soja, milho e de pastagem, sendo que algumas de suas propriedades se utilizada de técnicas de integração lavoura-pecuária, gerando resultados bastante interessantes no processo.



Figura 01 – Localização da seção de estudo no rio Caiabi, aflente do rio Teles Pires.

### Medição das velocidades

As medições foram feitas com uma periodicidade aproximadamente mensal contemplando períodos chuvosos e secos. Para a realização das medidas utilizou-se de um molinete modelo MLN-7, da fabricante JCTM Comércio e Tecnologia Ltda. Como critério de escolha do número de verticais a serem amostradas, bem como para o cálculo do número de amostras por vertical, foram utilizadas as tabelas 1 e 2. Como o rio possui largura máxima de 15 metros, as medidas de velocidade foram feitas a cada metro. A cada dia de amostragem, mediu-se a seção do rio a fim de

obter a área da mesma, bem como as alturas correspondentes à medida da velocidade com o molinete. Em seguida mediu-se três vezes o número de rotações a cada 30 segundos em cada profundidade especificada para cada vertical, tomando-se o cuidado para que as três medidas fossem iguais, e quando isso não era possível, o mais semelhante possível, evitando assim variações nas medições. Após as três medidas, fez-se a média entre elas obtendo-se um valor médio de rotações para trinta segundos; dividindo-se essa média por trinta obteve-se o número de rotações por segundo. Cada molinete possui uma equação própria especificada pelo fabricante sendo que esta equação apresenta uma relação linear entre a velocidade e o número de rotações obtidas em uma leitura. A equação do molinete usado é:

$$V = a * n + b \quad (3)$$

Onde:

V = velocidade em m/s;

N = número de rotações por segundo; e

a e b = parâmetros característicos do molinete, sendo eles 1,0213 e 0,0063 respectivamente.

E para o cálculo da vazão média foi utilizada a seguinte fórmula:

$$V_m = \frac{V_{20\%} + 2 * V_{60\%} + V_{80\%}}{4} \quad (4)$$

Onde:

V<sub>m</sub> = velocidade média; e

V<sub>20</sub>, V<sub>60</sub> e V<sub>80</sub>: velocidades obtidas para 20, 60 e 80% da profundidade da seção, respectivamente.

Tabela 1. Recomendação de distância entre verticais para a medição de velocidade da corrente. Fonte: SANTOS et al. (2001)

Largura do Rio(m)	Distância entre verticais(m)
≤ 3,00	0,30
3,00-6,00	0,50
6,00-15,00	1,00
15,00-30,00	2,00
30,00-50,00	3,00
50,00-80,00	4,00
80,00-150,00	6,00
150,00-250,00	8,00
≥ 250,00	12,00

Tabela 2.Recomendação do numero de amostras em uma vertical e fórmulas para o cálculo da velocidade média. Fonte: SANTOS et al. (2001)

Nº de pontos	Posição Vertical em relação à profundidade(p)	Calculo da velocidade média(Vm) na vertical	Profundidade(m)
1	0,60p	V <sub>m</sub> =V <sub>0,60</sub>	0,15 - 0,6
2	0,20 e 0,80p	V <sub>m</sub> =(V <sub>0,2</sub> + V <sub>0,8</sub> )/2	0,60-1,20

3	0,20; 0,60 e 0,80p	$V_m = (V_{0,2} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/4$	1,20-2,00
4	0,20; 0,40; 0,60 e 0,80p	$V_m = (V_{0,2} + 2V_{0,4} + 2V_{0,6} + V_{0,8})/6$	2,00-4,00
5	Sup., 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e Fundo	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f]/10$	>4,00
Vs - Velocidade medida na superfície e Vf - Velocidade medida no fundo			

### Cálculo da Vazão

O cálculo da vazão foi feito multiplicando-se a velocidade média de uma dada vertical pela sua área de influência. A área de influência de uma dada vertical foi calculada conforme a figura 2:

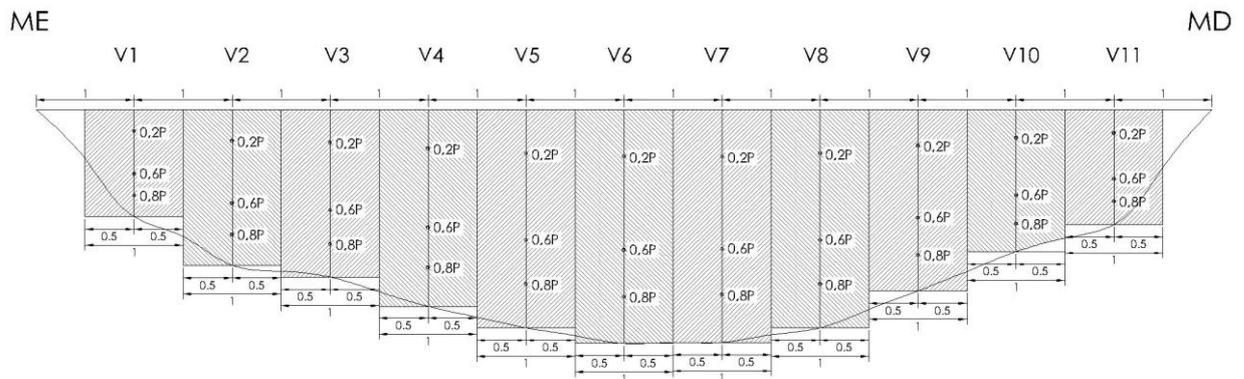


Figura 02: Imagem ilustrativa da seção estudada.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos em campo foram tabulados com o auxílio do software excel®. A tabela 3 resume as alturas observadas, bem como as vazões calculadas e observadas e a diferença quadrática entre elas e o gráfico 01 mostra a curva obtida pela equação(5) bem como os dados obtidos em campo.

Feitas as análises, pôde-se verificar um ajuste dos valores da curva chave chegando à seguinte equação:

$$Q = 4.267(H - 0.15)^{2.075} \quad (5)$$

Onde:

Q=vazão do rio em m<sup>3</sup>/s; e

H=profundidade na sétima vertical a contar da margem esquerda, em metros.

Tabela 03 – Dados observados e calculados para a seção

COTA:	Qobs	Qcalc.	(Qobs-Qcalc.)^2
1,720	15,520	15,661	0,020
1,860	17,071	18,190	1,253
1,880	16,438	18,568	4,536
2,000	20,297	20,917	0,384
2,050	22,052	21,938	0,013
2,080	25,658	22,563	9,580
2,100	23,230	22,985	0,060
2,120	23,300	23,411	0,012
2,140	23,762	23,841	0,006
2,160	23,963	24,275	0,097
2,200	26,776	25,155	2,628
2,400	32,416	29,799	6,852
2,540	33,334	33,293	0,002
2,620	33,971	35,379	1,984
2,720	34,852	38,080	10,421
3,100	50,575	49,286	1,662
3,200	52,533	52,484	0,002
		Correlação 0,989	Soma 39,511

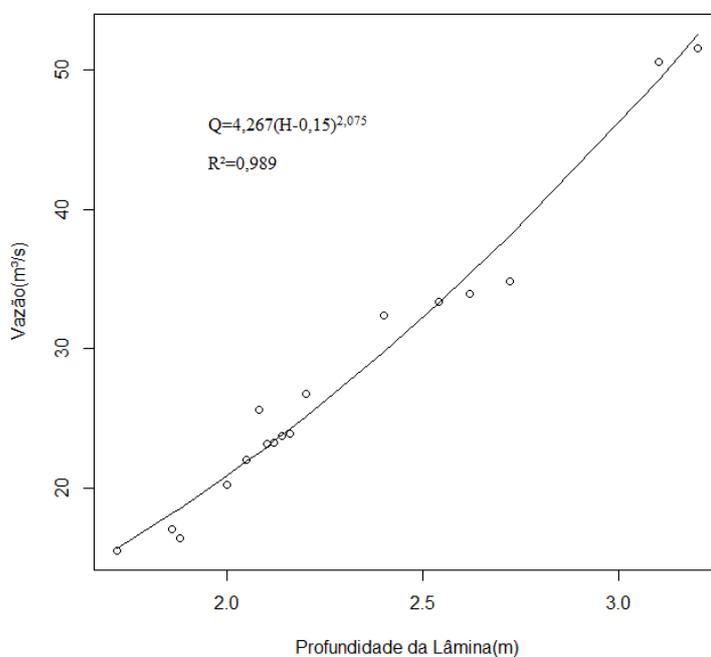


Gráfico 01: Dados observados e curva ajustada pela equação da curva-chave

Tal equação, após calculadas as vazões e correlacionadas com as observadas em campo, foram bastante significativas ( $R^2=0,989$ ), gerando bastante confiabilidade para obtenção da vazão

entre os intervalos observados. Caso ocorram vazões fora dos limites observados, será necessária a medição da vazão pois, caso não o seja, o cálculo da vazão deverá ser feito através de extrapolação, podendo ocasionar erros dependendo da metodologia utilizada para fazê-la (Lambie, 1978).

Após a obtenção da curva chave, as medidas de vazão tornar-se-ão mais fáceis, bem como o acompanhamento da variação temporal das mesmas.

Outro ponto importante a ser observado é que “O fato da curva-chave estar intimamente ligada às características hidráulicas da seção de controle implica variação da expressão matemática quando há uma variação nestes dados” (Cardoso e Medeiros, 2003). Ou seja, diversos fatores tais como depósito de sedimentos, erosão, assoreamento, etc, podem causar alterações na seção do rio, modificando de forma geral o comportamento hidráulico da mesma. Estas mudanças usualmente são graduais e de difícil detecção a curto prazo, fazendo com que a correlação entre os dados observados e os calculados decaia com o tempo. Uma vez que esta correlação alcance um valor não satisfatório, uma nova curva chave deve ser obtida a partir de novos dados. Outros fatores podem afetar de maneira direta ou indireta relação cota-altura, que é o princípio básico da curva chave, em um estudo realizado na cidade de Blumenau/SC (Cardoso e Medeiros, 2003) verificaram que obras de alargamento do rio estudado fizeram com que as velocidades do rio aumentassem, fazendo com que houvesse a necessidade de se obter uma nova curva-chave a partir de novos dados.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios uma vez que houve uma relação bastante forte entre os dados coletados em campo e os calculados pela equação ajustada.

O molinete, foi bastante confiável pois o rio é de pequenas dimensões e a bacia possui uma área aproximadamente de 500 Km<sup>2</sup>, possuindo um tempo de concentração moderado.

Importantes dados e obtenção da curva-chave foram gerados para a região Amazônica, região com baixa densidade de postos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pelo apoio concedido ao projeto de pesquisa aprovado no Edital Universal nº 014/2011, sob coordenação do Prof. Frederico Terra de Almeida, bem como à colaboração do proprietário da Fazenda Jaboticabal, na qual está contida a seção hidrométrica em estudo, e aos servidores da UFMT- Campus Sinop, pelo auxílio nas campanhas.

## REFERÊNCIAS

**ACIOLI, L. A.; Bellinaso, T. B. CASTRO, N. M. R.; JÚNIOR, D. C. L. P.:(2004):** Medição, traçado da curva-chave e análise de sedimentos do arroio Turcato, RS. In Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos; 6; 1;173; 177

**BARBOSA, G.S; IOST, C.; SCHIESSL, M. A.; FEITOSA, T. B. (2010).** Determinação da Curva-Chave da Vazão do Rio Manoel Alves Grande, Goiatins-To. In Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belem, set./2010, 1, pp.

**GOES, M.U.A, BERTOLDO, F., BURILOLO, G.A., RIGHES, A.A., SILVEIRAS, G.L(2007)** Curva chave – estudo de caso da bacia hidrográfica – Escola Urbana, Santa Maria – RS. In Anais I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste.

**LAMBIE, J. C. (1978).** Measurement of flowvelocity-area methods. in Hydrometry:Principles and Practices (Ed. R. W. Herschy). John Wiley & Sons. Chichester. England.384p

**LEMOS, A.L.F; SILVA, J.A(2011).** Desmatamento na Amazônia Legal: Evolução, Causas, Monitoramento e Possibilidades de Mitigação Através do Fundo Amazônia. Floresta e Ambiente.; 18(1):98-108

**PINHEIRO, A.; BADIA, S.B.(2008)** Influencia da curva-chave sobre a curva de permanência dos escoamentos em uma bacia agrícola REA – Revista de estudos ambientais v.10, n. 2, p. 64-70.

**STRASSBURG, B.(2012).** Aumentando a produção agrícola e evitando o desmatamento – um estudo de caso para o Mato Grosso, Brasil. IIS Rio de Janeiro-RJ, 5 p.