



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Tecnologia

TAÍS OLIVEIRA CARDOSO

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (C) EM
MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, A PARTIR DA ANÁLISE DE EVENTOS DE
PRECIPITAÇÃO E VAZÃO.

DETERMINATION OF THE RUNOFF COEFFICIENT (C) IN WATERSHED,
FROM THE ANALYSIS OF EVENTS OF PRECIPITATION AND FLOW.

LIMEIRA

2018

TAÍS OLIVEIRA CARDOSO
DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (C) EM
MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, A PARTIR DA ANÁLISE DE EVENTOS DE
PRECIPITAÇÃO E VAZÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de
Tecnologia da Universidade Estadual de
Campinas como parte dos requisitos exigidos
para a obtenção do título de Mestra em
Tecnologia, na Área de Ambiente.

Orientador: RONALTON EVANDRO MACHADO

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA
ALUNA TAÍS OLIVEIRA CARDOSO E
ORIENTADA PELO PROF. DR. RONALTON
EVANDRO MACHADO.

LIMEIRA
2018

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): Não se aplica.

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Felipe de Souza Bueno - CRB 8/8577

Cardoso, Taís Oliveira, 1992-
C179d Determinação do coeficiente de escoamento (C) em microbacias
 hidrográficas, a partir da análise de eventos de precipitação e vazão / Taís
 Oliveira Cardoso. – Limeira, SP : [s.n.], 2018.

 Orientador: Ronalton Evandro Machado.
 Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
 de Tecnologia.

 1. Coeficiente de escoamento. 2. Bacias hidrográficas. 3. Hidrologia. I.
 Machado, Ronalton Evandro, 1966-. II. Universidade Estadual de Campinas.
 Faculdade de Tecnologia. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Determination of the runoff coefficient (C) in watershed, from the analysis of events of precipitation and flow

Palavras-chave em inglês:

Runoff coefficient

Watersheds

Hydrology

Área de concentração: Ambiente

Titulação: Mestra em Tecnologia

Banca examinadora:

Ronalton Evandro Machado [Orientador]

Lubienska Cristina Lucas Jaquie Ribeiro

José Teixeira Filho

Data de defesa: 23-05-2018

Programa de Pós-Graduação: Tecnologia

FOLHA DE APROVAÇÃO

Abaixo se apresentam os membros da comissão julgadora da sessão pública de defesa de dissertação para o Título de Mestra em Tecnologia na área de concentração de Ambiente, a que submeteu a (o) aluna (o) Taís Oliveira Cardoso, em 23 de maio de 2018 na Faculdade de Tecnologia- FT/ UNICAMP, em Limeira/SP.

Prof. Dr. Ronalton Evandro Machado

Presidente da Comissão Julgadora

Profa. Dra. Lubienska Cristina Lucas Jaquie Ribeiro

FT/UNICAMP

Prof. Dr. José Teixeira Filho

FEAGRI/UNICAMP

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica da aluna na Universidade.

À minha família,
Pelo amor incondicional.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus que sempre está ao meu lado, guiando meus passos.

Ao Prof. Dr. Ronalton Evandro Machado pela oportunidade, paciência, disponibilidade e orientação.

Ao Fundo de Apoio ao Ensino, à Pesquisa e Extensão – FAEPEX, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu querido pai, Sergio Cardoso, por sempre ter me incentivado e por ter deixado saudade e lembranças boas no meu coração.

À minha mãe, Ilvane, pelo carinho e apoio.

Às alegrias da minha vida, Priscila e Dudu.

Aos queridos amigos, Jefferson, Nathalie, Masao e Jokasta que estiveram comigo, cada um de uma maneira diferente, durante os momentos dessa e de outras fases.

Aos meus professores que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico.

Aos funcionários da Faculdade de Tecnologia, que trabalham para que ocorra o funcionamento da mesma.

Se você pensa que é um derrotado,

você será derrotado.

Se não pensar, quero a qualquer custo,

não conseguirá nada.

Mesmo que queira vencer,

mas pensa que não vai conseguir,

a vitória não sorrirá para você.

Se você fizer as coisas pela metade

você será um fracassado.

Nós descobrimos, neste mundo,

que o sucesso começa pela intenção da gente

e tudo se determina pelo nosso espírito.

Se você pensa que é um malogrado,

você se torna como tal.

Se você almeja atingir uma posição mais elevada, deve,

antes de obter a vitória,

dotar-se da convicção de que conseguirá,

infalivelmente.

A luta pela vida, nem sempre é vantajosa

aos fortes, nem aos espertos.

Mais cedo ou mais tarde,

quem cativa a vitória é aquele que crê plenamente: EU CONSEGUIREI!

Napoleon Hill

RESUMO

O Coeficiente de Escoamento (C) representa a relação entre o volume escoado superficialmente e o volume precipitado. É utilizado nos métodos de estimativa da vazão máxima em projetos de engenharia. Apesar dos valores de C serem tabelados e consagrados na engenharia hidrológica, como se fossem constantes, podem não corresponder à realidade, pois numa mesma microbacia hidrográfica, podem variar de acordo com a intensidade, distribuição temporal e espacial dos eventos de precipitação, condições de umidade e cobertura do solo. À frente da importância deste estudo, este trabalho teve como objetivo analisar eventos extremos isolados de precipitação e as vazões correspondentes para obter Coeficientes de Escoamento (C) experimentais e compará-los com os valores tabelados. O estudo foi conduzido em quatro microbacias hidrográficas experimentais com diferentes usos e cobertura da terra, sendo elas: microbacia Tinga, localizada na Estação Experimental do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, no Município de Itatinga, microbacia Hidrográfica Pé de Gigante (PEG), em Santa Rita do Passa Quatro, região de Cerrado microbacia Hidrográfica Santa Virgínia (SVG), localizada no Parque Estadual Serra do Mar (PESM), núcleo Santa Virgínia, região de Mata Atlântica e microbacia Hidrográfica Ribeirão dos Marins (BHRM), no Município de Piracicaba. Os Coeficientes de Escoamento (C) foram obtidos a partir da análise de hidrogramas e utilizando-se de filtro de escoamento, o que possibilitou a separação do escoamento direto, do escoamento total. Ao realizar as análises dos dados de vazão e de precipitação, em diferentes estações do ano e selecionar eventos de cheias das microbacias hidrográficas e separar os escoamentos, foi possível observar a variação dos valores do coeficiente de escoamento, diferentes dos que podem ser obtidos atualmente em tabelas.

Palavras chaves: coeficiente de escoamento, bacias hidrográficas, hidrologia.

ABSTRACT

The Runoff Coefficient (C) represents the relationship between the volume drained superficially and the volume precipitated. It is used in the estimation methods of the maximum flow in engineering projects. Although the values of C are tabulated and consecrated in hydrological engineering, as if they were constant, they may not correspond to the reality, because in a same catchment, they can vary according to the intensity, temporal and spatial distribution of precipitation events, humidity conditions and ground cover. Aiming at the importance of this study, this work had as objective to analyze isolated extreme events of precipitation and the corresponding flows to obtain experimental Runoff Coefficients (C) and compare them with the tabulated values. The study was conducted in four experimental catchment with different uses and land cover, such as: Stream Tinga, located in the Experimental Station of the Department of Forestry Sciences of the School of Agriculture "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, in the Municipality of Itatinga, Pé de Gigante (PEG) in Santa Rita do Passa Quatro, Cerrado region, Santa Virgínia (SVG), located in Serra do Mar State Park PESM), Santa Virgínia nucleus, Atlantic Forest region and stream dos Marins (BHRM), in Piracicaba Municipality. The runoff coefficients (C) were obtained from the analysis of hydrograms and using a filter, which allowed the separation of the direct flow, of the total flow. When performing the analysis of the flow and precipitation data, in different seasons of the year and to select events of floods of the catchment and to separate the flows, it was possible to observe the variation of the values of the flow coefficients, different from those that can be obtained from tables.

Keywords: runoff coefficient, watershed, hydrology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação de hidrógrafa característico de escoamento em canal após um evento de chuva isolado.....	16
Figura 2. Localização geográfica da Microbacia do Tinga.	20
Figura 3. Localização geográfica da microbacia hidrográfica Pé de Gigante.	23
Figura 4. Vista área da microbacia Santa Virgínia.	24
Figura 5. Localização geográfica da microbacia hidrográfica Santa Virgínia.	25
Figura 6. Localização geográfica da microbacia Ribeirão dos Marins.	26
Figura 7. Localização do posto hidrossedimentométrico e pluviógrafos na microbacia do Ribeirão dos Marins.	27
Figura 8. Técnica para calcular a recarga do fluxo diário.	31
Figura 9. Hidrograma e precipitação (P) do Ribeirão Tinga. Dia 7 janeiro de 2011 (a), 10 e 11 de janeiro de 2011 (b), 27 de janeiro de 2011 (c), 12 de março de 2011 (d), 12 de abril de 2011 (e), dia 27 e 28 de abril de 2011 (f).	34
Figura 10. Hidrograma e precipitação (P) da PEG. Dias 17 e 18 de janeiro de 2012 (a), 18 e 19 de janeiro de 2012 (b), 21 de março de 2013 (c), 17 e 18 de setembro de 2013 (d), 02 e 03 de outubro de 2013 (e) 28 e 29 de dezembro de 2013 (f).	36
Figura 11. Hidrograma e precipitação (P) da SVG. Dias 6 de janeiro de 2011 (a), 9 de janeiro de 2011 (b), 11 de janeiro de 2011 (c), 12 e 13 de janeiro de 2011 (d), 14 de fevereiro de 2011 (e) 28 de fevereiro de 2011 (f).....	38
Figura 12. Hidrograma e precipitação (P) da BHRM. Dias 08 e 09 de janeiro de 1999 (a), 26 e 27 de janeiro de 1999 (b), 01, 02 e 03 de fevereiro de 1999 (c), 21 de fevereiro de 1999 (d), 07 e 08 de janeiro de 2000 (e), 26 e 27 de março de 2000 (f).....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores do coeficiente de escoamento (C).	18
Tabela 2. Uso e ocupação da terra na área da microbacia hidrográfica do Ribeirão Tinga.....	21
Tabela 3. Uso e ocupação da terra na área da microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins.....	27
Tabela 4. Tipos de solos na área da microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins..	28
Tabela 5. Coeficientes de escoamento calculados das áreas de estudo e seus respectivos coeficientes tabelados (C_T).	33
Tabela 6. Porcentagem de escoamentos do hidrograma e C calculado do Ribeirão Tinga em 2011.	34
Tabela 7. Porcentagem de escoamentos do hidrograma da PEG em 2012 e 2013.....	37
Tabela 8. Porcentagem de escoamentos do hidrograma da SVG em 2011.	38
Tabela 9. Porcentagem de escoamentos do hidrograma da BHRM em 1999 e 2000.....	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Hidrograma	15
2.2. Escoamento Direto e Escoamento de Base.....	16
2.3. Coeficiente de Escoamento Superficial (C).....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Áreas de Estudo.....	19
3.1.1. Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Tinga.....	19
3.1.2. Microbacia Hidrográfica Pé de Gigante (PEG)	21
3.1.3. Microbacia Hidrográfica Santa Virgínia (SVG)	23
3.1.4. Microbacia Hidrográfica Ribeirão dos Marins (BHRM).....	25
3.2. MÉTODOS.....	28
3.2.1. Análise dos Dados.....	28
3.2.2. Separação dos Escoamentos Direto e de Base.....	28
3.2.3. Filtro de Escoamento de Base.....	29
3.2.4. Determinação do Coeficiente de Escoamento (C).....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Tinga.....	33
4.2. Microbacia Hidrográfica Pé de Gigante (PEG)	35
4.3. Microbacia Hidrográfica Santa Virgínia (SVG)	37
4.4. Microbacia Hidrográfica Ribeirão dos Marins (BHRM).....	39
5. CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

A água é uma das substâncias mais importantes que existe na natureza, não só por cobrir cerca de 70 % da superfície da Terra, mas também para a manutenção do ciclo hidrológico e por ser essencial para a sobrevivência dos seres vivos (CONCEIÇÃO *et al.*, 2013).

O ciclo hidrológico, ao ser estudado em sua fase terrestre, tem como elemento fundamental as bacias hidrográficas. Nesse meio, ocorrem processos que podem ser esquematizados de forma simplificada. A bacia hidrográfica pode ser considerada na hidrologia, um sistema onde a precipitação é a entrada e a vazão, uma das saídas.

Na hidrologia tradicional, a vazão é dividida em três principais componentes, o escoamento direto (superficial), o subsuperficial e o escoamento de base (RIMMER & SALINGAR, 2006). Sua finalidade é o estudo entre a precipitação, o escoamento direto e o seu desenvolvimento ao longo dos rios (PINTO *et al.*, 2003).

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos, em virtude dos impactos nos diversos setores da sociedade, pois quando ocorrem em excesso podem ocasionar enchentes, escorregamentos de barreiras, alagamentos, por exemplo, e quando são escassas podem resultar em secas, assoreamento dos rios, entre outros, afetando os setores produtivos econômico, social e ambiental de uma região (MEIRA DE SOZA, *et al.*, 2012). De acordo com sua intensidade, as chuvas são classificadas em: padrão avançado, intermediário e atrasado, quando as localizações dos picos de maior intensidade estão no início, meio ou fim do período de duração das chuvas, respectivamente (MEHL *et al.*, 2001). A caracterização das chuvas intensas para utilização em projetos de engenharia é fundamental, especificadamente no que tange obras hidráulicas. O estudo das chuvas intensas é feito por meio da relação entre a intensidade, a duração e a frequência das mesmas (PEREIRA *et al.*, 2017).

Iniciada a precipitação pluviométrica, parte dela é interceptada pela vegetação, parte infiltra no solo e parte pode ser retida em depressões da superfície do terreno. Se a duração da chuva continuar, após o preenchimento dessas depressões, terá início o escoamento superficial propriamente dito. Assim,

a água que escoar sob a superfície do solo, sem infiltrar, formará o escoamento direto que irá compor, junto com o escoamento de base, os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios (ALENCAR *et al.*, 2006). Portanto, o escoamento superficial ou direto está relacionado diretamente com a recarga pluvial, sendo produzido durante ou imediatamente após a precipitação, levando ainda em consideração os aspectos geomorfológicos e cobertura vegetal da bacia de drenagem (FERNANDES *et al.*, 2010). Nesse meio, ocorrem processos que podem ser esquematizados de forma simplificada. A bacia hidrográfica pode ser considerada, um sistema onde a precipitação é a entrada e a vazão, uma das saídas.

O coeficiente de escoamento (C) relaciona o volume total de água escoada superficialmente pela seção e o volume total de água precipitada na bacia hidrográfica e caracteriza as condições biofísicas da bacia hidrográfica (MATALIMA *et al.*, 2007). É útil para a determinação da vazão máxima de pequenas bacias e tem sido determinado por meio de tabelas estabelecidas em manuais com base em estimativas geralmente teóricas (TUCCI, 2000). Esses coeficientes, numa mesma bacia, podem variar de acordo com a intensidade, distribuição temporal e espacial dos eventos de precipitação e condições de umidade do solo. Portanto, seus valores, ao serem tabelados, como se fossem constantes, podem não corresponder à realidade. Além disso, no Brasil ainda são poucos os estudos que tratam da separação do escoamento superficial do escoamento de base pela análise dos hidrogramas (MIRANDA *et al.*, 2014).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo analisar eventos extremos de precipitação e as vazões correspondentes para obter Coeficientes de Escoamento (C) experimentais e compará-los com os valores tabelados.

As áreas de estudo são as microbacias hidrográficas: ribeirão do Tinga, município de Itatinga; Pé de Gigante (PEG), em Santa Rita do Passa Quatro, região de Cerrado; Santa Virgínia (SVG), localizada no Parque Estadual Serra do Mar (PESM), núcleo Santa Virgínia, região de Mata Atlântica e ribeirão dos Marins (BHRM), no Município de Piracicaba.

Para este trabalho as análises foram feitas por meio de filtros para separar o escoamento direto do escoamento de base, podendo assim, a partir da relação entre volume escoado superficialmente e volume precipitado, determinar o Coeficiente de Escoamento (C).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

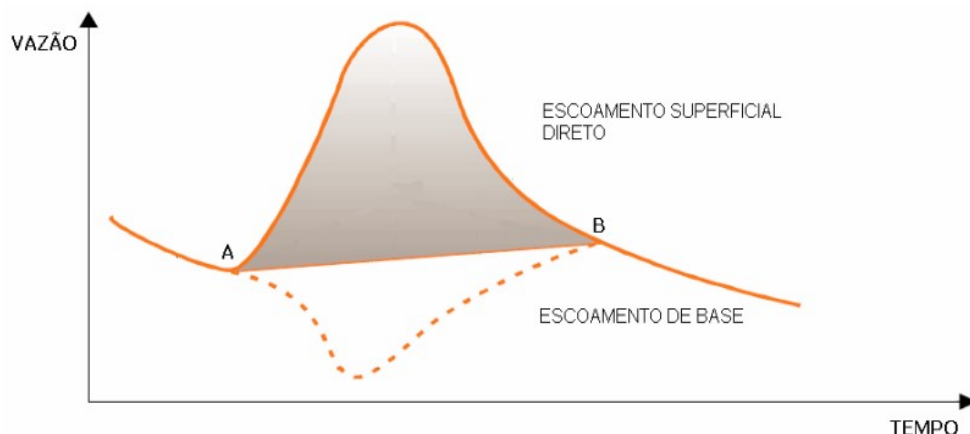
2.1. Hidrograma

O hidrograma pode ser entendido como resposta da bacia hidrográfica, em função de suas características fisiográficas que regem as interações entre todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão. Para estudos do escoamento em bacias, geralmente recorre-se a hidrogramas, onde o comportamento do escoamento é mais bem visualizado. Esses gráficos relacionam a vazão ao tempo, dependendo da escala de tempo utilizada, o hidrograma pode representar períodos de anos, meses, dias ou apenas um evento de chuva (POZZEBON, 2000).

A dificuldade em se definir exatamente o que é escoamento direto e de base em cada instante faz com que os modelos clássicos de separação de hidrogramas envolvam, muitas vezes, um alto grau de subjetividade (FERNANDES *et al.*, 2010). Vários métodos podem ser empregados na separação de um hidrograma de cheia em dois ou mais componentes, desde o método gráfico proposto por BARNES (1939), passando pelo de traçadores químicos PINDER & JONES (1969) e isotópicos (DINCER *et al.*, 1970; FRITZ & LOYNET, 1976), chegando até aos métodos estatísticos envolvendo séries temporais e filtros autorecursivos (HINO & HASEBE, 1981, 1984, 1986). A aplicação do método de separação através de métodos puramente estatísticos envolvendo análise espectral de Fourier, para séries cronológicas de vazões (PROBST & SIGHA, 1989) e mais recentemente a aplicação de filtros autorrecursivos de 1ª ordem (ARAÚJO & DIAS, 1995). Filtros numéricos ou digitais podem ser utilizados para separar hidrogramas em suas componentes superficiais e subterrâneas. Os filtros digitais são uma abordagem puramente empírica, eles removem muito da subjetividade da separação manual, fornecendo resultados consistentes e reproduzíveis (MELATI *et al.*, 2017).

Na Figura 1 é mostrada a representação ilustrativa de um hidrograma típico decorrente de um evento de chuva. Este hidrograma pode ser separado nos componentes de escoamento direto e escoamento de base. Considerando a separação do escoamento, pode-se calcular o volume escoado superficialmente na microbacia hidrográfica.

Figura 1. Representação de hidrógrafa característico de escoamento em canal após um evento de chuva isolado.



Fonte: (BARRETO *et al.*, 2006).

2.2. Escoamento Direto e Escoamento de Base

O escoamento total de um rio pode ser entendido como o somatório das contribuições do escoamento direto, do escoamento subsuperficial e do escoamento de base (também chamados de componentes ou reservatórios). (ARAÚJO & DIAS, 1995; MELATI *et al.*, 2017). O escoamento direto rápido está relacionado diretamente com a recarga pluvial, sendo produzido durante ou imediatamente após a precipitação, levando ainda em consideração os aspectos geomorfológicos e cobertura vegetal da bacia de drenagem (FERNANDES *et al.*, 2010).

O conhecimento do escoamento de base tem significativa importância no gerenciamento dos recursos hídricos, pois é possível estimar a reserva renovável, assunto de muito interesse nas épocas de escassez hídrica. O escoamento de base apresenta variabilidade espacial e temporal devido ao clima, uso da terra, solos, frequência e quantidade de recarga, vegetação, topografia e geologia (LEDESMA, 2016).

O escoamento subsuperficial que é definido como o fluxo que se dá logo abaixo da superfície, na altura das raízes da cobertura vegetal e; o subterrâneo que corresponde à fração da descarga de um rio que é atribuída aos aquíferos na forma de um fluxo contínuo mesmo em situações de seca (EBRAHIM & VILLHOLTH, 2016).

Quanto ao escoamento direto, a infiltração da precipitação no solo, depende de fatores de natureza geológica, climática e fisiográfica da região, tais como: a área da bacia hidrográfica, a existência de declividades acentuadas e depressões retentoras de água, o tipo e o teor de água do solo, a cobertura vegetal e a quantidade e a intensidade de precipitação, entre outros (ALENCAR *et al.*, 2006). O intenso escoamento direto é um processo hidrológico que pode gerar grandes danos. Quando a água de superfície concentra, ele ganha energia suficiente para desagregar e arrastar as partículas do solo (LAGADEC *et al.*, 2016).

2.3. Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

As relações chuva-vazão são alcançadas através de um conceito de coeficiente de escoamento que é amplamente utilizado em muitos projetos hidrológicos de engenharia em áreas urbanas e rurais (ŞEN & ALTUNKAYNAK, 2006).

O coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de deflúvio superficial, ou ainda coeficiente de “*runoff*”, C , é definido pela razão do volume de água escoado superficialmente por ocasião de uma chuva, pelo volume total da água precipitada (JÚNIOR, 2015). Os coeficientes de escoamento baseados em eventos de chuvas podem fornecer informações sobre a resposta da bacia hidrográfica (BLUME *et al.*, 2007).

Este coeficiente pode se referir a uma chuva isolada, ou corresponder a um intervalo de tempo, no qual várias chuvas ocorreram. É um conceito sempre presente em estudos voltados para a previsão da vazão de enchente produzida por uma chuva intensa. Para uma determinada chuva intensa de dada duração, pode-se determinar o escoamento superficial de outra precipitação intensa de magnitude diferente da primeira, mas de mesma duração (JÚNIOR, 2015).

O coeficiente de escoamento deve variar com a magnitude da precipitação, já que à medida que aumenta a precipitação as perdas iniciais e a capacidade de infiltração são atendidas, desta forma o escoamento superficial aumenta o que resulta num maior coeficiente de escoamento (TUCCI, 2000).

A pesquisa científica atual revela que o clima pode ter um efeito adverso nos componentes do ciclo hidrológico, particularmente na precipitação,

evapotranspiração e no coeficiente de escoamento (CHELMICKI & SIWEK, 2008).

Portanto, o coeficiente de escoamento superficial pode variar, a partir das características da cobertura superficial do terreno e das características físicas e umidade antecedente, dos diferentes tipos de solos encontrados em uma bacia hidrográfica (Tabela 1). A variação temporal e espacial do coeficiente de escoamento pode ocorrer através da quantificação da impermeabilização do solo (NUNES *et al.*, 2011). Isso significa que os coeficientes de escoamento relatados na literatura geralmente transmitem menos informações do que as necessárias, além disso, os coeficientes de escoamento são úteis para comparação com outras bacias hidrográficas, a fim de entender como paisagens diferentes "transformam" a precipitação em escoamento com base em eventos (BLUME *et al.*, 2007).

Tabela 1. Valores do coeficiente de escoamento (C).

Tipo de ocupação	Coeficiente de C
Áreas com edificação; grau de adensamento	-
• Muito grande	0,70 a 0,95
• Grande	0,60 a 0,70
• Médio	0,40 a 0,60
• Pequeno	0,20 a 0,40
Áreas livres: matas, parques, campo	0,05 a 0,20
Pavimentos	0,70 a 0,95
Solos com vegetação	-
• Arenoso	0,05 a 0,15
• Argiloso	0,15 a 0,35

Fonte: (RIGHETTO, 1998).

Atualmente a escolha do coeficiente de escoamento é geralmente feita considerando "condições antecedentes médias" para a bacia hidrográfica. O uso do valor médio, por exemplo, é motivado pelo fato de que a probabilidade de ocorrência de valores mais altos e inferiores do coeficiente de escoamento seriam iguais (VIGLIONE *et al.*, 2009).

O coeficiente de escoamento superficial é amplamente utilizado e normalmente encontrado de forma tabelada, na qual se relaciona o coeficiente de escoamento superficial com a natureza da superfície onde ela ocorre. Porém, esses coeficientes podem variar de acordo com a intensidade, distribuição

temporal e espacial dos eventos de precipitação, condições de umidade do solo e abstrações iniciais, portanto, seus valores, ao serem tabelados, como se fossem constantes, podem não corresponder à realidade, como citado anteriormente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Áreas de Estudo

Esse estudo foi desenvolvido a partir do conhecimento dos dados de precipitação e de vazão. Para esse objetivo, foram selecionadas microbacias hidrográficas monitoradas com diferentes usos e coberturas da terra, sendo elas: ribeirão do Tinga, município de Itatinga; Pé de Gigante (PEG), em Santa Rita do Passa Quatro, região de Cerrado; Santa Virgínia (SVG), localizada no Parque Estadual Serra do Mar (PESM), núcleo Santa Virgínia, região de Mata Atlântica e ribeirão dos Marins (BHRM), no Município de Piracicaba.

3.1.1. Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Tinga

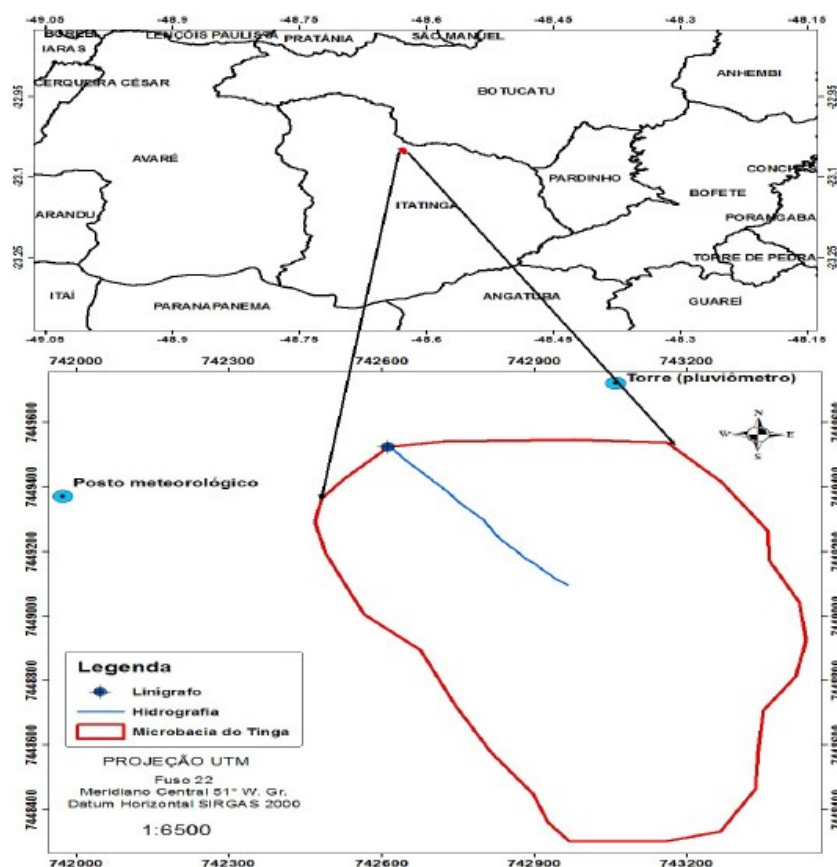
A área de estudo denominada microbacia hidrográfica do Ribeirão Tinga, está localizada na Estação Experimental do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, no Município de Itatinga (Figura 3). As coordenadas geográficas do local estão entre os paralelos 23° 02’01” e 23° 02’30” de Latitude Sul e os meridianos 48° 38’34” e 48° 37’30” de Longitude Oeste a partir de Greenwich.

O Córrego do Tinga é um afluente do Córrego do Potreirinho que, por sua vez, faz parte da bacia do Baixo Paranapanema, na parte central do Estado de São Paulo. A declividade média da área de estudo é de 4,6 %, situando-se a parte mais declivosa junto aos canais e a menos a montante.

O relevo dominante na área, conforme Pessotti (1994) é suave ondulado, composto por topos aplainados e encostas de formas retilíneas ou convexas. Em menor expressão, ocorre o relevo ondulado, com declividade entre 10% e 15% e rampas de forma retilínea, marcado pela ausência de topos aplainados. A rede de drenagem é de baixa intensidade, com cabeceiras arredondadas, vales abertos a fechados, com planície aluvial restrita. Os dados de precipitação e vazão são provenientes de dois pluviógrafos e do posto hidrossedimentométrico instalados na microbacia no período de 1999, sob responsabilidade do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e do Centro Tecnológico de Hidráulica e

Recursos Hídricos (CTH)/USP. Um dos pluviógrafos (D4118r) estava instalado na porção superior da microbacia, nas coordenadas (UTM) 221379 m e 7473744 m. O outro pluviógrafo (D4116r), instalado próximo ao posto hidrossedimentométrico, nas coordenadas (UTM) 221497 m e 7478241 m. A bacia de contribuição até o posto tem aproximadamente 22 km² (2200 ha) (Figura 2).

Figura 2. Localização geográfica da Microbacia do Tinga.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

O clima é do tipo *Cfa*, segundo a classificação de *Köppen*, isto é, mesotérmico úmido, sem estação seca definida. O trimestre mais chuvoso corresponde aos meses de dezembro a fevereiro e o período mais seco aos meses de maio a agosto. Nesse último, a evaporação pode exceder a precipitação (PESSOTTI, 1994). Nos meses de julho e agosto, o balanço hídrico tem um excedente de 762 mm e um déficit de 3 mm, com uma evapotranspiração potencial de 877 mm e uma capacidade de armazenamento de 150 mm (SCARDUA, 1994).

A forma do relevo é a de degradação de planaltos dissecados. Um sistema de circulação, com estradas e carreadores, foi implantado na área sem levar em conta a topografia. Esse sistema serve como acumulador e condutor de águas da drenagem superficial. Segundo Pessotti (1994), nos carreadores com maior declividade havia processo erosivo, com a deposição de sedimentos na rede de drenagem.

O solo da microbacia hidrográfica do Ribeirão Tinga foi classificado em latossolo vermelho. A cobertura do solo da microbacia do Ribeirão Tinga é coberta predominantemente por *Eucalyptus saligna*. Ao longo do riacho existe uma mata ciliar totalizando 7,6 ha. De acordo com LIMA, (1996), o eucalipto foi plantado em torno de 1945. A primeira fase de produção foi voltada para lenha (1945 a 1957), a seguir, a madeira foi destinada as dormentes de estradas de ferro, com corte seletivo (1957 a 1978). A partir de então, acentuou-se a regeneração natural e a presença de vegetação de gramíneas, sendo o volume de madeira avaliado em 135 m³/há. Em maio de 1997, a área sofreu um corte raso para a retirada da madeira, com exceção da mata ciliar. Na Tabela 2, são apresentadas as classes de uso da terra na microbacia hidrográfica do ribeirão Tinga.

Tabela 2. Uso e ocupação da terra na área da microbacia hidrográfica do Ribeirão Tinga.

Classes de uso	Área (ha)	Área (%)
Acácia	0,61	0,73
Araucária	0,93	1,12
Carreador	4,44	5,31
Eucalipto	65,96	78,94
Pinus	4,38	5,24
Vegetação nativa	7,25	8,67
Total	83,57	100

Fonte: (MACHADO, 2002).

3.1.2. Microbacia Hidrográfica Pé de Gigante (PEG)

A área experimental PEG, onde ocorreu o monitoramento hidrológico e micrometeorológico, está localizada ao norte do estado de São Paulo, no município de Santa Rita do Passa Quatro, próximo. Na Gleba Pé de Gigante, localizada no Parque Vassununga, Instituto Florestal/Secretaria do Meio Ambiente/São Paulo, ocupa uma área com 1060 ha, com cotas altimétricas variando de 590 m a 750 m. Neste sítio predominam o cerrado restrito, além de

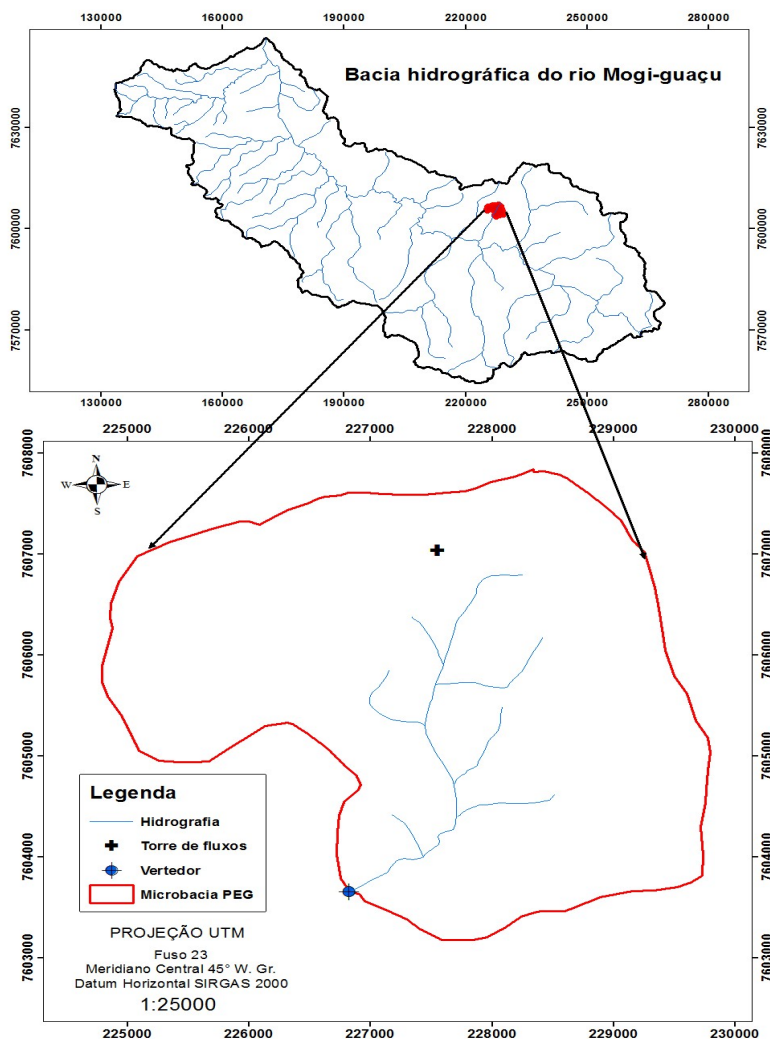
outras fisionomias de cerrado e uma pequena área com floresta decidual. A altura média do dossel da vegetação em torno da torre é de 20 m (ROCHA *et al.*, 2002), e é de 10 m na vegetação predominante na Gleba. A microbacia estudada é a do Córrego Paulicéia, que tem no vertedor a área de captação de 15,6 km².

A região é caracterizada por um relevo diferenciado que apresenta desde colinas amplas, médias e pequenas, morrotes e morros residuais, até escarpas, além de planícies fluviais com predomínio de relevos suavizados e baixas declividades (0 a 10%). Os sítios experimentais incluem as cabeceiras de vários afluentes do rio Mogi - Guaçu, entre eles o rio Bebedouro, que nasce dentro da Fazenda Cara Preta, e o córrego Paulicéia, cuja erosão formou um rebaixamento na forma de uma grande pegada, responsável pelo nome dado à gleba (BRUNO, 2009).

A classificação climática (*Koeppen*) da área experimental é *Cwa*, com as temperaturas médias mensais variando de 17,6 °C a 23,5 °C e a precipitação média anual igual a 1478 mm. A estação chuvosa estabelece-se entre setembro a abril, enquanto que a estação seca é bem definida entre maio a agosto (BRUNO, 2009).

O solo da microbacia hidrográfica Pé de Gigante foi classificado em neossolo vermelho. São solos com horizonte A moderado ou fraco, textura média, profundos, porosos e bem drenados, apresentando boas características físicas para o desenvolvimento radicular das plantas. Possuem bastante homogeneidade vertical e seus sub- horizontes são de difícil identificação. São ácidos, com baixos teores de carbono, baixa soma de bases, baixa capacidade de troca de cátions (sempre inferior a 50%) e, portanto, distróficos, solos minerais profundos, com teores baixos de argila (menos que 15%), derivados de arenitos, soltos e excessivamente drenados (BATALHA, 1997). Os altos teores de areia conferiram a esse solo uma boa capacidade de enraizamento nos seus aspectos físicos, porém uma baixa capacidade de retenção de água. Devido ao tipo de relevo a que estão associados e ao baixo grau de coesão entre as partículas, que ocorre por conta dos baixos teores de argilas, esses solos são muitíssimo susceptíveis à erosão natural (BRUNO, 2009). A região se caracteriza pela cobertura predominante de cerrado. A Figura 3 destaca a localização geográfica da microbacia hidrográfica e o contorno da microbacia hidrográfica Pé de Gigante.

Figura 3. Localização geográfica da microbacia hidrográfica Pé de Gigante.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

3.1.3. Microbacia Hidrográfica Santa Virgínia (SVG)

O sítio experimental está estabelecido na microbacia hidrográfica Santa Virgínia (SVG), no Núcleo Santa Virgínia/Parque Estadual da Serra do Mar (PESM)/Instituto Florestal de São Paulo (Figura 4) localizado em uma área perturbada por corte há aproximadamente 40 anos, com altitude de 900 a 1000 m. As coordenadas geográficas do local estão nas seguintes coordenadas ($23^{\circ} 17'$ a $23^{\circ} 24' S$ e $45^{\circ} 03'$ a $45^{\circ} 11' W$) (Figura 5).

A Serra do Mar é uma região de relevo de escarpas com típica borda de planalto, nivelada pelo topo em altitudes de 800 a 1200 m. O Núcleo Santa Virgínia cobre as cidades de São Luiz do Paraitinga (70%), Cunha (20%) e

Ubatuba (10%). O Parque Estadual Serra do Mar possui aproximadamente 5 mil ha de extensão, predominantemente cobertos por floresta ombrófila densa montana, com escarpas e reversos da Serra do Mar sobre o Planalto de Paraitinga – Paraibuna, marcada por morros e vales que se alternam em amplitudes de até 100 m (FREITAS, 2012).

Figura 4. Vista área da microbacia Santa Virgínia.



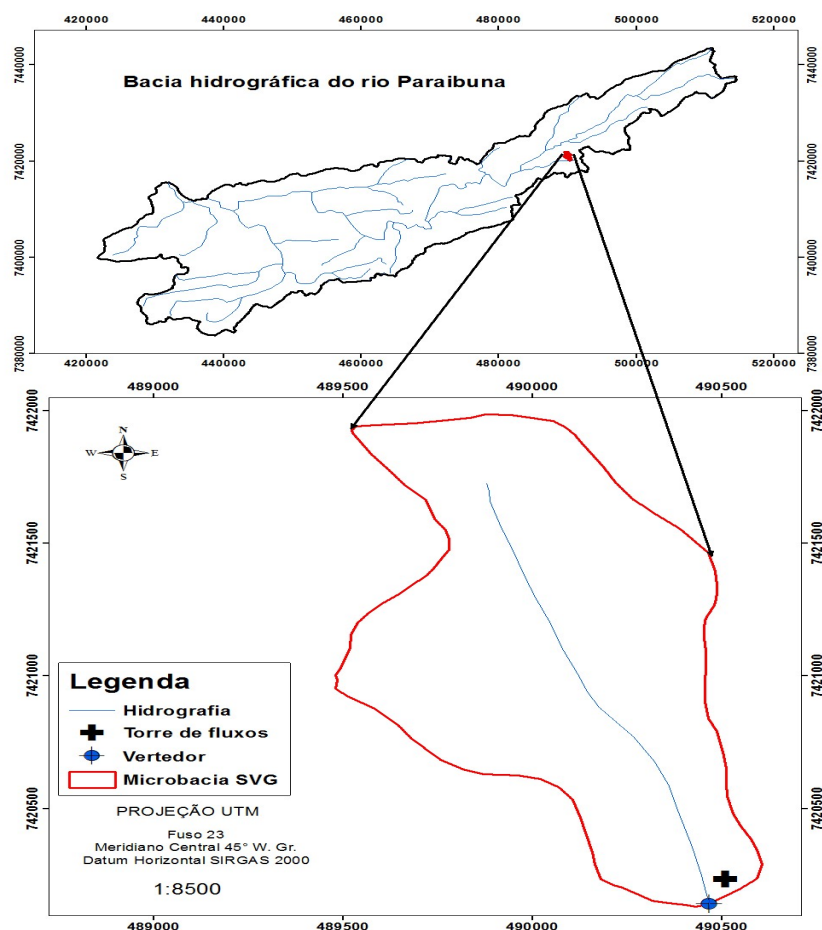
Fonte: (GROPPO, 2010).

Nessa região da Serra do Mar o relevo apresenta fortes declividades (24 a 37°) e o clima regional é do tipo *Cwa* na classificação de KÖEPPEN (1948). Possui precipitação anual entre 2500 mm (setor leste e oeste na baixada, com clima tropical superúmido) até 1500 mm (setor central, em direção ao planalto, com clima tropical subúmido). A estação seca estende-se de junho a agosto com precipitação sempre superior a 60 mm/mês. A temperatura média anual varia de 22,5 °C na costa (de 19 °C, no inverno, a 25 °C, no verão) até 21 °C no planalto. Nos meses de julho e agosto, o balanço hídrico tem um excedente de 762 mm e um déficit de 3 mm, com uma evapotranspiração potencial de 877 mm e uma capacidade de armazenamento de 150 mm (SCARDUA, 1994).

Sobre uma floresta com altura média de dossel 18 m acima do solo, a direção do vento predominante no Núcleo Santa Virgínia tem distribuição bimodal, de sudeste (associado à brisa marítima e frentes frias) e de norte-

noroeste (associado ao centro de alta pressão do Atlântico subtropical em grande escala) (FREITAS, 2012).

Figura 5. Localização geográfica da microbacia hidrográfica Santa Virgínia.

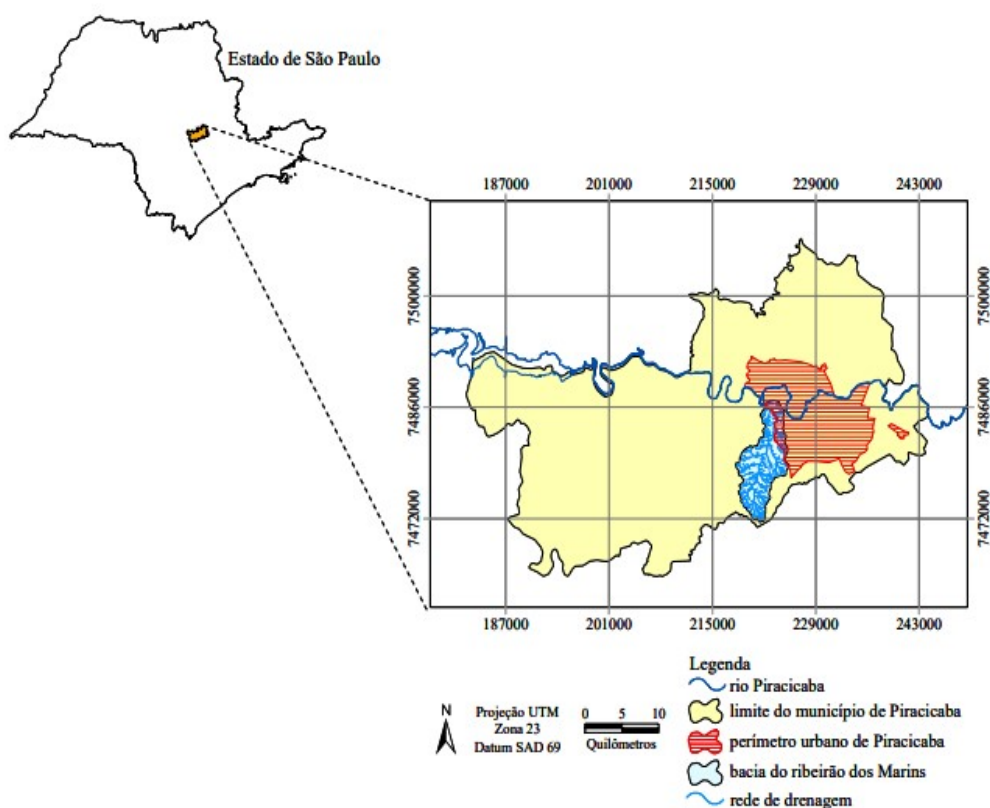


Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

3.1.4. Microbacia Hidrográfica Ribeirão dos Marins (BHRM)

A microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins, uma das áreas selecionadas para esse estudo, é afluente do rio Piracicaba, localizada no município de Piracicaba, Estado de São Paulo, entre as latitudes 22° 41' e 22° 51' sul e longitudes 47° 40' e 47° 45' oeste, com uma área aproximada de 5973 ha ou 59,73 km² (Figura 6).

Figura 6. Localização geográfica da microbacia Ribeirão dos Marins.



Fonte: (MONTEBELO, L. A.; CASAGRANDE *et al.*, 2005).

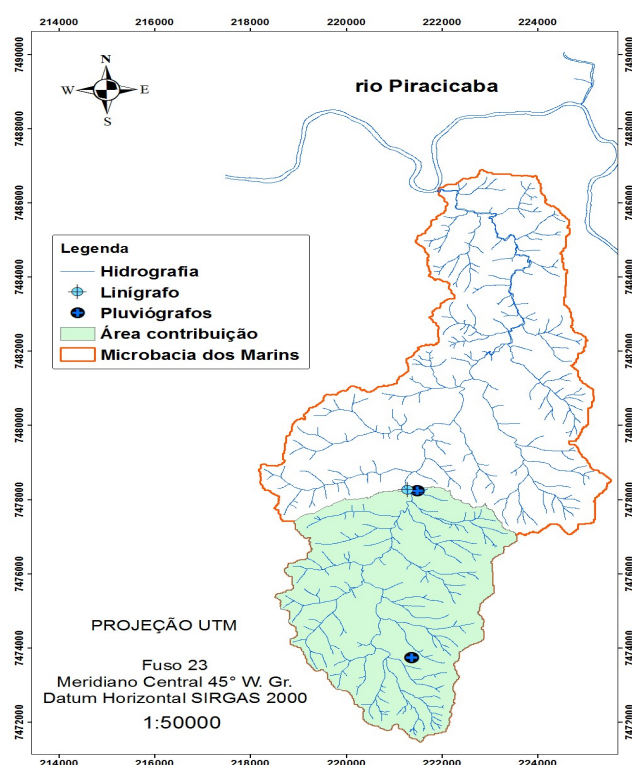
A microbacia do ribeirão dos Marins é de grande importância socioeconômica e ambiental para a região. Os recursos hídricos provenientes desta microbacia são utilizados para irrigar grande parte das hortaliças que abastecem o Município e região, dentre outros usos (CASAGRANDE, 2005).

O clima da região, segundo a classificação de *Köppen*, é do tipo mesotérmico, *Cwa*, isto é, subtropical úmido com estiagem no inverno, cujas chuvas do mês mais seco não atingem 30 mm e a temperatura do mês mais quente é superior a 22 ° C, enquanto a do mês mais frio é inferior a 18 °C (MACHADO & VETTORAZZI, 2003). Os dados de precipitação e vazão são provenientes de dois pluviógrafos e do posto hidrossedimentométrico instalados na microbacia no período de 1999, sob responsabilidade do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e do Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (CTH)/USP. Um dos pluviógrafos (D4118r) estava instalado na porção superior da microbacia, nas coordenadas (UTM) 221379 m e 7473744 m. O outro pluviógrafo (D4116r), instalado próximo ao posto hidrossedimentométrico, nas coordenadas (UTM) 221497 m e 7478241 m. A

bacia de contribuição até o posto tem aproximadamente 22 km² (2200 ha) (MACHADO, 2002).

A Figura 7 exhibe a localização do posto hidrossedimentométrico e pluviógrafos na microbacia e na Tabela 3, podem-se observar as classes de uso e ocupação da terra no ribeirão dos Marins em área (ha) e também sua distribuição por porcentagem. Esta informação torna-se importante para o melhor conhecimento das características da área de estudo.

Figura 7. Localização do posto hidrossedimentométrico e pluviógrafos na microbacia do Ribeirão dos Marins.



Fonte: Elaborada pelo autor (2018).

Tabela 3. Uso e ocupação da terra na área da microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins.

Classes de uso	Área (ha)	Área (%)
Reflorestamento	1,81	0,08
Cana-de-açúcar	1488,81	67,62
Pastagem	481,20	21,85
Vegetação nativa	230,03	10,45
Total	2201,85	100

Fonte: (MACHADO, 2002).

Na microbacia do Ribeirão dos Marins as classes de solos predominantes são os Neossolos Litólicos e os Argissolos Vermelho-Amarelos, os quais se estendem por aproximadamente 58 e 42%, respectivamente. Na Tabela 4 é possível observar detalhadamente os tipos de solos que compõe esta área.

Tabela 4. Tipos de solos na área da microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins.

Pedologia	Área (ha)	Área (%)
Latossolos Vermelho-Amarelos	18,55	0,84
Neossolos Litólicos	1267,07	57,51
Argissolos Vermelho-Amarelos	917,45	41,64
Total	2203,07	100

Fonte: (OLIVEIRA, *et al.*, 1999).

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Análise dos Dados

Com base nos dados dos pluviógrafos instalados nas microbacias hidrográficas, foram selecionados e analisados eventos extremos de precipitação e suas respectivas vazões com o objetivo de separar no hidrograma, o volume escoado superficialmente do volume de base. Deste modo, selecionaram-se eventos com potencial para geração de escoamento superficial.

3.2.2. Separação dos Escoamentos Direto e de Base

A análise da hidrográfica envolve a separação do fluxo em dois componentes principais: escoamento direto e escoamento de base (ARNOLD *et al.*, 1995).

A separação do escoamento direto do de base é um procedimento que permite a compreensão da magnitude e da dinâmica da descarga de águas subterrâneas e dos processos de escoamento direto em bacias hidrográficas (BRODIE & HOSTETLER, 2005). Permite também a análise da influência de diversos fatores sobre o escoamento de base e sobre o escoamento direto. Como, por exemplo, a análise da influência da adoção de práticas para a conservação de água e de solo na redução dos picos de vazão e no aumento das vazões mínimas em períodos de estiagem (MIRANDA *et al.*, 2014).

A separação da hidrógrafa entre componentes de escoamento direto e escoamento de base também é importante para a gestão de recursos hídricos,

especialmente no que se refere a condições de seca e enchentes (VASCONCELOS *et al.*, 2013).

Atualmente existem alguns métodos para a separação dos escoamentos, como análises químicas de determinadas substâncias identificadas como traçadores, filtros digitais de base física, e métodos que se baseiam em ajustes de curvas por meio de análise gráfica dos hidrogramas.

Nesse trabalho, a separação do escoamento direto do escoamento de base foi feita utilizando-se de filtros digitais.

3.2.3. Filtro de Escoamento de Base

A técnica de filtro digital desenvolvida por ARNOLD (1999) foi originalmente utilizada na análise e processamento de sinais para separar o sinal de alta frequência do sinal de baixa frequência. Nesse método, as ondas de alta frequência podem ser associadas ao escoamento direto e as ondas de baixa frequência podem ser associadas ao escoamento de base (LIM *et al.*, 2005). A soma das duas frequências corresponderia à vazão total da hidrógrafa. Embora a técnica não tenha uma base física verdadeira, é objetiva e reproduzível. Segundo ARNOLD *et al.* (1995), essa técnica de filtro digital automatizado se compara bem com as estimativas medidas em campo.

A equação do filtro é:

$$q_t = \beta q_{t-1} + (1 + \beta)/2 * (Q_t - Q_{t-1}) \quad (1)$$

Onde q_t é o escoamento superficial filtrado (resposta rápida) no espaço de tempo t (um dia), Q é o fluxo de fluxo original e β é o parâmetro do filtro (0,925). O valor de 0,925 foi determinado por NATHAN & MCMAHON (1990) e ARNOLD *et al.*, (1995) para dar resultados realistas quando comparados com técnicas de separação manual. O fluxo base, b_t , é calculado com a seguinte equação:

$$b_t = Q_t - q_t \quad (2)$$

O filtro pode ser passado sobre os dados de vazão três vezes (para frente, para trás e para frente), dependendo das estimativas selecionadas pelo usuário, do fluxo base a partir de estudos piloto de dados de fluxo. Em geral, cada passagem resultará em menos fluxo de base como uma porcentagem do fluxo total (ARNOLD, 1999).

Vários métodos foram desenvolvidos para estimar a recarga de água subterrânea, a partir de registros de fluxo de rios. O método de deslocamento da curva de recessão que é comumente referido como o método de Rorabaugh. Este método estima a recarga total para cada pico de escoamento (ARNOLD, 1999). Temos a seguinte equação:

$$R = ((2(b_2 - b_{1k}) / (2.3026)) \quad (3)$$

Onde R é o volume de recarga b_1 é a descarga da água subterrânea no momento crítico após o pico na curva de recessão anterior, b_2 é a descarga da água subterrânea no momento crítico após o pico na curva de recessão atual e k é o índice de recessão. O tempo crítico pode ser aproximado pela seguinte equação (RORABAUGH, 1964):

$$T_c = ((0.2\alpha^2 S) / (TR)) \quad (4)$$

Onde T_c é o tempo crítico, α é a distância média da corrente para a divisão da água subterrânea, S é a Coeficiente de armazenamento, e TR é transmissividade. O método adotado é uma modificação do método de deslocamento da curva de recessão. O método aqui apresentado consiste nas seguintes etapas:

Passo 1. Execute uma passagem do filtro de fluxo de base digital através do fluxo de fluxo diário,

Passo 2. Encontre o primeiro ponto onde a curva de fluxo base reúne a curva de fluxo de fluxo total (Ponto A na Figura 8) e calcule a constante de recessão.

$$\alpha = \ln ((q_N / q_A) / (N)) \quad (5)$$

Onde q e q_A fluem nos pontos N e A, respectivamente. Para estimar com precisão A, o período de recessão (N) deve ser pelo menos dez dias.

Passo 3. Encontre o próximo ponto onde o fluxo base Curva reúne a curva de fluxo total.

Passo 4. Extrapolar a curva de recessão do ponto A ao ponto B2.

$$q_{B2} = ((q_A) / (e^{(nd * \alpha)})) \quad (6)$$

Onde q_{B2} é fluxo de fluxo no ponto B2, e nd é o número de dias dos pontos A e B.

Passo 5. Calcular a recarga de água subterrânea para o período entre os pontos A e B usando a seguinte equação:

$$R = (q_A - q_{B2}) * nd \quad (7a)$$

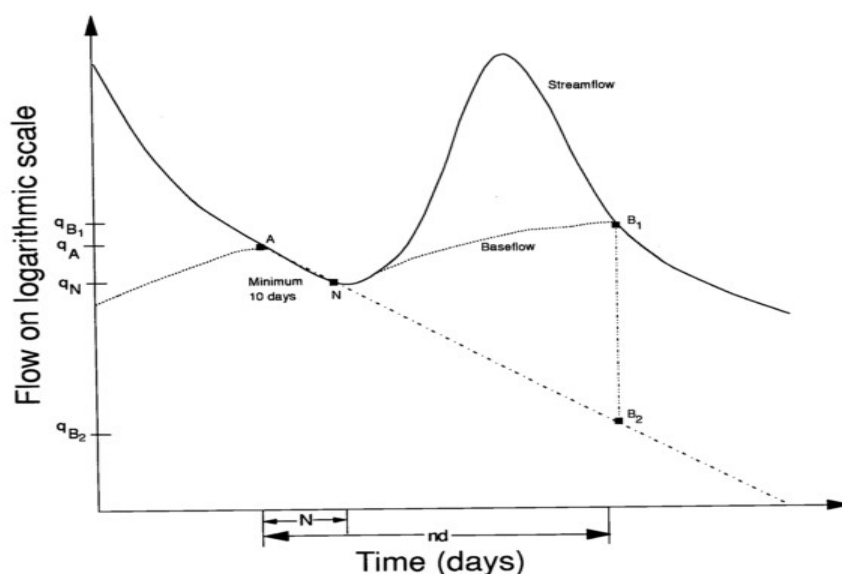
Ou

$$R = 0.0372 * (q_A - q_{B2}) * nd / na \quad (7b)$$

Passo 6. Repita os passos 1-5 para cada período de recuo do fluxo de base (ARNOLD, 1999).

O filtro possui uma interface *Web* (*WHAT - Web-based Hydrograph Analysis Toll*) para determinar a fração do escoamento de base do escoamento total e pode ser acessado a partir do site do *SWAT* (*Soil & Water Assessment Tool*).

Figura 8. Técnica para calcular a recarga do fluxo diário.



Fonte: ARNOLD (1999).

O *WHAT* possui uma interface amigável. É possível utilizar o filtro com menor quantidade de dados, na opção 2i) *“I will ENTER my flow data (daily/hourly)”* ou com maior quantidade de dados, na opção 2ii) *“I will UPLOAD my flow data (daily/hourly)”*, através do *upload* de um arquivo previamente formatado para este fim. Este filtro estima o escoamento de base e recarga de água subterrânea a partir de registros de escoamento utilizando a metodologia descrita por ARNOLD (1999).

3.2.4. Determinação do Coeficiente de Escoamento (C)

O cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C), relativo a um evento de chuva, é realizado conhecendo-se o volume total escoado por meio da separação entre este e o de base, utilizando o filtro de escoamento, e o total precipitado sobre a bacia, conforme relação abaixo:

$$C = V_{es}/V_p \quad (8)$$

Onde, C – Coeficiente de escoamento; V_{es} – volume escoando superficialmente; V_p – volume precipitado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar as análises dos dados de vazão e de precipitação, em diferentes estações do ano e selecionar eventos de cheias das microbacias hidrográficas Ribeirão Tinga, Pé de Gigante, Santa Virgínia, e Ribeirão dos Marins, utilizando o filtro de escoamento de base, que permitiu realizar a separação fluxo observado, escoamento direto e escoamento de base, foi possível observar a variação dos valores do coeficiente de escoamento, evidenciando variação, diferente do que pode ser obtido atualmente em tabelas.

Na Tabela 5, é possível observar os valores dos coeficientes de escoamentos superficiais calculados experimentalmente. Esses coeficientes (C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 e C_6) representam os dados obtidos a partir do uso do filtro de base de escoamento obtidos em diferentes datas e anos* e o C_T , é o coeficiente de escoamento tabelado de todas as bacias hidrográficas. Os valores de C calculados, que possuem dois eventos seguidos de precipitação, (Tinga – $C_5 = 0,024$, PEG – $C_2 = 0,038$, SVG – $C_6 = 0,0003$, BHRM – $C_3 = 0,36$) os valores obtidos foram maiores do que os valores de C gerados nos hidrogramas que apresentam um evento isolado de precipitação, isso ocorre, pois se supõe que após um evento de precipitação, o solo está parcialmente saturado, ou seja, ocorreu o aumento da umidade do solo, que faz com que o valor do C aumente também após o segundo evento de precipitação.

Tabela 5. Coeficientes de escoamento calculados das áreas de estudo e seus respectivos coeficientes tabelados (C_T).

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_T
Tinga	0,01	0,007	0,008	0,007	0,024	0,008	0,39
PEG	0,012	0,038	0,033	0,011	0,02	0,015	0,35
SVG	0,0001	0,0001	0,00015	0,0001	0,00009	0,0003	0,35
BHRM	0,30	0,21	0,36	0,13	0,06	0,15	0,31

Datas* Tinga - C_1 : 07/01/2011 - C_2 : 10 e 11/01/2011 - C_3 : 27/01/2011 - C_4 : 12/03/2011 - C_5 : 12/04/2011 - C_6 : 27 e 28/04/2011. PEG - C_1 : 18 e 19/01/2012 - C_2 : 17 e 18/01/2012 - C_3 : 21/03/2013 - C_4 : 17 e 18/09/2013 - C_5 : 02 e 03/10/2013 - C_6 : 28 e 2/12/2013. SVG - C_1 : 06/01/2011 - C_2 : 09/01/2011 - C_3 : 11/01/2011 - C_4 : 12 e 13/01/2011 - C_5 : 14/02/2011 - C_6 : 28/02/2011. BHRM - C_1 : 08 e 08/01/1999 - C_2 : 26 e 27/01/1999 - C_3 : 01, 02 e 03/02/1999 - C_4 : 21/02/2000 - C_5 : 07 e 08/01/2000 - C_6 : 26 e 27/03/2000.

A análise realizada em cada uma das microbacia hidrográficas é importante porque diversos fatores, como o clima, chuva, a topografia, a geologia e o uso da terra da bacia, além do impacto das atividades humanas, influenciam o seu comportamento hidrológico.

4.1. Microbacia Hidrográfica do Ribeirão Tinga

Com base na seleção dos dados chuva e a vazão, ambos os fenômenos ocorreram em período correspondente, da microbacia hidrográfica do Ribeirão Tinga, no ano de 2011, obteve-se uma sequência de hidrogramas (L/s) e precipitação (mm) com diferentes tipos de comportamento, onde foram obtidos após o uso do filtro de escoamento, a vazão observada (L/s), escoamento direto (L/s), e o escoamento de base (L/s). A unidade da vazão desta microbacia hidrográfica foi trabalhada de forma diferenciada das outras microbacias hidrográficas do estudo, pois se observou os valores da vazão em m^3/s são muito baixos e não seria viável utilizar esta unidade no filtro de escoamento de base, portanto, neste caso, a vazão foi trabalhada em L/s.

Na Tabela 6 e na Figura 11, visualizam-se os hidrogramas e a precipitação que ocorreu em cada evento e os valores dos coeficientes de escoamento.

De modo geral, nos hidrogramas gerados predominou o escoamento de base. A exceção foram dois eventos, em que o escoamento direto foi que predominou. Houve pouca variação nos valores do coeficiente de escoamento para essa microbacia, provavelmente devido à uniformidade de uso e cobertura do solo.

Tabela 6. Porcentagem de escoamentos do hidrograma e C calculado do Ribeirão Tinga em 2011.

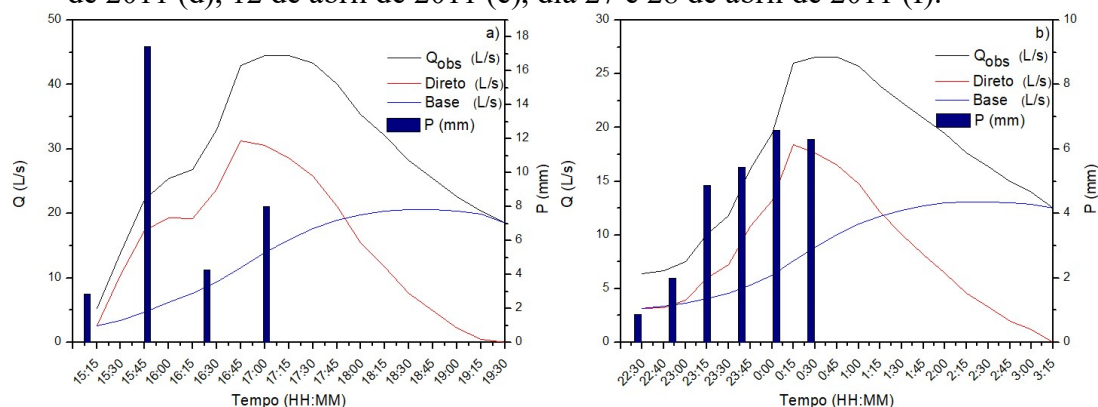
Escoamento	2011					
	Jan	Jan	Jan	Março	Abril	Abril
	Dias					
	7	10 e 11	27	12	12	27 e 28
Porcentagem (%)						
Observado	100	100	100	100	100	100
Direto	52,0	47,2	56,8	49,2	37,3	29,6
Base	48,0	52,8	43,2	50,8	62,7	70,4
C	0,01	0,007	0,008	0,007	0,024	0,008

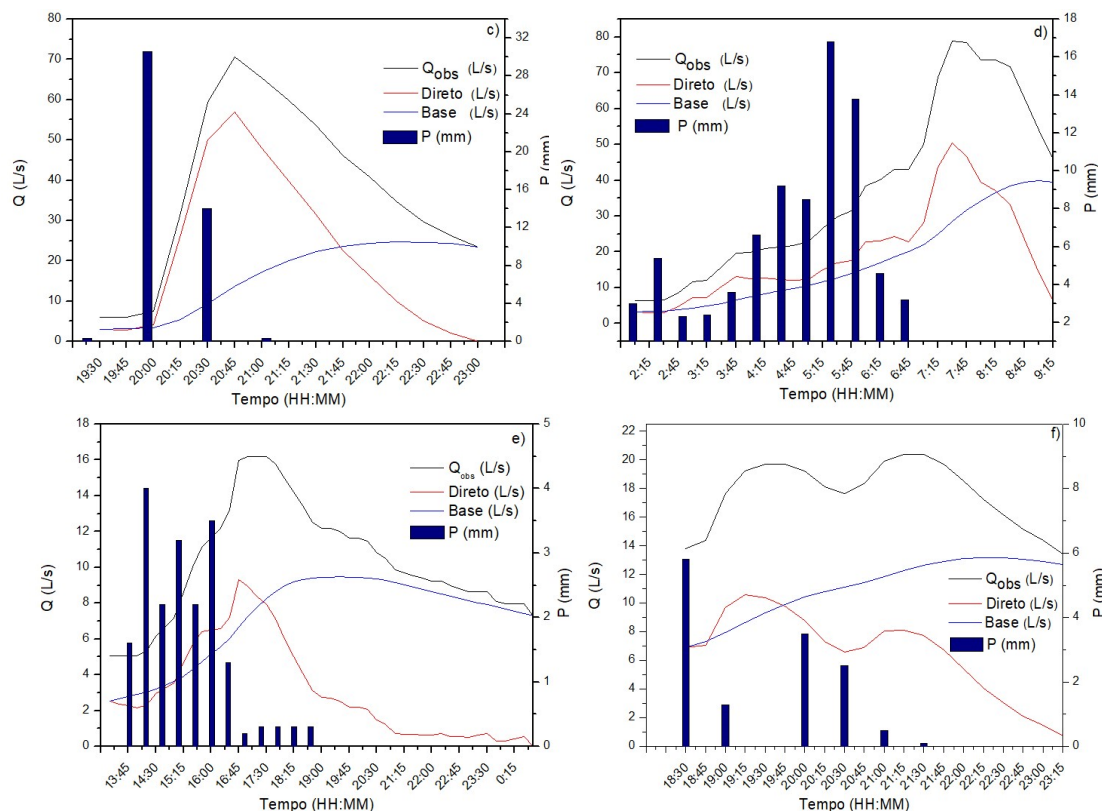
Nas Figuras 9-a e 9-c predominou o escoamento direto, pois ocorreu chuva intensa, de forma que houve a saturação do solo e consequentemente o escoamento superficial.

É possível observar que para chuvas com intensidade baixa existe a tendência que todo volume de água infiltre, principalmente em solos ocupados com eucalipto e pasto (taxa de infiltração > Intensidade de chuva) (ZUQUETTE & PALMAI, 2006). Assim como ocorreu nas Figuras 9-b, 9-d, 9-e e 9-f, a chuva foi reduzida, gerando somente o escoamento de base.

Na Figura 9-f é apresentado o hidrograma resultante da análise de dois eventos de precipitação ocorridos consecutivamente. Para a análise, em que dois eventos de precipitação ocorrem em sequência, o valor do C foi de 0,024, (Tabela 6) maior em relação aos valores de C dos outros hidrogramas que foram analisados de forma isolada.

Figura 9. Hidrograma e precipitação (P) do Ribeirão Tinga. Dia 07 janeiro de 2011 (a), 10 e 11 de janeiro de 2011 (b), 27 de janeiro de 2011 (c), 12 de março de 2011 (d), 12 de abril de 2011 (e), dia 27 e 28 de abril de 2011 (f).





O comportamento dos hidrogramas e a resposta da microbacia hidrográfica em relação aos eventos de precipitação são fortemente influenciados pelo uso e ocupação da terra que se caracteriza predominantemente por eucalipto (78,94%) e vegetação nativa (8,67%) e solo Latossolo Vermelho. Os Latossolos constituem uma das treze ordens de solos de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Estes solos caracterizam-se por apresentar predominância de material mineral, bastante intemperizado, com horizonte diagnóstico B latossólico. Representam mais de 50% do território brasileiro, sendo a ordem mais importante em termos agrícolas (NETO & LOPER, 2009).

4.2. Microbacia Hidrográfica Pé de Gigante (PEG)

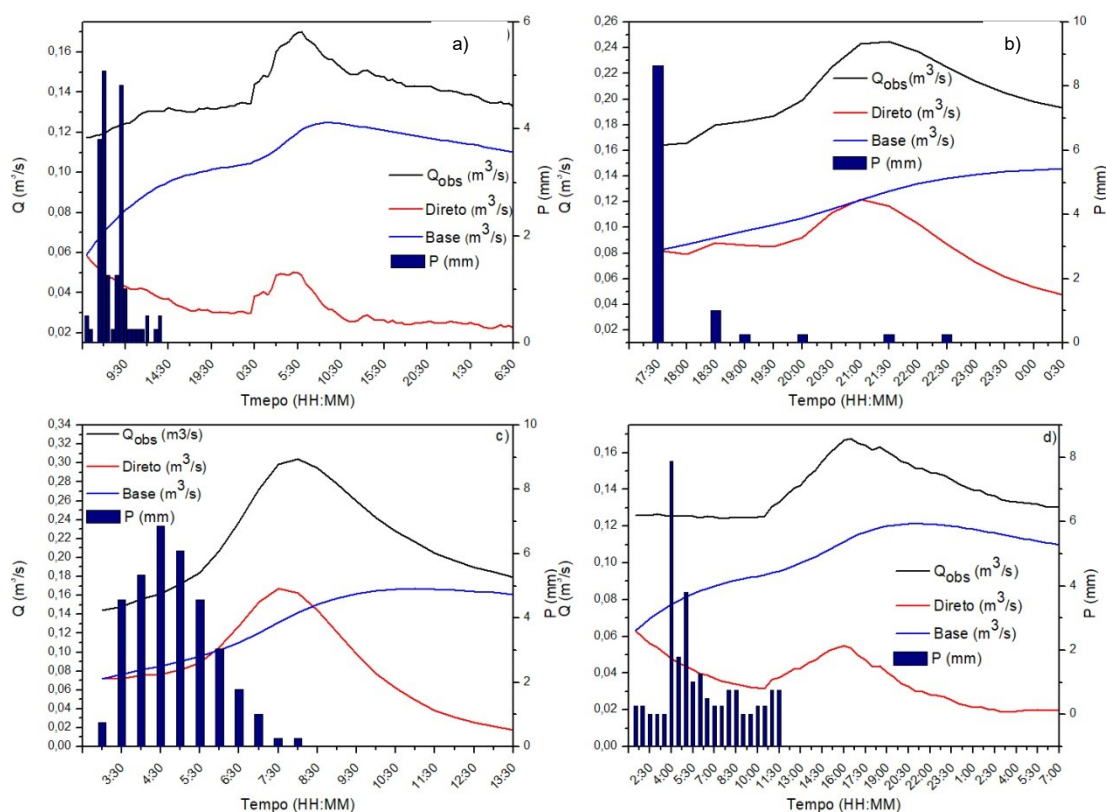
A organização dos dados permitiu a aplicação de funções estatísticas que identificassem de maneira coerente o comportamento da chuva e da vazão na microbacia hidrográfica Pé de Gigante, utilizando dados de 2012 e 2013, durante diferentes meses, obteve-se hidrogramas, que expõe a ascensão, os picos, o ponto de inflexão e a recessão da vazão (m^3/s), onde foi obtido após o uso do filtro de escoamento, a vazão observada (m^3/s), escoamento direto (m^3/s), e o escoamento de base (m^3/s).

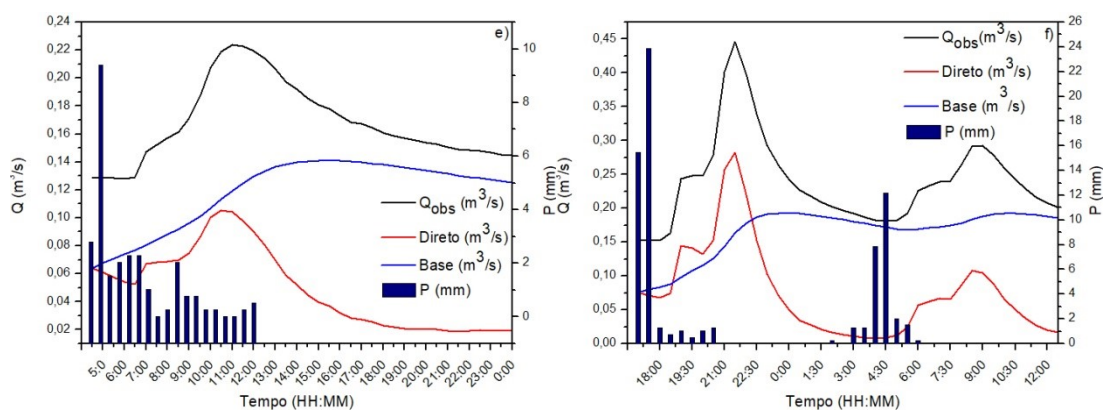
Figura 10 e na Tabela 7 e na, observam-se nos hidrogramas que houve diferença do valor do coeficiente de escoamento obtido de forma experimental, em relação ao valor de escoamento de coeficiente tabelado, porém não houve variação intensa nos valores.

Ao considerar que o tipo de uso e cobertura da terra determina, em parte, o comportamento da microbacia hidrográfica, destaca-se que neste sítio predomina o Cerrado sob Latossolo vermelho, que possui textura média, profundos, porosos e bem drenados, apresentando boas características físicas para o desenvolvimento radicular das plantas e infiltração da água (BATALHA, 1997).

Desta forma há condições favoráveis à infiltração da água no solo e a geração do escoamento de base. Estes resultados mostram a importância do bioma Cerrado associados ao solo de alta capacidade de infiltração para a manutenção da perenidade dos rios.

Figura 10. Hidrograma e precipitação (P) da PEG. Dias 17 e 18 de janeiro de 2012 (a), 18 e 19 de janeiro de 2012 (b), 21 de março de 2013 (c), 17 e 18 de setembro de 2013 (d), 02 e 03 de outubro de 2013 (e) 28 e 29 de dezembro de 2013 (f).





Para esta bacia de estudo, o evento complexo teve o maior valor de chuva intensa foi representado pela Figura 10-f (71,88mm), seguido da Figura 10-c (34,54mm), sendo que a chuva dos outros eventos foi reduzida, entre 10,67 mm e 26,42 (Figuras 10-a,b,d,e).

Tabela 7. Porcentagem de escoamentos do hidrograma da PEG em 2012 e 2013.

Escoamento	2012		2013			
	Jan	Out	Março	Set	Out	Dez
	Dias					
	18 e 19	17 e 18	21	17 e 18	02 e 03	28 e 29
	Porcentagem (%)					
Observado	100	100	100	100	100	100
Direto	30,7	23,8	34,6	25,8	25,8	29,8
Base	69,3	76,2	65,4	74,2	74,2	70,2
C	0,012	0,038	0,033	0,011	0,02	0,015

4.3. Microbacia Hidrográfica Santa Virgínia (SVG)

A partir dos dados de vazão e precipitação da microbacia hidrográfica Santa Virgínia, durante início do ano de 2011, obteve-se distintos hidrogramas, que expõe a ascensão, os picos, o ponto de inflexão e a recessão da vazão (m^3/s), onde foi obtido após o uso do filtro de escoamento, a vazão observada (m^3/s), escoamento direto (m^3/s), e o escoamento de base (m^3/s).

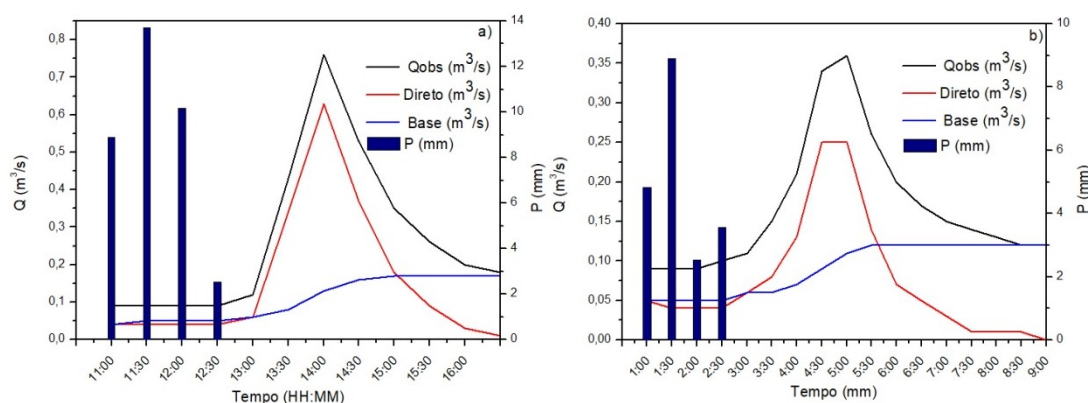
Na Tabela 8 e na Figura 11, é possível visualizar os hidrogramas e os valores de C para a bacia SVG. Alguns eventos de precipitação analisados ocorreram em períodos de tempo muito próximos. Nota-se que houve pouca

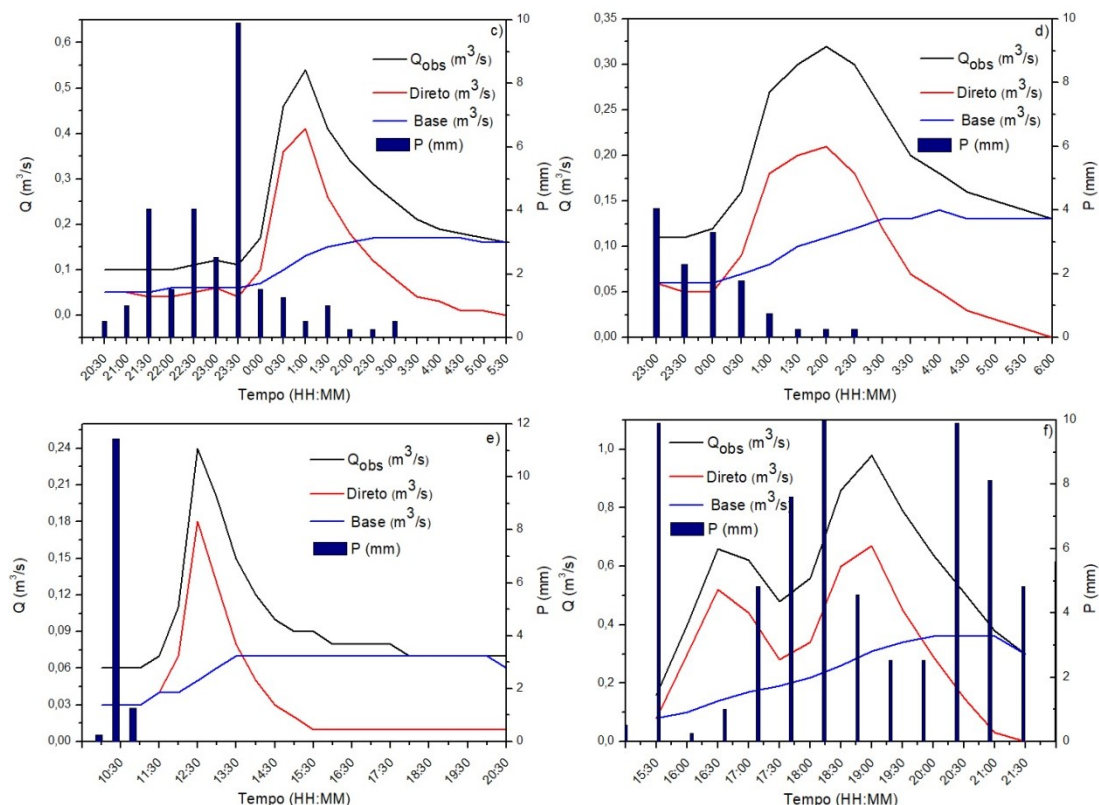
variação do valor do coeficiente de escoamento calculado para cada evento. Observou-se um predomínio do escoamento de base (Figuras 11-b, c, d, e). A microbacia hidrográfica SVG caracteriza-se por cobertura de vegetação nativa e solos com argila de atividade baixa e baixa saturação por bases na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (Cambissolos Háplicos (EMBRAPA (2006)).

Tabela 8. Porcentagem de escoamentos do hidrograma da SVG em 2011.

Escoamento	2011					
	Jan	Jan	Jan	Jan	Fev	Fev
	Dias					
	06	09	11	12 e 13	14	28
	Porcentagem (%)					
Observado	100	100	100	100	100	100
Direto	55,8	44,5	47,0	45,5	38,3	56,5
Base	44,2	55,5	53,0	54,5	61,7	43,5
C	0,0001	0,0001	0,00015	0,0001	0,00009	0,0003

Figura 11. Hidrograma e precipitação (P) da SVG. Dias 06 de janeiro de 2011 (a), 09 de janeiro de 2011 (b), 11 de janeiro de 2011 (c), 12 e 13 de janeiro de 2011 (d), 14 de fevereiro de 2011 (e) 28 de fevereiro de 2011 (f).





A floresta fornece a matéria orgânica que protege e melhora as condições hidrológicas do solo devido à camada orgânica que se acumula sobre a superfície (serapilheira). Dessa forma contribui para o processo de infiltração da água no solo, já que a cobertura florestal intercepta a água da chuva, diminui sua velocidade, mantém a umidade do solo, permitindo que o processo de infiltração ocorra de forma lenta (NEARY *et al.*, 2009). Ocorreram chuvas variando entre 12,95 mm e 78,23 mm para o período estudado. O hidrograma resultante de evento complexo de precipitação (Figura 11-f) apresentou escoamento direto (56,5%) predominante em relação ao escoamento de base (43,5%). Teve este comportamento justificado porque a análise dos dados que antecedem este evento confirmou a existência de um evento de precipitação anterior, o que aumentou a umidade do solo e consequentemente a saturação do solo.

4.4. Microbacia Hidrográfica Ribeirão dos Marins (BHRM)

Para calcular a precipitação média desta bacia hidrográfica, que possui dois postos pluviométricos que influenciam a dinâmica dos dados, utilizou-se o método de Thiessen. Ao selecionar eventos de cheias a partir dos dados de vazão e precipitação, no ano de 1999, durante diferentes meses, obteve-se hidrogramas,

que expõe a ascensão, os picos, o ponto de inflexão e a recessão da vazão (m^3/s), onde foi obtido após o uso do filtro de escoamento, a vazão observada (m^3/s), escoamento direto (m^3/s), e o escoamento de base (m^3/s).

A cobertura vegetal (densidade da vegetação e o grau de desenvolvimento vegetal) desempenha um papel importante no processo de interceptação de chuvas. A BHRM possui cobertura predominante de cana de açúcar (aproximadamente 70% de cobertura do solo). O manejo da cana de açúcar apresenta duas fases distintas: primeiro o sulcamento do solo para o plantio, e em segundo, a manutenção durante um período. Durante a fase do sulcamento as estruturas da camada superficial são destruídas e a taxa de infiltração é muito alta. No período correspondente entre janeiro e fevereiro de 1999 (Tabela 9), foi observado que o coeficiente de escoamento direto médio (64.87%) foi maior em relação ao coeficiente de escoamento de base médio (35.13%).

Tabela 9. Porcentagem de escoamentos do hidrograma da BHRM em 1999 e 2000.

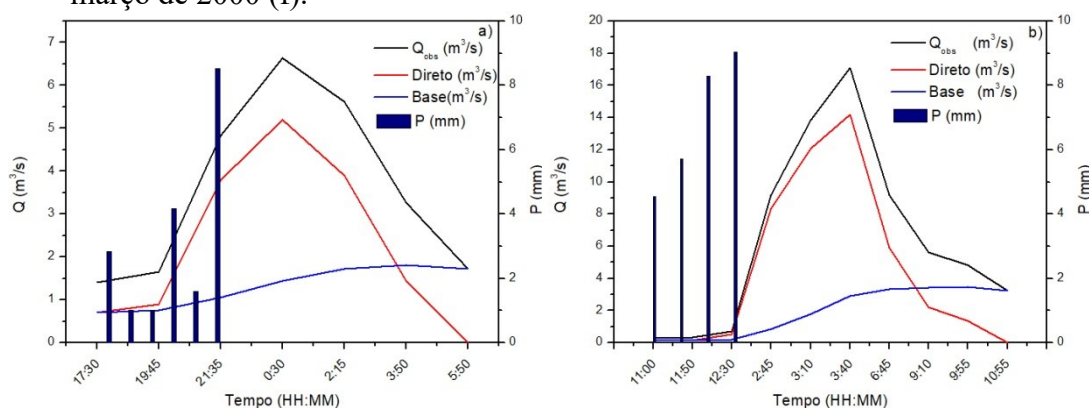
Escoamento	1999				2000	
	Jan	Jan	Fev	Fev	Jan	Mar
	Dias					
	08 e 09	26 e 27	01, 02 e 03	21	07 e 08	26 e 27
	Porcentagem (%)					
Observado	100	100	100	100	100	100
Direto	63,4	69,8	64,3	62,0	23,9	30,2
Base	36,6	30,2	35,7	38,0	76,1	69,8
C	0,30	0,21	0,36	0,13	0,06	0,15

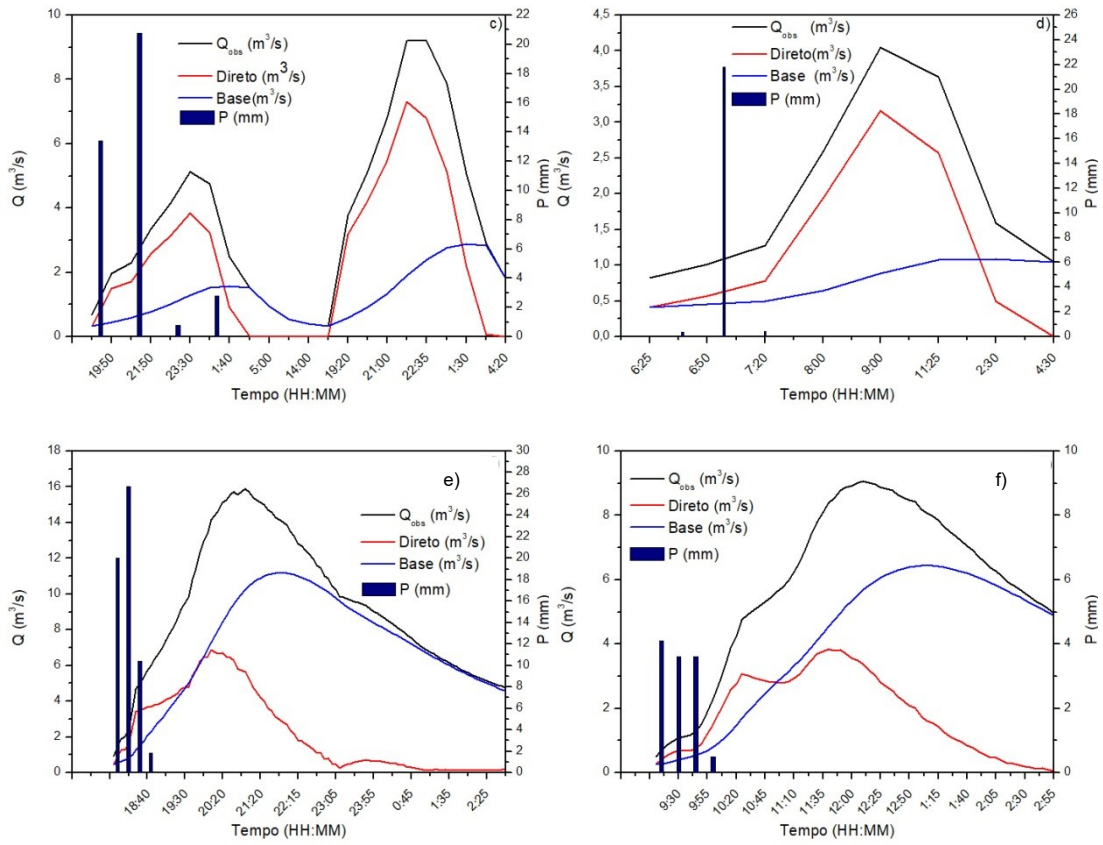
Segundo a Embrapa, o período entre janeiro a março é considerado ideal para o crescimento da cana-de-açúcar, pois apresenta boas condições de temperatura e umidade, garantindo o desenvolvimento das gemas (FIETZ *et al.*, 2015), justificando o maior escoamento direto observado, já que a precipitação não é interceptada por qualquer cobertura vegetal.

Nesse período de estudo, a chuva intensa variou entre 11,8 mm e 58,9 mm (Figuras 12a-d). Castilho & Filho, (2000) analisaram a interceptação de chuvas na cultura de cana de açúcar em uma área de cultivo no município de Campinas, SP, durante os meses de fevereiro a dezembro de 1999. Neste período, segundo a autora, a precipitação incidente total analisada foi de 778,9 mm, dos quais 39,5%

foram interceptados e 60,5% representaram a lâmina de água no solo. O período de estudo correspondente aos meses de janeiro (dias 7 e 8) e março (dias 26 e 27) do ano 2000 foi marcado pelo predomínio do escoamento de base médio (72,9%). Possivelmente, à medida que a cana de açúcar se desenvolve, a quantidade de precipitação interceptada pela cobertura vegetal representa uma parcela importante do balanço hídrico. Segundo Tomasini *et al.*, (2010), avaliando o efeito de diferentes coberturas do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar sobre o escoamento superficial na erosão entres sulcos, verificaram que os efeitos do dossel e do resíduo da cana-de-açúcar promoveram o aumento da rugosidade hidráulica e dos volumes de interceptação pela vegetação, reduzindo o escoamento de água. Conforme mencionado anteriormente, a textura e compactação do solo, umidade, manejo e cobertura vegetal além da intensidade da precipitação podem influenciar o escoamento e conseqüentemente o valor do coeficiente de escoamento. Como o escoamento direto e o escoamento de base se alternaram na formação da vazão (Figuras 12a-f), esperavam-se valores diferentes de C para cada período. É possível observar na Tabela 5 que houve variação entre todos os valores de coeficientes de escoamento experimentais (entre 0,13 e 0,36), em relação ao valor de escoamento de coeficiente tabelado (0,31).

Figura 12. Hidrograma e precipitação (P) da BHRM. Dias 08 e 09 de janeiro de 1999 (a), 26 e 27 de janeiro de 1999 (b), 01, 02 e 03 de fevereiro de 1999 (c), 21 de fevereiro de 1999 (d), 07 e 08 de janeiro de 2000 (e), 26 e 27 de março de 2000 (f).





5. CONCLUSÕES

Ao determinar os coeficientes de escoamento (C) experimentais nas bacias hidrográficas, Ribeirão dos Marins, Ribeirão Tinga, Santa Virgínia e Pé de Gigante, a partir da utilização do filtro de separação de escoamento de base e da relação entre volume escoado superficialmente e volume precipitado e compará-los com os valores tabelados, evidenciou-se a distinção entre os valores obtidos experimentalmente e os valores tabelados em manuais. Nas microbacias com cobertura vegetal original, como o cerrado e mata atlântica, o coeficiente de escoamento teve pouca variação entre os eventos analisados, ao contrário das microbacia em que o uso e ocupação da terra são predominante agrícola.

Como esses valores tabelados foram obtidos em parcelas experimentais, não traduzem a realidade, haja vista que cada bacia hidrográfica possui características distintas. Apesar dos valores de C tabelados superestimaram os valores obtidos em microbacias experimentais e quanto maior o valor de C, menor o risco de a obra hidráulica vir a não ter o funcionamento esperado, cuidados são necessários na escolha desses valores para a estimativa da vazão máxima em projetos de engenharia.

Como não foi possível, por falta de dados, determinar o coeficiente de escoamento em microbacias urbanas, sugere-se estudos para essas condições, considerando as modificações artificiais realizadas que tende a aumentar o pico de vazão, como a impermeabilização do solo, a drenagem urbana e canalização de rios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, D. B. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S., 2006. Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. Eng. Agrícola 26, 103–112.
- ARAÚJO, A. A. M. De, & DIAS, N.L., 1995. Separação do Hidrograma de Cheias através de Filtros Auto recursivos. Simpósio Bras. Recur. Hídricos 267–272.
- ARNOLD, J. G.; ALEEN, P.M. B., 1995. Automated Base Flow Separation and Recession Analysis Techniques.
- ARNOLD, J.G., 1999. Automated Methodos for estimating baseflow and Florida is highly dependent on ground water mates of baseflow and recharge.
- BARNES, B. S., 1939. The Structure of Discharge-recession Curves 20.
- BARRETO, C.E.A.G., WENDLAND, E., GOMES, L.H., MARCUSS, F.F.N., 2006. A interação Rio-Aquifero na Bacia do Ribeirão da Onça: aplicação de equações empíricas para estimativa do escoamento de base. XIV Congr. Bras. Águas Subterrâneas 1–20.
- BATALHA, M. A., 1997. Análise da vegetação da ARIE Cerrado Pé de Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). Univ. Fed. São Paulo.
- BLUME, T.; ERWIN, Z., BRONSTERT, A.; 2007. Rainfall-runoff response, event-based runoff coefficients and hydrograph separation. Hydrol. Sci. J. 52, 843–862.
- BRODIE, R. S.; HOSTETLER, S., 2005. A review of techniques for analysing baseflow from stream hydrographs. Proc. NZHS-IAH-NZSSS Conf. 28.
- BRUNO, R. D., 2009. Balanço de água em microbacias de cerrado restrito e eucalipto: Um estudo de caso com medidas observacionais.
- CASAGRANDE, C. A., 2005. Diagnóstico ambiental e análise temporal da adequabilidade do uso e cobertura do solo na Bacia do Ribeirão dos Marins, Piracicaba–SP.
- CASTILHO, C. G.; FILHO, J. T., 2000. Interceptação de chuvas na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum Officinarum* ssp.). Eng. Agrícola.

- CHELMICKI, W.; SIWEK, J., 2008. Hydrological extremes in small basins. *Inst. Geogr. Spat. Manag.* 19–401.
- CONCEIÇÃO, F. T.; ANTUNES, M. L.; ANGELUCCI, V. A.; MORUZZI, R. B.; NAVARRO, G.R.B., 2013. Rainwater chemical composition and atmospheric deposition in Sorocaba 31, 5–15.
- DINCER, T.; PAYNE, B. R.; FLORKOWSKI, T.; MARTINEC, J. TONGIORGI, E., 1970. Snowmelt runoff from measurements of tritium and oxygen-18. *Water Resour. Res.* 6, 110–124.
- EBRAIM, G. Y.; VILHOLTH, G.K., 2016. Estimating shallow groundwater availability in small catchments using streamflow recession and instream flow requirements of rivers in South Africa. *J. Hydrol.* 541, 754–765.
- EMBRAPA, 2006. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos - Empres. Bras. Pesqui. Agropecuária.
- FERNANDES, A. M.; NOLASCO, M. B.; MORTATTI, J., 2010. Estimativa do escoamento superficial rápido e sua carga em suspensão com a aplicação do modelo de separação de hidrogramas com filtros numéricos: Bacia do rio Sorocaba - SP. *Geociências* 29, 49–57.
- FIETZ, C.R.S.; COMUNELLO, C.; FLUMIGNSN, E.; DANILTON, L., 2015. Cana-de-Açúcar: Risco Climático para Plantios de Inverno na Região Sul de Mato Grosso do Sul. *Comun. Técnico* 209 1–9.
- FREITAS, H.C., 2012. Energia Nuclear na Agricultura A influência dos transportes advectivos na estimativa do balanço de CO² do ecossistema: Um estudo de caso para a mata atlântica com uso.
- FRITZ, J.; LOYNET, G., 1976. Productivité de quelques légumineuses fourragères tropicales à la réunion. *Fourrages* 101–109.
- GROPPO, J. D., 2010. Caracterização hidrológicas e dinâmicas do nitrogênio em uma microbacia com cobertura florestal (Mata atlântica), no parque estadual Serra do Mar, Núcleo Santa Virgínia.
- HINO, M.; & HASEBE, M., 1986. Separation of a storm hydrograph into runoff

- components by both filter-separation AR method and environmental isotope tracers. *J. Hydrol.* 85, 251–264.
- HINO, M. & HASEBE, M., 1984. Identification and prediction of nonlinear hydrologic systems by the filter-separation Autoregressive (AR) method: Extension to hourly hydrologic data. *J. Hydrol.* 68, 181–210.
- HINO, M. & HASEBE, M., 1981. Analysis of hydrologic characteristics from runoff data - A hydrologic inverse problem. *J. Hydrol.* 49, 287–313.
- JÚNIOR, A. R. B., 2015. Elementos de Hidrologia Aplicada - UFOP - Universidade Federal de Ouro Preto 92–155.
- KÖEPPEN, W., 1948. Fondo de Cultura Econômica, México. KREBS.
- LAGADEC, L. R.; PATRICE, P.; BRAUD, I.; CHAZELLE, B.; MOULIN, L.; DEHOTIN, J.; HAUCHARD, E.; BREIL, P., 2016. Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. *J. Hydrol.* 541, 495–509.
- LEDESMA, P. A. M., 2016. Relação do Escoamento de Base com a Fisiografia e a Hidrogeologia em Rio Efluente: Rio Gravataí/RS. Univ. Fed. do Rio Gd. do Sul - Inst. Pesqui. Hidráulicas.
- LIM, K. J.; ENGEL, B. A. ; TANG, Z.; CHOI, J.; KIM, K. S.; MUTHUKRISHMAN, S.; TRIPATHY, D., 2005. Automated Web GIS based hydrograph analysis tool, WHAT. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 41, 1407–1416.
- LIMA, W. P., 1996. Impacto ambiental do eucalipto.
- MACHADO, R.E., 2002. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. Tese (Doutorado em Agron. - Univ. São Paulo, Piracicaba 152.
- MACHADO, R. E., VETTORAZZI, C.A., 2003. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (SP). *Rev. Bras. Ciência do Solo* 27, 735–741.
- MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO,

- H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C., 2007. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: Integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. *Rev. Esc. Minas* 60, 525–536.
- MEHL, H.U.; ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M., DIDONÉ, I. A., 2001. Caracterização De Padrões De Chuvas Ocorrentes Em Santa Maria (Rs). *Rev. Bras. Ciência do Solo* 25, 475–483.
- MELATI, M.D.; MAINARDI, F.F.; BARBOSA, G.A., 2017. Estudo das interações entre as águas superficiais e subterrâneas na bacia do Paraná utilizando modelagem hidrológica e separação do escoamento de base. *An. do XX Simpósio Bras. Recur. Hídricos* 1–8.
- MIRANDA, A. C. R.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P.R., 2014. Métodos de separação dos escoamentos superficial direto e subterrâneo: Estudo de caso para a bacia do Rio das Velhas. *RBRH - Rev. Bras. Recur. Hídricos* 19, 169–181.
- MONTEBELO, L. A.; CASAGRANDE, C.A.; BALLESTER, M.V.R., VICTORIA, R.L.; CUTOLO, A.P.A., 2005. Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. *An. XII Simpósio Bras. Sensoriamento Remoto* 3829–3836.
- NATHAN, R. J.; MCMAHON, T.A., 1990. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resour. Res.* 26, 1465–1473.
- NEARY, D. G.; ICE, G. G.; JACKSON, C.R., 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. *For. Ecol. Manage.* 2269–2281.
- NETO, P. J. C.; LOPER, E.W., 2009. Caracterização física do Latassolo Vermelho distrófico da fazenda Escola da fazu. *Agronomy* 21–26.
- NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G., 2011. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana - Paraná/ Brasil. *Bol. Parana. Geociências* 64, 27–39.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B., 1999. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. *Inst. Agroômico/EMBRAPA Solos. Campinas* 64p.

- PEREIRA, D. C.; DUARTE, L. R.; SARMENTO, A.P., 2017. Determinação Da Curva De Intensidade , Duração E Frequência Do Município De Ipameri – Goiás. Rev. Eletrônica Eng. Civ. 13, 233–246.
- PESSOTTI, F. E. S., 1994. Levantamento detalhado dos solos do Horto de Itatinga. ESALQ - Esc. Super. Agric. ``Luiz Queiroz`` - USP.
- PINDER, G. F. & JONES, J.F., 1969. Determination of the ground water component of peak discharge from the chemistry of total runoff. Water Resour. Res. 5, 438–455.
- PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. M.; GOMIDE, F. L. S., 2003. Hidrologia Básica 278.
- POZZEBON, E. J., 2000. Simulação de escoamento superficial em microbacia hidrográfica utilizando sistema de informação geográfica e de modelagem hidrológica. ESALQ - Esc. Super. Agric. ``Luiz Queiroz`` - USP 243.
- PROBST, J. L. & SIGHA, N., 1989. Estimation de l'écoulement superficiel et descharge en suspension sur quelques grands bassins fluviaux du monde. Comptes Rendus l'Academie des Sci. 309, 357–363.
- RIGHETTO, A.M., 1998. Hidrologia e recursos hídricos. EESC/ USP - Esc. Eng. São Carlos/ Univ. São Paulo 819.
- RIMER, A.; SALINGAR, Y., 2006. Modelling precipitation-streamflow processes in karst basin: The case of the Jordan River sources, Israel. J. Hydrol. 331, 524–542.
- RORABAUGH, M. I., 1964. Estimating changes in bank storage and ground-water contribution to streamflow. Int. Assoc. Sci. Hydrol. 63, 432–441.
- SCARDUA, F. P., 1994. Caracterização hidrológica de uma microbacia hidrográfica experimental da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, ESALQ/USP. ESALQ - Esc. Super. Agric. ``Luiz Queiroz`` - USP 93.
- ŞEN, Z.; ATUNKAYNAK, A., 2006. A comparative fuzzy logic approach to runoff coefficient and runoff estimation. Hydrol. Process. 20, 1993–2009.
- SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L.E., 2012. Classificação da

- Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife-PE. *Rev. Bras. Geogr. Física* 02, 250–268.
- TOMASINI, B. A.; VITORINO, A. C. T.; GARBIATE, M. V.; SOUZA, C. M. A.; SOBRINHO, T.A., 2010. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. *Eng. Agrícola* 30, 1060–1070.
- TUCCI, C. E. M., 2000. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. *RBRH - Rev. Bras. Recur. Hídricos* 5, 61–68.
- TUCCI, C.E.M., 2017. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. *Inst. Pesqui. Hidráulicas – UFRGS*.
- VASCONCELOS, V.; HADDAD, R.M., 2013. Quantificação de componentes de vazão por meio de filtros recursivos : Estudo de caso para a Bacia do Rio Paracatu (SF-7), Brasil. *Rev. do Inst. Geociências - USP*.
- VIGLIONE, A.; MERZ, R., BLOSCHL, G., 2009. On the role of the runoff coefficient in the mapping of rainfall to flood return periods. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 6, 627–665.
- ZUQYETTE, L.V.; PALMAI, J.B., 2006. AVALIAÇÃO DA TAXA DE INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL DOS ARENITOS DA FORMAÇÃO BOTUCATU. *Rev. Bras. Geociências* 36, 49–60.