



Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Coordenação de Capacitação
Divisão Apoio Técnico

PIBIC

2.377

PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPA
RELATÓRIO FINAL

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DO FLUXO DE ÁGUA E
NÍVEL EM UMA MICROBACIA DE FLORESTA NATURAL NA AMAZÔNIA**

BOLSISTA: Thiago José de Castro Nascimento.

ORIENTADOR: Dr. Luiz Antonio Candido.

Relatório Final apresentado ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, como requisito para a conclusão como participante do Programa de Iniciação Científica do INPA.

Manaus – Amazonas
2017

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





Título Trabalho do Bolsista: Análise da variabilidade temporal do fluxo de água e nível em uma microbacia de floresta natural na Amazônia.

A vazão em um corpo hídrico é representando pelo escoamento que se passa em um determinado tempo em uma determinada seção. Essa variável hidrológica está diretamente influenciada pelas características físicas e climáticas da bacia, associados tanto à cobertura vegetal quanto a topografia e podendo ser considerada um excelente indicador para avaliar alterações no ciclo hidrológico. Neste estudo foram analisadas as estimativas instantâneas de descarga em uma área de floresta natural utilizando o método traçador e com expressivo instrumento automático de nível de água. O monitoramento sistemático e contínuo do nível da água e da estimativa da vazão permitiu estabelecer a curva-chave relativa a seção do curso de água no igarapé Asu de segunda ordem.

Palavras Chave: Ciclo Hidrológico; Igarapé Asu; Método Traçador.

Subárea:

CLIMA E AMBIENTE - CLIAMB.

Financiamento:

PIBIC/CNPq.

Data: 29 / 09 / 17


Luiz Antônio Candido
Pesq. Titular/CDAM/INPA

Orientador(a)



Bolsista

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





1. Introdução/Objetivos

O ciclo hidrológico em uma área de floresta natural consiste, basicamente, no processo da movimentação contínua da água que circula no planeta, no qual esse fenômeno se agrega a diferentes etapas hidrológicas, entre os quais condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração, percolação e escoamento superficial e sub-superficial. Dentre os processos hidrológicos citados, temos o escoamento ou fluxo de água, correspondente ao elemento de referência abordado neste projeto.

O fluxo de água usualmente conhecido como vazão refere-se ao volume de água escoado em um determinado tempo em uma determinada área. O monitoramento é considerado um fator importante, pois através dele é possível antecipar acontecimentos e apontar alternativas que conduzam a soluções ou previsões de um possível impacto para sociedade, também servindo um excelente indicador para avaliar alterações no ciclo hidrológico. Para o monitoramento dessa condicionante, são necessários equipamentos adequados e técnicos qualificados. Erros nas medições de vazão podem tornar mais difícil a últimação do balanço hídrico.

Neste projeto foram realizadas estimativas instantâneas de vazão em uma área de floresta natural utilizando o método traçador e com expressivo instrumento automático de nível de água. O monitoramento sistemático e contínuo do nível da água e da estimativa da vazão em uma microbacia de floresta natural permitiu construir a curva-chave relativa à seção do curso de água no igarapé Asu de segunda ordem. Para obtenção de séries de registros de vazões a curtos intervalos de tempo, como horários ou diários, é empregada a curva-chave, que permite transformar as leituras de níveis das seções fluviométricas em vazões do escoamento fluvial.

A curva-chave é uma equação ajustada aos dados de medição da vazão. No entanto, para se obter uma curva-chave representativa é necessário medir a vazão do igarapé em situações de vazões baixas, médias e altas. No estabelecimento da curva-chave existem incertezas associadas ao processo de medição da vazão. As principais incertezas são devidas à estimativa da velocidade e área da seção transversal do escoamento.

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Coordenação de Capacitação
Divisão Apoio Técnico

Frequentemente, as medições de vazão definem apenas o trecho central da curva-chave. O impasse na reprodução do trecho inferior da curva advém, basicamente, de mudanças de leito decorrentes de deposição de sedimentos ou erosão. O processo de extrapolação da curva-chave para níveis maiores e menores é uma alternativa bastante usual na obtenção de série contínua de dados de vazão. Dentro desse contexto, o referente estudo, pretende-se realizar o monitoramento sistemático fluxo de água em um igarapé de segunda ordem numa microbacia de floresta natural na Amazônia.

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado na microbacia que drena um igarapé de segunda ordem, o Asu, localizado na Reserva Biológica do Rio Cuieiras (REBIO Cuieiras) de propriedade do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA. A principal via de acesso para a REBIO Cuieiras é através da estrada vicinal ZF-2 a oeste da BR- 174, construída na década de 70 (Malhi et. al., 1998), na altura do km 50 desta estrada que liga Manaus [BR] a Caracas [VEN] (Luizão et. al., 2004), e está situada a 84 km de Manaus (Tomasella et. al., 2009) com as coordenadas Lat: 02° 35' 35.64" S e Lon: 60° 12' 42.66" W (Figura 1). A REBIO Cuieiras constitui numa área de floresta natural, que é obtida como referência em estudos relacionados à água, floresta e clima.

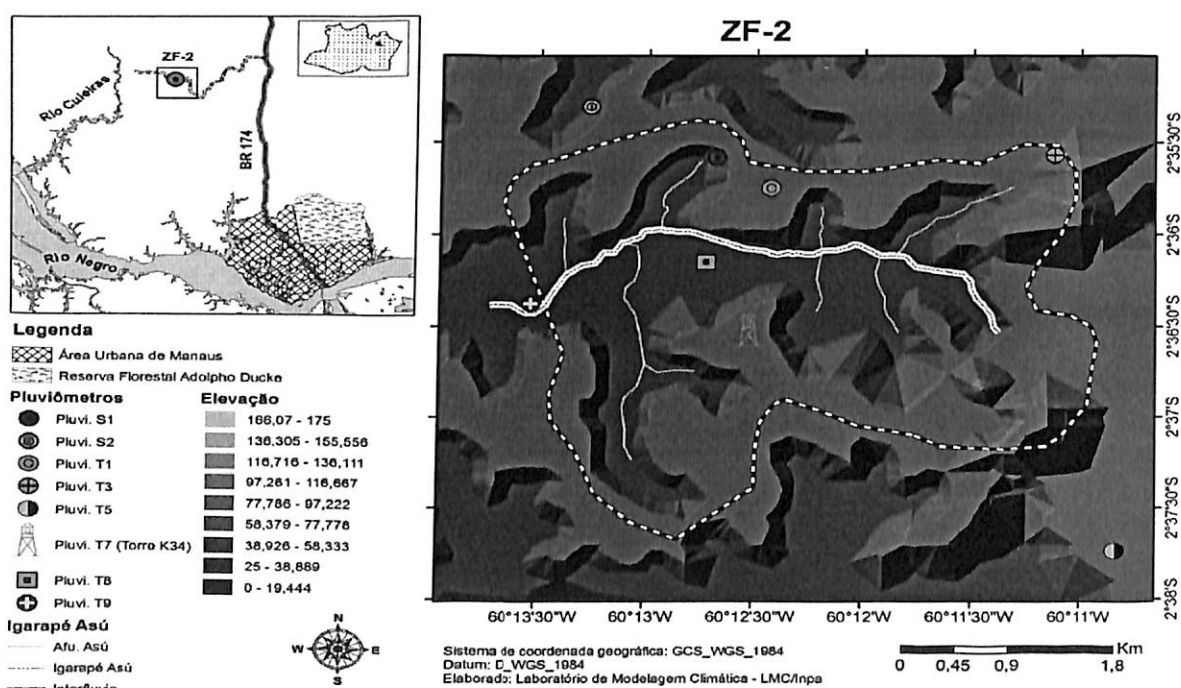


Figura 1. Localização da área de estudo REBIO Cuieiras e mapa da microbacia. Fonte: (Coordenação de Pesquisas Hidrológicas – CPH). Arte: Denise Hall.



2.2 Coleta de dados

Neste estudo foram coletados dados de nível de água, precipitação e efetuação de estimativa de vazão pelo método traçador.

2.3 Medição da Cota Fluviométrica

A altura do nível da água ou cota fluviométrica é caracterizada pela letra H, referindo altura que a água atingiu na seção em relação a uma determinada referência. Pode ser um valor instantâneo ou a média em um determinado intervalo de tempo (dia, mês, ano) (Martins, 1976).

Para o conhecimento do nível de água do igarapé Asu foi realizado medição da cota fluviométrica, utilizando dois instrumentos, o sensor ou transdutor de pressão e a régua linimétrica. O transdutor de Pressão se refere a um registrador de nível automático, realiza leituras do nível a cada intervalo de tempo, podendo o mesmo ser utilizado na água doce ou salgada. Este sensor é utilizado no igarapé, com intuito de medir a cota fluviométrica de forma precisa e obter valores de nível em diferentes momentos na correspondência de associar os valores da vazão para a obtenção da curva-chave (Figura 2 – a).

O segundo mecanismo de leitura do nível de água corresponde à régua linimétrica. A régua linimétrica consiste no instrumento de referência para medição da altura da lâmina de água, podendo ser de madeira, metal ou mesmo pintada sobre uma superfície vertical de concreto. Esse instrumento é utilizado no igarapé Asu onde se encontra posicionado na parte central do leito do igarapé na perspectiva de quantificar o valor da cota durante as atividades de campo (Figura 2 - b). De forma geral o nível do igarapé é raso, havendo ampla variação da profundidade, prevalecendo a inferior a 2m.

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





Figura 2. Sensor de pressão (a) e Régua Linimétrica (b), utilizados para medir o nível do igarapé.

2.4 Medição de Vazão - Método Traçador

O método se baseia na injeção de um traçador químico que se dilui ao longo do escoamento do igarapé. Na escolha da substância química traçadora deve considerar alguns aspectos, de maneira aquela que não reage com o meio; não é absorvido ou adsorvido pelos materiais sólidos do meio; não modifica a densidade, viscosidade e temperatura; não possuir concentrações tão baixas; e é solúvel no meio sem contaminá-lo (RAMOS, 2006).

O método é frequentemente utilizado para a medição da descarga em rios pequenos, rasos e/ou de fluxo turbulento, onde outros métodos baseados na velocidade e área não são facilmente aplicados devido à presença de plantas, pedras e irregularidades no canal, que causam grandes variações na velocidade do fluxo ao longo de pequenas distâncias (Waterloo et al., 2004). Sendo também que a técnica é simples e relativamente barata.

Nesta metodologia foi escolhido o sal (NaCl) como principal elemento químico de referência para aplicação do método. No qual se iniciou na preparação da solução 100 g de NaCl no reservatório de 50 litros de água (Figura 3). Antes de adicionar essa solução no igarapé, mede-se a condutividade elétrica (CE) inicial pelo Condutivímetro Convencional (CC).



Após o despejo da solução no igarapé realizaram-se medidas da CE, até o valor da CE retornar ao seu valor inicial. A vazão do igarapé é calculada através da relação entre a concentração de sal e o tempo, baseada na área da curva obtida pela seguinte equação:

$$Q = \frac{(C_i - C_b)V_i}{\int_0^{\infty} (C(t) - C_b) dt} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde: Q = Vazão (m³.s⁻¹);

C_i = concentração do sal na solução adicionada;

C_b = concentração na água do igarapé antes de adicionar a solução;

C(t) = concentração no tempo (t) depois de adicionada a solução;

V_i = volume adicionado (m³).



Figura 3. Aplicação da solução do traçador químico na calha do igarapé.



2.5 Medição de Precipitação na microbacia

A precipitação foi medida com auxílio do pluviógrafo Vaisala QMR 102 fixado na área aberta da microbacia ao lado da base do programa LBA (Figura 4), consistindo no instrumento que registra o volume de chuva de forma automática. A estrutura interna deste equipamento consiste em um reservatório cilíndrico, onde a água proveniente da precipitação entra pelo funil se deslocando até a balança, havendo precisão de 0.2 mm a cada basculada.

As leituras são efetuadas através do programa HOBOWare pro que expressa de forma gráfica os eventos de precipitação da área de estudo.



Figura 4. Medidor de Chuva - Pluviógrafo.

3. ANÁLISE DOS DADOS

3.1 Dados Fluviométricos

As medidas da cota fluviométrica foram armazenadas no sensor e processados pelo software Hoboware pro.

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





3.2 Dados Pluviométricos

Para análise dos dados de vazão e de precipitação da referente microbacia, foram escolhidos eventos chuva-vazão onde estão relacionados à vazão obtida através de hidrogramas.

3.3 Dados de Descarga

Os dados de vazão medidos em diferentes períodos do ano, indicaram variação nos valores da CE. Em tese, as condicionantes que proporcionam alteração da CE natural do igarapé e a forma da dinâmica de escoamento são representadas pela precipitação, remanso, temperatura, matéria orgânica (nutrientes) e a variabilidade climática entre períodos de cheia e seca. Os registros da CE acumulados e coletados em atividades de campo foram analisados no escritório.

Estes dados foram estabelecidos em hidrograma apresentado na figura 5 para condizer à relação cota e vazão no intuito de associar essas condicionantes para elaboração da curva-chave que está apresentada na figura 6 dos resultados deste estudo.

3.4 Curva-chave

Curva-Chave é um termo bastante utilizado na hidrologia para designar a relação entre cota e a vazão que escoar numa dada seção de um curso de água. A mesma expressão também é conhecida como curva de calibragem, cota-vazão e cota-descarga que permitem o cálculo indireto da vazão na referida seção a partir da cota num dado momento (Luiz, 2010).

A curva-chave geralmente se caracteriza em três formas apresentados pela fórmula matemática, à gráfica ou por tabela de calibragem. Nesta pesquisa representa-se graficamente a curva-chave através da associação de várias leituras do nível do igarapé junto com séries de registros de descarga.

A cota do igarapé medido ao longo desse estudo foi satisfatória para traçar a curva de calibragem. A combinação aos dados de cota e descarga medidos foi realizada na utilização para o método da extrapolação logarítmica conforme (Santos et. al., 2001).

$$Q = a (h - h_0)^b \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde:

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





Q ($m^3.s^{-1}$) é a descarga líquida em um dado instante;

h (m) é o nível do curso de água correspondente Q ;

h_0 (m) é o nível para o qual a vazão é nula;

a e b são coeficientes de ajuste para a curva-chave, específicos da seção fluviométrica de interesse.

Conforme (Paiva et. al., 2008) indicam que no estabelecimento da curva-chave pode existir incertezas associadas ao processo de medição da vazão. A efetuação da equação proporcionou a determinação da vazão na seção, uma vez que se têm medidores de nível instalados no igarapé. Do modo que o sensor de pressão foi programado para realizar leituras do nível da seção de quinze em quinze minutos. Dessa forma, utilizando equações geradas, pode-se estimar a vazão do igarapé a cada intervalo de tempo.

4. Resultados e Discussões

Através do método traçador e com os expressivos valores da cota e descarga, foi possível construir uma equação representativa da curva-chave. O entendimento dessa grandeza interessa, sobretudo, a possibilidade de correlacionar a vazão do igarapé com o nível do curso de água, por intermédio de medidas limnimétricas.

Corroboram que a curva-chave é uma equação ajustada aos dados de estimativa de vazão, porém é necessário um número mínimo de medições e estas devem abranger cotas com máxima amplitude entre mínimas e máximas medidas, ao longo do período de monitoramento ÁGUA E SOLO, (2011). Dessa forma as medidas nos diferentes meses, de níveis e vazões, corresponderam a uma descarga máxima ($0,40659 m^3s^{-1}$) em fevereiro de 2015 e mínima ($0,05189 m^3s^{-1}$) em janeiro de 2016. Essa diferença entre os registros de vazão está associada à variabilidade climática entre o período chuvoso e de estiagem. A variabilidade diária da chuva modula a cota e influência a vazão nos pequenos igarapés da Amazônia.

Foi observado uma abrupta ascensão do nível do igarapé Asu no início do ano de 2015 (Tabela 1). Já o nível do igarapé no ano seguinte foi bem abaixo da média histórica diária do que o ano anterior, devido diminuição de chuva neste período. Desta forma a diminuição da cota do

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





igarapé no ano de 2016 está parcialmente associada ao fenômeno popularmente conhecido por “El Niño”, representando a variável hidrológica por produzir seca acentuada (Welcomme et. al., 1985).

Os registros das medições de nível de água e vazão para os referidos períodos podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1. Relação cota x vazão

Mês de medição	Data	igarapé Asu (seção2)	
		Nível (m)	Vazão (m ³ s ⁻¹)
Jan/2015	01/01/2015	0,55	0,12925
Fev.	02/02/2015	0,85	0,40659
Mar.	03/03/2015	0,8	0,33200
Abr.	----	-----	-----
Mai.	12/05/2015	0,8	0,38459
Jun.	08/06/2015	0,66	0,19472
Jul.	01/07/2015	0,69	0,26015
Ago.	03/08/2015	0,62	0,14170
Set.	09/09/2015	0,55	0,12306
Set.	28/09/2015	0,47	0,07629
Out.	16/10/2015	0,57	0,15101
Nov.	10/11/2015	0,54	0,10759
Dez.	21/12/2015	0,62	0,14664
Jan/2016	26/01/2016	0,41	0,05189
Fev.	29/02/2016	0,46	0,07763
Mar.	29/03/2016	0,77	0,26343
Abr.	25/04/2016	0,49	0,10629

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





Após aplicação do método do traçador e posteriormente estimado a vazão, analisou-se a quantidade de chuva que precipitou no ambiente no momento das medições de descarga. Na figura 6 observa-se que no período chuvoso de 2016 os totais de chuva foram superiores a 100 mm para os meses de fevereiro a maio, enquanto para o mês de transição (junho), os totais de chuva ficaram acima do esperado para o período (200 mm). A redução da precipitação observada nos meses de julho a agosto 2016 influenciou em baixos valores de cota e vazão do igarapé Asu (Figura 6). A análise do gráfico possibilita a compreensão da precipitação ocorrida no ano hidrológico e suas mudanças entre o período chuvoso e de estiagem.

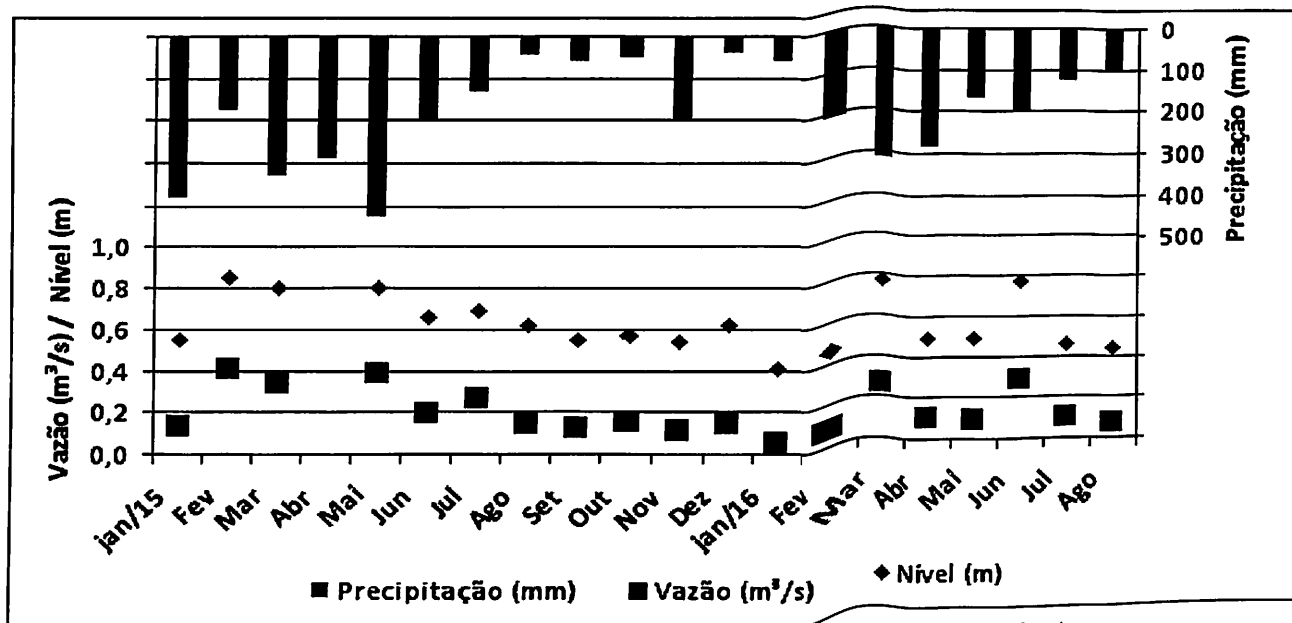


Figura 6. Variação da precipitação, cota e vazão na microbacia Asu.

Os dados obtidos a partir da Tabela 1 resultaram na equação de regressão não linear da curva-chave do igarapé Asu (Figura 7). O elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,96$) indica que 97% das variações de vazão (Y) são explicadas pelo modelo adotado ao se introduzir na equação a variável cota (X).

A equação da curva-chave encontrada é descrita a seguir:

$$y = 0,0114e^{4,2502x}$$

O coeficiente de determinação (R) entre a vazão observada e a calculada resultou na curva de melhor ajuste exponencial com alta correlação positiva entre a distribuição de pontos. A execução

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





dessa equação proporcionou a determinação da descarga na seção, uma vez que se têm medidores de nível instalados na calha do igarapé.

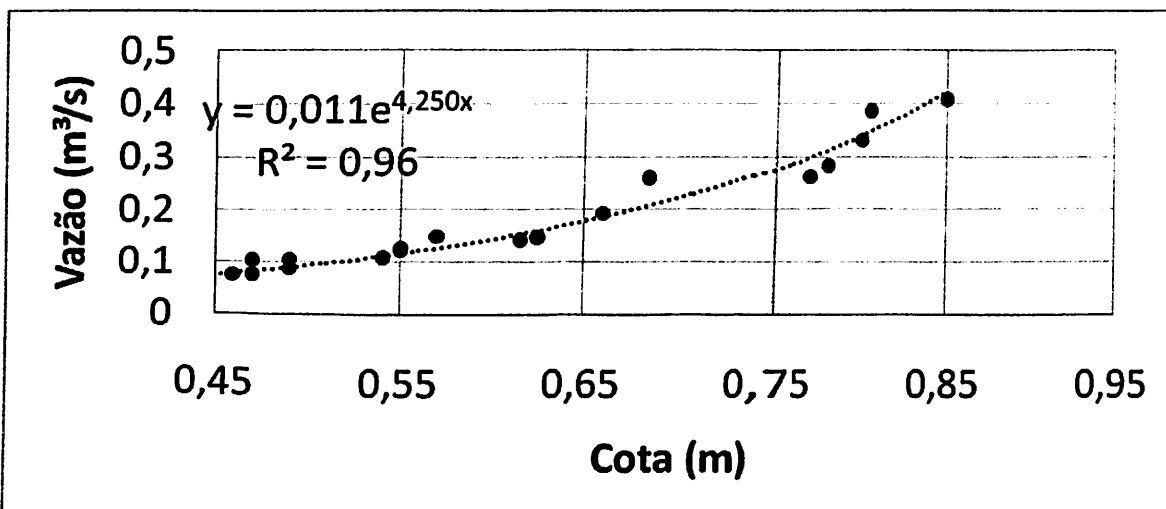


Figura 7. Curva-chave obtida com os dados coletados desde janeiro de 2015 até agosto de 2016.

Apoio Financeiro:



FAPEAM
Fundação de Amparo à Pesquisa
do Estado da Amazônia

Realização:



INPA
INSTITUTO NACIONAL DE
PESQUISAS DA AMAZÔNIA

COCP
COORDENAÇÃO DE
CAPACITAÇÃO

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





5. Conclusão

Através do método traçador no igarapé foi apresentado uma correlação positiva entre as variáveis estudadas indicando resultado satisfatório para a presente pesquisa.

A determinação da curva-chave permite a realização de monitoramento da vazão de forma simples e rápida, uma vez que esta equação relaciona a cota do igarapé com sua respectiva vazão.

O monitoramento da vazão é um instrumento importante para o planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica, pois permite a quantificação do recurso hídrico presente em um manancial em função do tempo e do espaço.

Apoio Financeiro:



FAPEAM
Fundação de Amparo à Pesquisa
do Estado do Amazonas

Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





6. Referência Bibliográfica

ÁGUA E SOLO, 2011. Medição de Vazão,

(<http://www.aguaesolo.com/Servicos/HidrologiaHidrometria>). Acesso em 04/01/17.

LUIZÃO, R. C., LUIZÃO, F. J., PAIVA, R. Q., MONTEIRO, T. F., SOUZA., & KRUIJT, B. (1998). Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Chang Biology*, 10(5), 592-600.

MALHI, Y., NOBRE, A. D., GRACE, J., KRUIJT, B., PEREIRA, M. G., CULF, A., & SCOTT, S. 1998. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 103: 31593-31612.

MARTINS, J.A. Escoamento Superficial (1976). In: PINTO, N; HOLTZOLTZ, A.C. T; MARTINS, J.A. GOMIDE, F.L.S. *Hidrologia Básica*. Ed. Edgard Blucher. 278 p.

PAIVA, E.M.D., OPPA, L.F., PAIVA, J.B.D., MARCON, I.R. (2008). Erros na medição da vazão: efeitos na curva chave. In *Anais do XXXI Congresso Interamericano Aidis*, Santiago, Chile, Out. (2008), 1, pp. 1 - 8.

RAMOS, V. S. Uso das técnicas de radiotraçadores e de contagem total em medidas de vazão de sistemas abertos. Rio de Janeiro, 2006. 79p. Dissertação (Mestrado em 4 Ciências de Engenharia Nuclear) – Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

SANTOS, I., FILL, H.D., SUGAI, M.R.V., BUBA, H., KISHI, R.T.; MARONE, E., LAUTERT, L.F.C. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba-PR, pp. 372.

SEFIONE, LUIZ, A, Estudo Comparativo de Métodos de Extrapolação Superior de Curva-chave. Porto Alegre: 2002.

WELCOMME, R.L. (1985). River fisheries. *FAO Fish. Tech. Pag.*, (262): 330.

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES





Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Coordenação de Capacitação
Divisão Apoio Técnico

WATERLOO, M. J., TOMASELLA, J., HODNETT, M. G. 2004. Hydrological measurement techniques, Igarapé Asu Catchment. Pan-Amazônia – Parama Project, 35p.

TOMASELLA, J., NEILL, C., FIGUEIREDO, R., NOBRE, A. D. (2009). Balanços Hídrico e Químico em Escala de Bacia de Drenagem Incluindo Exportações de Nutrientes de Florestas Intactas e Áreas Perturbadas.

Apoio Financeiro:



Realização:



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES

