

RELAÇÕES HIDROLÓGICAS ENTRE A PLUVIOSIDADE E A VAZÃO EM UMA SÉRIE TEMPORAL (2007-2009) DE UMA BACIA DE DRENAGEM DE USO MISTO – TERESÓPOLIS, RJ, BRASIL

Carla Semiramis SILVEIRA ¹ & Keila Valente de SOUZA ²

(1) Departamento de Geoquímica, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Campus do Valonguinho.

5º andar, sl. 522. CEP 24020-141. Niterói, RJ. Endereço eletrônico: carla@geoq.uff.br

(2) Faculdade de Geografia; Laboratório de Geoprocessamento da Faculdade de Geologia Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ. Endereço completo – Ilha do Fundão.

CEP 21941-908. Rio de Janeiro, RJ. Endereço eletrônico: keilavalente21@gmail.com

Introdução
Área de Estudo
Materiais e Métodos
Resultados e Discussões
 Chuva
 Chuva Anual e Mensal
 Chuva Diária
 Relação Chuva-Vazão
 Vazão Anual e Mensal
 Comportamento Sazonal da Vazão
 Hidrologia de Eventos Extremos
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – A bacia do rio Paquequer (269 km²), município de Teresópolis, região serrana do Estado do Rio de Janeiro é ocupada por floresta, vegetação em diferentes estágios de sucessão vegetal e uma expressiva área urbana ao longo do vale principal do rio. Objetivou-se caracterizar hidrologicamente a bacia com base em uma série temporal de chuva e vazão. Na área ocorrem granitos e gnaisses com latossolos e cambissolos. Dados de precipitação e de vazão foram coletados entre junho/2007 e maio/2009. A cabeceira é mais chuvosa (2800 mm/ano) que a foz da bacia (1400 mm/ano), com o mesmo padrão sazonal de chuvas. Chuvas acima de 10 mm na cabeceira, são suficientes para gerar hidrógrafa (*lagtime* de até 24 horas) na foz, distante 38 km. Uma precipitação extrema (20 mm/h) ocasiona um aumento de até 9,5 vezes da vazão, o fluxo máximo é influenciado pela condição antecedente e o *lagtime* é de 6-20 horas. Fluxos rápidos têm grande importância na vazão do rio, principalmente no verão, mascarando a contribuição dos fluxos subsuperficial e subterrâneo. A área urbana, as grandes declividades, solos rasos e muitos afloramentos rochosos explicam este comportamento hidrológico. O conhecimento gerado pode subsidiar um sistema de alerta para as frequentes enchentes no núcleo urbano de Teresópolis.

Palavras-chave: hidrologia, hidrógrafa, tempo de resposta, Paquequer.

ABSTRACT – C.S. Silveira & K.V. de Souza - *Hydrological relationship between rainfall and discharge temporal range in a multiple land use drainage basin in Teresópolis, RJ, Brazil.* Paquequer basin (269 km²), is located in Teresópolis, a mountainous region of Rio de Janeiro state. It is covered by forest, vegetation in different ecological succession stages and a meaningful urban area along the river main valley. The basin was hydrological characterized based on rainfall and discharge analysis from a temporal range. Granites and gneisses are covered by latosols and cambisols. The hydrological data (rainfall and discharge) were collected between June/2007 and May/2009. The headwater is more rainy (2800 mm/year) than the basin outlet (1400 mm/year), but the seasonal rainfall pattern is the same. Headwater rainfall above 10mm is enough to form a hydrograph at the basin outlet (38 km away), within 24 hours. Under extreme precipitation (above 20 mm/h) discharge increases up to 9.5 times, peak discharge is controlled by antecedent flow condition and the average lagtime is 6-20 hours. Fast flows are very important in the stormflow, mainly in summer, hiding subsurface and subterranean flow contributions. The urban areas, the presence of great slopes, shallow soils and rocky outcrops explain this hydrological behavior. The results developed can be used in a flooding warning system to help city management.

Keywords: hydrology, hydrograph, lagtime, Paquequer.

INTRODUÇÃO

O conhecimento hidrológico de uma bacia de drenagem é fundamental para a avaliação de seus recursos hídricos e de possíveis questões ambientais. Casos como o racionamento de energia no Brasil em

2001 e as frequentes enchentes em áreas urbanas ilustram a importância do estudo mais detalhado e sistemático dos processos hidrológicos de chuva e vazão (Salgado et al., 2007). Segundo Aguiar & Nunes

(2006), o conhecimento da variabilidade pluviométrica dá suporte às atividades econômicas e limita os impactos dos distúrbios no ambiente físico e dimensões humanas correlatas. A determinação de frequência de chuvas de diferentes magnitudes é fundamental para a aplicação de modelos matemáticos e a previsão (Davis & Naghettini, 2001).

A bacia de drenagem é a área fonte na qual a precipitação, através de diferentes trajetórias, alcança o canal fluvial (Leopold et al., 1964), ou seja é reconhecida como a área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum (Coelho Netto, 2005). Segundo a Lei 9.433 de 08/01/1997 da Política Nacional dos Recursos Hídricos a bacia de drenagem é o instrumento de gestão nos planos de recursos hídricos elaborados para bacias, estados e para o país e serve para o planejamento das intervenções humanas. Ainda segundo Curvello et al. (2008), os estudos de bacias hidrográficas como unidades territoriais integradoras da gestão de recursos hídricos são necessários para garantir o uso sustentável dos recursos naturais dessa mesma bacia.

Segundo Klemes (1982) o conhecimento dos processos operantes na bacia de drenagem também é fundamental na elaboração de um modelo hidrológico de base física. Ao considerar as causas e estabelecer relações entre parâmetros ambientais tais como geologia, tipo de solo, uso do solo e geomorfologia e a resposta hidrológica, um modelo hidrológico de base física indica as consequências de cenários diversos e subsidia o planejamento (Klemes, 1981). A necessidade de planejamento urbano exige o prévio conhecimento dos efeitos da urbanização, como a alteração do uso do solo da bacia. A urbanização e o uso do solo, caóticos

ou não, provocam a redução da capacidade de armazenamento natural dos deflúvios, levando a inundações. As enchentes urbanas constituem-se num dos importantes impactos sobre a sociedade que podem ocorrer devido à urbanização ou à ocupação da várzea ribeirinha (Tucci et al., 1995). Os dados para o planejamento, geralmente obtidos de forma indireta, possibilitam a simulação de modelos que determinam hidrogramas, denominados sintéticos (Conholi, 2005). Tucci et al. (1998) aponta que a Hidrologia visa conhecer e controlar os efeitos da ocupação do solo nos diversos componentes do ciclo hidrológico. Desta forma ao se analisar parâmetros hidrológicos é possível melhorar ou propor novas soluções em relação a obras e a forma de ocupação de maneira a reduzir os impactos do meio ambiente como, por exemplo, enchentes.

Segundo Oliveira (1999), a cidade de Teresópolis se expandiu nas margens do rio Paquequer e tem sofrido com as enchentes em função da ocupação urbana acelerada e desordenada. A impermeabilização das planícies de inundação, o desmatamento, a ocupação das encostas além da própria geomorfologia natural têm agravado tal quadro. O estabelecimento de uma relação entre os parâmetros aqui analisados (chuva e vazão) além de caracterizar o comportamento da bacia do rio Paquequer, fornece informações importantes para gestão municipal porque permite determinar períodos críticos sujeitos a catástrofes, do tipo de enchentes e movimentos de massa.

Nesta linha objetiva-se determinar o padrão de resposta hidrológica da bacia do rio Paquequer para eventos de chuva com base em uma série temporal de pluviosidade e vazão.

ÁREA DE ESTUDO

O rio Paquequer nasce na Serra dos Órgãos e a sua bacia drena uma área de 269 km² no município de Teresópolis, região serrana do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1). O canal principal é de 5^a ordem, com aproximadamente 38 km de comprimento.

A importância que o rio Paquequer tem para a cidade de Teresópolis é representada pelo seu grau de uso com as diversas atividades econômicas que vão desde o lazer, a captação de água para o abastecimento urbano e agrícola. Ele deságua no rio Preto, que fornece grande parte da água para abastecer o município de Teresópolis. O rio Preto é afluente do Piabanha (que faz parte da bacia do rio Paraíba do Sul). A bacia do Paquequer é montanhosa com altitudes de 2000 a 700 m. A nascente do rio se localiza dentro dos limites do Parque Nacional da Serra dos Órgãos que apresenta

floresta de Mata Atlântica ainda em bom estado de conservação.

A bacia engloba uma parte do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (9 km² - onde está situada a cabeceira do rio Paquequer) e parte da Área de Proteção Ambiental Estadual da Floresta do Jacarandá (14 km²) (Schumm, 2003). Os dados de uso de 2007 referentes à bacia apontam para a dominância de floresta e vegetação em diferentes estágios de sucessão vegetal (inclusive pasto), mas a área urbana tem expressiva ocorrência, principalmente ao longo do vale do rio Paquequer (Gomes et al. 2009). A análise histórica (de 1976 e 1996) da dinâmica da vegetação na bacia mostrou que a regeneração avançada ocorreu preferencialmente nas encostas mais úmidas e com menor insolação, enquanto o desmatamento deu-se

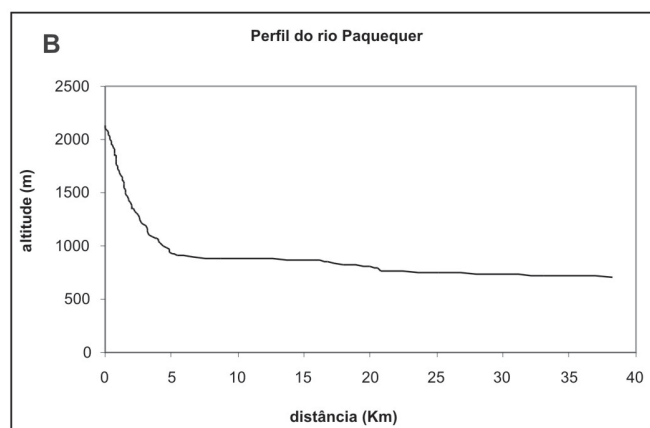
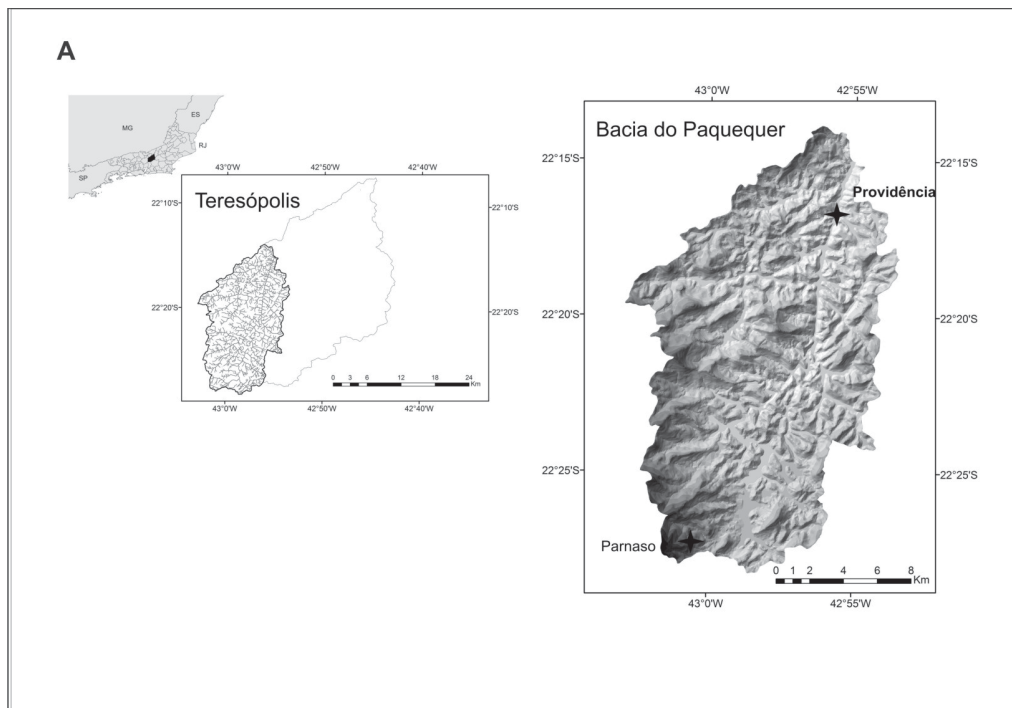


FIGURA 1. A) Localização da bacia do rio Paquequer no município de Teresópolis, e relação do município (destacado em preto) dentro do Estado do Rio de Janeiro. Modelo Digital de Terreno da bacia do rio Paquequer e localização das estações de medição de chuva e vazão (Providência na foz da bacia) e de chuva (Parnaso na cabeceira). B) Perfil longitudinal do canal principal do rio Paquequer.

principalmente nas áreas de baixa declividade e com maior insolação (Silveira & Silva, 2010). Conforme apresentado por Costa et al. (2009), os solos que se concentram na Serra do Mar, onde se localiza a bacia do Rio Paquequer, são os que apresentam maior fator de erosividade da chuva do Estado do Rio de Janeiro.

O clima é Mesotérmico Brando úmido a super úmido (umidade média de 82% a 86%) com temperatura média de 18°C e pluviosidade anual variando de 1500 mm a jusante da bacia até mais de 3000 mm na cabeceira (Cwb na classificação de Köppen). As chuvas predominam na estação do verão (Schumm, 2003; Davis & Naghettini, 2001).

A geologia (1:50.000) é constituída de três unidades (UERJ/IBGE, 1999) que são associadas a declividade, solos e depósitos gerando uma paisagem característica para cada uma (Silveira & Ramos, 2007).

A Unidade Granito Teresópolis é composta por (Hornblenda)-Biotita Monzogranito de idade pré-cambriana, que ocorre em 6 % da área da bacia, na forma de lentes, principalmente no médio curso da bacia e também nos divisores próximo e na Pedra do Sino (sul da bacia). Esta litologia destaca-se na paisagem pela alta declividade, muitos afloramentos rochosos, solos litólicos e depósitos de colúvios com grandes blocos em uma matriz argilosa. Provavelmente isto é

devido ao fato desta rocha ser intrusiva, relativamente homogênea e mais recente. Isto determina o seu intemperismo físico e químico uniforme, em blocos, que ao se desestabilizarem descem a encosta na forma de fluxos de detritos e contribuem para a dominância de colúvios com blocos.

A Unidade Batólito Serra dos Órgãos é dominante na bacia (60 %) e composta por um granito pré-cambriano, metamorfizado com foliação NE-SW. Na paisagem ele ocorre de forma similar ao granito Teresópolis, intermediário entre este último e a unidade Rio Negro.

A Unidade Rio Negro é composta por migmatito alternado com gnaiss (idade pré-cambriana). Esta unidade ocorre em 34 % da área da bacia, principalmente na porção superior e média da bacia. A sua presença se distingue na paisagem pela grande ocorrência de elúvios e colúvios, poucos afloramentos rochosos, predominância de latossolos e vales fluviais alargados evidenciando o maior tempo de evolução deste relevo (em relação às demais litologias).

Diques de basalto de direção NE-SW e idade Mesozóica encontram-se dispersos pela bacia.

Os solos são predominantemente Latossolo Vermelho-Amarelos e Cambissolo e ocorrem ainda Gleissolos nos vales fluviais (UERJ/ IBGE, 1999). A análise por toposequência aponta que os Cambissolos álicos são dominantes e respondem por 76 % da área da bacia, seja em associação com Latossolo Vermelho-Amarelo ou com solos litólicos. Estes solos ocorrem sobre condições de relevo ondulado a montanhoso e

escarpado e apresentam pequena a média espessura o que desfavorece a infiltração (Silveira & Ramos, 2007). Secundariamente a classe de Gleissolo álico com baixa atividade em associação com solos aluviais ocorre em 15% da área da bacia (Silveira & Ramos, 2007). Eles são característicos dos vales fluviais e por isso encontram-se em condições saturadas ou próximo a saturação. A classe de solos de Latossolo Vermelho-Amarelo álico com cambissolo álico associado, em relevo suave ondulado a ondulado (que apresenta condições favoráveis a infiltração) só responde por 4 % da área da bacia. Os 5% restantes da área da bacia são ocupados pelos afloramentos rochosos. Estes últimos são áreas potenciais de geração de fluxo superficial (Coelho Netto et al., 1980).

Descrições pedológicas na área do Parque Nacional da Serra dos Órgãos identificaram uma gradação de classes de solos, aumentando a sua maturidade (desde afloramento rochoso até latossolos) do topo para a base das vertentes (Martins et al., 2007).

Em termos estruturais a bacia apresenta um sistema de falhas NE-SW e NW-SE, que condiciona o padrão de drenagem retangular/ treliça com tendência a sub-dendrítica e importantes deflexões do canal formando “cotovelos” (Silva, 2006). A direção da foliação principal (NE-SW, com mergulho para NW) das rochas pré-cambrianas controla a assimetria das encostas. As voltadas para sudeste são mais abruptas (Martins et al., 2007). No baixo curso o eixo principal do Paquequer tem direção norte, encaixado, gerando assimetria na bacia.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi baseado na análise dos dados de pluviosidade e vazão da bacia fazendo-se uso de ferramentas estatísticas. A coleta de dados hidrológicos foi realizada no período de dois anos (junho de 2007 a maio de 2009).

Na nascente do rio Paquequer a coleta de dados foi realizada na estação meteorológica automatizada Parnaso (INMET, instalada em novembro de 2006 dentro do Parque Nacional da Serra dos Orgãos) (Figura 2). Nesta estação a pluviosidade foi monitorada em intervalo de uma hora.

As medições próximas à foz do rio Paquequer foram feitas através da estação Providência (UERJ-UFF/CPRM) (instalada em maio de 2007) (Figuras 1 e 2). Esta estação é composta de um pluviômetro (leitura às 7:00) e um pluviógrafo com um sensor de nível acoplado a um datalogger medindo em intervalos de 30 minutos. Também foram instaladas régua limimétricas na estação Providência (leitura às 7:00 e



FIGURA 2. Foto da estação Providência, localizada na foz da bacia do rio Paquequer.

às 17:00). A bacia já contava com 2 estações pluviométricas porém elas apresentam registro intermitente e de poucos anos. Entretanto eles foram utilizados para o estudo regional de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro (Davis & Naghettini, 2001).

O cálculo da vazão foi feito através de uma curva chave obtida na estação Providência.

A análise hidrológica foi realizada no período de dois anos, na escala anual, mensal, diária e horária.

Especificamente foi feito um levantamento de diferentes classes de chuva diária e também de classe de chuvas maiores que 20 mm/h para subsidiar o conhecimento de processos catastróficos do tipo movimentos de massas e inundações.

Os dados pluviométricos e fluviométricos foram analisados estatisticamente (média, desvio padrão, coeficiente de variação e correlação) para o estabelecimento da funcionalidade hidrológica da bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

CHUVA

Chuva Anual e Mensal

A média dos dois anos estudados foi de 2800 mm na estação Parnaso e na Providência foi de 1400 mm. O montante elevado na estação Parnaso tem origem orográfica decorrente dos ventos úmidos que vem da baixada fluminense e são barrados na Serra dos Órgãos,

provocando a elevação das massas atmosféricas, seu resfriamento e precipitação no alto curso da bacia. Os valores encontrados estão em consonância com isoetas regionais feitas pelo Projeto Rio de Janeiro da CPRM (Davis & Naghettini, 2001) (Figura 3).

Apesar da disparidade entre os valores de chuva na nascente e na foz do rio Paquequer, o comportamento sazonal é idêntico, como é verificada na média

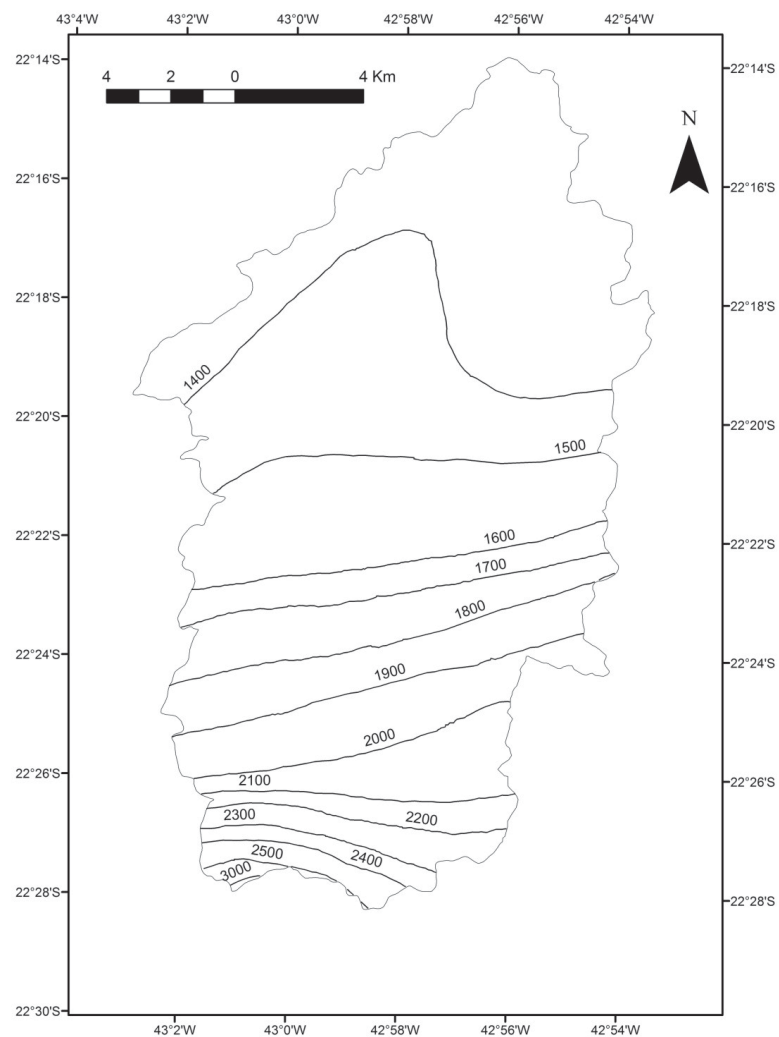


FIGURA 3. Recorte das isoetas regionais na bacia do Paquequer (Davis & Naghettini, 2001).

móvel das duas estações na Figura 4 e também no coeficiente r^2 mensal entre as duas estações de 0,80. Os menores índices de chuva se encontram nos meses de maio a agosto caracterizando um outono e inverno secos. Já os meses de novembro a abril apresentam alto índice de chuvas marcando uma estação de primavera e verão úmidos. O período de seca (menor índice pluviométrico) dura de 1 a 2 meses na cabeceira da bacia (Parnaso) e é levemente mais extenso na sua foz, 2 a 3 meses (Providência). Santos (2000) analisando outras duas estações (uma fora da bacia - estação Sobradinho e outra no centro da cidade - estação Teresópolis), já haviam apontado o padrão de invernos secos e verões chuvosos para o município de Teresópolis.

Chuva Diária

Para a análise de chuva diária foram inicialmente utilizados intervalos de 5 mm, mas como esta classificação foi muito extensa e não demonstrou distinção evidente para comportamentos sazonais foram utilizados intervalos de 10 mm que se mostraram mais adequados. Com base na distribuição de frequência acumulada das chuvas diárias para cada estação da bacia (Figura 5) e no seu significado hidrológico foram propostas 5 classes de chuva diária (Dyson, 2009): o percentil de 1% foi utilizado para identificar eventos de chuva muito forte, o percentil de 5% para determinar chuvas fortes e o de 10% para chuvas significativas. Desta forma foi possível identificar 3 classes. Considerando que o processo hidrológico de interceptação (Miranda, 1992) é capaz de reter chuvas de até 10 mm/dia este limite foi considerado como insignificante para a geração de fluxo hidrológico no canal e a última classe foi a de

chuvas normais (entre a da capacidade de interceptação e o valor de chuva significativa, percentil de 10%). Segundo Calvetti et al. (2006) idealmente deve-se trabalhar com até 5 classes de chuvas e as definidas neste estudo encontram-se na Tabela 1.

As classes de chuva forte e muito fortes pela própria frequência delas (5% e 1% respectivamente) tem intervalos de recorrência alto, baixa frequência, mas são capazes de provocar eventos catastróficos tais como movimento de massa, inundações, homogeneizando a resposta de diferentes usos de solo (Tucci & Clarke, 1998).

Para ambas as estações a classe de dias sem chuva é dominante durante o ano com exceção do verão, perfazendo períodos de estiagem de até 31 dias. Em termos de dias chuvosos a classe 0,2-10 mm/dia é a mais frequente em ambas as estações e especificamente no alto curso da bacia distribuí-se com igual frequência ao longo do ano (menor coeficiente de variação). Ou seja, as chuvas de magnitude pequena, capazes de serem interceptadas pela vegetação florestal são bem distribuídas durante o ano todo. As chuvas classificadas como normais ocorrem ao longo de todo o ano, mas são mais expressivas no verão. (Tabela 2 e Figura 6).

A classe de chuvas significativa tem ocorrência limitada aos meses de outubro a abril e as classes forte e muito forte são restritas ao verão, quando podem atingir até 10% da frequência das chuvas. A distribuição destas classes forte e muito forte tem padrão oposto ao da classe sem chuva, ou seja ela é mais expressiva nos meses em que ocorre o mínimo de dias sem chuva (Figura 6).

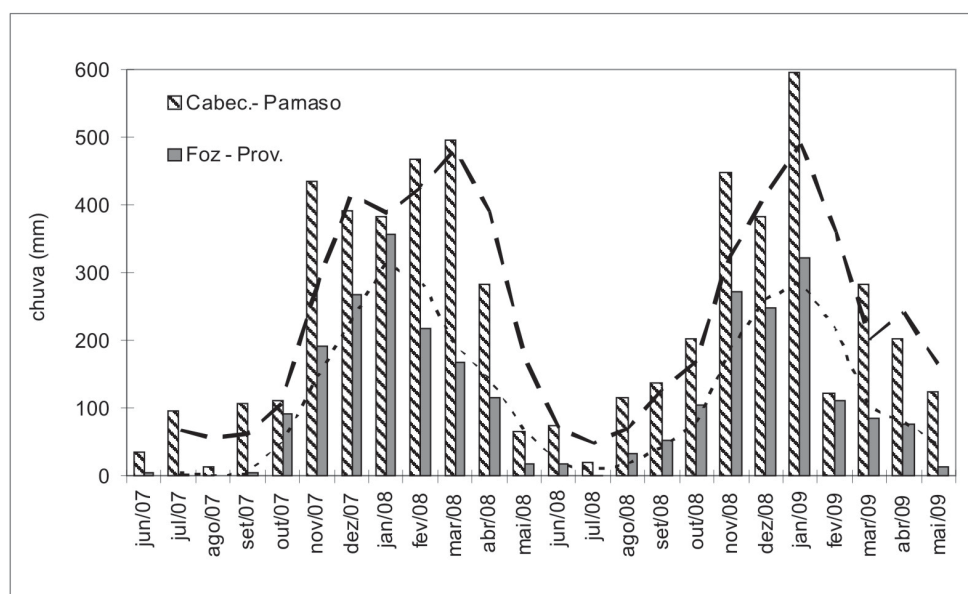


FIGURA 4. Distribuição mensal da chuva na cabeceira (Parnaso) e na saída da bacia (Providência) acompanhadas de suas respectivas médias-móveis no período de junho de 2007 a maio de 2009.

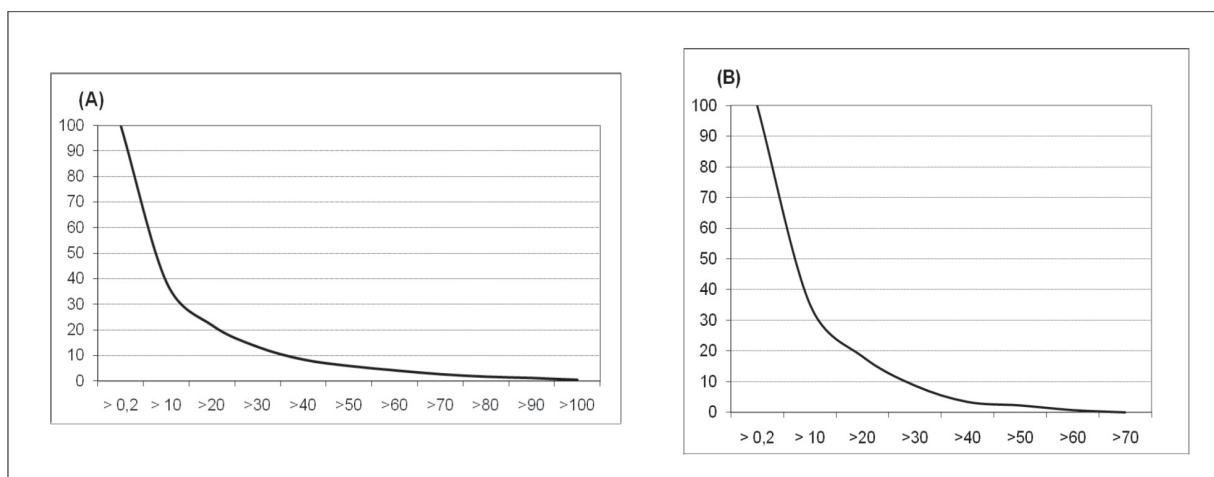


FIGURA 5. Distribuição acumulada de frequência de classes de chuva com intervalo de 10 mm para as estações Parnaso (A - cabeceira da bacia) e Providência (B - foz da bacia).

TABELA 1. Intervalos de chuva diária para cada estação e classificação adotada.

Características	Estação Parnaso – cabeceira Intervalo de precipitação (mm/dia)	Estação Providência – foz da bacia Intervalo de precipitação (mm/dia)
Dias sem chuva	0	0
Chuva passível de ser interceptada pela vegetação	0,2 – 10	0,2 – 10
Chuva normal	10,2 – 40	10,2 – 30
Chuva significativa	40,2 – 60	30,2 – 40
Chuva forte	60,2 – 90	40,2 – 60
Chuva muito forte	> 90	> 60,2

TABELA 2. Comparação da frequência de dias em um mês com diferentes classes de chuva diária para as estações Parnaso e Providência.

		0 mm/dia	0,2-10 mm/dia	10,2-20 mm/dia	20,2-30 mm/dia	30,2-40 mm/dia	40,2-50 mm/dia	50,2-60 mm/dia	60,2-70 mm/dia	70,2-80 mm/dia	80,2-90 mm/dia	90,2-100 mm/dia	>100 mm/dia
		Sem chuva	Interc.	Chuva normal			Signif.		Chuva Forte			Chuva Muito Forte	
Cabeceira (Parnaso)	média	43,5	34,5	9,6	4,7	2,9	1,4	0,9	1,0	0,5	0,3	0,4	0,3
	DP	20,7	10,0	8,6	3,9	3,8	2,4	1,8	1,8	1,2	0,9	1,1	0,9
	CV (%)	48	29	90	82	133	171	211	188	228	339	271	339
		Sem chuva	Interc.	Chuva normal		Signif.	Chuva Forte		Chuva Muito Forte				
Foz da bacia (Prov.).	média	64,2	23,4	6,1	3,1	1,9	0,4	0,5	0,3	-	-	-	-
	DP	24,2	14,3	5,8	4,0	3,0	1,2	1,6	0,9	-	-	-	-
	CV (%)	38	61	94	130	158	271	288	339	-	-	-	-

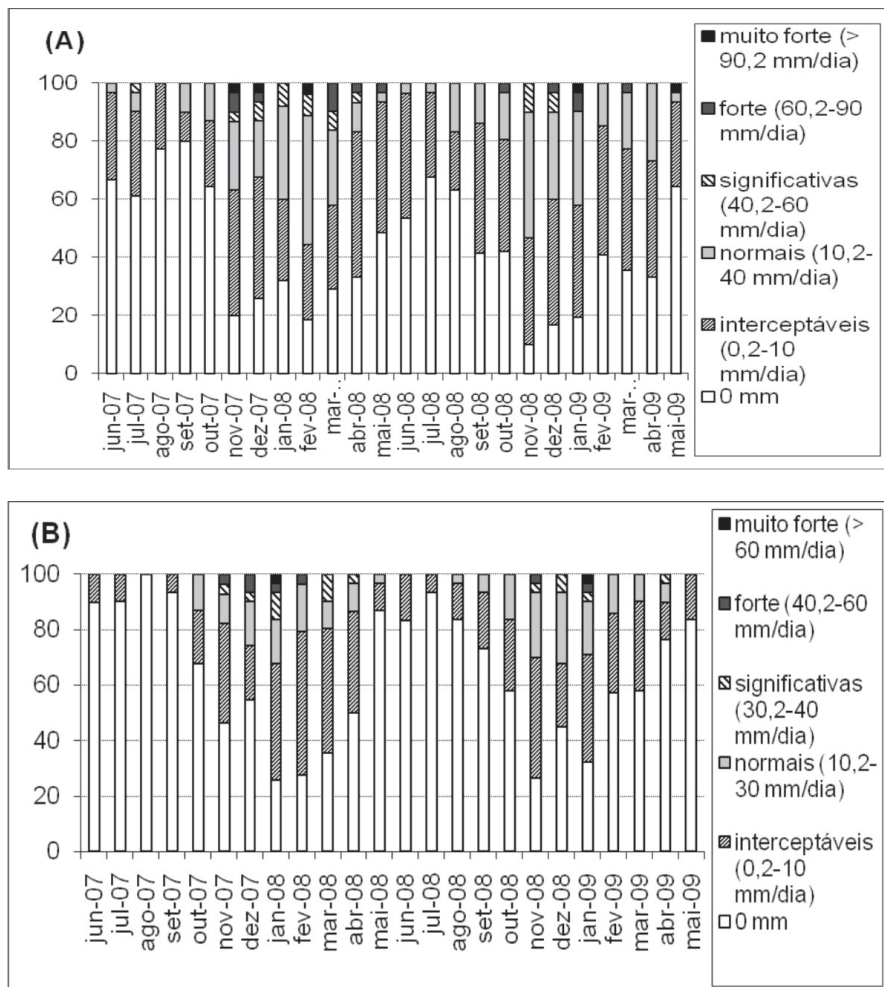


FIGURA 6. Distribuição de frequência de dias com diferentes classes de índices pluviométricos diários para a cabeceira (A) e foz da bacia (B).

RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO

Vazão Anual e Mensal

A hidrógrafa representa o resultado integrado de todos os processos geo-hidroecológicos atuantes na bacia de drenagem e é por isso um indicativo das características desta e da chuva promovendo diferentes tipos de escoamento ou fluxo (Freeze, 1974; Selby, 1985; Kobayama et al., 1998; Coelho Netto, 1998). A chuva alcança o rio (fluxo canalizado) através de 3 mecanismos: fluxo superficial, fluxo subsuperficial e o fluxo subterrâneo (Freeze, 1974). O fluxo superficial é também denominado hortoniano e é gerado somente durante a chuva quando a intensidade desta supera a capacidade de infiltração da superfície / solo. O volume de água em excesso escoam superficialmente e alcança o canal rapidamente porque tem uma trajetória curta. O fluxo subsuperficial é consequência da infiltração da água da chuva, ocorre na zona não-saturada do solo e percola (geralmente) entre contatos de horizontes de solo ou solo-rocha onde haja uma descontinuidade

hidráulica ou diferença de permeabilidade. A água infiltrada se acumula nesta superfície porque o fluxo vertical é mais lento e por consequência escoam subsuperficialmente. Estes fluxos podem ser rápidos ou mais lentos em função da espessura e das propriedades físicas do perfil do solo/rocha. O fluxo subterrâneo é o resultado do escoamento na zona saturada e por isso é o mais lento, porém constante ao longo de todo o ano.

Na bacia do rio Paquequer a vazão média anual é 5,7 m³/s, sendo que valores abaixo de 10 m³/s são dominantes (90 % do tempo) (Figura 7). Os valores anuais de chuva e vazão indicam uma relação Q/P da ordem de 35% a 40%, mas ela é superestimada porque o balanço hídrico da bacia é modificado uma vez que água de fora da bacia (rio Preto) é transposta para abastecimento do município de Teresópolis.

Os valores mensais médios oscilam entre 2,5 e 12 m³/s e acompanham a distribuição de chuva mensal com valores mínimos no inverno (Figura 8). Entretanto os dados sugerem que em condições de inverno mais

seco o sistema da bacia de drenagem apresente um tempo de resposta maior, não aumentando imediatamente a vazão com a entrada das chuvas (vide primavera de 2007). O fluxo de base estimado pelos valores mínimos de vazão é da ordem de $1\text{m}^3/\text{s}$.

Nos meses mais secos, de maio a setembro, a curva da vazão decresce em conformidade com a

diminuição de chuvas principalmente da cabeceira (Figura 8).

A vazão mensal da foz da bacia tem melhor correlação ($r^2 = 0,56$) com a chuva na cabeceira da bacia do que com a chuva na foz ($r^2 = 0,42$) (Figura 9). Chuvas acima de $10\text{mm}/\text{dia}$ na cabeceira geram sempre hidrógrafa no final da bacia.

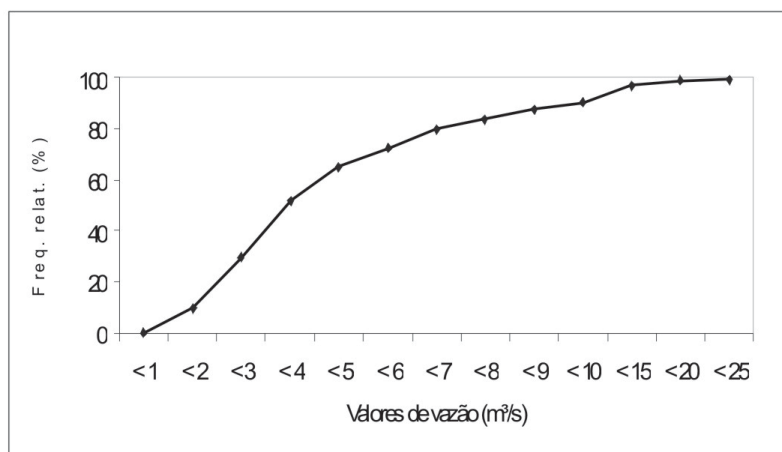


FIGURA 7. Frequência relativa de valores de vazão na foz da bacia do rio Paquequer. Notar que 50% da frequência é até $4\text{m}^3/\text{s}$ e 90% até $10\text{m}^3/\text{s}$

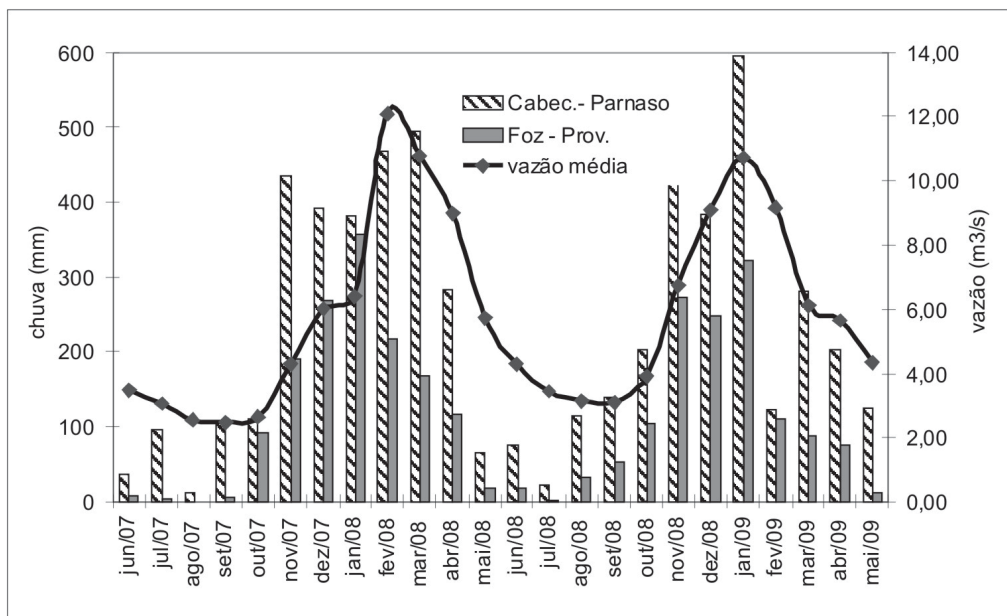


FIGURA 8. Relação entre a chuva na cabeceira (Parnaso), chuva na foz da bacia (Providência) e vazão na foz da bacia.

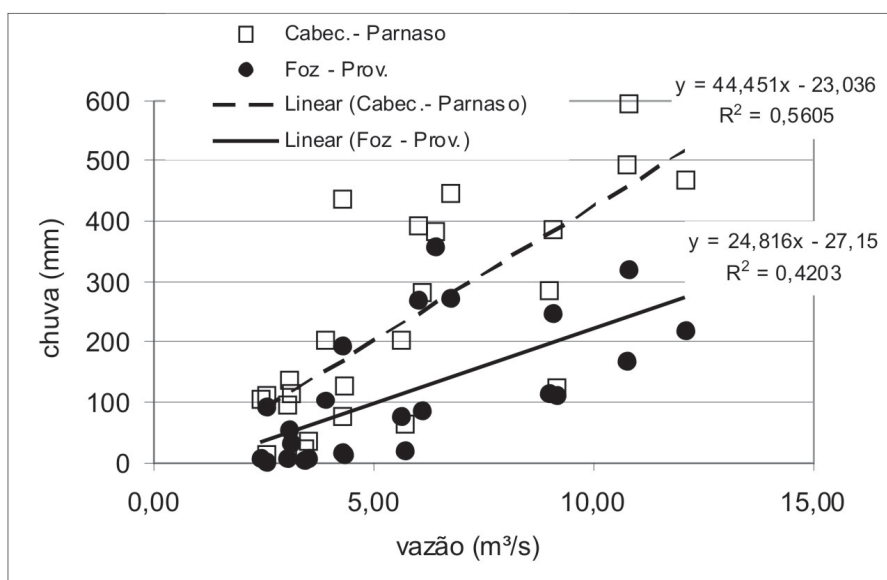


FIGURA 9. Relação entre chuva mensal na cabeceira e na foz e vazão na foz.

Comportamento Sazonal da Vazão

Foram identificados 4 períodos distintos de comportamento da vazão do rio (Figura 10):

- (i) Fluxo de base no nível mais baixo, quando a vazão do rio é dada pelo fluxo subterrâneo. Este período é geralmente entre junho a setembro quando as chuvas escasseiam (domínio de dias sem chuva, frequência de mais de 50%, sendo que na foz da bacia mais de 70%; chuvas até 10 mm/dia são as mais comuns; chuvas forte e muito forte não ocorrem) e o rio forma poucas hidrógrafas isoladas. As hidrógrafas geradas nesse período têm como característica principal *lagtime* em torno de 12 horas, podendo chegar a 20 horas e uma curva de recesso em torno de 48 horas. Este resultado indica que nesse período a bacia está com pouca água estocada e por isso o fluxo de chuva é bem distinto do fluxo de base. Mesmo nestas condições a influência da chuva da cabeceira na geração de hidrógrafas na bacia ainda é observada;
- (ii) Período de chuvas de pequena magnitude (as classes até 10 mm/dia são preponderantes, seguida pela classe de chuva normal; dias sem chuva ainda tem frequência alta; chuvas forte/muito forte são raras). O rio responde formando hidrógrafas com *lagtime* entre 6 a 10 horas e retorno a sua condição inicial de vazão 14 a 24 horas depois, podendo demorar até 2 dias se a chuva for de grande magnitude. Este período tem duração variável, geralmente em outubro podendo estender-se até dezembro. É a fase onde a bacia começa a estocar água porque as chuvas são mais frequentes;

- (iii) Período onde o fluxo de base do rio se eleva e mantém-se elevado mesmo após a descida das hidrógrafas. Os meses têm grande variabilidade de totais pluviométricos, e as chuvas acima de 10 mm/dia são expressivas na cabeceira (geralmente acima de 40%). Na foz apesar dos dias chuvosos serem dominantes, estes são geralmente de até 10 mm/dia. Os eventos de chuva forte e muito forte são comuns e alcançam até 10% da frequência mensal. É característico do período do verão, quando as chuvas são consecutivas provocando hidrógrafas superpostas com *lagtime* de até 5 horas;
- (iv) Período de descida contínua do fluxo de base causada pela diminuição do total de chuvas (50% da frequência mensal é de chuvas até 10 mm/dia na cabeceira, e chuvas forte e muito forte podem ainda ocorrer com baixa frequência). Como resultado a contribuição relativa do fluxo subterrâneo começa a aumentar.

A ocorrência de hidrógrafas isoladas no período seco caracteriza a contribuição de fontes superficiais de fluxo associadas a área urbana uma vez que nestas mesmas condições a vegetação florestal produz resposta hidrológica incipiente (Serrano-Muela et al., 2008).

Dados diários de chuva acumulada e vazão mostram que a bacia tem uma resposta hidrológica rápida (predominantemente até 24 horas após a chuva, podendo se estender até 34 horas após) e controlada principalmente pela precipitação na cabeceira (Tabela 3). A correlação entre chuva e vazão (máxima de 0,63 e decrescente depois de 24 horas) reforça a idéia de que o fluxo subterrâneo tem pequena participação na geração da vazão do rio.

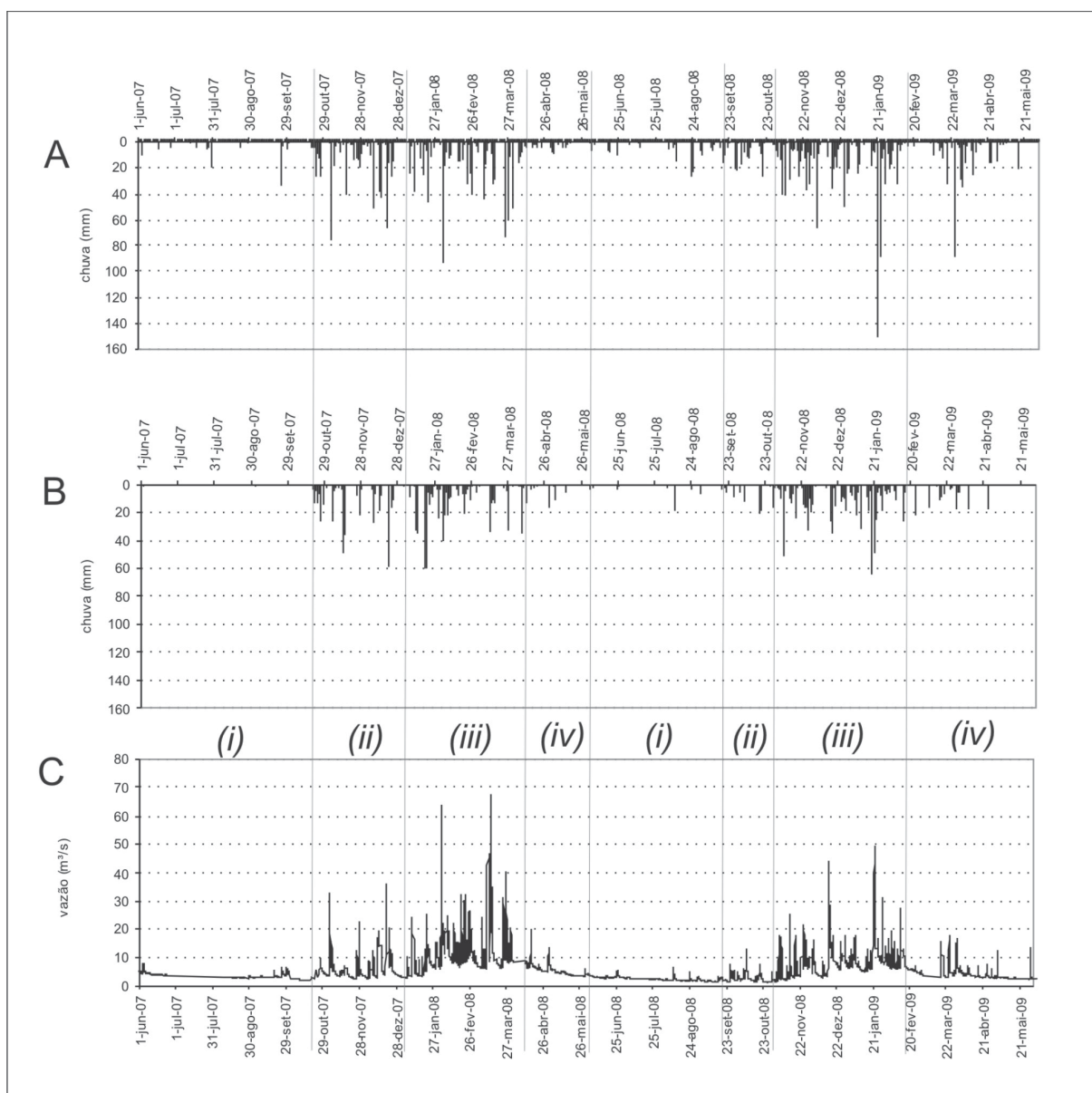


FIGURA 10. Distribuição da chuva na cabeceira (A) na foz (B) e da vazão na foz da bacia (C). As linhas verticais delimitam períodos de comportamento distinto do fluxo (i, ii, iii, iv) vide explicação no texto.

TABELA 3. Valores de correlação entre chuva diária total de 24 horas (acumulada até 7:00 h) na cabeceira e na foz com a vazão na foz da bacia (às 7:00 e 17:00).

	Vazão foz 7:00	Vazão foz 17:00	Vazão foz 7:00 dia seguinte	Vazão foz 17:00 dia seguinte
Chuva cabeceira (total 24h acumulado até 7:00)	0,63	0,59	0,35	0,40
Chuva foz (total 24h acumulado até 7:00)	0,51	0,47	0,43	0,37

Hidrologia de Eventos Extremos

Considerando a grande influência das chuvas da cabeceira na vazão da foz da bacia do rio Paquequer foi conduzida uma análise do comportamento de chuvas de alta intensidade horária (maiores que 20 mm/h). Chuvas com esta intensidade são expressivas na área de estudo durante o verão e unificam a resposta hidrológica da bacia com grande capacidade de causar catástrofes. Foi quantificado um total de 21 casos no período de 2 anos de dados. Para cada evento foram individualizados os seguintes parâmetros relativos a chuva e hidrógrafa (Figura 11): Chuva do pico (C_p), vazão do rio inicial (antes da subida) (Q_i), vazão de pico ou máxima (Q_p), Tempo entre o pico de chuva e o início de resposta do canal fluvial com aumento da vazão (T_a), Tempo entre o início da resposta do canal fluvial e o pico de vazão (T_b), Tempo entre o pico de chuva e o pico de vazão (*lagtime*) T_c que é o somatório de T_a e T_b , a relação Q_p/Q_i e o tempo de descida (T_d) para alcançar a vazão inicial (quando não ocorre hidrógrafa superposta), Tabela 4.

Praticamente todos os eventos extremos analisados no período de 2 anos ocorreram durante o verão.

A chuva máxima registrada em uma hora foi 67,8 mm. Os valores de Q_i e de Q_p foram bem variados (CV de 64 % a 73 %), indicando que estes eventos ocorrem em condições de alta e baixa vazão. A vazão de pico (Q_p) no final da bacia aumenta em média 4,8 vezes a vazão inicial, variando de 2 a 9,5 vezes. Tal como observado por Garcia-Ruiz et al (2005) a relação entre a quantidade de chuva no pico (C_p) e a vazão de pico (Q_p) não é clara (baixa correlação) (Tabela 5), mostrando que a intensidade da resposta hidrológica é controlada por outros fatores. Garcia-Ruiz et al (2005), com uma base de dados mais extensa sugere que a condição antecedente é a característica mais importante para a definição da resposta hidrológica do canal fluvial. Esta associação também se verifica no presente trabalho pela boa correlação entre Q_i (representativo da condição antecedente) e Q_p (Tabela 5).

O *lagtime* (T_c) apresenta maior constância (menor valor de coeficiente de variação). Então o valor médio de 6,5 horas pode ser considerado como representativo do *lagtime* da bacia para eventos extremos. Especificamente o *lagtime* (T_c) distribuí-se em períodos de tempo muito curtos entre 4 e 9 horas sendo mais

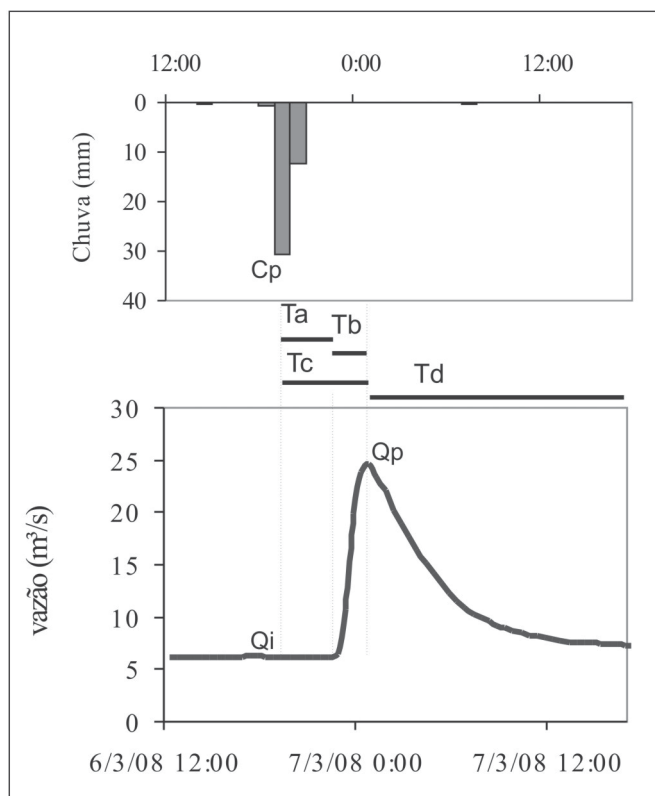


FIGURA 11. Esquema representativo das variáveis utilizadas para os eventos de chuva analisados (C_p é o valor em mm do pico de chuva em uma hora; Q_i é a vazão inicial em m^3/s ; Q_p é a vazão máxima em m^3/s ; T_a é o tempo em horas entre o pico de chuva e o início da subida da vazão no rio; T_b é o tempo em horas entre o início da subida da vazão do rio e o pico de vazão dele; T_c é o *lagtime*, tempo em horas entre o pico de chuva e o pico de vazão, ou o somatório de T_a e T_b).

TABELA 4. Características dos eventos extremos (chuva maior que 20 mm/h) analisados, n = 21 (Cp é o valor em mm do pico de chuva em uma hora; Qi é a vazão inicial em m³/s; Qp é a vazão máxima em m³/s; Qp/Qi é a razão entre a vazão de pico e a vazão inicial; Ta é o tempo em horas entre o pico de chuva e o início da subida da vazão no rio; Tb é o tempo em horas entre o início da subida da vazão do rio e o pico de vazão dele; Tc é o *lagtime*, tempo em horas entre o pico de chuva e o pico de vazão, ou o somatório de Ta e Tb). Em destaque os eventos cujas hidrógrafas retornaram a vazão igual a vazão inicial, ou seja não ocorreram hidrógrafas superpostas e o tempo de descida é real.

Data	C _p (mm)	Q _i (m ³ /s)	Q _p (m ³ /s)	Q _p /Q _i	T _a (h)	T _b (h)	T _c (h)	T _d (h)
3/11/07	67,8	4,0	33,0	8,3	1,0	4,0	5,0	8,0
8/12/07	21,4	4,2	12,3	2,9	2,5	4,5	7,0	20,0
13/12/07	21,2	3,8	9,9	2,6	2,7	3,5	6,2	>15,0
5/1/08	23,2	2,9	10,6	3,7	1,5	5,5	7,0	>13,0
10/1/08	34,8	2,9	24,5	8,4	0,5	4,5	4,5	>23,0
3/2/08	52,0	7,0	64,0	9,1	0,5	7,0	7,0	>24,0
22/2/08	21,2	8,2	32,3	3,9	0,5	4,0	5,0	>14,0
6/3/08	30,8	6,1	24,5	4,0	3,0	3,0	6,0	22,0
13/3/08	22,8	8,4	67,3	8,0	0,5	5,5	6,0	39,0
24/3/08	29,2	6,6	31,5	4,8	2,0	3,0	5,0	17,0
26/3/08	29,8	9,2	40,2	4,4	0,5	6,0	6,0	20,0
4/11/08	26,0	1,9	18,1	9,5	2,0	4,5	6,5	24,0
2/12/08	44,2	4,4	13,2	3,0	1,0	6,0	7,0	>6,0
25/12/08	39,4	5,8	15,3	2,6	0,5	8,0	9,0	>9,0
14/1/09	21,0	4,8	10,6	2,2	4,0	4,5	8,5	14,0
20/1/09	21,2	5,6	23,0	4,1	0,5	5,5	6,0	>4,5
21/1/09	31,8	22,5	46,0	2,0	4,0	4,5	8,5	12,0
5/2/09	25,8	5,8	19,0	3,3	4,0	2,0	6,0	20,0
18/3/09	28,4	3,2	16,1	5,0	4,0	2,0	6,0	29,0
24/3/09	25,0	4,0	18,3	4,6	5,0	2,5	7,5	31,0
1/5/09	40,0	2,8	12,5	4,5	6,0	1,0	7,0	57,0
média	31,3	5,9	25,8	4,8	2,2	4,3	6,5	
DP	11,9	4,3	16,6	2,4	1,7	1,7	1,2	
CV(%)	38	73	64	49,4	79	40	18	

TABELA 5. Valores de correlação entre as variáveis dos eventos extremos.

	Qi	Ta	Tb	Tc	Qp	Qp/Qi
Cp	-0,02	-0,27	0,16	-0,14	0,10	0,30
Qi		0,01	0,18	0,27	0,55	-0,27
Ta			-0,77	0,34	-0,41	-0,37
Tb				0,31	0,33	0,10
Tc					-0,18	-0,48
Qp						0,50

frequente entre 5 a 7 horas para chuvas extremas (Figura 12).

De forma oposta o tempo para o início da resposta do rio (T_a) é muito variável e apresenta uma correlação inversa com o tempo de subida até o pico (T_b). Ou seja, se o canal começa a subir rapidamente então a subida é mais lenta (Tabela 5). Entre os parâmetros analisados a correlação também é significativa entre

Q_i e Q_p e entre T_c e Q_p/Q_i . Os maiores valores de *lagtime* correspondem aos eventos de menor relação Q_{pico}/Q inicial. O tempo de recesso (T_d) não pode ser observado para todos os eventos pela existência de hidrógrafas superpostas, principalmente no auge da estação chuvosa. Foram observados tempo de recesso variando entre o mínimo de 8 horas e o máximo de 57 horas.

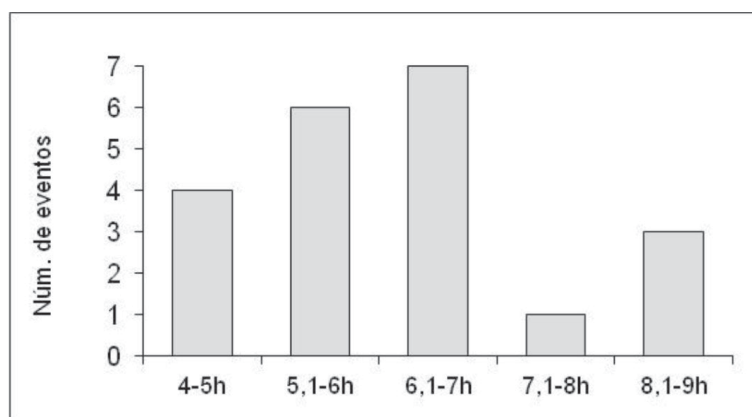


FIGURA 12. Distribuição do lagtime para eventos maiores que 20 mm/h.

CONCLUSÕES

Na bacia do rio Paquequer a chuva orográfica, ocasiona uma diferença pluviométrica significativa entre a nascente e a foz da bacia que se expressa em valor anual de 2800 mm e 1400 mm respectivamente. Esta diferença é ocasionada pela maior frequência de dias sem chuva na foz da bacia. As chuvas até 10 mm/dia, que tem capacidade de serem interceptadas pela vegetação tem uma distribuição relativamente uniforme, principalmente na cabeceira, ao longo do ano. Apesar desta diferença de totais pluviométricos existe uma sazonalidade comum representada por uma estação seca no inverno de duração de 2 a 3 meses. Os dados médios mensais de vazão acompanham as chuvas médias mensais, variando de 2,5 a 12 m³/s, e podem apresentar uma defasagem em anos mais secos, demorando a aumentar a vazão mesmo com a entrada das chuvas.

As hidrógrafas têm uma subida rápida e as chuvas na cabeceira controlam a vazão de saída. A bacia tem alta sensibilidade para os eventos da cabeceira, distante 38 km, registrando na sua foz o efeito de chuvas acima de 10 mm em até 24 horas. O *lagtime* da bacia varia de 6 horas (para eventos de chuva extrema - maior que 20 mm/h) até 20 horas (na estação seca). Nestes eventos extremos a vazão pode aumentar em até 9,5 vezes e a vazão de pico é controlada pela condição antecedente, representada por Q_i (vazão antes da chuva) e não pelo pico de chuva. Quanto mais tempo

demora a resposta inicial da bacia (aumento de vazão), mais abrupta (rápida) é a subida para o pico de vazão e vice-versa. O *lagtime* apresenta uma relação inversa com a razão Q_p/Q_i (vazão de pico sobre vazão antes da chuva) e o tempo de recesso varia entre 8 e 57 horas.

As correlações entre chuva e vazão são baixas ($r^2 = 0,56$ e $0,42$ com a chuva na cabeceira e foz respectivamente) considerando os valores mensais e aumentam na escala diária ($r^2 = 0,63$ e $0,51$ com a chuva na cabeceira e foz respectivamente). Além disso, a grande influência da chuva da cabeceira da bacia, a forte elevação das vazões em curto espaço de tempo, e o rápido decréscimo após atingir o pico, reforçam a idéia que fluxos rápidos tenham grande importância na geração do fluxo de chuva na foz da bacia, sendo que eles são mais significativos no verão. Ao contrário, no inverno as hidrógrafas apresentam *lagtime* e tempo de recesso maiores, evidenciando a presença e influência de fluxos subsuperficiais e do fluxo subterrâneo na composição da vazão da foz. Garcia-Ruiz et al (2008) também destacam que bacias com uso misto tem resposta hidrológica complexa onde o fluxo superficial ainda tem grande contribuição. Durante o verão as precipitações contínuas geram hidrógrafas superpostas e mascaram a contribuição dos fluxos mais lentos (subsuperficial e subterrâneo) devido ao grande aporte de fluxos rápidos. Diante das

características físicas da bacia sugere-se que a área urbana e a presença de grandes declividades (solos rasos e muitos afloramentos rochosos) sejam as responsáveis pela geração dos fluxos rápidos (superficiais e subsuperficiais rasos) na foz da bacia e que explicam as frequentes enchentes no núcleo urbano de Teresópolis. Estas enchentes já são documentadas desde a década de 70 apesar de constantes atuações antrópicas de alargamento, drenagem e mudança de curso (Vieira & Cunha, 2008).

Apesar deste trabalho não estar preocupado com a definição de valores críticos para eventos catastróficos e sim com a compreensão do funcionamento hidrológico da bacia, é possível para a Prefeitura de Teresópolis estabelecer um sistema simples de alerta que diminua a condição de risco da cidade. Neste caso a análise da distribuição pluviométrica e do comportamento de vazão do rio Paquequer permitiria a previsão de episódios de inundação com base na intensidade de chuva na cabeceira.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da Pesquisa (Projeto 478992/2006-08), a CAPES através da bolsa Pró-Doc vinculada ao Programa de Análise de Bacias e Faixas Móveis Faculdade de Geologia da UERJ para a primeira autora entre 2008 e 2009, ao LabGIS (Laboratório de Geoprocessamento) da UERJ, ao Parque Nacional da Serra dos Orgãos pela disponibilidade de dados e infra-estrutura e aos revisores anônimos que contribuíram com sugestões para a melhoria do texto final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, D.A. & NUNES, L.H. Variabilidade pluviométrica de alguns municípios da região metropolitana de Campinas (SP) em dois períodos homogêneos. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 18, n. 35, p. 55-64, 2006.
2. CALVETTI, L.; BENETI, C.; GONÇALVES, J.E.; MOREIRA, I.A.; DUQUIA, C.; BREDA, A.; ALVES, T.A. **Definição de classes de precipitação para utilização em previsões por categoria e hidrológica**. 2006. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/14-4fe4679ff7c6bb48f49254678b0a4345.pdf>. Acessado em: 18out2010.
3. COELHO NETTO, A.L.; SANTOS, A.A.M.; MEIS, M.R.M. Os solos e a hidrologia das encostas do alto rio Cachoeira, RJ - Estudo preliminar. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 42, n. 3, p. 585-611, 1980.
4. COELHO NETTO, A.L. A abordagem geo-hidroecológica: um procedimento analítico-integrativo fundamentado na Geomorfologia, hidrologia e geoecologia In: FÓRUM GEO-BIO-HIDROLOGIA, 1, 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998, p. 26-29.
5. COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.T. & CUNHA, S.B. (Coords.), **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148, 2005.
6. CONHOLI, A.P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 234 p., 2005.
7. COSTA, T.C.C.; FIDALGO, E.C.C.; NAIME, U.J.; GUIMARÃES, S.P.; ZARONI, M.J.; UZEDA, M.C. Vulnerabilidade de sub-bacias hidrográficas por meio da equação universal de perda de solo e da interação de parâmetros morfométricos, topográficos e de uso/cobertura da terra no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 4, n. 1, p. 93-116, 2009.
8. CURVELLO, R.T.; BATISTA, G.T.; TARGA M.S. Estudos dos impactos da ação humana na microbacia do rio Batedor na Serra da Mantiqueira no município de Cruzeiro, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 1, p. 76-90, 2008.
9. DAVIS, E.G.V. & NAGHETTINI, M.C. Estudo de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro – **Projeto Rio de Janeiro Estudo Geoambiental**. Rio de Janeiro: CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 140 p., 2001.
10. DYSON, L.L. Heavy daily-rainfall characteristics over the Gauteng Province. **Water SA**, v. 35, n. 5, p. 627-638, 2009.
11. FREEZE, R.A. Streamflow generation. **Reviews of Geophysics and Space Physics**, v. 12 n. 4, p. 627-647, 1974.
12. GARCIA-RUIZ, J.M.; ARNÁEZ, J.; BEGUERÍA, S.; SEEGER, M.; MARTÍ-BONO, C.; REGUES, D.; LANARENAULT, N.; WHITE, S. Runoff generation in an intensively disturbed, abandoned farmland catchment, Central Spanish Pyrenees. **Catena**, v. 59, p. 79-92, 2005.
13. GARCIA-RUIZ, J.M.; REGUES, D.; ALVERA, B.; LANARENAULT, N.; SERRANO-MUELA, M.P.; NADAL-ROMERO, E.; NAVAS, A.; LATRON, J.; MARTÍ-BONO, C.; ARNÁEZ, J. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. **Journal of Hydrology**, v. 356, n. 1-2, p. 245-260, 2008.
14. GOMES, L.M.; REIS, R.B.; CRUZ, C.B.M. Análise da cobertura florestal da Mata Atlântica por município no Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 3849-3857. DVD.
15. KLEMES, V. Stochastic models of rainfall-runoff relationship. In: SINGH, V.P. (Coord.), **Statistical Analysis of rainfall and runoff**. Michigan: Water Resources Publications, p. 139-154, 1981.
16. KLEMES, V. Empirical and causal models in hydrology In: National Research Council Geophysics Study Committee, Editor, **Scientific Basis of Water-Resource Management**. Washington, DC: National Academy Press, p. 95-104, 1982.
17. KOBAYAMA, M.; GENZ, F.; MENDIONDO, E.M. Geo-Bio-Hidrologia In: FÓRUM GEO-BIO-HIDROLOGIA, 1, 1998, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998, p. 1-25.

18. LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. **Fluvial processes in geomorphology**. EUA: W.H. San Francisco, Freeman and Company, 522 p., 1964.
19. MARTINS, E.S.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; SOUZA, V.V.; COUTO JÚNIOR, A.F.; OLIVEIRA, S.N.; GOMES, R.A.T.; REATTO, A. Relação solo-relevo em vertentes assimétricas no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 45-62, 2007.
20. MIRANDA, J.C. **Interceptação das Chuvas pela Vegetação Florestal e Serrapilheira nas Encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ**. Rio de Janeiro, 1992. 100 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
21. OLIVEIRA, P.T.T.M. **Relações entre o crescimento urbano e as características da drenagem fluvial no município de Teresópolis-RJ**. Rio de Janeiro, 1999. 109 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
22. SALGADO, C.M.; SILVA, T.C.; SOUZA, G.C.A.; FREITAS, H.C. Caracterização temporal e espacial da precipitação no entorno do município de São Gonçalo (RJ) considerando a série histórica de 1968 a 2002. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 19, n. 1, p. 19-31, 2007.
23. SANTOS, M.R.G. **Aplicação de métodos de geoprocessamento para o estudo de instabilidade de encostas no município de Teresópolis – RJ**. Rio de Janeiro, 2000. 224p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
24. SCHUMM, L. **Dinâmica de evolução de fragmentos de mata atlântica na bacia hidrográfica do rio Paquequer, município de Teresópolis – RJ**. Rio de Janeiro, 2003. 100 p. Monografia (Graduação em Biologia) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
25. SELBY, M.J. **Earth's changing surface**. Oxford: Clarendon, 607 p., 1985.
26. SERRANO-MUELA, M.P.; LANA-RENAULT, N.; NADAL-ROMERO, E.; REGUES, D.; LATRON, J.; MARTÍ-BONO, C.; GARCIA-RUIZ, J.M. Forests and their hydrological effects in mediterranean mountains. The case of the Central Spanish Pyrenees. **Mountain Research and Development**, v. 28, n. 3/4, p. 279-285, 2008.
27. SILVA, F.A.D. **Análise da susceptibilidade a escorregamentos de massas na bacia do rio Paquequer – Teresópolis – Estado do Rio de Janeiro, utilizando os modelos SINMAP e Shalstab**. Rio de Janeiro, 2006. 99 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
28. SILVEIRA, C.S. & RAMOS, J.A.S. Análise espacial com SIG de parâmetros ambientais e comportamento hidrológico (chuva-vazão) de uma bacia de drenagem montanhosa na Serra dos Orgãos: bacia do Paquequer, município de Teresópolis, RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 1, p. 23-34, 2007.
29. SILVEIRA, C.S. & SILVA, V.V. Dinâmica de regeneração, degeneração e desmatamento da vegetação provocada por parâmetros climáticos e geomorfológicos: uma análise geocológica através de SIG. **Revista Árvore**, v. 34, n. 6, p. 1025-1034, 2010.
30. TUCCI, C.E.M. & CLARKE, R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão In: FÓRUM GEO-BIO-HIDROLOGIA, 1, 1998, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba, 1998, p. 39-49.
31. TUCCI, C.E.M.; BRAGA, B.; TOZZI, M. (Coords.). **Drenagem Urbana Gerenciamento Simulação Controle**. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade UFRGS, 203 p., 1998.
32. TUCCI, C.E.M.; PORTO R.L.L.; BARROS, M.T. DE. (Coords.). **Drenagem Urbana**. Rio Grande do Sul: Associação Brasileira de Recursos Hídricos e Editora da Universidade UFRGS, 428 p., 1995.
33. UERJ – UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO / IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estudo Ambiental como Subsídio ao Ordenamento Territorial Através de Análise de Caso: Município de Teresópolis. Rio de Janeiro: Projeto PADCT **Relatório Final**, 3 v., 1999.
34. VIEIRA, V.T & CUNHA, S.B. Mudanças na morfologia dos canais urbanos: alto curso do rio Paquequer, Teresópolis – RJ (1997/98 – 2001). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 3-22, 2008.

*Manuscrito Recebido em: 30 de março de 2012
Revisado e Aceito em: 5 de junho de 2012*