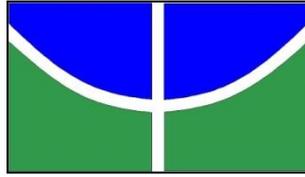


UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**VARIAÇÃO DA VAZÃO MEDIDA COM LINÍGRAFO E RÉGUAS  
LINIMÉTRICAS NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

Ilana Sarah dos Santos Oliveira

Brasília-DF 2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**VARIAÇÃO DA VAZÃO MEDIDA COM LINÍGRAFO E RÉGUAS  
LINIMÉTRICAS NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

Aluna: Ilana Sarah dos Santos Oliveira

Orientador: Dr. Henrique Marinho Leite Chaves (EFL/UNB)

Linha de Pesquisa: Manejo de Bacias Hidrográficas.

*Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Florestal da Universidade  
de Brasília, como parte das exigências  
para obtenção do título de Engenheira  
Florestal.*

Brasília-DF 2017

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a força maior que equilibra nossa natureza e o universo, o Deus que está em tudo e em todos, que vem me regenerando diariamente nessa encarnação.

Agradeço a todos os meus familiares que contribuíram para minha formação, que sempre estiveram ao meu lado. A minha mãe Ana, por ser essa “fortaleza” me dando apoio durante toda minha vida, ao meu querido pai Tião que nunca deixou de me tratar como sua “menininha” sendo meu porto seguro. As pessoas que tanto amo que já desencarnaram, em especial ao meu querido tio Antônio Policarpo, que sempre me incentivou nos estudos.

As grandes amizades que cultivei no curso de Engenharia Florestal (Camile, Jocemara, Yolanda, Mario, Winnie, Filipe...), pelos bons momentos e os ruins em que nos apoiamos. A minha querida amiga, irmã de alma, Yanara Ferreira, amiga para todas as horas em tempo integral, pessoa que trouxe leveza aos períodos críticos que enfrentei no curso.

Agradeço a todos os meus professores, em especial meu orientador Henrique Chaves, pela oportunidade de ter sido sua monitora, e por todo auxílio prestado durante minha orientação.

Por último, e não menos importante!

Obrigada UNB, um sonho que se tornou realidade!

## **RESUMO**

O presente trabalho objetivou comparar a medição das vazões da bacia do Pipiripau- DF utilizando dois métodos diretos, linígrafo e régua linimétrica, e a fim de analisar a diferença entre os dois métodos e quantificar suas respectivas vazões em intervalos de tempo onde não ocorreram medições. As variáveis hidrológicas deflúvio e vazão de pico em bacias de pequeno porte são bastante sensíveis aos intervalos de medições, antecedentes aos eventos de precipitação. Segundo o presente trabalho, a utilização de réguas linimétricas pode fornecer valores de nível que não sejam representativos da situação média diária, sendo possível o registro de valores de níveis máximos (ou mínimos) em instantes distintos daqueles em que são realizadas as duas leituras diárias. A média mensal do linígrafo e da régua se mantiveram bem próximas, sem variações significativas. O uso do linígrafo para o registro de eventos extremos, como vazões máximas e mínimas, mostrou-se indispensável.

**PALAVRAS- CHAVE:** Hidrometria, fluviograma, linígrafo, hidrologia, pequenas bacias, bacia hidrográfica.

## **ABSTRACT**

The present work aimed to compare the flow measurements of the Pipiripau-DF basin using two direct methods, stream gage and limnimetric scale, in order to analyze the difference between the two methods and to quantify their respective flows in intervals of time where no measurements occurred. The hydrological variables of flood and peak flow in small basins are quite sensitive to the intervals of measurements, antecedent to precipitation events. According to the present work, the use of limnimetric scales might provide level values that are not correspondent to the average daily situation, registering values of maximum (or minimum) levels at different instants than those in which the two daily readings are performed. The monthly average of the stream gage and the limnimetric scale remained close, without significant variations. The use of the stream gage for the recording of extreme events, such as maximum and minimum flows, proved to be indispensable.

**KEYS WORDS:** Hydrometry, fluviograma, linígrafo, hydrology, small basins, hydrographic basin.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. OBJETIVOS .....	10
2.1. Objetivo Geral .....	10
2.2. Objetivos Específicos .....	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
3.1 Pequenas Bacias Hidrográficas.....	11
3.2 Estação Fluviométrica .....	13
3.3 Hidrograma .....	14
3.3.1 Fatores que influenciam a forma do hidrograma .....	16
3.3.2 Tempo de Concentração de Bacias Hidrográficas .....	17
3.3.3. Erros de medição nos dados hidrológicos .....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	19
4.1 Localização e caracterização da Bacia Hidrográfica .....	19
4.1.1 Monitoramento Fluviométrico da Bacia .....	21
4.2 Análise de Dados de Vazão .....	22
4.3 Preparação dos Dados.....	24
4.3.1 Obtenção da Curva Chave .....	24
4.3.2 Correlação entre as cotas do linígrafo e da régua .....	24
4.3.3. Correlação dos Hidrogramas da Régua e Linígrafo .....	24
4.3.4. Análise Gráfica dos períodos de cheias do hidrograma.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5.1 Resultados Curva- Chave .....	25
5.2 Correlação entre as cotas do linígrafo e da régua .....	26
5.3. Análises gráficas e médias dos hidrogramas nos dois equipamentos.....	28
5.3.1 Hidrogramas gerados pelo Linígrafo e pela Régua .....	29
6. CONCLUSÃO .....	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	34

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Modelo representação estação fluviométrica com réguas linimétrica linígrafo. Fonte: Hidrologia Cap. 7 2006 .....	
<b>Figura 2.</b> Fases do Hidrograma. Fonte: IRN (UNIFEI) 2014.....	15
<b>Figura 3.</b> Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Pípiripau em relação aos limites do Distrito Federal. Fonte: (ANA, 2010) .....	21
<b>Figura 4.</b> Localização das estações fluviométricas utilizadas para monitorar o comportamento hidrológico da Bacia do Ribeirão Pípiripai. Fonte: ANA(2010).....	22
<b>Figura 5.</b> Réguas linimétricas estação fluviométrica convencional. Fonte: INEA 2016 .....	23
<b>Figura 6.</b> Linígrafo eletrônico convencional. Fonte: (HWU) 2017 .....	23
<b>Figura 7.</b> Curva-chave régua linimétrica. ....	25
<b>Figura 8.</b> Série histórica de vazão medida com régua (2014-2017). ....	26
<b>Figura 9.</b> Correlação entre as cotas do linígrafo e régua. ....	27
<b>Figura 10.</b> Hidrograma cotas linígrafo e da régua (2014-2017) .....	27
<b>Figura 11.</b> Vazões médias Frinocap .....	28
<b>Figura 12.</b> Hidrogramas medidos pela régua e pelo linígrafo (m <sup>3</sup> /s).....	30
<b>Figura 13.</b> Cheia de (16/12/2014).....	30
<b>Figura 14.</b> Cheia de (27/11/2016).....	31
<b>Figura 15.</b> Cheia de (20/01/2016).....	31
<b>Figura 16.</b> Cheia de (02/12/2016).....	32
<b>Figura 17.</b> Cheia de (26/02/2017).....	32

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Média mensal estação Frinocap. ....	29
Tabela 2. Diferença entre picos de vazão m <sup>3</sup> /s (linígrafo e régua) durante a cheia. .....	33

## 1.INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica pode ser interpretada como um sistema fluvial composto por variados canais aos quais se conectam formando uma única rede de drenagem, conforme as delimitações do ambiente esse sistema é composto por canais fluviais que se alimentam entre si de acordo com a ordem de drenagem. A Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade territorial de estudos e gestão. Nesse sentido, é de grande relevância instituir medidas de delimitação e quantificação hidrológica estabelecendo o comportamento das mesmas, auxiliando no planejamento territorial e uso consciente.

Segundo Sagara (2001), boa parte das bacias hidrográficas, onde se faz captação de água, localizam-se em áreas rurais. Sendo em sua maioria caracterizadas por diferentes usos de terras, podendo conter atividades agrícolas, pastoris, florestais, áreas de preservação e mata nativa. Apesar dessas bacias serem utilizadas para diversos fins, a maioria não apresenta um monitoramento voltado para o estudo ambiental e de gestão dos recursos hídricos, por isso, se torna muito importante obter dados precisos e equipamentos adequados para quantificação de vazões.

No planejamento e manejo do uso dos recursos hídricos, o conhecimento das vazões é necessário para se fazer um balanço de disponibilidades e demandas ao longo do tempo. De acordo com a Agencia Nacional de Águas (2010), por ser considerada uma variável dinâmica não é possível estabelecer uma medição de vazão precisa com a coleta de dados de um único dia. Já que as informações devem ser tomadas e analisadas em um determinado intervalo de tempo. Portanto, é necessário ter uma série histórica de vazões, isto é, o registro das vazões que ocorreram durante certo período de tempo no local em consideração.

De acordo Porto & Zahed (2001), a descrição dos processos de medição de vazões em cursos d'água visa, também, demonstrar as imprecisões envolvidas nas medições e nos cálculos, alertando o usuário do dado sobre as incertezas que ele deve incorporar a seus estudos. O procedimento de medição de vazão é extremamente trabalhoso e oneroso. Por este motivo, opta-se pelo registro dos níveis d'água (feito por sensores ou régua de nível) em uma determinada seção transversal do rio e determina-se uma relação entre os níveis d'água e suas vazões correspondentes. Essa relação é denominada de curva-chave ou curva de descarga (MOTA et al, 2013).

De acordo com Barnez (2004), variáveis hidrológicas costumam ser registradas por series temporais reunindo medições da variável de modo sequencial a sua ocorrência no tempo (ou espaço). Embora elas apresentem variações instantâneas e contínuas ao longo do tempo, devido a limitações impostas pelo processo de medição ou observação, muitas vezes dados costumam ser perdidos durante os intervalos de registro. (SANTOS et al., 2001) afirmam que é muito comum ocorrer em pequenas bacias valores de níveis máximos e mínimos entre os intervalos de medições de cotas realizados pela régua linimétrica. Com isso, equipamentos que registram os dados de forma contínua e em pequenos intervalos de tempo se apresentam como uma solução para melhor representação de eventos extremos, tais como vazões máximas ou vazões mínimas principalmente em pequenas bacias.

Portanto, acredita-se que estudos de monitoramento hidrométrico possam contribuir para um melhor entendimento da dinâmica dos processos hidrológicos em pequenas bacias.

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho visa comparar as medidas das vazões da bacia do Pípiripau- DF, utilizando dois métodos indiretos: a) linígrafo e b) régua linimétrica, a fim de analisar a diferença entre os dois métodos e quantificar suas respectivas vazões em intervalos de tempo onde não ocorreram medições.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Construir curva chave a partir dos dados da régua linimétrica;
- Calcular as vazões associadas a partir das cotas do linígrafo e da régua;
- Construir hidrogramas em períodos comuns aos dois métodos e, para compará-los;
- Analisar diferenças entre as vazões de pico e as vazões médias nos dois métodos;

- Obter uma correlação entre as vazões de pico medidas pelo linígrafo, e aquelas obtidas pela régua.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Pequenas Bacias Hidrográficas**

Atualmente existem diversas definições que caracterizam o conceito de bacia hidrográfica, não havendo uma padronização de delimitação entre os autores, porém, as interpretações das definições dos autores convergem para um entendimento comum. Rocha & Kurtz (2001), definiram microbacia desde a perspectiva do planejamento integrado com enfoque em atividades de reflorestamento. Segundo esses autores, microbacia é a bacia que tem área menor que 20.000 hectares (200 km<sup>2</sup>). Eles consideram que esta seja a área máxima que uma equipe de campo deve trabalhar para o Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Já Faustino (1996), citado por Pereira (2013), afirma que uma microbacia possui área inferior a 100 Km<sup>2</sup>, sendo toda sua área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia. Para este autor, as sub-bacias possuem áreas maiores que 100 Km<sup>2</sup> e menores que 700 Km<sup>2</sup>.

O monitoramento das pequenas bacias ou sub bacias reveste-se, portanto, de fundamental importância para complementação da rede de informações hidrológicas, além de sua natural vocação para o estudo do funcionamento dos processos físicos, químicos e biológicos atuantes no ciclo hidrológico (PAIVA & PAIVA, 2004).

#### **3.1 Medição de vazão**

Leopold & Maddock (1953), citado por Carvalho (2008), identificam três variáveis fundamentais para compreender o comportamento do canal fluvial, que são: largura, profundidade e velocidade do fluxo; sendo estas facilmente controladas em função de variáveis como o regime do fluxo, descarga (vazão), declividade, propriedades físicas dos sedimentos, solo, clima, vegetação, dentre outros parâmetros da bacia de drenagem (LEWIN, 1978; BRIDGE, 2003).

A vazão ou descarga superficial,  $Q$ , indica o volume de água que passa por uma seção em uma dada unidade de tempo. Esse volume de água escoado na unidade de tempo é a principal grandeza a caracterizar o escoamento, suas unidades são normalmente expressas em  $m^3/s$ . É comum a associação de dados que caracterizam uma bacia hidrográfica de acordo com vazões máximas, médias e mínimas do curso d'água principal (BARBOSA, 2013).

Os símbolos usualmente nos estudos hidrológicos são:  $Q$  = vazão ( $m^3/s$ );  $A$  = área da seção do rio ( $m^2$ );  $V$  = velocidade do fluxo de água ( $m/s$ );  $h$  = profundidade média na seção transversal do canal ( $m$ );  $w$  = largura do canal. Expressando matematicamente, temos:  $Q = A \cdot V$  (CARVALHO, 2008).

Segundo Porto (2001), o processo de medição de vazões deve ser descrito de forma detalhada e segura a fim de evitar incertezas envolvidas nas medições ou nos cálculos. Assim, as medições de vazões costumam ser feitas periodicamente em determinadas seções dos cursos d'água (as estações ou postos fluviométricos). Diariamente ou de forma contínua medem-se os níveis d'água nos rios e esses valores são transformados em vazão através de uma equação chamada de curva-chave.

A curva-chave pode ser entendida como a relação nível-vazão numa determinada seção do rio, assim a vazão é obtida através da associação gráfica de acordo com o nível do rio na seção para a qual a expressão foi desenvolvida. A vazão também é influenciada por outros fatores além do nível da água, tais como: declividade do rio e a forma da seção (mais estreita ou mais larga). Porém, tais variáveis costumam ser razoavelmente constantes ao longo do tempo para uma determinada seção. A única variável temporal é o nível. Desta forma, uma vez calibrada tal expressão, o monitoramento da vazão do rio no tempo fica muito mais simples e com um custo muito menor (PORTO & ZAHED FILHO, 2001).

O debate sobre as características físicas e funcionais das bacias hidrográficas tem a finalidade de proporcionar o conhecimento dos diversos fatores que proporcionam a natureza de descarga de um rio. A importância desse conhecimento reside no fato de que através da avaliação dos parâmetros que condicionam essa vazão pode-se fazer comparações entre essas bacias e assim fazer extrapolações ou projeções dos fenômenos passados. Para caracterização de uma bacia hidrográfica são considerados os seguintes fatores físicos: uso do solo, tipo de solo, área, forma, declividade, elevação, declividade do curso d'água, tipo de rede de drenagem e densidade de drenagem. O conjunto de tais

fatores influência de forma direta e indireta a capacidade de disponibilidade hídrica da bacia.

### **3.2 Estação Fluviométrica**

Estações fluviométricas são pontos onde são instalados equipamentos para monitoramento de cota e vazão de curso de água. Esses equipamentos de monitoramento podem variar de acordo com a necessidade local ou tamanho da bacia hidrográfica. Os dados relativos à situação dos rios, costumam ser observados em réguas linimétricas ou coletados em linígrafos (aparelho registrador automático). Assim, é possível gerar informações que auxiliam na prevenção, análise e elaboração de prognósticos sobre cheias e secas, manutenção do ecossistema, agricultura, navegação e abastecimento público.

Os dispositivos de medição do nível de água, no caso as réguas linimétricas, devem ser instaladas e devidamente referenciadas a uma cota conhecida e materializada no terreno, instalados em uma seção do rio, de preferência em locais que seja de fácil acesso facilitando a leitura evitando erros sistemáticos (BOULOMYTIS & FABBRO NET, 2011).

De acordo com o Relatório de Instalação de estações Hidrométricas (ANA, 2010), a instalação de seção de réguas linimétricas visa facilitar o acompanhamento e aferição das informações coletadas pelos sensores automáticos, aumentando a confiabilidade das séries de dados coletadas. Além disso, servirão como redundância de coleta de dados, por meio de leitura de observador, durante períodos em que o equipamento apresentar problemas de operação. A figura 1 representa um modelo de estação fluviométrica.



**Figura 1.** Modelo representação estação fluviométrica com réguas linimétricas e linígrafo.  
Fonte: Hidrologia Cap. 7 2006

Segundo a Agência Nacional de Águas (2012), as estações fluviométricas manuais são compostas por no mínimo três seções de réguas linimétricas localizadas em pontos estratégicos para facilitar a leitura que são feitas pelo menos duas vezes ao dia (7h e 17h). Já as estações automáticas os dados das cotas são obtidos por sensores com o auxílio de uma plataforma de coleta de informações que são transmitidas para um banco de dados, os intervalos de leituras costumam ser de 15 em 15 minutos.

Melchior (2006), afirma que as leituras de uma régua linimétrica estão sujeitas há uma série de erros, considerando as dificuldades de medição durante as cheias, devido a oscilação dos níveis dos rios, também costuma ocorrer erros grosseiros resultantes da negligencia ou imperícia do observador, ou até mesmo erros provocados pelas mudanças casuais ou mal documentadas do zero da água. Considerando o tamanho da bacia, os intervalos de medidas, é muito provável que ocorra perda na medição de picos do leito.

### 3.3 Hidrograma

O hidrograma consiste na representação gráfica da evolução da vazão ao longo do tempo. A vazão normalmente é considerada como o conjunto de três componentes, isto

é, o escoamento direto (ou superficial), o escoamento sub-superficial e o escoamento subterrâneo.

- **Superficial:** é o processo do ciclo hidrológico que gera o deslocamento das águas na superfície da Terra, ou seja, representa o fluxo sobre a superfície do solo das bacias hidrográficas e pelos seus múltiplos canais;
- **Sub-superficial:** (também chamado de hipodérmico) que é definido como o fluxo que se dá logo abaixo da superfície, na altura das raízes da cobertura vegetal;
- **Subterrâneo (ou básico):** corresponde ao fluxo devido à contribuição do aquífero (região saturada do solo com água em movimento) aos canais superficiais;

A vazão de pico do hidrograma estará em conformidade com a magnitude e a distribuição da precipitação. Após este valor máximo, o hidrograma apresenta uma recessão, representada pela linha que se estende desde o pico de vazão (BARBOSA,2000). A figura 2 representa as fases de um hidrograma convencional.

## Formação do Hidrograma

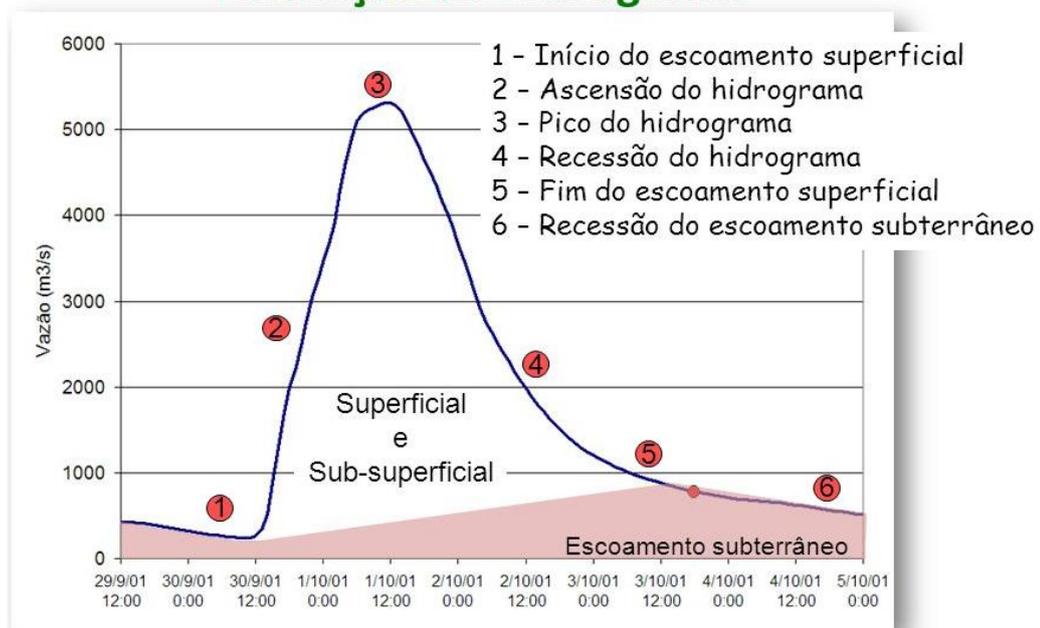


Figura 2. Fases do Hidrograma. Fonte: IRN (UNIFEI) 2014

De acordo com Mazeiro (2010), os modelos hidrológicos são aproveitados usualmente para estender séries de vazões ou para previsão de cenários futuros em função de mudanças no uso da terra, mudanças climáticas, ocupação do solo, etc. Assim, esses

modelos são usados para atender/auxiliar os tomadores de decisões no planejamento ambiental e nos recursos hídricos aplicados a projetos de engenharia.

### 3.3.1 Fatores que influenciam a forma do hidrograma

Porto & Zahed Filho (2001), descrevem os seguintes fatores que podem influenciar a forma do hidrograma que são:

- **Relevo:** (densidade de drenagem, declividade do rio e da bacia, capacidade de armazenamento e forma). Bacias íngremes e com boa drenagem têm hidrogramas íngremes com pouco escoamento de base. Bacias com grandes áreas de extravasamento tendem a regularizar o escoamento e reduzir o pico. Bacias mais circulares antecipam e têm picos de vazões maiores do que bacias alongadas.
- **Cobertura da Bacia:** cobertura vegetal tende a retardar o escoamento e aumentar perdas por evaporação.
- **Modificações artificiais no rio:** reservatórios de regularização reduzem os picos, enquanto canalizações podem aumentar os picos.
- **Distribuição, duração e intensidade da precipitação:** Chuvas deslocando-se de jusante para montante geram hidrogramas com picos menores (eventualmente dois picos). As chuvas convectivas de grande intensidade e distribuídas numa pequena área, podem provocar as grandes enchentes em pequenas bacias. Para bacias grandes, as chuvas frontais são mais importantes.
- **Solo :** Interfere na quantidade de chuva transformada em escoamento superficial .

A distribuição pluviométrica pela bacia ocorre em dois estágios, o primeiro ocorre quando a chuva que chega a bacia é interceptada pela vegetação ou obstáculos característicos. A outra parte ainda no primeiro estágio quando a água atinge diretamente o solo ou os rios.

Quando entra em contato com a solo parte dessa água é infiltrada, sendo necessário considerar a capacidade de infiltração e umidade do solo. Essa água infiltrada no solo alimentará o lençol freático e quando atingir a capacidade máxima de infiltração inicia o último estágio. O excedente de água irá escoar pela superfície até o encontro com

o rio formando a vazão superficial de saída do sistema também denominado como escoamento superficial (AZEVEDO et al,2014).

Tucci (2009) relata que para caracterizar o comportamento de um hidrograma em uma bacia hidrográfica são considerados os seguintes parâmetros de tempo:

- Tempo de retardo: definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de massa do hidrograma;
- Tempo de pico: definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico do hidrograma;
- Tempo de concentração: tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante da bacia deslocar-se até a seção principal. É definido também como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma;
  - Tempo de ascensão: tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma;
  - Tempo de base: tempo entre o início da precipitação e o final do escoamento superficial;

### **3.3.2 Tempo de Concentração de Bacias Hidrográficas**

Mata-Lima (2007), descreve o tempo de concentração ( $t_c$ ) como sendo o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a seção de referência. Considerando, o tempo de concentração como uma grandeza fundamental para a compreensão do escoamento produzido na bacia hidrográfica e também para o dimensionamento de sistemas de drenagem, armazenamento e controle, a sua determinação deve ser tão rigorosa quanto possível.

Os fatores que influenciam o tempo de concentração de uma dada bacia são: a forma da bacia, a sua declividade média, a sinuosidade e a declividade do seu curso principal, entre outros.

Moth (1998) apresenta os seguintes valores mínimos do tempo de concentração ( $t_c$ ) recomendados para diferentes tipos de bacias de pequenas dimensões:

- Urbana - 5 minutos;
- Residencial - 10 minutos;
- Rural - 15 minutos.

Nesse sentido, estimar o (tc) se tornou habitual no dimensionamento de projetos de estruturas hidráulicas e de saneamento, e também para estudar os impactos de cenários de mudança de uso e ocupação do solo, como desmatamento e urbanização, no que se refere à ocorrência de enchentes (CASTRO et al., 2015). Sabe-se também que o (tc) tem influência significativa nos resultados da modelagem hidrológica. Fang et al., (2008), identificaram que cerca de 75% dos erros encontrados nas estimativas de vazão de pico poderiam estar relacionados a falhas na determinação do tempo de concentração.

Existem diversas fórmulas utilizadas para calcular o tempo de concentração em pequenas bacias, de acordo CARVALHO et al. (2006) os valores de tc obtidos por estas equações diferem entre si. A equação (1) mais utilizada atualmente é a de Kirpich proposta em 1940, e o motivo se evidencia pelo fato de que normalmente ela fornece valores menores para (tc), o que resulta numa intensidade de chuva maior, por consequência, uma maior vazão de cheia.

$$T_c = 0,39 \times \left( \frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Em que:

**Tc** - tempo de concentração em horas.

**L** – Comprimento canal principal em Km.

**S** - Declividade equivalente Constante em %.

As formulações para determinação do tempo de concentração geralmente são baseadas em características como topografia, percentual de impermeabilização da bacia, uso do solo, coeficientes de rugosidade da superfície e dos rios, distâncias e declividades de caminhos de fluxo ao longo da superfície e ao longo dos rios, etc (SILVEIRA, 2005).

### **3.3.3. Erros de medição nos dados hidrológicos**

Em estudo realizado por Silva (1997), no levantamento de series históricas de vazões de 38 bacias com áreas de drenagens entre 59 e 4570 Km<sup>2</sup>, comparando os valores de vazão máximas obtidos por registros diários de 7 e 17 h e as vazões instantâneas máximas registradas dentro do dia em que se registrou o máximo valor anual das vazões. Constatou -se um erro na obtenção da vazão de até 22%, também concluiu que ao adotar

as vazões médias diárias (7 e 17h) como sendo a vazão máxima de projeto o erro na obtenção da vazão chega a 40%, principalmente em bacias menores que 1000 km<sup>2</sup>. Sendo que os coeficientes apresentaram uma variabilidade alta para bacias com tempo de concentração inferior ao tempo entre as duas observações diárias.

Paiva et al. (2004) também constataram em estudo mais recente (em 8 bacias de dimensões de 0,50 a 125 km<sup>2</sup>), que ao estimar o erro que é cometido ao trabalhar com duas medições diárias a estimativa de vazão média, mínima ou máxima, concluiu que em todas as análises ocorre uma tendência de erros com a diminuição da área da bacia.

De acordo Naghettini (2007), os dados hidrológicos podem conter erros aleatórios, sistemáticos e/ou grosseiros. O primeiro é inerente ao ato de medir e observar, trazendo consigo as imprecisões das leituras e medições ou, em outras palavras, as flutuações em torno de seus verdadeiros valores. Já os erros sistemáticos, por sua vez, são aqueles que produzem um viés, para cima ou para baixo, nos resultados das observações e podem ter origem em mudanças na técnica de medição empregada, em calibrações incorretas de aparelhos de medição ou nos processos de coleta, transmissão e processamento dos dados. Os erros grosseiros provêm de falhas humanas e resultam da falta de cuidado na execução de uma medição ou observação de uma variável hidrológica.

Há também o caso de falhas de registro dos dados hidrológicos, as quais podem, dependendo da situação, ser preenchidas por métodos apropriados (TUCCI, 2004).

Para todos os casos acima, análises de consistência de dados são necessárias nas séries históricas de cotas e vazões, para que os erros sejam reparados ou minimizados.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Localização e caracterização da Bacia Hidrográfica**

A microbacia do Ribeirão Pípiripau ocupa uma área total de 235 Km<sup>2</sup> e está localizada dentro da bacia do Rio São Bartolomeu, sendo formadora das bacias dos rios Paranaíba e Paraná. Localiza-se no nordeste do Distrito Federal, próximo à cidade de Planaltina- DF, com nascente do curso principal localizada na região de Goiás.

Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, com precipitação pluvial média anual de 1.306 mm. A vazão média de longo termo do ribeirão Pípiripau é de 2,89 m<sup>3</sup>/s (Chaves & Piau, 2008).

A bacia do Ribeirão Pípiripau possui relevo predominantemente plano, com declividade média de 5.8%, solos bem drenados, com predominância do Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolo Háplico. Sua condição plana influencia diretamente no escoamento superficial determinando a magnitude das vazões de picos, tornando-a menos suscetível a processos de erosão hídrica e enchentes (CAESB 2009).

Apesar de apresentar características fisiográficas que não favorecem a ocorrência de erosão hídrica, Alipaz (2010), constatou que por ano chegam 31,7 mil toneladas de sedimentos aos cursos d'água, tal dado tem sido ocasionado principalmente pelo mau uso e manejo do solo da bacia.

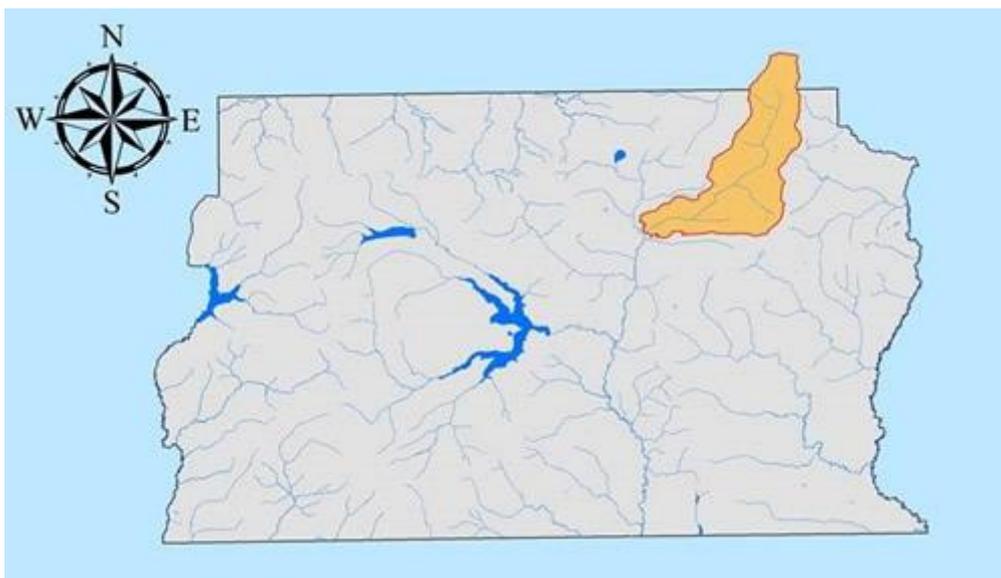
O ribeirão Pípiripau é o principal responsável pelo abastecimento das cidades de Planaltina-DF e Sobradinho-DF, atendendo uma população de quase 200.000 habitantes.

De acordo com dados da TNC (2011), mais de 60% da área da bacia do Pípiripau é composta por agricultura extensiva e pastagens, com isso a supressão de APPs e das RLs tem contribuído para o aumento de processos erosivos, do escoamento superficial e do aporte de sedimentos (CHAVES,2004b; CHAVES, 2008; CAMELO,2008 e ALÍPAZ,2010).

Devido ao grande número de chacareiros e produtores rurais nessas regiões, a demanda por água tem gerado frequentes disputas pelo uso de água durante o período de estiagem, já que a vazão tem sido alterada por canais de irrigação (Relatório do Diagnóstico do Ribeirão Pípiripau. ANA, 2010).

De acordo com Chaves (2010), a bacia do rib. Pípiripau tem um tempo de concentração de 7,0 h. Tal variável tem sido amplamente utilizada em Equações de relação de Aporte de Sedimentos (RAS) que tem como objetivo estimar produção de sedimentos no exutório da bacia do ribeirão Pípiripau, mostrando os benefícios de programas de controle de erosão na bacia. Conforme a filosofia do Programa do Produtor de Água (Chaves et al., 2004a), o serviço ambiental desse tipo implicaria não só na redução do aporte de sedimento, mas também na melhoria da qualidade da água da bacia.

Na figura 3 temos o mapa de localização da bacia hidrográfica do ribeirão Pípiripau em relação aos limites do Distrito Federal.



**Figura 3.** Localização da bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau em relação aos limites do Distrito Federal. Fonte: (ANA, 2010)

#### **4.1.1 Monitoramento Fluviométrico da Bacia**

O monitoramento hidrológico da bacia do Pipiripau é realizado pela CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal), onde são feitos levantamentos em cinco estações fluviométricas, distribuídas em trechos de controle. Os dados de cota e vazão são repassados diariamente à ANA, permitindo a verificação do atendimento às vazões mínimas remanescentes (ADASA, 2011). Abaixo estão descritos os cinco pontos de monitoramento de vazões da bacia: ilustrados na figura 4.

- Trecho 1 - Córrego Taquara, da sua nascente até a estação fluviométrica Taquara Jusante, localizada no ponto de coordenadas (47°31'57"W; 15°37'21"S);
- Trecho 2 - Ribeirão Pipiripau, da sua nascente até a ponte da BR-020, no ponto de coordenadas (47°30'34"W; 15°34'21"S);
- Trecho 3 - Ribeirão Pipiripau, da BR-020 até a estação fluviométrica Pipiripau Montante Canal, localizada no ponto de coordenadas (47°34'26"W; 15°38'21"S);
- Trecho 4 - Ribeirão Pipiripau, da estação fluviométrica Pipiripau Montante Canal até a estação fluviométrica Pipiripau Montante Captação, localizada no ponto de coordenadas (47°35'46"W; 15°39'20"S); e

- Trecho 5 - Ribeirão Pipiripau, da estação fluviométrica Pipiripau Montante Captação até a estação fluviométrica Frinocap, localizada no ponto de coordenadas (47°37'26''W; 15°39'26''S).



**Figura 4.** Localização das estações fluviométricas utilizadas para monitorar o comportamento hidrológico da Bacia do Ribeirão Pipiripai. Fonte: ANA(2010)

## 4.2 Análise de Dados de Vazão

Foram analisados dados das séries históricas de vazão no período entre 2014 e 2017, da estação fluviométrica Frinocap, que possui área de drenagem de 210 Km<sup>2</sup> localizada próximo ao exutório da bacia.

Esses dados consistem em medições diárias de cota obtidos por dois métodos diferentes: régua linimétrica (medição da cota é medida 2 vezes ao dia, às 7 da manhã e às 17h), e linígrafo eletrônico (dados de cotas registrados em intervalos de 15 minutos).

**Réguas Linimétricas-** Uma régua linimétrica é caracterizada por escala graduada esmaltada vertical (cm), que é fixada em pontos específicos da secção transversal do leito dependendo do tamanho do rio. A Agência Nacional de Águas realiza medições diariamente às 7h e às 17h. Na figura 5 temos modelos de réguas linimétricas utilizadas em pequenas bacias.



**Figura 5.** Réguas linimétricas estação fluviométrica convencional. Fonte: INEA 2016

**Linígrafo eletrônico** - Este equipamento grava as variações de nível continuamente no tempo. Isto permite registrar eventos significativos de curta duração ocorrendo essencialmente em pequenas bacias, as medições costumam ser realizadas em intervalos de 15 minutos. É possível classificar os tipos de limnógrafos segundo as quatro etapas da aquisição: medição, transmissão de sinal, gravação e transmissão do registro. Na figura 6 temos um modelo de linígrafo “Doppler”.



**Figura 6.** Linígrafo Doppler. Fonte: (HWU), 2017

### **4.3 Preparação dos Dados**

Os dados das séries de cotas e vazões do Posto Frinocap (Cód. ANA (60473000)) foram obtidos no HIDROWEB (ANA, 2017), uma ferramenta disponível no site da ANA, onde são armazenados no formato MS-ACCESS.

O trabalho foi realizado utilizando três planilhas de dados.

- 1º Dados diários de cotas, entre 01/10/2014 a 31/05/2017 obtidos pela régua linimétrica, contendo registros das medições feitas pela manhã e pela tarde (7h e 17h), acompanhado das respectivas médias.
- 2º Dados das vazões diárias obtidos pela média das cotas registrados pela régua linimétrica.
- 3º Registros de cotas do linígrafo eletrônico de 17/10/2017 a 14/06/2017, feitos numa frequência de 15 minutos.

#### **4.3.1 Obtenção da Curva Chave**

As médias diárias das cotas das réguas foram correlacionadas com suas respectivas vazões a fim de se obter a equação e o respectivo gráfico da curva chave do período em estudo, e também um hidrograma.

Os dados foram analisados visualmente para identificar erros de medição ou registro. A equação da curva-chave foi obtida através de regressão simples no MS-Excel, utilizando-se a função polinomial de 2º. Grau (CHEVALIER, 2004).

#### **4.3.2 Correlação entre as cotas do linígrafo e da régua**

Os registros obtidos pelo linígrafo eletrônico, realizados em intervalo de 15 minutos foram filtrados, de forma a alinhá-los com os horários de registro da régua (às 7 h e 17h). A partir desses dados as cotas foram correlacionadas com as cotas obtidas pela régua linimétrica, de forma a permitir uma análise de consistência entre as duas séries de dados.

#### **4.3.3. Correlação dos Hidrogramas da Régua e Linígrafo**

Após se obter as vazões diárias dos dados do linígrafo através de uma função polinomial de 2º grau a partir das cotas com uma frequência de 15 minutos para o período estudado, essas foram correlacionadas com as vazões da régua, em hidrogramas diários.

A partir dos dois hidrogramas, foram analisados a consistência em nível diário (p. ex., picos) e mensal e anual, tanto visualmente como através de médias e desvios.

#### 4.3.4. Análise Gráfica dos períodos de cheias do hidrograma

Dentre os eventos de cheia ocorrentes no período estudado, foram selecionados cinco, para comparação entre os dois métodos, sendo feitas análises visuais de desvios máximos entre os picos, e de médias durante o evento.

Tanto os resultados das diferenças observadas durante as cheias, como aquelas obtidas das médias mensais e anuais, calculadas pelos dois equipamentos, foram comparados e discutidos, sugerindo-se medidas mitigadoras quando necessárias.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1 Resultados Curva- Chave

De acordo com o estudo de Pinheiro & Badia (2008), curvas chave ajustadas em modelos de função polinomial de segundo ou terceiro grau descrevem de forma mais eficiente o comportamento da vazão de uma microbacia agrícola, visto que tais modelos comparados com a função exponencial apresentaram coeficientes de determinação mais próximo de 1. Na figura 7 temos a curva chave gerada pelas cotas da régua associada com suas respectivas vazões.

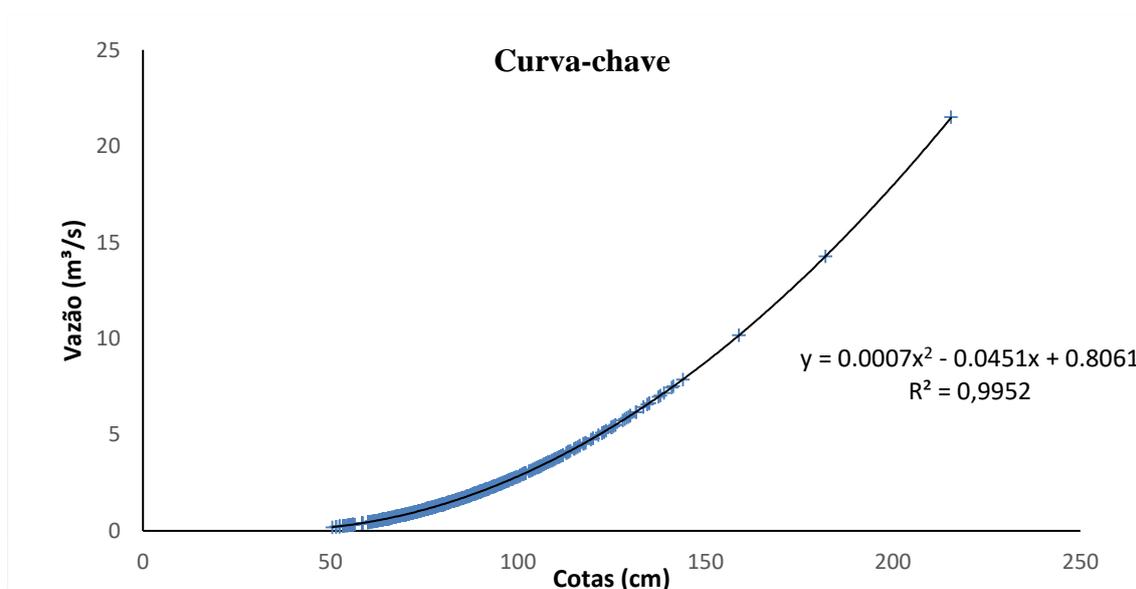
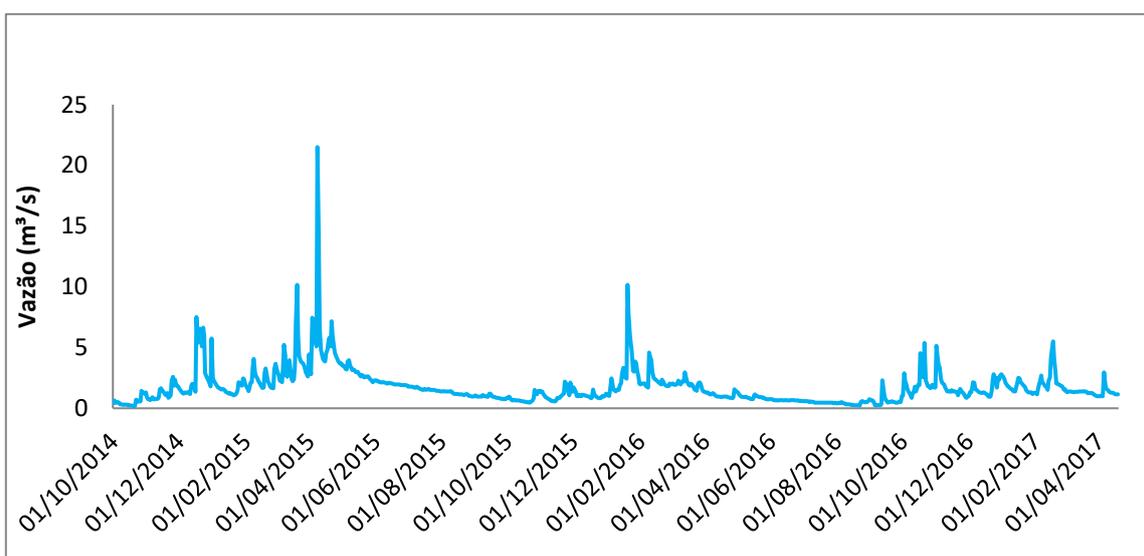


Figura 7. Curva-chave régua linimétrica.

Pelo gráfico acima é possível verificar que a função polinomial de 2° se ajustou quase que perfeitamente aos dados, gerando um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) bem próximo de 1. Isto significa que a equação possui elevado grau de determinação, indicando que, ao introduzir na equação as cotas fluviométricas, 99,52 % das variações dos valores de vazão serão esclarecidos pelo modelo empírico adotado.

Através do hidrograma figura 8, é possível acompanhar de forma mais detalhada o desenvolvimento das series e vazões e verificar o regime do rio, permitindo visualizar com facilidade a extensão e a distribuição temporal de secas e enchentes ao longo do período de observações.

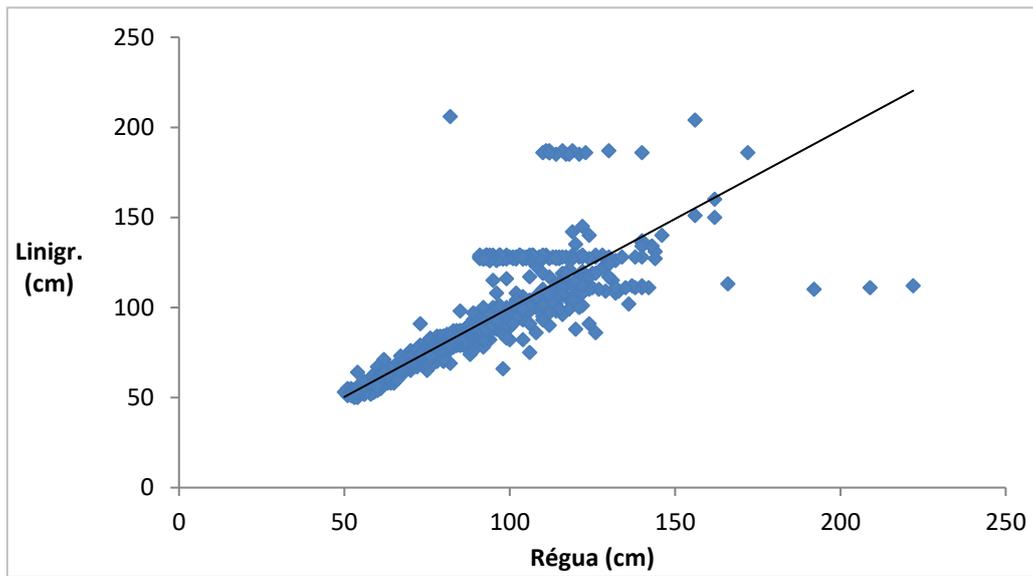


**Figura 8.** Série histórica de vazão medida com régua (2014-2017).

Considerando as variáveis que influenciam o comportamento do hidrograma os valores expressos se mantiveram de acordo com a literatura, as cheias coincidiram com as estações chuvosas. A maior vazão de pico registrada pela régua no período foi de 21,509 m<sup>3</sup>/s, em 08/04/2015.

## 5.2 Correlação entre as cotas do linígrafo e da régua

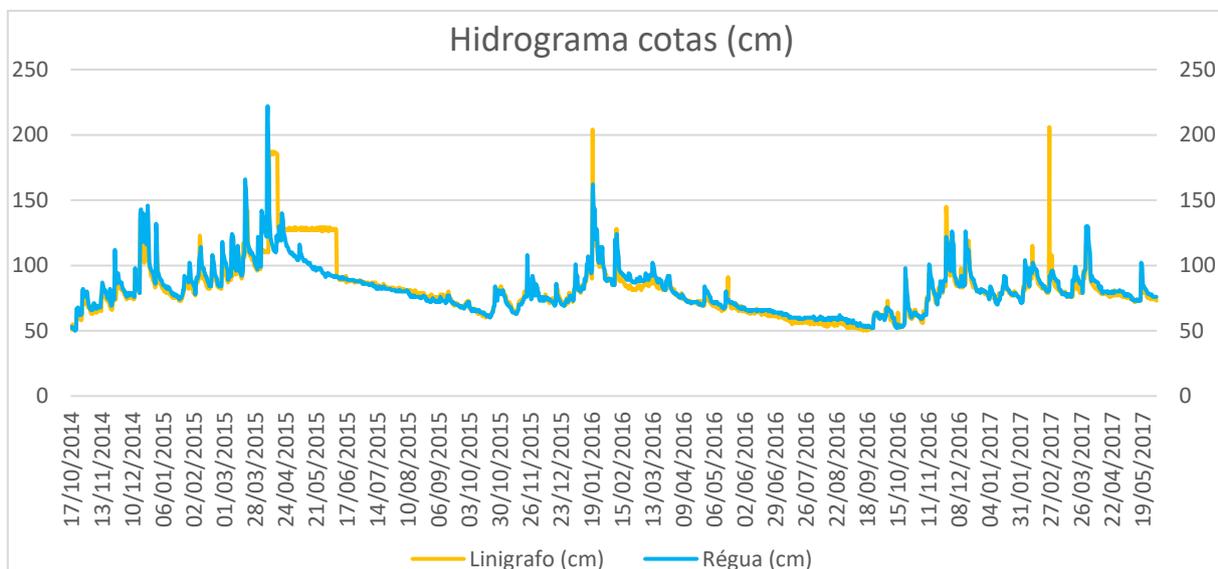
A Figura 9 apresenta a correlação entre as cotas diárias medidas pela régua e pelo linígrafo, considerando-se os horários de 7 e 17 h.



**Figura 9.** Correlação entre as cotas do linígrafo e régua.

Pela figura 9 é possível identificar pontos onde as cotas do linígrafo se mantiveram constantes, indicando uma possível falha no equipamento.

A Figura 10 apresenta os gráficos das cotas da régua e do linígrafo no período estudado.



**Figura 10.** Hidrograma cotas linígrafo e da régua (2014-2017)

No gráfico acima a maioria dos dados de cotas entre os dois métodos foi semelhante, salvo no período de abril de 2015, e durante as principais cheias. No período entre 8/04/2015 e 8/06/2015 o linígrafo apresentou problemas de medição.

Por outro lado, houve períodos com diferenças significativas entre as medições do linígrafo e da régua, como nas datas de 20/01/2016 (diferença de 42cm); de 27/11/2016 (diferença de 35 cm) e de 26/02/17 (diferença de 89 cm), onde as cotas medidas pelo linígrafo foram maiores que aquelas medidas pelas réguas. Isto pode ter decorrido das diferenças entre os tempos reais de medição (7 e 17 h) entre os dois equipamentos, principalmente no que tange à régua, a qual não é automática, mas dependente do observador.

### 5.3. Análises gráficas e médias dos hidrogramas nos dois equipamentos

Pelo gráfico abaixo é possível fazer uma breve análise da média de vazão mensal da série de registros anuais. As médias de medições da régua e do linígrafo se mantiveram bem próximas na maioria dos meses não ocorrendo variações tão significativas, com exceção do mês de abril de 2015, como visto anteriormente na figura 10 foi o mês que o linígrafo apresentou falhas de registro.

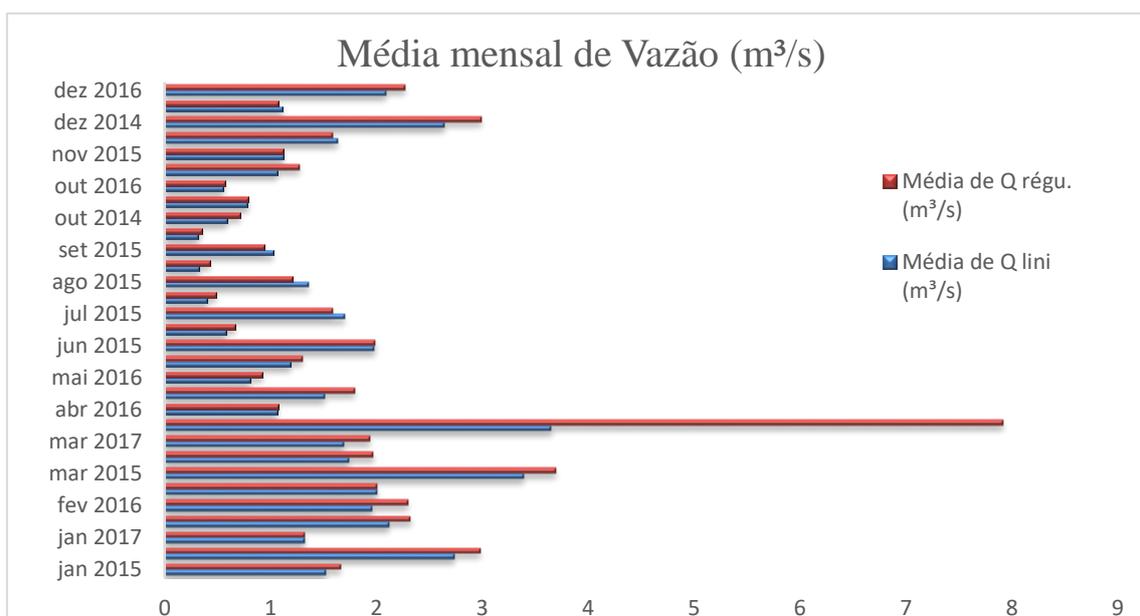


Figura 11. Vazões médias Frinocap

Na tabela 1 são apresentados os valores das médias mensais de vazões do linígrafo e da régua. De maneira geral, a régua apresentou valores mensais médios maiores que o linígrafo. Isto pode ter decorrido do fato de que os picos de cheia, onde o linígrafo registra maiores valores, foram poucos durante o período analisado, não afetando as médias mensais significativamente, e pelo fato de que há um pequeno erro sistemático entre os dois equipamentos na medição das cotas, e, conseqüentemente, das vazões.

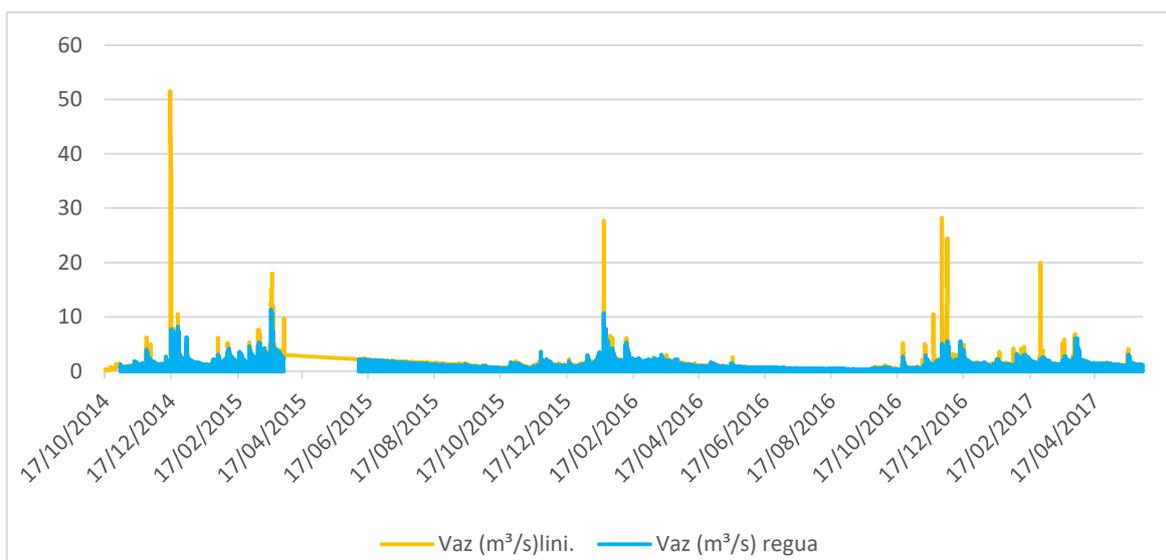
Tabela 1.Média mensal estação Frinocap.

<b>Meses</b>	<b>Liníg.(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Régua (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Janeiro</b>	1.85	1.98
<b>Fevereiro</b>	2.02	2.20
<b>Março</b>	2.27	2.53
<b>Abril</b>	1.58	2.24
<b>Mai</b>	1.00	1.11
<b>Junho</b>	1.18	1.23
<b>Julho</b>	1.06	1.05
<b>Agosto</b>	0.84	0.82
<b>Setembro</b>	0.67	0.64
<b>Outubro</b>	0.65	0.69
<b>Novembro</b>	1.28	1.33
<b>Dezembro</b>	1.95	2.11
<b>Média</b>	1.36	1.49

Na média anual, a régua apresentou uma vazão ligeiramente superior ao linígrafo, mas as médias foram estatisticamente iguais no teste de T, a 95% de probabilidade, mostrando que, pelo menos, em valores médios, as diferenças observadas nas vazões não foram significativas.

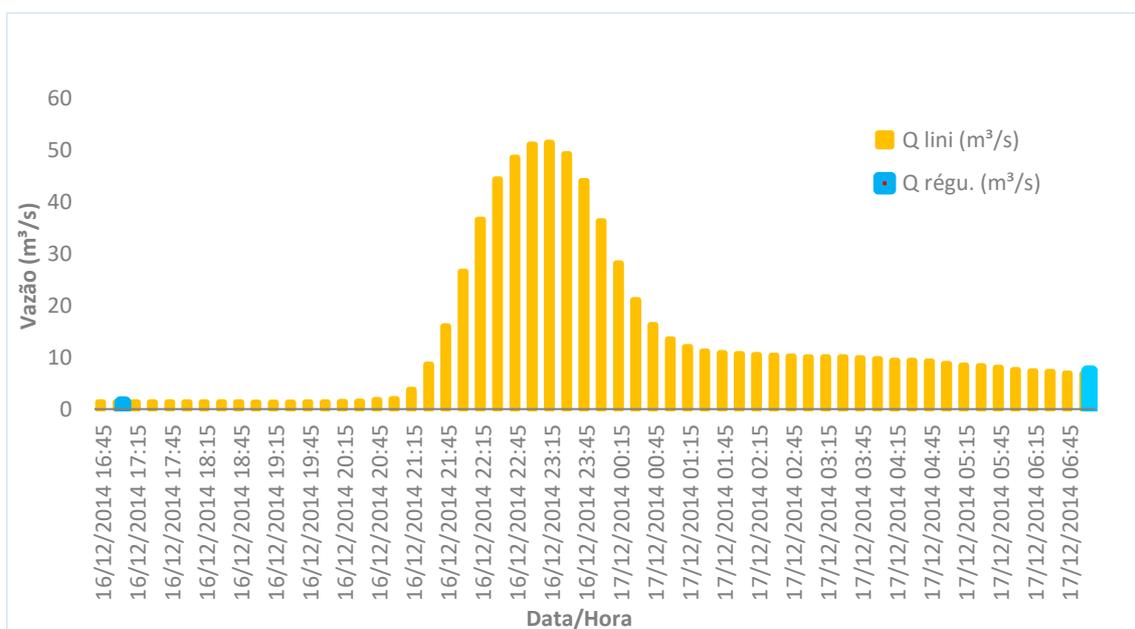
### **5.3.1 Hidrogramas gerados pelo Linígrafo e pela Régua**

A Figura 12 apresenta as séries de vazões medidas pelo linígrafo (15 minutos de intervalo) e régua (as 7h e 17), em escala mensal do período estudado.

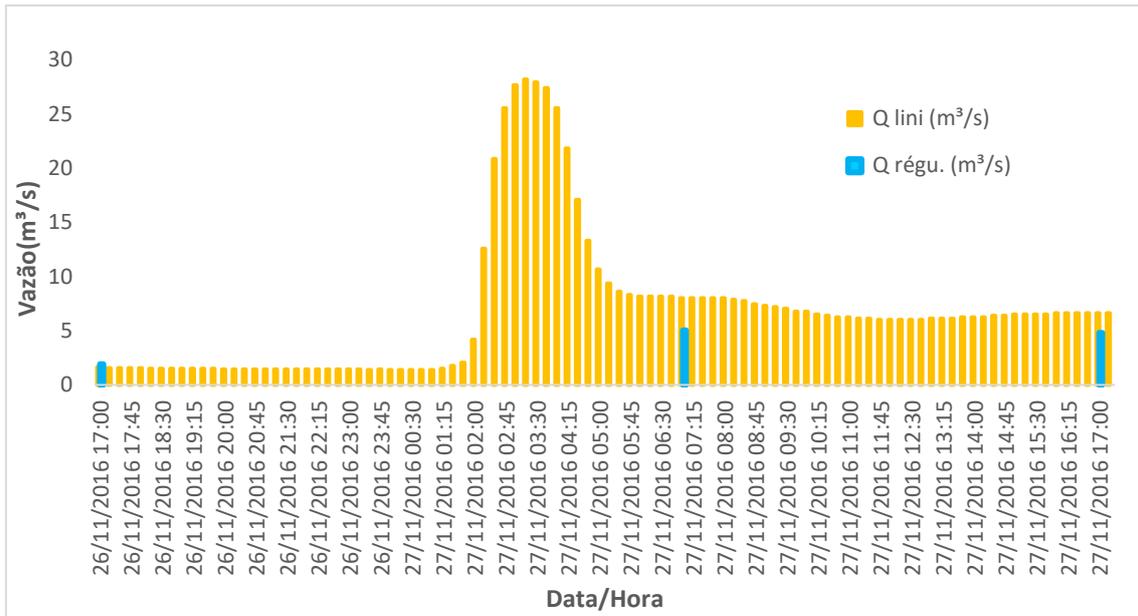


**Figura 12.** Hidrogramas medidos pela régua e pelo linígrafo (m³/s)

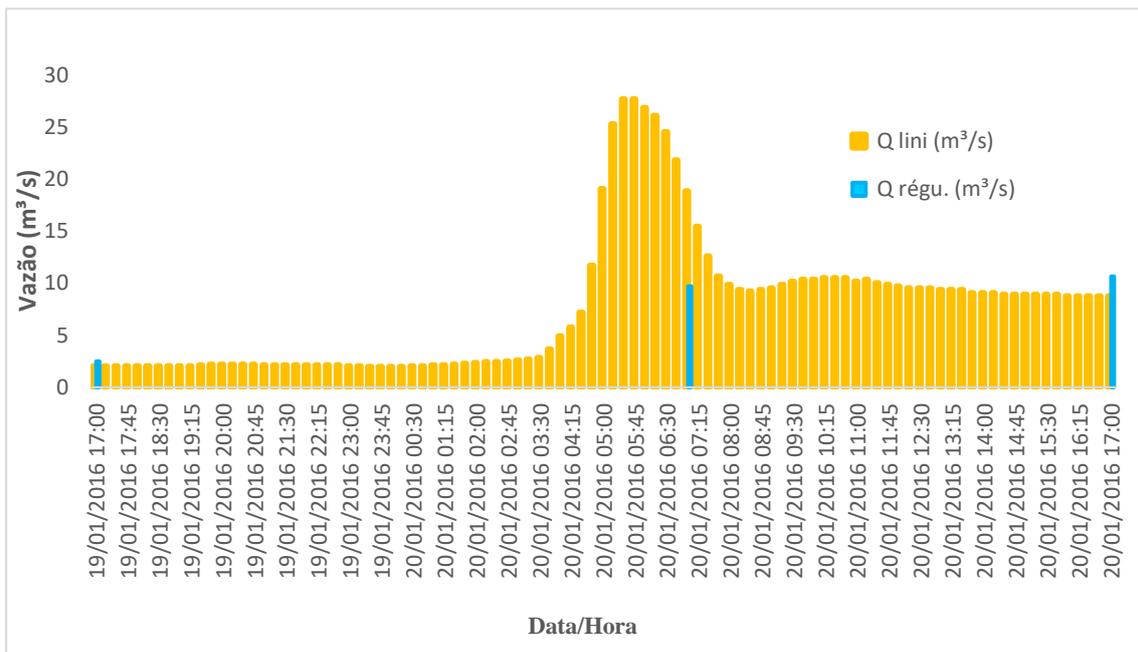
Nos hidrogramas da figura 12 foram identificados 5 períodos com discrepâncias importantes em relação a picos: 16/12/2014 (51.49 m³/s), 20/01/2016 (27.65 m³/s), 27/11/2016 (27.65 m³/s), 02/12/2016 (24.01 m³/s) e 26/02/2017 (19.26 m³/s). Os seguintes períodos de pico foram analisados de forma detalhada para identificar as variações de vazões no intervalo de (7h às 17h). Esses períodos são detalhados nas figuras abaixo.



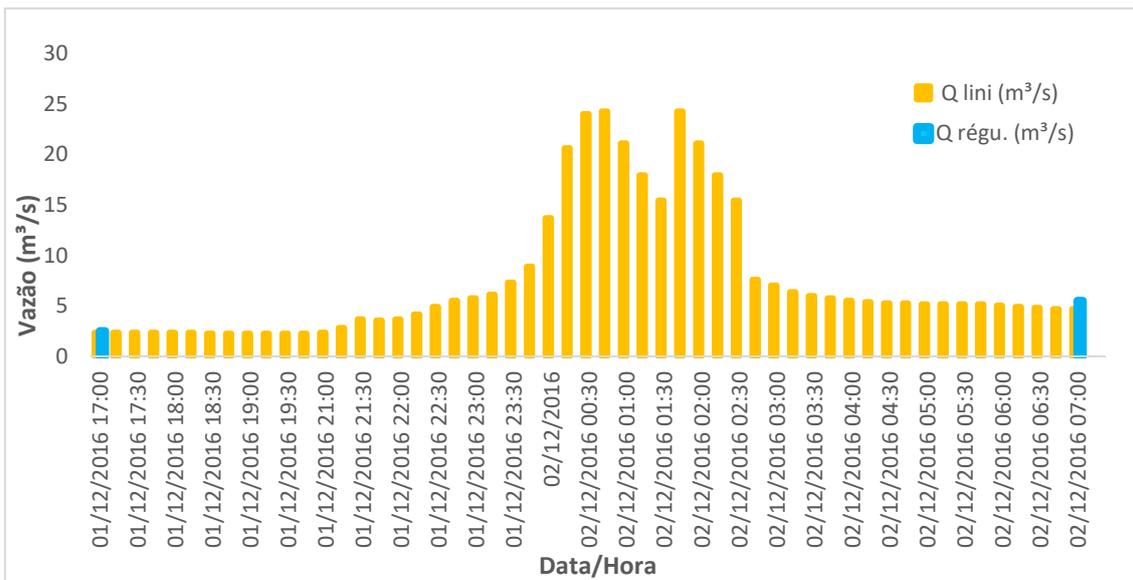
**Figura 13.** Cheia de (16/12/2014)



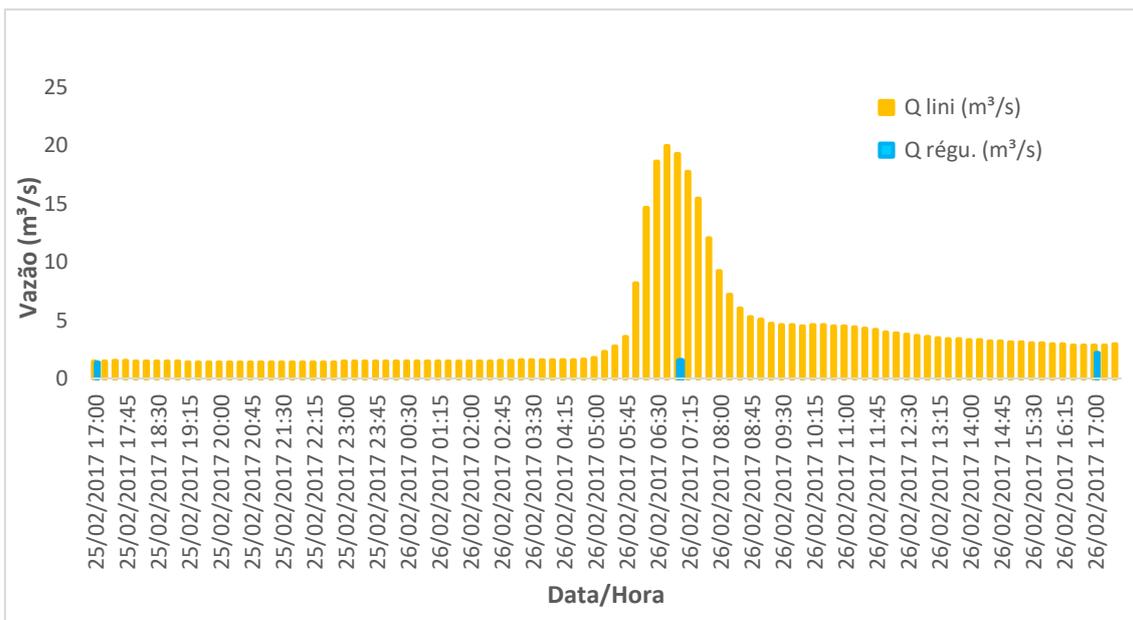
**Figura 14.** Cheia de (27/11/2016)



**Figura 15.** Cheia de (20/01/2016)



**Figura 16.** Cheia de (02/12/2016)



**Figura 17.** Cheia de (26/02/2017)

Os hidrogramas acima demonstram de forma mais detalhada as variações das vazões durante um período de cheia. De acordo com trabalho de CHAVES (2010), o tempo de concentração da bacia do Pípiripau é de cerca de 7 horas. Considerando as variações de precipitação e escoamento superficial o tempo de resposta da bacia se demonstrou rápido durante o período de tempo analisado.

Na figura 13, em um intervalo de 12 horas de medições a vazão da bacia variou de 1,32 m<sup>3</sup>/s a 51,49 m<sup>3</sup>/s, demorando aproximadamente 2 horas para atingir o pico. Nos 5 hidrogramas analisados o tempo de duração de pico foi de em média de 3 a 4 horas.

PINTO (1976), citado por BARNEZ (2004), ressalta a importância do intervalo de tempo unitário para estudos de hidrogramas em pequenas bacias, já que quanto menor a bacia mais sensível são as variações de intensidade a um evento de precipitação. Se tratando de bacias maiores e com tempo de concentração mais longo, a retenção natural das águas pluviais suaviza as consequências da variação de intensidade tornando desprezível sua influência sobre o hidrograma.

No caso dos hidrogramas acima, só foi possível registrar os períodos de pico e deflúvio graças à leitura contínua do linígrafo (15 em 15 minutos), já que a bacia responde de forma rápida aos eventos de precipitação.

Nos Hidrogramas das figuras 14, 15 e 17 foi identificada uma falha de leitura na régua linimétrica as 7h da manhã. Nos demais pontos as leituras da régua se mostraram condizentes com os registros do linígrafo, sem, entretanto, identificar os picos corretamente. Na tabela 2 podemos observar a diferença dos picos registrados pela régua e o linígrafo

Tabela 2. Diferença entre picos de vazão m<sup>3</sup>/s (linígrafo e régua) durante a cheia.

<b>Data</b>	<b>Linígrafo(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Régua (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Diferença (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>16/12/2014</b>	51.49	7.31	44.18
<b>20/01/2016</b>	27.65	9.68	17.97
<b>27/11/2016</b>	28.19	5.03	23.16
<b>02/12/2016</b>	24.26	5.50	18.76
<b>26/02/2017</b>	19.94	1.50	18.44

Pela tabela 2 é possível observar que nos cinco períodos analisados as diferenças entre os registros de pico do linígrafo e da régua foram bem significativas. Tais diferenças refletem muito sobre a dinâmica da bacia, em curtos períodos de tempo a diferença de vazão oscilou de forma muito rápida. Esses períodos de pico podem influenciar no processo de sedimentação ou erosão, se tornando extremamente importantes para estudos de quantificação de sedimentação ou perda de solo.

## 6. CONCLUSÃO

Pelos hidrogramas analisados é possível concluir a importância do uso do linígrafo em bacias hidrográficas de menor porte. As variáveis hidrológicas deflúvio e vazão de pico foram bastante sensíveis aos intervalos de medições antecedente aos eventos de precipitação, devendo ser incorporadas à modelagem hidrológica para previsão do impacto de mudanças no uso do solo em microbacias hidrográficas.

- Durante as cheias observadas, houve grandes diferenças entre os picos do linígrafo e da régua.
- A média de vazões tanto do linígrafo quanto da régua linimétrica em uma escala mensal se mantiveram bem próximas, não ocasionando grandes perdas de medições caso seja utilizada só a régua linimétrica.
- É recomendável que na mesma seção de instalação do linígrafo existam réguas linimétricas para verificar a aferição deste, ou se use equipamentos topográficos (nível e mira) para diminuir possíveis erros de leitura. Essas leituras devem ter registro da data e hora em que foram realizadas, para conferência com o linígrafo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Relatório do Diagnóstico do Ribeirão Pípiripau**. Brasília, 2010

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL – ADASA. **Boletim de Monitoramento da Bacia do Ribeirão Pípiripau** 2011.

ALIPAZ, S.M.F. **Quantificação e Valoração Econômica dos Serviços Ambientais Redutores de Sedimentação na Bacia do Ribeirão Pípiripau**. Dissertação de mestrado em Ciências Florestais, 2010.

ALVAREZ, L. R.; SOARES, S. **Modelo de Simulação em Base Horária da Vazão na Estação Fluviométrica da Régua-11**. UNICAMP, 2003.

AZEVEDO, K. T. ; ALEXANDRINO, C., H. ; MOREIRA, D. P. F. ; PEREIRA, G. A. ; ROCHA, B. H. D. . **Obtenção de um Hidrograma de um Trecho do Rio Mucuri- MG. Águas Subterrâneas (São Paulo)** , v. 28, p. x1, 2014.

BARBOSA JR, A. R. . **Regularização de vazões**. . (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Ensino), 2000.

BARBOSA JR, A. R.. **Bacia Hidrográfica. 2006**. (Desenvolvimento de material didático ou instrucional - Graduação).

BARBOSA JR, A. R. **Elementos de Hidrologia Aplicada a Estudos de Graduação:Infiltração**.2013.Disponivelem:[http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/4\\_Infiltracao.pdf](http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/4_Infiltracao.pdf).

BARNEZ, A. S. (2004). **Análise da influência do intervalo de tempo de registro de dados de linígrafos e pluviógrafos em estudos hidrológicos de pequenas bacias hidrográficas**. Dissertação de mestrado, Publicação PTARH.DM-076/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 118 p.

BRIDGE, J. **Rivers and Floodplains**. Ed. Blackwell Science. 2003. 380p.

BOULOMYTIS, V. T. G.; FABBRO NETO, F. **A proposal for the Juqueriquere River Basin sustainable development**. In: World Aqua Congress, 5., 2011, New Delhi, India. Proceedings... New Delhi: Aqua Foundation, 2011. v. II, p. 453-460.

CAESB. **Relatório Sobre o Plano de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau**. Brasília, 2009.

CARVALHO, T.M. **Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais**. Revista Brasileira de Geografia Física. Recife-PE v.01 n.01, p.73-75, 2008.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Apostila de Hidrologia**. 2006. Disponível em: Acesso em: out. 2017

CASTRO, V. L. S.; LIMA, D. M.; COSTA, A. H. A.; PAZ, A. R. **Processamento de modelo digital de elevação para estimativa do tempo de percurso do escoamento superficial**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 6305-6312.

CHAVES, H.M.L.; ALIPAZ, S. **An Integrated Indicator Based on Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index**. *Water Resour Manage* (2007) 21: 883-895.

CHAVES, H.M.L. & PIAU, L.P. **Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal**. *R. Bras. Ci. Solo* 32:333-343, 2008.

CHAVES, H.M.L, BRAGA, B., DOMINGUES, A.F., SANTOS D.G. **Quantificação dos benefícios ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtos de Água” (ANA): I. Teoria**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*. Volume 9 n.3, 05-14. Jul/Set 2004<sup>a</sup>

CHAVES, H.M.L, **Incertezas na predição da erosão com a USLE: Impactos e mitigação**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, p. 2021-2029, 2010

CHEVALIER, P. **Aquisição e processamento de dados**, in. TUCCI C.E.M., *Hidrologia ciência e aplicação*, 3<sup>o</sup>. ed. Revisada, ABRH-Edusp, Porto Alegre, 2004, p.485- 525.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. **Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência**. *REGA*. v. 4, n. 2, p. 51- 64. 2007b.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência**. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v.13, n.1, p.111-124. 2008.

FANG, X.; THOMPSON, D. B.; CLEVELAND, T. G.; PRADHAN, P.; MALLA, R. **Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods.** *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 134, n. 2, p. 202-211, 2008.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas.** Turrialba:CATIE, 1996. 90p.

K. H. ; ZUCCO, E. . **Estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos.** *Revista de Estudos Ambientais*, v. 12, p. 29-38, 2010.

LEOPOLD, L.B. & MADDOCK, T. 1953. **Hydraulic geometry of stream channels and som physiographic implications.** US Geological Survey. 252p.

LEWIN, J. **Meander development and floodplain sedimentation: a case study from mid-Wales.** *Geological Journal*, 13:25-36, 1978.

MATA-LIMA, Herlander et al. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso.** *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. 2007, vol.60, n.3, pp.525-536. ISSN 0370-4467. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672007000300014>.

MAZIERO, E. **Histograma Geoprocessado: uso em modelo chuva-vazão concentrado,** Ano de Obtenção: 2010 Dissertação mestrado; Universidade Federal de Santa Maria.

MELCHIOR, C. **Comparativo de resultado de mediação de vazões pelos métodos: convencional e acústico.** Foz do Iguaçu, PR. Originalmente apresentada como dissertação de graduação. União Dinâmica de Faculdades Cataratas – UDC, 2006, P 72

MOTA, A.A. ; Kobiyama, M. ; GOERL, Roberto Fabris ; Grison, F. ; Giglio, J.N. ; CARDOSO, A.T. ; MICHEL, G.P. . **Efeito da escala na obtenção de parâmetros morfométricos em pequena bacia experimental.** In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves RS

NAGHETTINI M.; E. J. A. Pinto (2007). **Hidrologia estatística,** CPRM, Belo Horizonte (MG).

NOVAES, L. F. **Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu.** 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D.; PARANHOS, R. M.; CARVALHO, K. S.; MELLER, A. e ROSA, L. H. (2004). “**Relação entre as vazões observadas médias, máximas e mínimas em pequenas bacias hidrográficas.**” Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, vol. 9, n.º 1, jan/mar, pp – 169 - 180.

PEREIRA, A. L. **Caracterização de Vazões em Estações Fluviométricas no Rio Negro.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Juiz de Fora. ,2013.

PINHEIRO, A.; BADIA, S. B. **Efeitos da curva-chave sobre a curva de permanência dos escoamentos em uma bacia agrícola.** Revista de Estudos Ambientais REA, Blumenau, v. 10, n. 2, p. 64 - 70, 2008.

PINTO, N. L.; HOLTZ, A. e MARTINS, J. A. **Hidrologia de superfície.** 2 ed. Edgard Blücher, São Paulo, 179p, 1973.

PORTO, R. L. L.; ZAHED FILHO, K. Precipitação. São Paulo, **Apostila do curso Hidrologia Aplicada. Escola Politécnica da USP 2001.** Disponível em. Acesso em: out. 2017.

ROCHA, J.S.M.da; KURTZ, S.M.J.M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas.** 4ªed. – Santa Maria: Edições CCR/UFSM. 2001. 302p.

SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005

SAGARA, FABIO TAKESHIGUE . **Monitoramento e Modelagem de uma pequena bacia hidrográfica experimental no município de General Carneiro- PR.** 14 Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, v. 1, 2001.

SILVA, E. A. “Estimativa regional da vazão máxima instantânea em algumas bacias brasileiras.” Dissertação de mestrado, Porto Alegre, pp. 31 – 88 ,1997

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, n.3, p.111-131, 1998.

SOARES, P. A. ; PINHEIRO, A. ; SOARES, K. H. ; ZUCCO, E. . **Estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos. Revista de Estudos Ambientais**, v. 12, p. 29-38, 2010.

TUCCI, C. E. M. **IPHS1 - Manual de Fundamentos**. Versão Preliminar Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, 2004.