

## Efeitos da mudança da cobertura florestal na vazão de uma sub-bacia na porção leste da Amazônia

Eder Paulo Moreira<sup>1</sup>  
Maria Isabel Sobral Escada<sup>1</sup>  
Laura de Simone Borma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
eder@dsr.inpe.br;isabel@dpi.inpe.br;laura.borma@inpe.br

**Abstract.** Several studies indicate that the replacement of natural vegetation cover in a given river basin tends to affect its hydrological characteristics. In general, deforestation causes an increase in the annual mean discharge. In the Amazonia tropical forest, where the deforestation area has increased, few studies analyse the effect of land cover and land use changes on the hydrological cycle. This study aims to determine whether such changes affect the discharge of a sub-basin in the state of Pará, eastern Amazônia. Thus, is displayed the analysis of time series of hydrological data of the area for two distinct periods in which the above hypothesis are verified using statistical tests. Based on land cover maps, the first period of the time series (1993-2002) is characterized by little deforestation area in the basin. The second period (2003-2012) occurred an intense deforestation, where 50.8% of the total area was deforested by 2012. The results shows that there is no meaningful difference in the annual mean precipitation between period 1 and 2. Occurred a 22.6% increase in the annual mean discharge of the sub-basin from period 1 to 2. The results suggest that deforestation altered the hydrological response of the sub-basin increasing its annual mean discharge.

**Key words:** hidrologia, bacia hidrográfica, mudanças climáticas, rios.

### 1. Introdução

Na Amazônia, a cobertura florestal tem sido monitorada pelo INPE a partir da estimativa de índices anuais de desmatamento desde 1988. A área desmatada total na Amazônia Legal brasileira chegou a cerca de 758.638 km<sup>2</sup> em 2013, o que representa 19 % da área de cobertura florestal (PRODES, 2014). A maior parte do desmatamento neste período ocorreu ao longo do “Arco do Desmatamento”, próximo das principais rodovias federais e estaduais. A facilitação de acesso às áreas intactas de floresta na Amazônia, especialmente devido à construção de rodovias como, por exemplo, a BR-230 (Transamazônica), em função de programas de estabelecimento de infra-estrutura, além, da ocupação em projetos de assentamentos do INCRA ao longo dessas rodovias, foi promovida pelo governo federal e contribuiu, em grande parte, para aumento do desmatamento (Machado, 1998; Fearnside, 2006).

A floresta possui maior evapotranspiração comparada com pastagem e agricultura, que propicia uma atmosfera mais úmida e consequentemente maior probabilidade de formação de nuvens e de chuva (Pielke et al., 1998; Bruijnzeel, 2004). Alguns estudos indicam que o desmatamento em larga escala da região Amazônica pode provocar alterações no clima regional (Nobre et al., 1991; Costa e Foley, 2000). Costa et al. (2003) avaliaram o efeito da mudança de uso e cobertura da terra na vazão do rio Tocantins utilizando dados de séries históricas de dois períodos distintos (1949–1968 e 1979–1998). Esses autores constaram que a precipitação para esses dois períodos foram estatisticamente iguais mas ocorreram redução na evapotranspiração e aumento no escoamento superficial e na vazão da bacia. Oliveira e Araújo (2013), em um estudo na sub-bacia Itacaiúnas, localizada no estado do Pará, não verificaram alterações nas características hidrológicas em decorrência da mudança de uso e cobertura da terra.

Estudos que avaliam o efeito de mudança do uso e cobertura da terra no ciclo hidrológico ainda são poucos, especialmente na região amazônica, onde o desmatamento tem ocorrido

frequentemente. Assim, o objetivo desse estudo é analisar o efeito da mudança da cobertura florestal, causado pelo intenso desmatamento, na vazão da sub-bacia do rio Pacajá, no estado do Pará, porção leste da Amazônia.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo está localizada em uma sub-bacia do rio Pacajá no centro-leste do estado do Pará (Figura 1), com uma área de 774.929 ha. A área é cortada pela BR-230, a rodovia Transamazônica, construída por volta do ano de 1970, o que pode ter favorecido o intenso desmatamento na área, detectado e mapeado no projeto PRODES (PRODES, 2014).

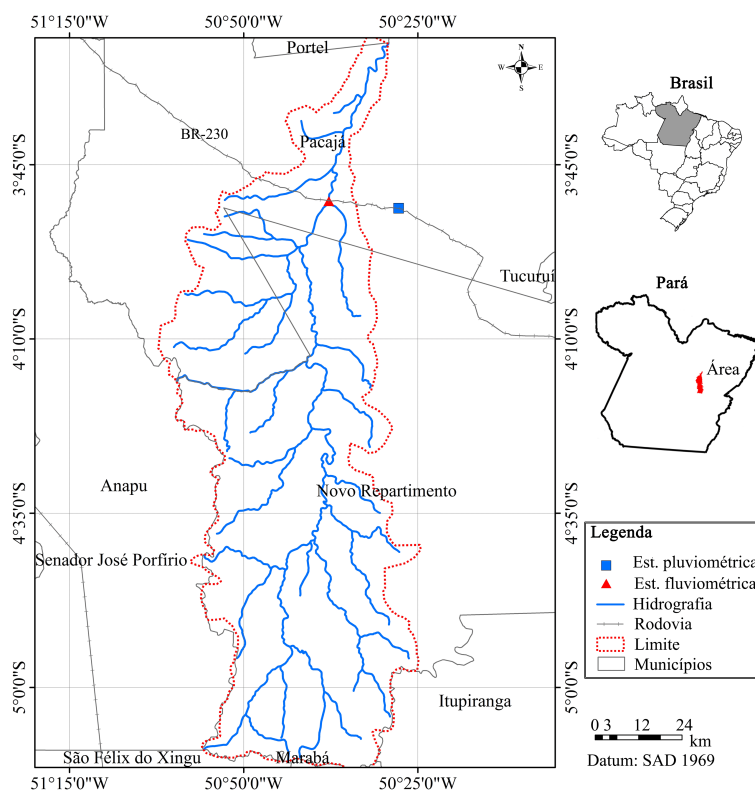


Figura 1. Localização da área de estudo (sub-bacia do rio Pacajá) e da estação pluviométrica e fluviométrica.

Para quantificação da mudança de uso e cobertura da terra foram utilizados dados do projeto PRODES (PRODES, 2014) e do TerraClass (EMBRAPA e INPE, 2014), que foram recortados para a área de estudo e reclassificados para atenderem às demandas desse estudo.

Para analisar os efeitos da mudança da cobertura sobre a vazão da sub-bacia foram utilizados os dados de vazão e precipitação obtidos em uma estação fluviométrica e em uma pluviométrica (Figura 1), respectivamente. Esses dados foram obtidos no portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (endereço <http://hidroweb.ana.gov.br/>). Os dados de vazão da estação fluviométrica começaram a ser medidos em 1984.

Após análise prévia dos dados, observou-se a existência de alguns anos com vários dias sem dados de vazão e precipitação, conforme apresentado na Tabela 1, comprometendo os anos de 90, 91 e 92 da série histórica que, por esse motivo, foram excluídos da análise. Assim, esse estudo analisou a série histórica que vai de 1993 a 2012. A precipitação média anual da área é de 2015 mm e a vazão média diária é de  $131 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , calculadas com as séries históricas de precipitação e vazão, respectivamente. Há uma variação sazonal da precipitação e da vazão, em que a variação da vazão oscila com a precipitação, com o ano hidrológico ocorrendo de outubro a setembro (Figura 2).

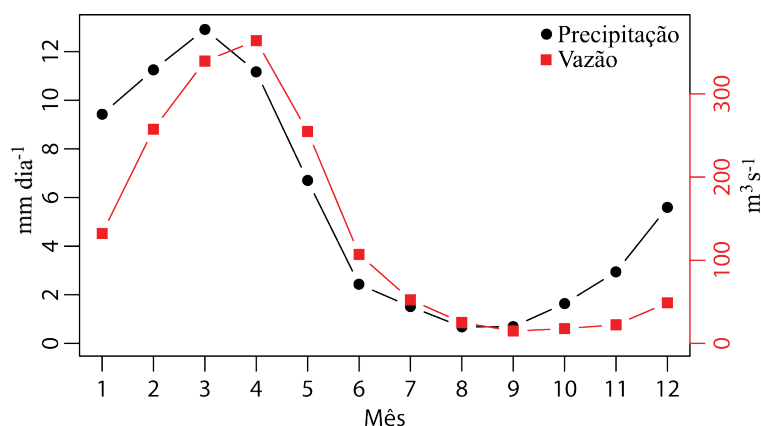


Figura 2. Média mensal da precipitação e da vazão considerando o período de 1984 à 2012 na área de estudo.

Tabela 1. Número de dias do ano sem dados de precipitação e vazão na área de estudo

Ano	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Precipitação	0	0	0	1	0	0	0	116	0	0	0	0	0	0	0
Vazão	0	0	0	0	0	0	122	146	228	0	0	0	0	0	0
Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Precipitação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	31	0	0	
Vazão	0	0	0	0	0	0	0	0	31	29	33	0	28	91	

Obs.: Níveis de cinza mais claros indicam valores menores e níveis de cinza mais escuros, maiores.

Na metodologia do estudo de Costa et al. (2003), os autores optaram pela divisão da série história em dois períodos de vários anos cada um deles, sendo o primeiro período usado como referência e o segundo caracterizado por intensa mudança no uso e cobertura em relação ao primeiro. No presente estudo também foram adotados dois períodos: o primeiro compreende os anos de 1993 a 2002, caracterizado por ser um período de pequena dinâmica de desmatamento. O segundo período, de 2003 a 2012, caracteriza-se por uma alta taxa de conversão da floresta (PRODES, 2014).

A comparação dos dois períodos foi feita por meio do cálculo da média de vazão e de precipitação. Para analisar se houve mudanças estatisticamente significativas nas médias de precipitação e vazão de um período para o outro foi utilizado o teste-t. Essa comparação de médias foi feita numa primeira etapa, utilizando todos os dados de cada um dos períodos, numa segunda etapa, utilizando somente dados do trimestre chuvoso e, por último, com dados do trimestre seco.

### 3. Resultados e Discussão

Observa-se que em 1997 o desmatamento detectado foi de apenas 3,7% da área total, e que essa porcentagem aumentou nos anos subsequentes, chegando a 50,8% em 2012 (Tabela 2). No final do período 1 (1993-2002), apenas 18,2% da área estava desmatada, enquanto que no período 2 (2003-2012), em 2012, 50,8% da área encontrava-se desmatada (Figura 3, PRODES).

Os dados fornecidos pelo TerraClass indicam para quais tipos de uso e cobertura o desmatamento foi transformado. Observa-se que praticamente metade da área desmatada se transformou-se em pasto limpo e que cerca de 16% da área desmatada se tornou vegetação secundária ou regeneração com pasto (Figura 3 e Tabela 3).

Tabela 2. Quantidade de área do desmatada anualmente na área de estudo

Ano	Desmatamento		Ano	Desmatamento	
	Anual ha	Acumulado %		Anual ha	Acumulado %
1997	28.604,8	3,7	2006	29.091,6	33,9
2000	37.253,1	8,5	2007	26.970,5	37,4
2001	69.320,1	17,4	2008	35.556,9	42,0
2002	5.693,6	18,2	2009	23.543,2	45,0
2003	4.4674,4	23,9	2010	20.528,3	47,7
2004	2.8580,4	27,6	2011	14.324,4	49,5
2005	1.9726,5	30,2	2012	9.506,1	50,8
<b>ÁREA TOTAL</b>			<b>774.929,8</b>	<b>100,0</b>	

Fonte: PRODES (PRODES, 2014).

Tabela 3. Área dos diferentes usos e cobertura da área de estudo com dados do TerraClass

Uso e cobertura	Área		Uso e cobertura	Área	
	ha	%		ha	%
Pasto com solo exposto	11,8	0,0	Desflorestamento	20.488,6	2,6
Outros	20,7	0,0	Pasto sujo	23.694,9	3,1
Não-Floresta	62,8	0,0	Regeneração com pasto	43.970,4	5,7
Hidrografia	371,7	0,0	Vegetação secundária	80.384,3	10,4
Área não observada	415,8	0,1	Pasto limpo	198.100,7	25,6
Mosaico de ocupações	624,0	0,1	Floresta	406.106,0	52,4
Área urbana	678,2	0,1			
<b>TOTAL</b>			<b>774.929,8</b>	<b>100,0</b>	

Fonte: EMBRAPA e INPE, 2014.

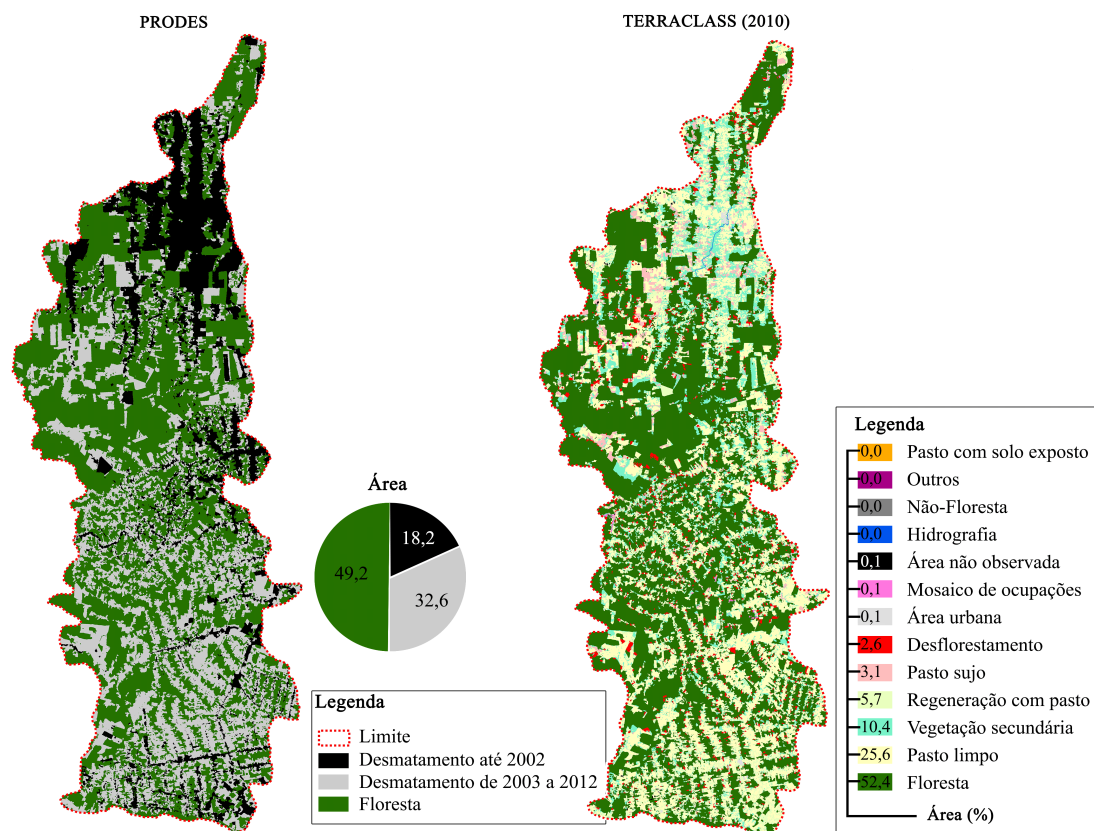


Figura 3. a) Área de desmatamento mapeada no projeto PRODES (PRODES, 2014) até o ano de 2002 (em preto) e entre 2003 a 2012 (em cinza); b) uso e cobertura da terra mapeado no projeto TerraClass (em 2010) para as áreas desmatadas (EMBRAPA e INPE, 2014).

Os dados de precipitação (P) e de vazão (Q) estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que a média de precipitação para o período 2 foi 12,3% maior que a do período 1, enquanto que a vazão do período 2 foi 22,6% maior que a do período 1.

Tabela 4. Média das variáveis hidrológicas da área de estudo

Período	P mm dia <sup>-1</sup>	Q m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>	Q mm dia <sup>-1</sup>
1993-2002	5,20	118,0	1,31
2003-2012	5,84	144,7	1,61

Onde, P é a precipitação e Q é a vazão.

As análises estatísticas indicam que a precipitação do período 1 e a do período 2 não são significativamente diferentes a um nível de significância de 0,05 (Tabela 5). Já a vazão do período 2 é significativamente maior do que a do período 1 ( $p$ -valor < 0,05). Esses resultados indicam que a mudança de uso e cobertura da terra na sub-bacia nesses dois períodos pode ter levado a esse aumento na vazão da sub-bacia. Esses resultados foram semelhantes aos de Costa et al. (2003), que analisando dois períodos com precipitações semelhantes (1949–1968 e 1979–1998) na bacia do Rio Tocantins, constataram que mudanças no uso e cobertura da terra tiveram influência no aumento da vazão da bacia em cerca de 24%.

Tabela 5. Teste t para a precipitação e para a vazão considerando dois períodos na área de estudo

	P (mm dia <sup>-1</sup> )		Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
Média	5,20	5,84	118,0	144,7
Variância	155,9	167,3	19893,5	28356,8
Observações	3652	3591	3652	3439
Hipótese da diferença de média	0		0	
Estatística t	-2,16		-7,22	
P( $T \leq t$ ) bi-caudal	0,03		$5,58 \cdot 10^{-13}$	
P( $T \geq t$ ) uni-caudal	0,98		1,00	

P é a precipitação e Q é a vazão.

Pela análise da média das vazões e precipitações das estações chuvosas e secas, observa-se que a precipitação não é significativamente diferente (nível de significância de 0,05) comparando as estações secas dos dois períodos (Tabela 6). O mesmo ocorreu comparando as estações chuvosas dos dois períodos. Já a vazão do período 2 é significativamente maior, tanto na estação seca, quanto na chuvosa. É interessante notar que, no período seco, a vazão do período 2 é em média quase o dobro da do período 1. Isso pode indicar que a mudança no uso e cobertura, em que grandes áreas de florestais foram convertidas para pastagem, favoreceu a manutenção do rio a um nível mais elevado no período 2, talvez pela menor perda relativa de água do solo por evapotranspiração.

Tabela 6. Teste t para precipitação e vazão considerando a estação chuvosa e seca da área de estudo

	Estação chuvosa		Estação seca	
	P (mm dia <sup>-1</sup> )		P (mm dia <sup>-1</sup> )	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
Média	10,61	11,81	0,88	0,75
Variância	307,1	271,5	18,0	12,8
Observações	902	903	901	889
Hipótese da diferença de média	0		0	
Estatística t	-1,50		0,65	
P(T≤t) bi-caudal	0,133		0,510	
P(T≥t) uni-caudal	0,93		0,255	

	Estação chuvosa		Estação seca	
	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )		Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
Média	282,5	336,2	13,25	24,18
Variância	20198,6	26385,4	110,7	200,5
Observações	892	831	920	889
Hipótese da diferença de média	0		0	
Estatística t	-7,27		-18,58	
P(T≤t) bi-caudal	5,28.10 <sup>-28</sup>		2,2.10 <sup>-16</sup>	
P(T≥t) uni-caudal	1,00		1,00	

P é a precipitação e Q é a vazão. O período chuvoso para cálculo de P compreende os meses de janeiro, fevereiro e março e o período seco os meses de julho, agosto e setembro. O período chuvoso para cálculo de Q compreende os meses de fevereiro, março e abril e o período seco, os meses de agosto, setembro e outubro.

Observa-se que, ao longo do ano, a precipitação do período 2 é ligeiramente superior a do período 1 na metade do ano mais chuvosa, mas essa diferença não é estatisticamente diferente. Na outra metade do ano mais seca, as precipitações são bastantes similares. A vazão se mostra superior ao longo de todo o ano, inclusive nos meses secos como foi discutido anteriormente (Figura 4 e Tabela 6).

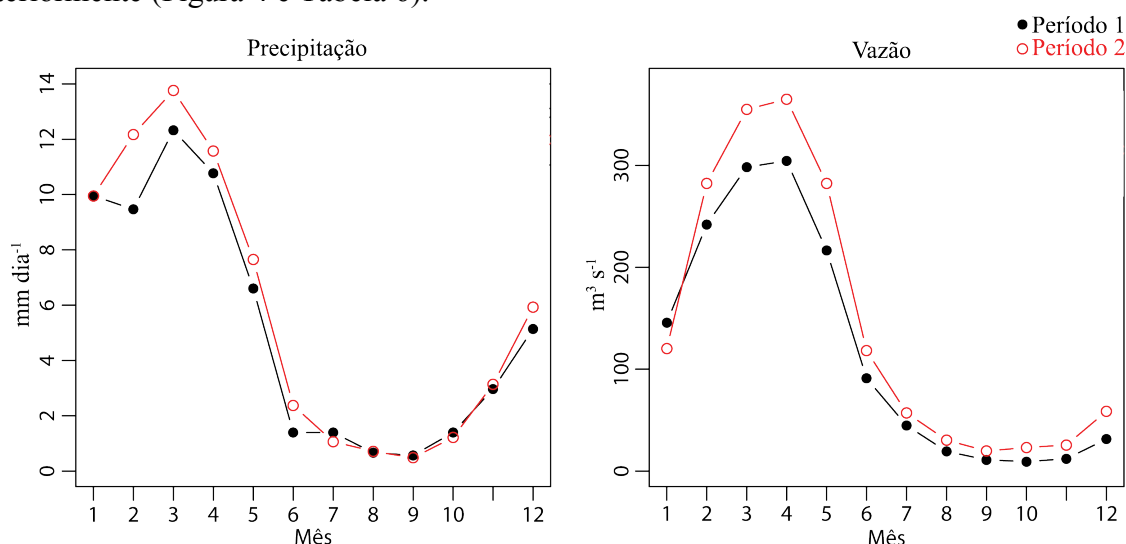


Figura 4. Média da precipitação e da vazão considerando o período 1 (1993-2002) e 2 (2003-2012).

A vazão responde mais a precipitação no período 2 do que no período 1, ou seja, estima-se que para uma mesma quantidade de chuva, a vazão é maior no período 2 (Figura 5 e 6). Pelas retas das regressões lineares da Figura 5, estima-se que se chover 10 mm em um dia, a vazão no período 2 será 5,4% maior que no período 1.

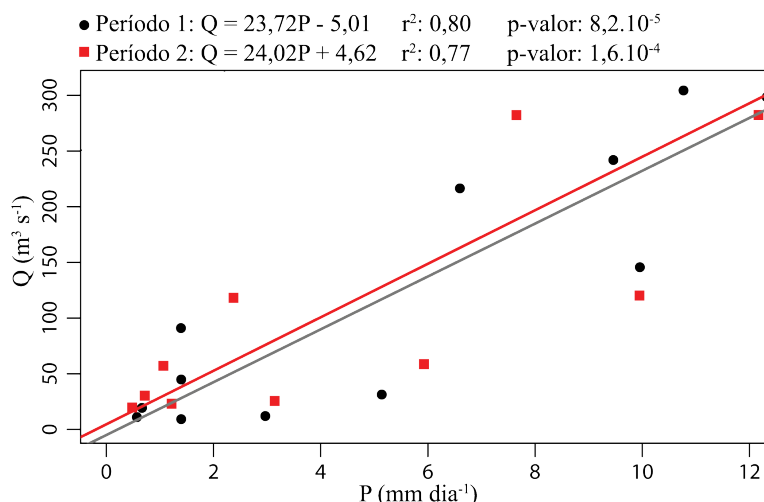


Figura 5. Diagrama de dispersão da vazão (Q) em relação a precipitação (P) para o período 1 (1993-2002) e 2 (2003-2012) na área de estudo.

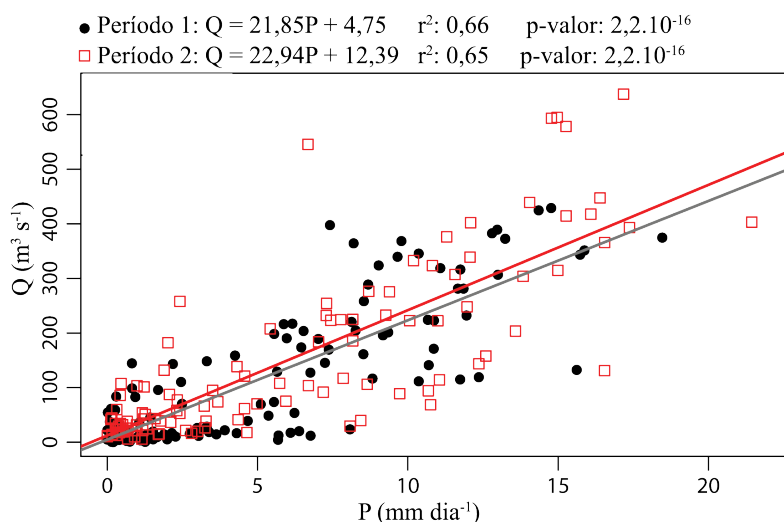


Figura 6. Diagrama de dispersão da vazão (Q) em relação a precipitação (P) para o período 1 (1993-2002) e 2 (2003-2012) na área de estudo.

#### 4. Conclusões

Ocorreu uma intensa mudança no uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Pacajá, sendo que no final do período 1 (1993-2002) havia 18,2% de área desmatada e no período 2 (2003-2012), 50,8%. Os resultados desse trabalho indicam que ocorreu alteração no balanço hídrico da sub-bacia do rio Pacajá entre os dois períodos analisados causada pelo desmatamento. Embora a precipitação não tenha diferenciado significativamente entre os dois períodos, houve um aumento médio na vazão da sub-bacia do período 1 para o período 2 de 22,6%. Esse aumento médio coincidiu com o período em que houve maior perda da cobertura florestal, passando de 18% para 52%. No trimestre seco, apesar da precipitação média ter sido praticamente a mesma nos dois períodos, a vazão do período 2 foi 80% maior que no período 1.

## Referências Bibliográficas

- Bruijnzeel, L.A. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n. 104, p. 185–228, 2004.
- Costa, M.H.; Botta, A.; Cardille, J. Costa, M.H.; Botta, A.; Cardille, J.A. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, v. 283, p. 206-217, 2003.
- Costa, M.H.; Foley, J.A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on the climate of Amazonia. **Journal of Climate**, v. 13, p. 18-34, 2000.
- EMBRAPA; INPE. **TerraClass**: Levantamento de dados de uso e cobertura da terra na Amazônia - 2010. 2012. Disponível em: <[http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/terraclass2010.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php)>. Acesso em: 20 Out. 2014.
- Fearnside, P.M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e conseqüências. **Megadiversidade**, n. 1, 2006.
- Machado, L. A fronteira agrícola na Amazônia. In: Becker, B.K.; Christofolletti, A.; Davidoch, F.R.; Geiger, R.P.P. (Org.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo: Editora Hucitec, 1998, p. 181-217.
- Nobre, C.A.; Sellers, P.J.; Shukla, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4, p. 957-988, 1991.
- Oliveira, R. C. Araujo, R. C. Estudo da Ocorrência de Mudanças Temporais na Precipitação e Descarga da Sub-bacia do Rio Itacaiúnas, Sudeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 148-156, 2013.
- Pielke, R.A., Avissar, R., Raupach, M., Dolman, A.J., Zeng, X., Denning, S. Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate. **Global change biology**, n. 4, p. 461-475, 1998.
- PRODES. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>. Acesso em: 07.out.2014.