

## **Relatório Final de Atividades**

**Estudo observacional do impacto da conversão de floresta em pastagem em  
micro-bacias da Amazônia Central.**

**Bolsista: Mônica da Silva Ferreira**

Orientador: **Javier Tomasella**

**CPTEC / INPE**

**2007**

## **DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

Nome: **Mônica da Silva Ferreira**

Local de Trabalho: **CPTEC / INPE**

Título do projeto: **Estudo observacional do impacto da conversão de floresta em pastagem em micro-bacias da Amazônia Central.**

Tipo de bolsa: **Bolsa ITI-1A**

Período: **Agosto/ 2006 – Julho/ 2007**

## SUMÁRIO

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO .....	3
SUMÁRIO .....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. OBJETIVOS.....	5
3. REGIÃO DE ESTUDO.....	6
4. DADOS E METODOLOGIA.....	6
4.1 - Dados .....	7
4.2 - Análise dos Dados.....	8
4.2.1 - <i>Dados de Chuva</i> .....	8
4.2.2 - <i>Dados de Altura</i> .....	9
4.2.3 - <i>Dados de Vazão (Escoamento Superficial)</i> .....	10
4.2.4 - <i>Métodos Sintéticos</i> .....	12
6. CONCLUSÃO .....	17
7. TRABALHOS FUTUROS.....	18
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18

## **1. INTRODUÇÃO**

A bacia Amazônica é o maior reservatório de água doce do planeta com cerca de 15-20 % do total disponível ao longo de 6.700.000 Km<sup>2</sup>. Seus afluentes nascem na Cordilheira dos Andes e seu posicionamento sobre a linha do equador e zona de convergência intertropical torna a bacia mais sensível ao equilíbrio hidroclimático, proporcionado pelas alterações no clima nos hemisférios sul e norte (Salati & Vogue, 1982; Marengo, 2004).

A remoção da cobertura florestal proporciona uma série de alterações hidrológicas, conforme já verificado em diversos estudos com microbacias experimentais (Bosch & Hewlett, 1982; Bruijnzeel, 1990; Andreássian, 2004; Brown et al., 2005).

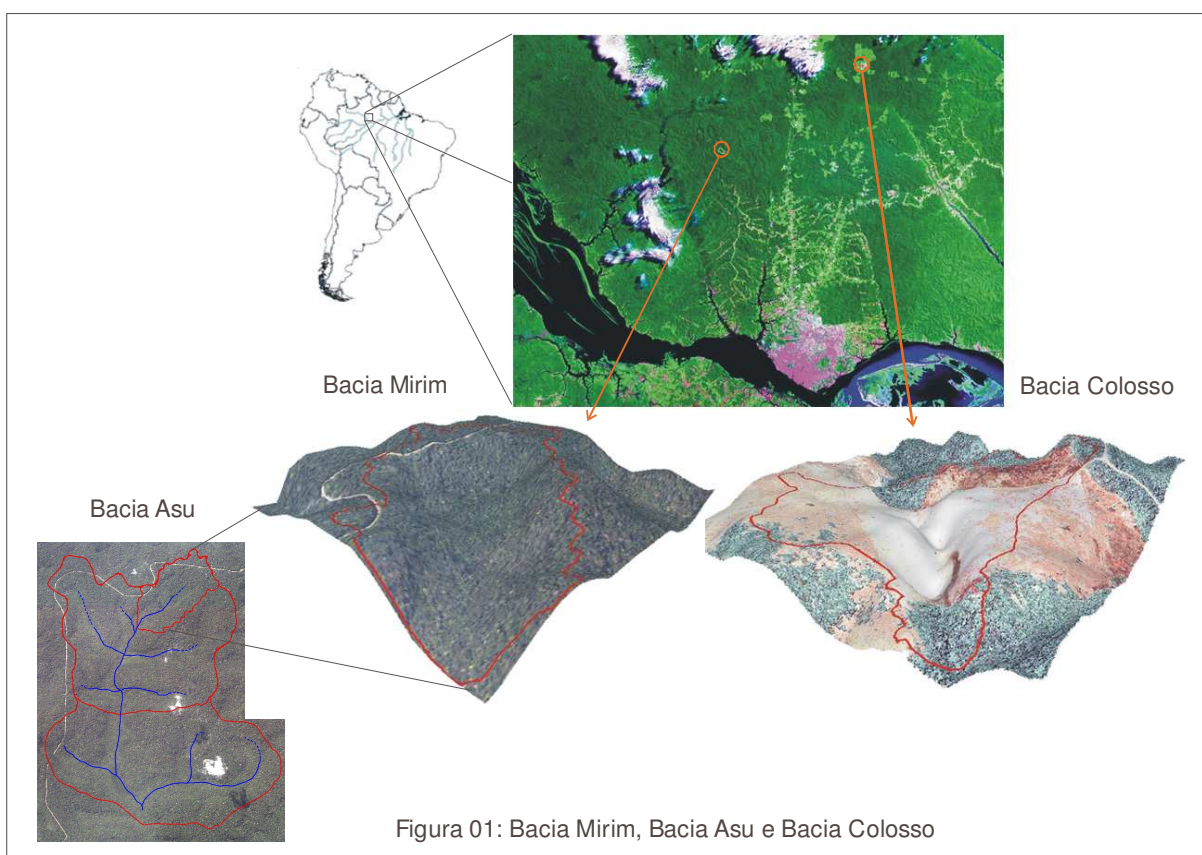
Atualmente existem poucos estudos de observações em bacias pareadas, dedicados ao estudo das alterações hidrológicas decorrentes de mudanças no uso do solo realizados em regiões de floresta tropical (Andreássian, 2004). A observação de bacias pareadas é uma metodologia de ampla aplicação no estudo de processos hidrológicos em locais com diferenças no clima, vegetação, geologia, solos e cobertura da terra (Andreássian 2004, Brown et al 2005).

## **2. OBJETIVOS**

- Assimilar a informação obtida nas duas micro-bacias e realizar análises de qualidade na mesma.
- Estudar os processos chuva - vazão da micro-bacia instrumentada Mirim (floresta não perturbada), na região Amazônica.
- Comparar o comportamento hidrológico encontrado na bacias Mirim e na bacia Colosso
- Estudar e identificar variações nas características dos hidrogramas, resultantes do estudo na bacia Mirim.
- Analisar a aplicabilidade de metodologias sintéticas para a obtenção dos tempos característicos da resposta hidrológica na bacia Mirim.

### 3. REGIÃO DE ESTUDO

A bacia Mirim possui uma cobertura de floresta e apresenta uma área de 1,26 Km<sup>2</sup>. Esta bacia faz parte da bacia Asu, com uma área de 6,56 Km<sup>2</sup> que está localizada no interior da reserva do Cuieiras a 84 Km de Manaus, e onde vem sendo monitoradas diferentes variáveis hidrológicas desde o ano 2001. A bacia Colosso apresenta áreas de pastagem como cobertura vegetal e é um afluente do igarapé conhecido na região como Ponta Verde. Está localizada na fazenda Esteio, e possui uma área de contribuição de aproximadamente 1,22 Km<sup>2</sup>. As microbacias distanciam-se em 39 Km em linha reta (Fig. 01).



### 4. DADOS E METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo foram necessários não só conhecimentos na área de hidrologia, mas também na área de informática, mais especificamente na área de programação de computadores. Os dados coletados nas bacias estudadas são enviados para o CPTEC, muitas vezes, sem uma formatação padrão, o que dificulta a análise dos mesmos. Há, portanto, a necessidade de uma correção dos dados para um formato mais propício, facilitando o processo de estudo.

Portanto para o desenvolvimento da pesquisa houve a necessidade de fazer previamente o processamento dos dados por meio de programas de computadores que ajustam à formatação e determinam os faltantes de dados. Após o processamento dos dados, são confeccionados relatórios para o campo. Esta interação permite a detecção e correção de problemas, assim como relatar quais são os dados que não foram enviados para fazer uma nova solicitação (Fig. 02). Para este fim foi utilizada como ferramenta a linguagem Fortran e o editor de planilhas Microsoft ® Excel, software integrante do pacote Office da Microsoft Corporation.

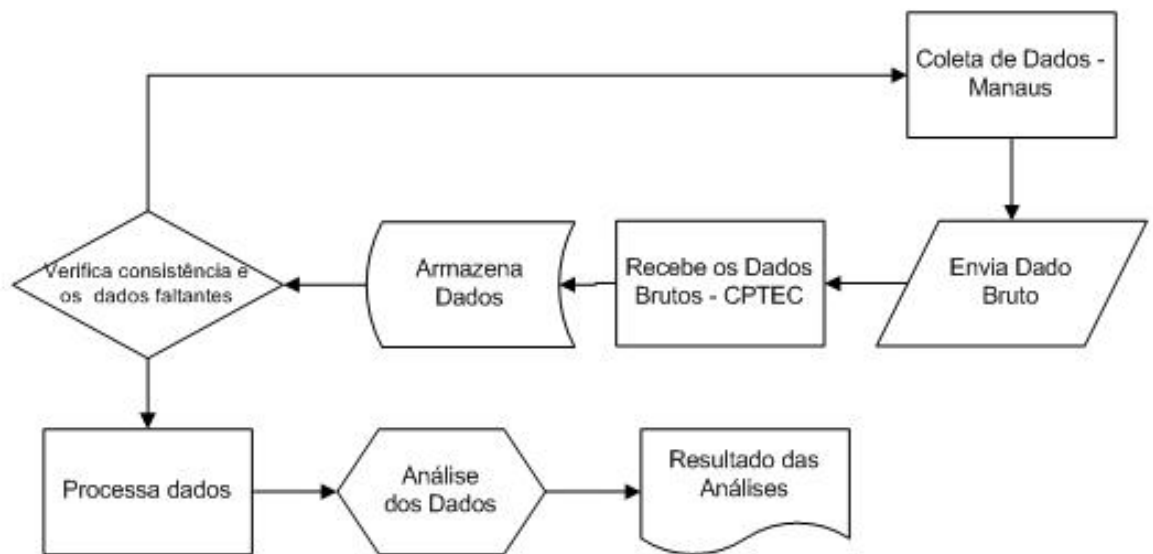


Figura 2 – Processo de envio de dados entre Manaus e o CPTEC em Cachoeira Paulista - SP

#### 4.1 - Dados

As variáveis medidas nas duas micro-bacias hidrográficas são:

- Precipitação: quantidade de precipitação coletada em pluviômetros na região, os dados correspondem a valores acumulados em intervalos de 5 minutos.
- Precipitação Acumulada em Funis: quantidade de precipitação acumulada em funis (reservatórios) durante um determinado período de tempo (geralmente uma semana), e tem como finalidade o controle dos dados observados pelos pluviômetros.

- Descarga: volume de água escoado pelo igarapé. Os dados são coletados em três seções dentro da bacia Asu como mostrado na figura 03, uma das quais corresponde a micro-bacia Mirim, e em uma seção na bacia Colosso.
- Altura do nível de água: Mede a altura da água no igarapé. Os dados são coletados nas seções mencionadas, utilizando sensores de pressão e Doppler.
- Altura do nível de água pela régua: Observações da altura de água nas seções utilizando uma régua hidrométrica.
- Condutividade: indica o conteúdo de sais dissolvidos na água.
- Profundidade do Lençol: profundidade do lençol freático. As medições são realizadas em forma automática e de forma manual numa bateria de poços.
- Umidade do Solo: quantidade de água armazenada numa camada de solo. Os dados obtidos correspondem as medições num perfil de solo de 10 metros de profundidade, realizada de forma automática, e as medições realizadas utilizando uma sonda de nêutrons.

## **4.2 - Analise dos Dados**

### **4.2.1 - Dados de Chuva**

Os dados de chuva são coletados a cada 5 minutos por pluviômetros espalhados por toda a bacia Asu. A consistência dos dados de precipitação foi estudada utilizando o método de Duplas Massas, onde a precipitação acumulada medida por pluviômetros próximos é comparada entre si.

Essa comparação é feita com o acumulado de chuva de cada pluviômetro em um dado período, e apresentado em um gráfico X-Y. Este gráfico, quando não existem erros de medição e assumindo que, dada à proximidade dos pluviômetros, os mesmos ficaram expostos aos mesmos eventos, deve se aproximar de uma linha reta ascendente de inclinação unitária. Períodos em que o gráfico se afasta do desejado são identificados e estudados em detalhe, depurando os possíveis erros na informação. Também para confirmar a qualidade dos dados de chuva, estes são comparados com os dados dos Funis. Os Funis nada mais são do que reservatórios, colocados próximos a cada um dos pluviômetros, onde são acumuladas as precipitações ocorridas num longo período de tempo (geralmente uma semana).



Para determinar a precipitação que irá compor os eventos de chuva-vazão na bacia Mirim foram utilizadas os dados de chuva corrigidos dos pluviômetros Torre 1 e Torre 2 (Fig. 03). Com estas informações foram obtidos os valores médios representativos da precipitação na bacia.

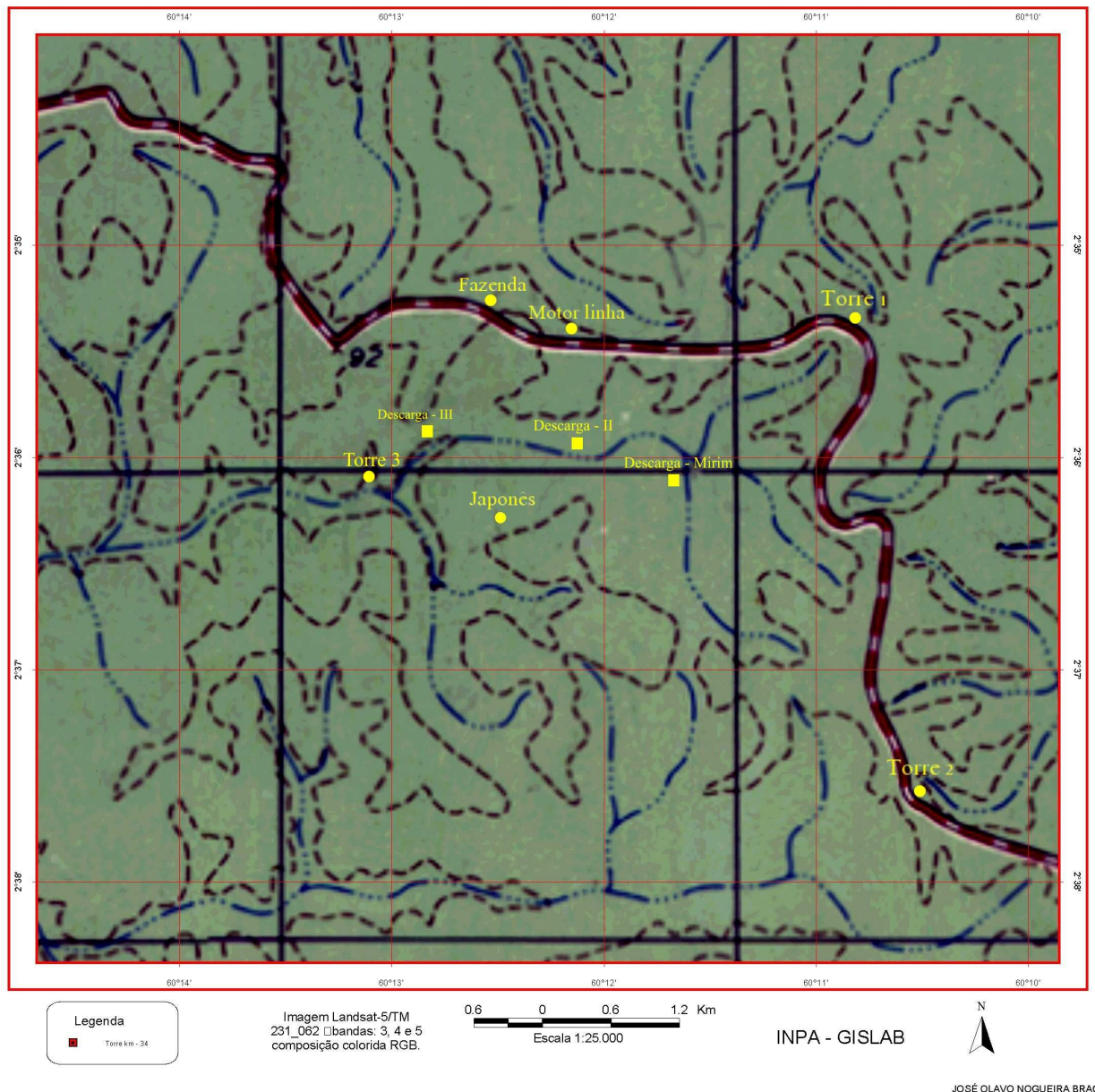


Figura 3 – Localização dos pluviômetros na bacia Asu

#### 4.2.2 - Dados de Altura

Os dados de altura do igarapé, obtidos a cada 30 minutos utilizando os sensores Doppler e de pressão, foram comparados com os valores diários obtidos da medição com a régua. A coerência entre ambas as séries de dados é verificada

através da correlação dos mesmos. Diferente dos sensores, a régua por ser um instrumento de medição manual, não possui um horário fixo para a coleta de dados, ou seja, as medições podem ocorrer com espaços de tempo alternados. Foi preciso, portanto, aproximar os horários dos valores obtidos pelos sensores com os valores da régua.

#### **4.2.3 - Dados de Vazão (Escoamento Superficial)**

As alturas obtidas com os sensores foram correlacionadas com as alturas medidas na régua. Esta correlação foi utilizada para transformar estes valores em equivalentes da régua. Isto permitiu a utilização das curvas chaves, obtidas por Trancoso (2006), para a seção da bacia Mirim para a obtenção dos valores de vazão correspondente.

Considerando os dados de vazão e de precipitação na bacia Mirim, foram escolhidos eventos chuva-vazão, representados através de hidrogramas, gráficos que relaciona a vazão obtida com seu respectivo tempo. Por meio desse gráfico podem-se analisar os efeitos da precipitação ocorrida e suas conseqüências no rio.

No hidrograma é possível identificar três componentes principais, associadas com diferentes estágios da resposta hidrológica da bacia:

- Ascensão, que é o aumento do nível do igarapé como resposta à precipitação e está diretamente relacionado, entre outros fatores, com a intensidade da mesma.
- Região do Pico, região do hidrograma em que a vazão atinge seu valor máximo e inicia o processo de inflexão.
- Recessão, onde somente resta o escoamento subterrâneo para contribuir na vazão do igarapé.

Para determinar o escoamento superficial, Tucci (1993) apresenta três métodos diferentes. O método escolhido consiste em determinar uma reta que liga o ponto que representa o início da ascensão (ponto A) com o ponto que representa o fim da recessão (ponto B) como mostrado na figura 4. A área abaixo dessa reta representa o fluxo de base. Uma vez determinado, o mesmo é descontado das vazões observadas com o intuito de se obter apenas a resposta direta que corresponde com o evento de precipitação observado.

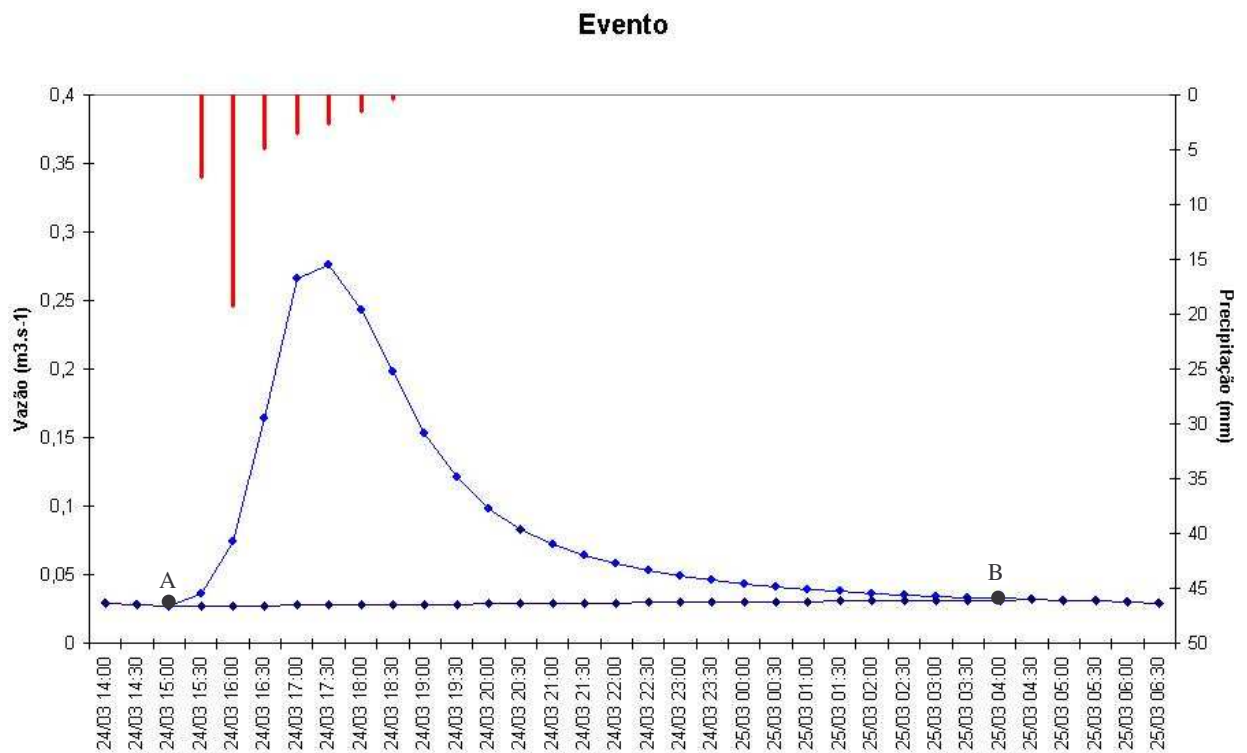


Figura 4 – Escoamento Superficial

As relações entre a chuva e o fluxo direto correspondente podem ser analisadas levando em conta tempos característicos na resposta da bacia (Fig. 5). Estes tempos caracterizam o hidrograma do evento e o comportamento da bacia. Foram determinados os seguintes tempos característicos de cada evento, de acordo com o proposto por Tucci (1993):

- $t_l$  (Tempo de Retardo): é o tempo entre o centro de gravidade do hietograma e o centro de gravidade ( $C_g$ ) do hidrograma
- $t_p$  (Tempo de Pico): é o tempo entre o centro de gravidade da precipitação e o tempo de pico.
- $t_c$  (Tempo de Concentração): é o tempo entre o fim da precipitação e o tempo de pico do hidrograma.
- $t_m$  (Tempo de Ascensão): é o tempo entre o início da chuva e o tempo de pico.
- $t_b$  (Tempo de Base): é o tempo entre o início da precipitação e o fim do hidrograma, ou seja quando o igarapé volta as condições iniciais antes da ocorrência da precipitação.

- te (Tempo de Recessão): é o tempo que a vazão leva para atingir o ponto B (fim da recessão), como apresentado na figura 8.

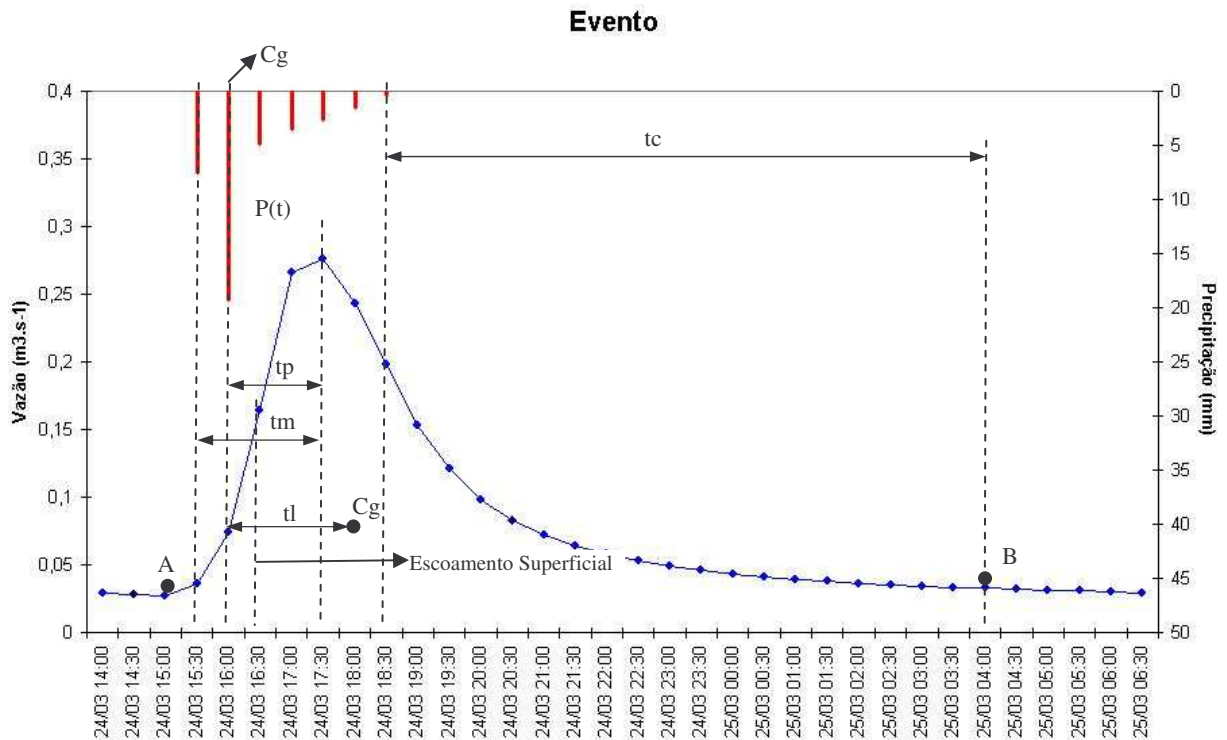


Figura 5 – Precipitação - Vazão

Com as análises dos tempos característicos, foi possível obter uma serie de dados estatísticos da bacia Mirim, possibilitando a comparação com os valores obtidos por Trancoso (2006) para a bacia Colosso. Os mesmos correspondem a eventos analisados durante o período de 03/06/2005 a 22/02/2006, pois ainda não foi realizado um estudo mais atualizado da bacia colosso.

#### 4.2.4 - Métodos Sintéticos

Trata-se de métodos empíricos que estabelecem formulações para a obtenção de parâmetros característicos da resposta hidrológica a partir de informações que são facilmente coletadas, como área da bacia, longitude, etc. Estes parâmetros são obtidos a partir de dados coletados em bacias instrumentadas, e são utilizados na obtenção de informações da resposta hidrológica em bacias não instrumentadas. Cada um dos métodos existentes foram desenvolvidos para um certo grupo de bacias, não se aplicando exclusivamente a todas. Em alguns casos é possível efetuar um ajuste nas constantes matemáticas para que esta possa se adaptar a realidade da bacia estudada.

Foram aplicados diferentes métodos para a determinação de tempos característicos da resposta hidrológica. Foram considerados os métodos de Kirpich (1940), Izzard (1946), e Serviço de Conservação de Solos (SCS)(1975), na determinação do tempo de concentração, e o método de Snyder (1938) para a determinação de tempo de pico.

- Kirpich (1940):  $T_c = 0.0078 \left( \frac{L^2}{S} \right)^{0.385}$
- Izzard (1946):  $T_c = \frac{41.025(0.0007i + c)L^{0.333}}{S^{0.333}i^{0.667}}$
- SCS (1975):  $T_c = \frac{L^{0.8} \left[ \frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{190S^{0.5}}$

Onde  $T_c$  é o tempo de concentração,  $L$  é a comprimento da bacia,  $S$  a inclinação do igarapé,  $i$  a intensidade da chuva,  $c$  o coeficiente de retardo e  $CN$  que é o numero de curva.

- Snyder (1938):  $tp = \frac{Ct(L * L_{cg})^{0.3} + \left( tr - \frac{Ct(L * L_{cg})^{0.3}}{5.5} \right)}{4}$

Onde  $tp$  é o tempo de concentração,  $Ct$  é um coeficiente que variaria de 1,35 a 1,65,  $L$  é a comprimento da bacia,  $L_{cg}$  o ponto de gravidade da bacia e  $tr$  é o tempo de retardo.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

Através do método de duplas massas acumuladas foi possível identificar erros nos valores da precipitação causados principalmente por pluviômetros entupidos, geralmente por folhas. A comparação com os dados dos funis permitiu a identificação deste tipo de problemática, corrigindo e melhorando a consistência dos dados, como mostrado da figuras 06 ate a figura 08. A comparação dos valores corrigidas com os observados nos funis (Fig. 09) mostram ainda a existência de discrepância entre os mesmos. Os altos valores positivos de erros podem ser explicados por deficiência na coleta de chuva do funil (derramamento, evaporação, etc.). No caso das diferenças negativas, as mesmas são influenciadas por lacunas na informação dos pluviômetros.

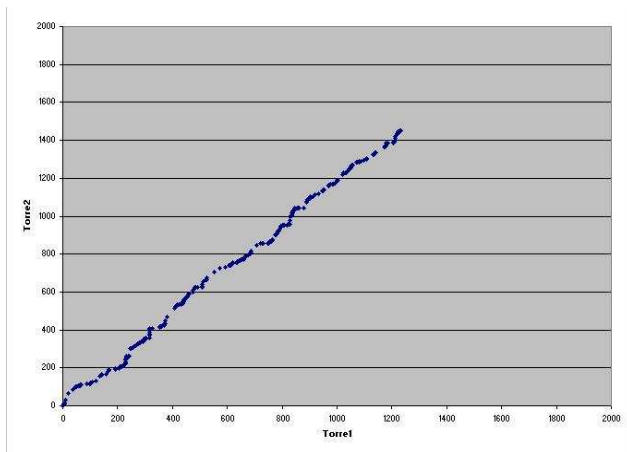


Figura 6 – Comparação entre os Pluviômetros Torre 1 e Torre 2

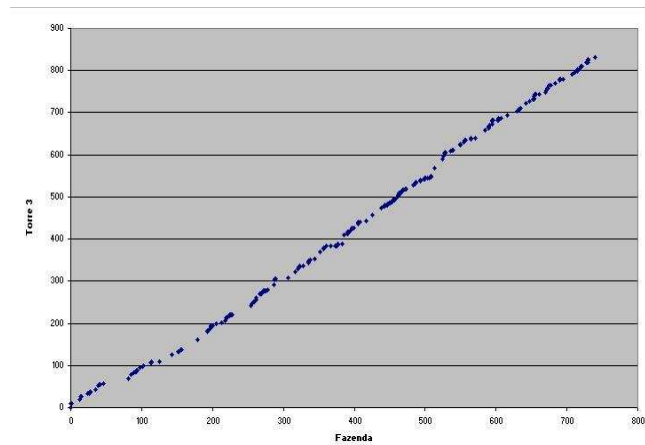


Figura 7 – Comparação entre os Pluviômetros Torre 3 e Fazenda

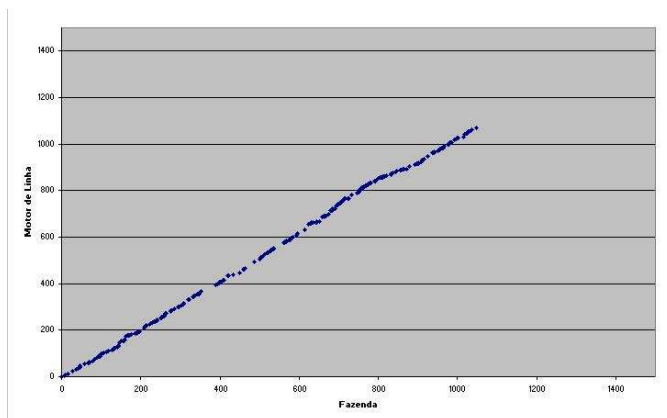


Figura 8 – Comparação entre os Pluviômetros Motor de Linha e Fazenda

### Erros - Precipitação vs. Funil

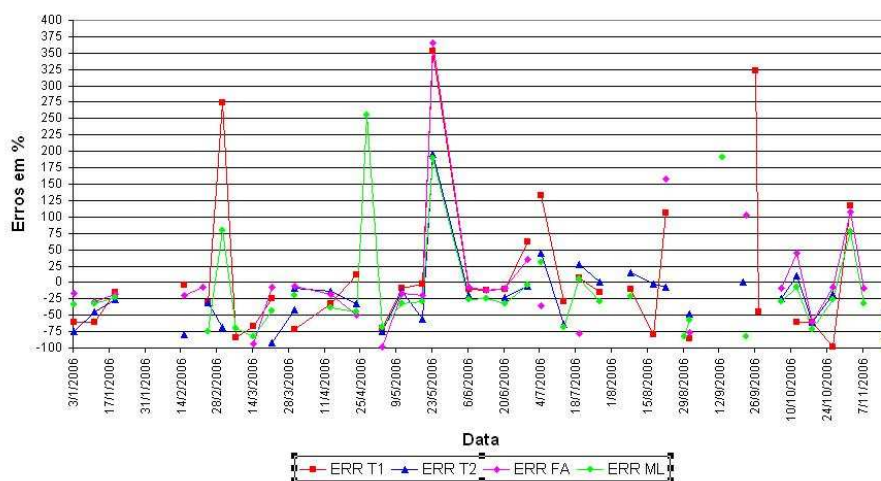


Figura 9 – Erros obtidos na comparação entre os dados de precipitação e os funis

As correlações entre os dados de altura do igarapé e os valores diários obtidos da medição com a régua estão representados nas figuras 10 e 11. Para

manter valores consistentes da correlação foi necessário dividir o período analisado em períodos de tempo menores. As correlações obtidas apresentaram, em geral, altos valores de coeficiente de correlação. Foi possível identificar que em parte do segundo semestre de 2006 o medidor de pressão responsável pela Seção II da Bacia Asu apresentou problemas.

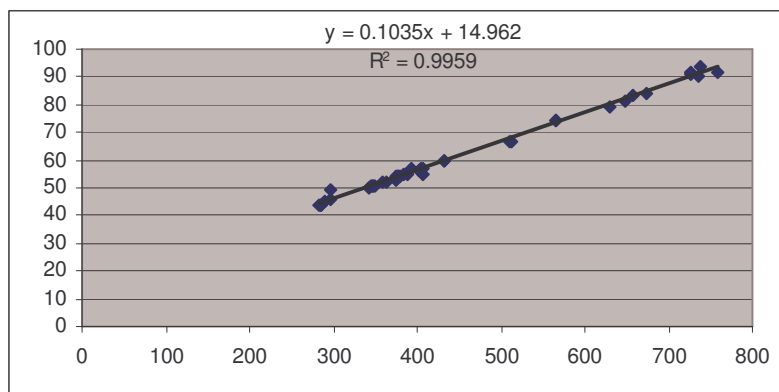


Figura 10 – Srtarflow 1 – Ausência de erro na análise dos dados

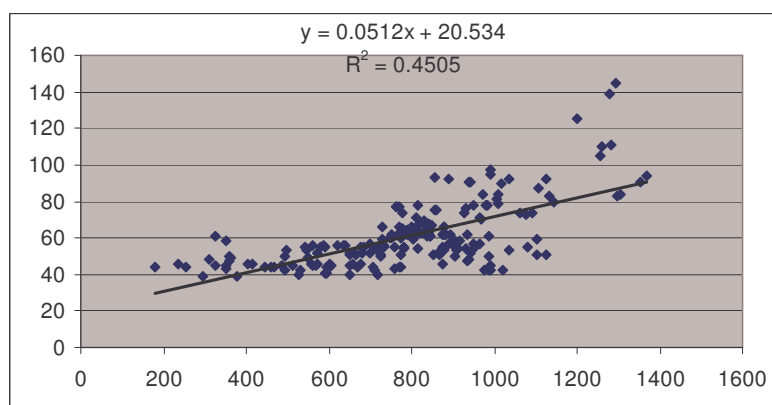


Figura 11 – Srtarflow 2 – Erro encontrado na análise dos dados

Foram identificados os eventos de chuva-vazão utilizando as curvas chaves aplicadas aos valores de altura obtidas através das correlações anteriores. Utilizando a metodologia proposta foram confeccionados os hidrogramas de fluxo direto e identificados os tempos característicos de cada um deles. As análises estatística dos tempos característicos realizados na bacia Mirim mostraram que os tempos médios de pico, retardo e ascensão são pequenos, ou seja, a bacia possui uma resposta inicial rápida a precipitação. A bacia possui uma lenta recessão, ou seja, possui um longo tempo entre o momento em que a vazão do rio atinge seu valor mais alto e retorna ao nível inicial, comprovado pelos tempos de concentração e base.

Bacia Mirim – Dados Estatísticos				
Tempo	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão
Concentração	14.15	6.50	24.50	4.90
Recessão	14.39	6.00	23.00	4.75
Base	16.50	8.00	26.00	4.83
Pico	2.14	1.00	6.50	1.11
Retardo	2.88	0.50	7.00	1.61
Ascensão	2.08	0.50	6.00	1.16
Chuva	6.21	1.00	20.00	3.76
Chuva Acumulada	26.81	3.39	93.27	21.87
Intensidade da Chuva	5.00	0.48	15.55	3.66

Tabela 1 – Dados Estatísticos da Bacia Mirim

Na aplicação dos métodos sintéticos, os métodos de Kirpich, Izzard, SCS, subestimaram o tempo de concentração da bacia (Fig. 12). O tempo de pico obtido por meio do método de Snyder, foi menor que a média observada (Fig. 12), mas permaneceu no intervalo do desvio. O valor do Coeficiente de Pico ajustado na bacia foi de 1.02, menor que o sugerido por Snyder

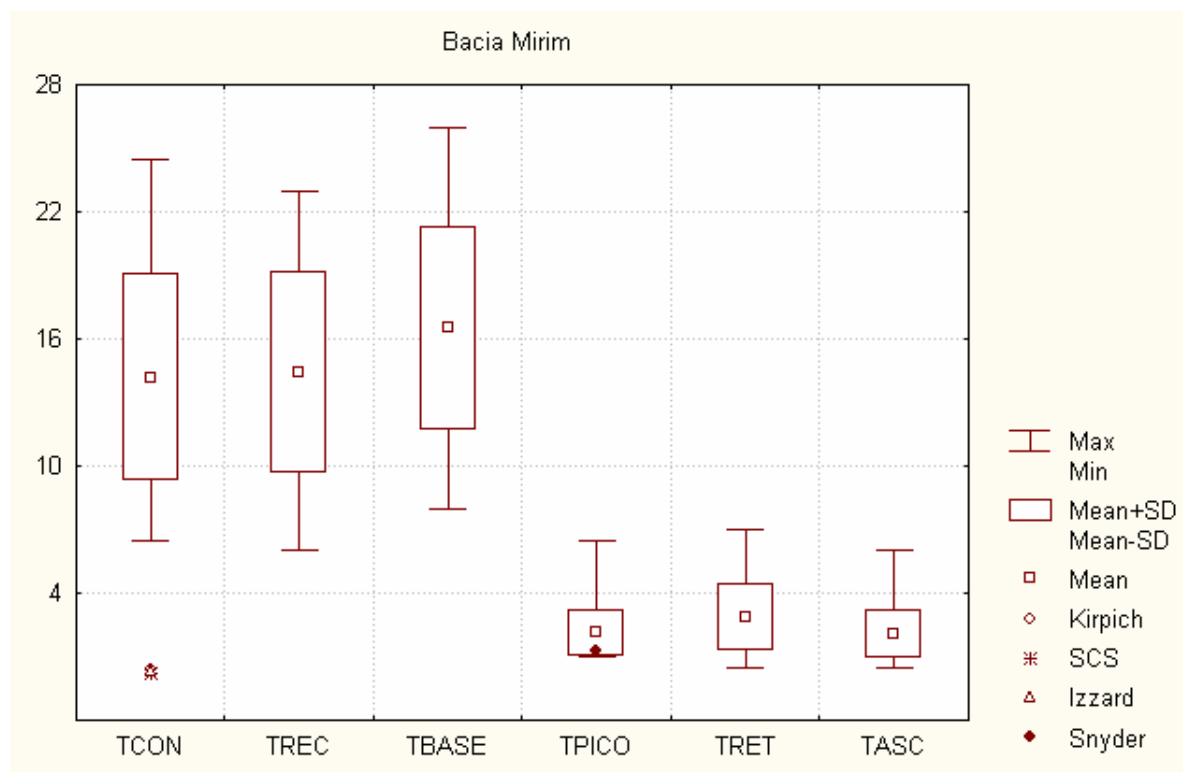


Figura 12 – Aplicação dos métodos para determinar o Tempo de Concentração e o Tempo de Pico

Na comparação dos dados obtidos na bacia Mirim e na bacia Colosso, observa-se que os tempos de concentração, recessão e base médios foram maiores na bacia Mirim (Floresta) do que na bacia Colosso (Pastagem). O tempo de pico



médio da bacia Colosso e da bacia Mirim resultaram similares.na escala de tempo utilizada nas observações (Fig. 13).

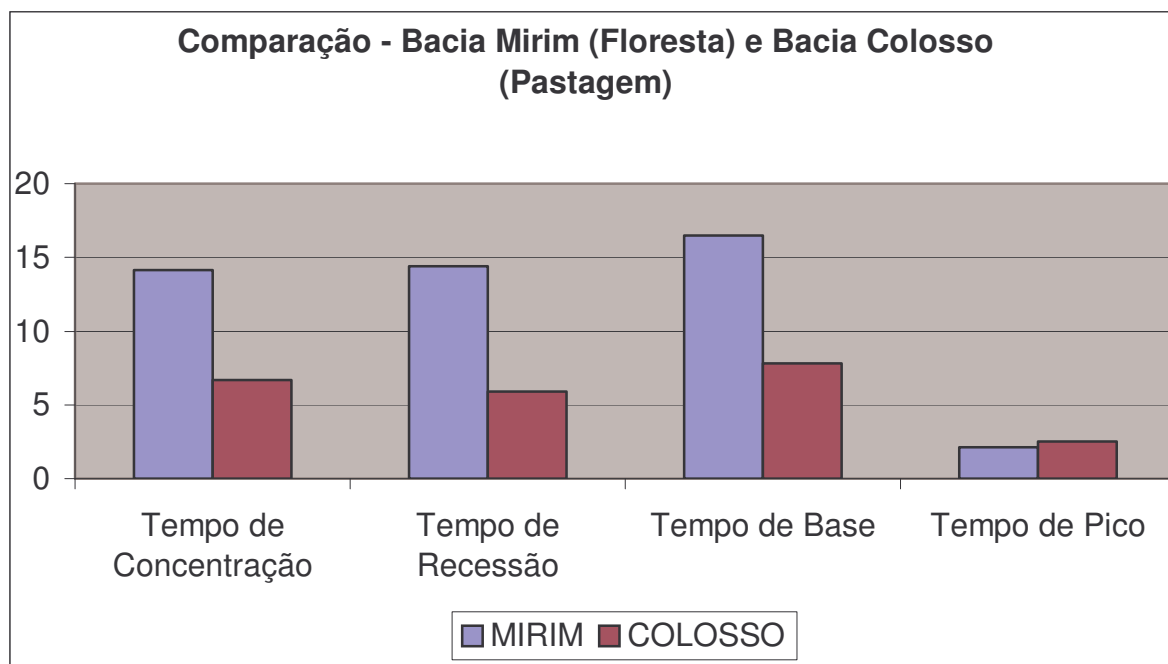


Figura 13 – Gráfico comparativo entre as Bacias Mirim (2006) e Colosso (2005)

## 6. CONCLUSÃO

Na análise dos dados de chuva foram observados alguns dados incoerentes devidos principalmente a entupimento dos pluviômetros. Estes foram ajustados tornando-os consistentes, permitindo a identificação dos eventos chuva-vazão.

Os estudos realizados permitem concluir que os eventos da bacia Mirim possuem uma ascensão rápida, com tempo de pico similar ao da bacia Colosso. Os hidrogramas na bacia Mirim apresentam um tempo de base longo com uma recessão estendida em comparação com a bacia Colosso. Isto pode ser atribuído ao efeito regulador da floresta, que torna maior o tempo de permanência da água na bacia (Fig. 0).

Foi possível observar que a aplicação dos métodos sintéticos para a obtenção do tempo de pico necessitam de ajustes em seus coeficientes, pois os resultados obtidos não corresponderam a realidade estudada. Apesar disso, o método de Snyder foi o que mais se adequou a bacia, pois possui um coeficiente de ajuste que

permite adaptar o método para os diferentes tipos de bacias hidrográficas. Essa característica permitiu obter um resultado mais próximo a realidade encontrada.

## 7. TRABALHOS FUTUROS

Para a conclusão do trabalho proposto inicialmente, é necessário o cumprimento dos seguintes objetivos:

1. Estudar os processos hidrológicos numa micro-bacia instrumentada, com cobertura de pastagem, na região Amazônica.
2. Identificar os principais parâmetros hidrológicos que regem o comportamento da bacia.
3. Comparar o comportamento hidrológico encontrado na bacia com àquele encontrado em uma bacia com cobertura florestal..
4. Analisar as variações dos parâmetros hidrológicos identificados em função da variação no uso do solo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andréassian V.: *Waters and forests: from historical controversy to scientific debate*. Journal of Hydrology, V. 291, I. 1-2, p. 1-27, 2004.

Brown, A.E., Zhang, L., McMahon, T.A., Western, A.W., Vertessy, R.A. *A review of paired catchments studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation*. Journal of Hydrology, v.310, p.28-61, 2005.

Bruijnzeel, L. A.: *Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?* Agriculture, Ecosystems & Environment, v.104, p.185-228, 2004.

Troncoso, Ralph: *Mudanças na cobertura da terra e alterações na resposta hidrológica de bacias hidrográficas na Amazônia*. Dissertação de Mestrado INPA/UFAM – Manaus- 2006.

*The Fortran Company*. Disponível em: < <http://www.fortran.com>>

*Excel Homepage – Microsoft Office Online*. Disponível em:

< <http://office.microsoft.com/pt-br/excel/default.aspx>>