

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RITA DE CÁSSIA BIANCHI

ANÁLISE HIDROLÓGICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI, REGIÃO METROPOLITANA DE
CURITIBA, PR

CURITIBA

2012

RITA DE CÁSSIA BIANCHI

ANÁLISE HIDROLÓGICA TEMPORAL DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI, REGIÃO METROPOLITANA DE
CURITIBA, PR

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – Área de Conservação da Natureza, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador:

Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Co-Orientador:

Prof. Dr. Roberto Fendrich

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

Bianchi, Rita de Cássia

Análise hidrológica do escoamento superficial da bacia hidrográfica do rio Canguiri, região metropolitana de Curitiba, PR / Rita de Cássia Bianchi. – 2012. 122 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Fendrich

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 02/04/2012.

Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Hidrometria. 2. Bacias hidrográficas - Paraná. 3. Vazão. 4. Teses. I. Rizzi, Nivaldo Eduardo. II. Fendrich, Roberto. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 551.48

CDU – 556.04

A minha mãe, Zoraide Simplício Bianchi e ao meu pai, Joabe Bianchi, por todo o amor, carinho e confiança que me deram. Pelo apoio e incentivo nos estudos e pelo sábio ensinamento de ser justa, honesta e sempre

buscar o melhor

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, por estar sempre presente em nossas vidas.

Ao Professor Nivaldo Eduardo Rizzi, pela firme e dedicada orientação, paciência e compreensão, pela harmoniosa convivência durante os dois anos de mestrado e pelo exemplo de profissional, que levarei comigo para sempre.

Ao Co-orientador, Professor Roberto Fendrich, pelas sugestões feitas sempre com atenção e paciência.

Aos amigos do Laboratório de Manejo de Bacias Hidrográficas: Dionéia Calixto, José Elias Emellek, Rafael Zoboli Guimarães e Richardson Guenther Schechi, muito obrigada pela amizade, companheirismo e união no trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

A CAPES, pela concessão de bolsas.

Ao SIMEPAR (Sistema Meteorológica do Paraná), ao IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) e Instituto das Águas do Paraná que estiveram abertos para repassar informações. Em especial ao senhor Edmirson Borrozino (IAPAR) que dou um pouco de seu tempo para explicações e auxílios para a obtenção de dados.

A Akemi Kan, pesquisadora do LACTEC, pelas informações e ajuda com parte da pesquisa do Trabalho. A Dona Eliane, da cantina do prédio da Engenharia Florestal, pelas conversas e risadas.

As minhas amigas de convivência: Andréia Taborda dos Santos, Caroline Sanches Menegazzo, Dagma Kratz, Jaqueline Heimann, Lucimara Baptista de Souza e Simoni Daniel, muito obrigada pelas horas de descontração, seja em uma conversa apenas, em uma noite de festa ou em momentos de desabafos.

Aos meus pais Joabe Bianchi e Zoraide Simplício Bianchi, e ao meu namorado Daniel Prates, pelo apoio, carinho, amor e compreensão.

A todos que de alguma forma colaboraram para a execução deste trabalho.

RESUMO

A falta de planejamento urbano, ao longo dos anos, na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), ocasionou a redução de florestas e um aumento de áreas agricultáveis e urbanizadas. Essas alterações, no meio ambiente, afetam diretamente os cursos hídricos e a estrutura do solo. Sem a vegetação o solo fica mais compactado e impermeabilizado, diminuindo a capacidade de infiltração num certo período de chuva, gerando maior volume de água escoada superficialmente que, por consequência, aumenta a vazão dos rios podendo, em longo prazo, causar enchentes. O objetivo do Trabalho foi analisar a aplicação da Curva Número - CN, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), dos Estados Unidos da América – EUA, para a Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri, na RMC, analisando a evolução do escoamento superficial pelo Método de Ven Te Chow. A Metodologia foi dividida em três etapas: a primeira consistiu no levantamento de dados para a bacia hidrográfica como a localização, geologia, cobertura vegetal, clima, dados pluviométricos e fluviométricos e a caracterização física. A segunda parte foi atualizar o mapa de solos de acordo com Embrapa (1999) e gerar o mapa de uso do solo para 2009; a terceira etapa foi estipular o valor da Curva Número - CN e calcular as vazões pelo Método Hidrológico de Ven Te Chow para os anos de 1976, 1984 e 2009 nas três condições de umidade antecedente do solo: normal (NII), seco (NI) e saturado (NIII) para duração da chuva (t_d) de 20, 40, 60, 80, 120, 180, 240 e 300 minutos, com tempo de recorrência (Tr) igual a 3, 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos. Os resultados mostraram que houve uma redução de $5,76 \text{ ha.ano}^{-1}$ de 1976 a 2009 da tipologia Floresta Ombrófila Mista Montana e um aumento da área urbanizada de 43,80% em 2009 comparado com 1976. A intensidade máxima da chuva (i_{max}) foi de $78,90 \text{ mm.h}^{-1}$ com um t_d de 20 minutos e $54,53 \text{ mm.h}^{-1}$ com t_d de 40 minutos para Tr de 3 anos. O tempo de pico (t_p) da bacia hidrográfica foi de 1,77 horas e o tempo de concentração (t_c) de 1,83 horas. Para os três anos estudados e mais o cenário futuro proposto, o maior volume da vazão de pico (Q_{max}) ocorre com Tr igual a 50 anos, $54,03 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ em 1976, $56,64 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ para 1984, $62,57 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ em 2009, $62,77 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ em 2019 e $65,91 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ em 2029, na condição NII, indicando maior degradação e erosão do solo com o aumento da CN em se aumentando o período de retorno da bacia.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica; Comportamento Hidrológico; Curva Número; Vazões Máximas.

ABSTRACT

The lack of urban planning over the years, in the Metropolitan Region of Curitiba (RMC), caused a reduction of forests and an increase in of agricultural and urbanized areas. These changes, in the environment, directly affect water resources and soil structure. Without vegetation the soil becomes more compacted and impermeable, reducing the infiltration capacity over a period of rain, causing a greater volume of surface runoff which, consequently, increases the flow of rivers may in the long, cause flooding. The objective of the work was to analyze the application of the Curve Number - CN, developed by the Soil Conservation Service (SCS), the United States of America – USA, for the Canguiri Watershed, analyzing the evolution of the runoff by Ven Te Chow method. The methodology was divided into three stages: the first consisted in collecting data for the watershed as the location, geology, vegetation, climate, rainfall data and fluvimetric and physical characterization. The second part was to update the map of soil according to EMBRAPA (1999) and generate the map of land use for 2009; the third stage was to stipulate the value Curve Number – CN and calculate the flow by the Method Hydrological Ven Te Chow for the years 1976, 1984 and 2009 under three different conditions antecedent soil moisture: normal (NII), dried (NI) and saturated (NIII) for duration of the rainfall (t_d) 20, 40, 60, 80, 120, 180, 240 and 300 minutes, with recurrence time (Tr) is equal to 3, 5, 10, 15, 20, 25 and 50 years. The results showed a reduction of $5,76 \text{ km}^2 \cdot \text{year}^{-1}$ from 1976 to 2009 of Forest Mixed Montana typology and an increase in urbanized area of 43,80% in 2009 compared with 1976. The maximum intensity of the precipitation (i_{max}) was $78,90 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ with t_d a 20 minutes and $54,53 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ with t_d a 40 minutes for Tr of 3 years. The peak time (t_p) of the watershed was 1,77 hours and the time of concentration (t_c) of 1,83 hours. For the three years studied and proposed over the future scenario, the bulk of the peak flow (Q_{max}) occurs with Tr de 50 years, $54,03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in 1976, $56,64 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ for 1984, $62,57 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in 2009, $62,77$ in 2019 and $65,91 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ in 2029 for conditions NII, indicates further degradation and soil erosion by increasing the CN and in increasing the period the time of basin.

Keywords: Watershed; Hydrologic Behavior; Curve Number; Maximum flows.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 –	CICLO HIDROLÓGICO	24
FIGURA 3.2 –	BALANÇO HÍDRICO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA.....	26
FIGURA 3.3 –	CARACTERÍSTICAS DE UM HIDROGRAMA DE CHEIA.....	27
FIGURA 3.4 –	CLASSES TEXTURAIS BÁSICAS DOS SOLOS.....	33
FIGURA 4.1 –	LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	45
FIGURA 4.2 –	MAPA GEOLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	49
FIGURA 4.3 –	MAPA HIPSOMÉTRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	50
FIGURA 4.4 –	MAPA FITOGEOGRÁFICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	51
FIGURA 4.5 –	MAPA CLIMÁTICO DO ESTADO DO PARANÁ, SEGUNDO KÖEPPEN.....	52
FIGURA 4.6 -	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICA E FLUVIOMÉTRICA	54
FIGURA 4.7 –	MAPA DOS SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	57
FIGURA 4.8 –	MAPA DE USO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI PARA O ANO DE 2009	60
FIGURA 4.9 -	PREFIL LONGITUDINAL DO RIO CANGUIRI	68
FIGURA 5.1 –	DINÂMICA DOS USOS DO SOLO NA BACIA DO RIO CANGUIRI.....	74
FIGURA 5.2 -	PRECIPITAÇÃO ANUAL PARA O ANO DE 1976	75
FIGURA 5.3 -	PRECIPITAÇÃO ANUAL PARA O ANO DE 1984	76
FIGURA 5.4 -	PRECIPITAÇÃO ANUAL PARA O ANO DE 1999	76
FIGURA 5.5 -	PRECIPITAÇÃO ANUAL PARA O ANO DE 2009	76
FIGURA 5.6 –	VAZÃO MÉDIA ANUAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	78
FIGURA 5.7 –	BALANÇO HÍDRICO PARA 1990	80
FIGURA 5.8 -	BALANÇO HÍDRICO PARA 1996	81
FIGURA 5.9 -	BALANÇO HÍDRICO PARA 2001	82
FIGURA 5.10 -	BALANÇO HÍDRICO PARA 2010	83

FIGURA 5.11 –	FOTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	85
FIGURA 5.12 –	CAPACIDADE MÁXIMA DE SATURAÇÃO DO SOLO PARA AS DIFERENTES TIPOLOGIAS.....	86
FIGURA 5.13 -	CAPACIDADE MÁXIMA DE SATURAÇÃO DO SOLO PARA AS CNS MÉDIAS	87
FIGURA 5.14 –	ABSTRAÇÃO INICIAL PARA AS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE USOS DO SOLO	88
FIGURA 5.15 –	ABSTRAÇÃO INICIAL NOS DIFERENTES ANOS ESTUDADOS.....	..88
FIGURA 5.16 –	ITENSIDADE x DURAÇÃO x FREQUÊNCIA (IDF) DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PIRAQUARA.....	89
FIGURA 5.17 –	CHUVA TOTAL (Pt) NA CONDIÇÃO NII DE UMIDADE DO SOLO	90
FIGURA 5.18 –	PRECIPITAÇÃO EFETIVA (Pe) PARA OS DIFERENTES TEMPOS DE RECORRÊNCIA NA CONDIÇÃO NII DE UMIDADE DO SOLO	93
FIGURA 5.19 –	PRECIPITAÇÃO EFETIVA (Pe) PARA O TEMPO DE DURAÇÃO DA CHUVA (td) DE 300 MINUTOS	94
FIGURA 5.20 –	HIDROGRAMA DE VAZÃO PARA O ANO DE 1976 NA CONDIÇÃO NII DE UMIDADE DO SOLO	97
FIGURA 5.21 –	HIDROGRAMA DE VAZÃO PARA O ANO DE 1984 NA CONDIÇÃO NII DE UMIDADE DO SOLO	97
FIGURA 5.22 –	HIDROGRAMA DE VAZÃO PARA O ANO DE 2009 NA CONDIÇÃO NII DE UMIDADE DO SOLO	97
FIGURA 5.23 –	VAZÃO DE PICO PARA A CONDIÇÃO NII DE UMIDADE ANTERCEDENTE DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	98
FIGURA 5.24 –	RELAÇÃO DAS VAZÕES DE PICO PARA 1976 NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI.....	99
FIGURA 5.25 -	RELAÇÃO DAS VAZÕES DE PICO PARA 1984 NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	99
FIGURA 5.26 -	RELAÇÃO DAS VAZÕES DE PICO PARA 2009 NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI.....	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 -	CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DOS SOLOS PARA O ESTADO DO PARANÁ	33
TABELA 3.2 -	CURVA NÚMERO CONFORME TIPO E USO DO SOLO	37
TABELA 3.3 -	CURVA NÚMERO CONFORME A COBERTURA VEGETAL DOS SOLOS	37
TABELA 3.4 -	CURVA NÚMERO PARA ÁREAS URBANAS	38
TABELA 3.5 -	CURVA NÚMERO PARA ÁREAS AGRÍCOLAS	38
TABELA 4.1 -	RELAÇÃO DA ÁREA (km ²) PARA CADA MUNICÍPIO QUE FORMA A BACIA DO RIO CANGUIRI	46
TABELA 4.2 -	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA DO RIO CANGUIRI.....	47
TABELA 4.3 -	POPULAÇÃO DOS MUNICÍPIOS QUE FORMAM A BACIA DO RIO CANGUIRI.....	47
TABELA 4.4 -	PORCENTAGEM DA ÁREA OCUPADA PELOS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS	55
TABELA 4.5 -	ÁREA COM PORCENTAGEM RELATIVA DE CADA TIPOLOGIA DE USO DO SOLO	58
TABELA 4.6 -	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES DE SOLOS E SEUS RESPECTIVOS GRUPOS HIDROLÓGICOS.....	67
TABELA 4.7 -	ENQUADRAMENTO DA CN PARA DA TIPOLOGIA DE USO DO SOLO	67
TABELA 4.8 -	FATOR DE REDUÇÃO DE PICO (Z)	71
TABELA 5.1 -	USOS DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA D RIO CANGUIRI	73
TABELA 5.2 -	DADOS MÉDIOS DA PRECIPITAÇÃO (Pp) NA BACIA DO RIO CANGUIRI	75
TABELA 5.3 -	VAZÕES CARACTERÍSTICAS ANUAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI (m ³ .s ⁻¹)	77
TABELA 5.4 -	BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO ANO DE 1990	79
TABELA 5.5 -	BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO ANO DE 1996	80
TABELA 5.6 -	BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO ANO DE 2001	81
TABELA 5.7 -	BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO	

	ANO DE 2010	82
TABELA 5.8 -	VALORES MÉDIOS DA CN NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI.....	84
TABELA 5.9 -	CAPACIDADE MÁXIMA DE SATURAÇÃO DA BACIA (S) (mm) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	86
TABELA 5.10 -	ABSTRAÇÃO INICIAL ($I_a/P_o/Abs$) (mm) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	87
TABELA 5.11 –	VALORES DA INTENSIDADE MÁXIMA (i_{max}) DA CHUVA ($mm.h^{-1}$).....	89
TABELA 5.12 –	VALORES DA PRECIPITAÇÃO TOTAL (Pt) (mm)	90
TABELA 5.13 -	FATOR DE REDUÇÃO DE PICO (Z) PARA TWMP0 DE RECORRÊNCIA IGUAL A 1,77 HORAS	95
TABELA 5.14 –	ÁREAS ESTIPULADAS PARA ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE 2019 2029.....	100
TABELA 5.15 –	VALOR MÉDIO DA CURVA NÚMERO PARA 2019 E 2029.	101

LISTA DE QUADROS

QUADRO 5.1 –	ESTIMATIVA DO FATOR DE ESCOAMENTO (X) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGURI	91
QUADRO 5.2 –	PRECIPITAÇÃO EFETIVA (P_e) DA BACIA DO RIO HIDROGRÁFICA DO RIO CANGURI	92
QUADRO 5.3 –	VAZÃO MÁXIMA NAS DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO	96
QUADRO 5.4 –	COMPARAÇÃO DAS VAZÕES ENTRE OS ANOS DE 2009, 2019, 2029 NA CONDIÇÃO NII DE UMIDADE ANTECEDENTE DO SOLO	102

LISTA DE ABREVIATURAS

- A – Área da bacia hidrográfica
- ARM – Armazenamento de água no solo
- CC – Capacidade de campo
- Cfb – Clima Subtropical úmido mesotérmico
- CN – Curva Número
- DEF – Deficiência de água no solo
- ETP – Evapotranspiração potencial
- ETR – Evapotranspiração real
- EXC – Excedente Hídrico
- D_m – Declividade média do curso d'água principal
- f_c – Capacidade de infiltração
- $I_a = P_o = Abs$ – Abstração Inicial ou armazenamento de água
- i_{max} = Intensidade da chuva máxima
- P_e = Precipitação Efetiva
- P_p = Chuva Precipitada (medida)
- P_t = Precipitação total (calculada)
- PPA – Perda Potencial
- SCS – Soil Conservation Service
- Q_{max} – Vazão máxima
- q_p – Pico do hidrograma
- S – Potencial máximo de retenção de água no solo
- t_b – Tempo de base
- t_e – Tempo de recessão
- t_c – Tempo de concentração da bacia hidrográfica
- t_p – Tempo de pico
- t_r – Tempo de retardo
- Tr – Tempo de recorrência da bacia hidrográfica
- X – Fator de escoamento
- Y – Fator climático
- Z – Fator de redução de pico

LISTA DE SÍMBOLOS

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITAP – Instituto das Águas do Paraná

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências

SIMEPAR – Sistema Meteorológico do Paraná

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO	20
3.2 CICLO HIDROLÓGICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	22
3.3 BALANÇO HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	24
3.4 MÉTODO HIDROLÓGICO DA CURVA NÚMERO – CN.....	28
4 MATERIAL E MÉTODO.....	44
4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI.....	44
4.1.1 Localização da Bacia	44
4.1.2 Caracterização Morfológica e Populacional da Bacia	45
4.1.3 Geologia, Hipsometria e Vegetação da Bacia	46
4.1.4 Clima da Bacia	51
4.1.5 Dados de Precipitação e Vazão da Bacia	52
4.2 MAPAS TEMÁTICOS UTILIZADOS	53
4.2.1 Mapeamento de Solos.....	54
4.2.2 Mapeamento de Tipologias de Uso do Solo	57
4.3 BALANÇO HÍDRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI	60
4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO HIDROLÓGICO DA CURVA NÚMERO (CN) E DO MÉTODO DE VEN TE CHOW.....	65
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
5.1 ANÁLISE DA ALTERAÇÃO DA OCUPAÇÃO DO USO DO SOLO.....	72
5.2 ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA.....	74
5.3 ANÁLISE DA VAZÃO DE DADOS DE BACIAS MAIORES PARA MENORES	76
5.4 ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO	77
5.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DA CURVA NÚMERO (CN).....	83
5.5.1 Enquadramento dos Solos e das Tipologias (CN)	83
5.5.2 Análise da Retenção de Água no Solo (S) e da Abstração Inicial ($P_o/I_a/ Abs$).....	84

5.5.3	Análise da Intensidade Máxima (i_{max}) da Chuva na Bacia do Rio Canguiri.....	87
5.5.4	Análise da Precipitação Máxima Total (P_t) e da Chuva Efetiva (P_e)	89
5.6	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE VEN TE CHOW	93
5.6.1	Tempo de Pico (t_p) e Tempo de Concentração (t_c)	93
5.6.2	Análise da Vazão Máxima ou de Pico (Q_{max})	94
5.7	ANÁLISE DE CENÁRIOS FUTUROS.....	99
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	103
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	ANEXOS	112

1 INTRODUÇÃO

O avanço desordenado da urbanização em pequenas bacias hidrográficas tem se caracterizado pela falta de planejamento do uso do solo, comprometendo os recursos hídricos e ambientais da área de drenagem e de seu entorno. A intensidade antrópica altera as condições naturais de infiltração causando o aumento do escoamento superficial e alteração no ciclo hidrológico.

Nas bacias hidrográficas, os campos e as florestas protegem o solo da erosão, da lixiviação excessiva e da sedimentação, além de manter uma boa qualidade da água para o abastecimento. Dessa forma, a retirada da cobertura vegetal, a atividade agrícola, a urbanização realizada com alta intensidade em solos frágeis provocam uma crescente poluição e contaminação ambiental.

A redução das matas ciliares, juntamente com a modificação das características naturais da bacia hidrográfica, reflete no funcionamento hidrológico, de modo a descaracterizar o ciclo hidrológico, ou seja, há um desequilíbrio das cheias e do escoamento superficial interferindo diretamente na qualidade da água superficial e subterrânea. A poluição das águas superficiais advém de lançamentos de esgotos domésticos e industriais ou de poluições de águas superficiais que, ao passarem pelos solos urbanos, transportam poluentes como óleos, lixo urbano, papéis e todos os tipos de dejetos.

A utilização de imagens de satélite com as ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornam-se indispensáveis no estudo das mudanças das características ambientais, além de diminuir os custos e acelerar o mapeamento dessas transformações.

O método da Curva Número - CN é importante para a análise das características hidrológicas das bacias, possibilitando a obtenção de informações do comportamento do escoamento superficial, em função da cobertura e do tipo de solo das bacias hidrográficas, permitindo avaliar os impactos do uso do solo na resposta hidrológica da bacia. A aplicação desta ferramenta está na obtenção da vazão máxima ou vazão de pico, que pode ser utilizada nos estudos das enchentes como também em avaliação, dimensionamento e planejamento de futuras obras de proteção contra inundações nas bacias urbanizadas. O método proposto por Ven Te

Chow em 1962 empregou o Método do Soil Conservation Service (SCS) para avaliação da chuva efetiva (P_e), para o cálculo da vazão máxima (Q_{max}). Segundo Nunes e Fiori (2007), esse método estabelece que a chuva efetiva (P_e), é a responsável pelas vazões de cheias (Q_{max}) principalmente em bacias de pequenas escalas e urbanizadas e é, justamente, a impermeabilização do solo, devido à urbanização a principal geradora do aumento do escoamento superficial.

A mudança acelerada no processo de uso e ocupação do solo implica uma necessidade de estudos que expliquem o grau de risco de degradação por erosão, por enchentes, por poluição hídrica que possa ocorrer e alertar para a necessidade da realização de medidas que interrompam ou diminuam tais processos de deterioração dos recursos naturais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar e comparar valores temporais do Método Hidrológico da Curva Número (CN), desenvolvida pelo Soil Conservation Service (SCS), dos Estados Unidos da América – E. U. A., para a Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri, e analisar a evolução do escoamento superficial devido ao aumento da urbanização e impermeabilização dos solos da área de drenagem, considerando o método de Ven Te Chow, de intensidades máximas de precipitação e vazão máxima em diferentes períodos de retorno.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a. Adaptar o mapa de solos à Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri o Mapa, conforme o novo sistema de classificação da EMBRAPA (1999);
- b. Levantar informações de uso e ocupação dos solos em diferentes períodos de tempo;
- c. Estabelecer a Curva Número (CN) para os diferentes períodos de tempo analisados;
- d. Verificar a evolução do escoamento direto na Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri;
- e. Fazer previsão de cenários futuros de uso e ocupação dos solos e sua análise hidrológica para subsidiar a gestão da Área de Preservação Ambiental – APA do Rio Iraí;
- f. Determinar o balanço hídrico para diferentes anos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO

O termo bacia hidrográfica, como Unidade Geográfica, possui vários conceitos, porém, para Teodoro *et al.* (2007), todas as definições propostas se assemelham ao conceito dado por Barrella *et al.* (2001), definindo-a como uma área delimitada pelos divisores topográficos onde as águas precipitadas são escoadas por um sistema fluvial, podendo ser drenadas através do escoamento superficial ou direto, formando os riachos e rios, ou infiltrando nos solos formando nascentes e o sistema freáticos, lençóis freáticos.

De acordo com Villela e Mattos (1975), os divisores topográficos de uma bacia hidrográfica são definidos como linhas que dividem as precipitações que caem em duas bacias vizinhas, as quais dão início ao escoamento superficial para um ou outro sistema fluvial. Sendo que o mesmo une cotas topográficas máximas entre bacias, não impedindo que no interior de uma bacia haja picos isolados com cota maior do que qualquer cota do divisor.

O rio principal e seus afluentes constituem o sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica, sendo o rio principal de maior ordem. De acordo com Villela e Mattos (1975), o grau de ramificação dentro de uma bacia hidrográfica é dado pela ordem hierárquica dos rios. Essa ordem hierárquica da bacia estará relacionada aos conceitos de bacia e sub-bacia, ou seja, cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem superior, tornando-se uma sub-bacia em relação à última bacia.

O local de grande importância para o controle ambiental é a bacia hidrográfica, pois é nessa região que ocorre o desenvolvimento e o crescimento da população, e é também nessa área que acontecem as práticas para o planejamento e gestão dos múltiplos usos dos recursos hídricos.

Para a Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO (1992) uma bacia hidrográfica deve reportar ou expressar as suas condições ambientais, sendo descrita como um conjunto de componentes físico - químico - biológicos, ou seja, atividades de diagnóstico e atividades de monitoramento e, em muitas

ocasiões, devem estabelecer definições da Gestão Ambiental, articulando ações dos diferentes contextos que interagem no espaço de uma bacia hidrográfica como uma unidade sócio-econômica-política.

As normas e princípios para a gestão de recursos hídricos, adotando a definição de bacia hidrográfica como unidade de estudo e a sua gestão estão definidas na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Desta maneira, a compreensão do conceito de bacia hidrográfica e de suas subdivisões é de fundamental importância para o planejamento e ordenamento dos recursos naturais, e também, dos usos e ocupação dos solos.

Deste conceito de planejamento e ordenamento dos recursos hídricos, segundo Souza e Fernandes (2000), surge um conceito para bacia hidrográfica municipal (onde a rede de drenagem da bacia, desde a nascente até a foz, está totalmente inserida dentro do território municipal), e com essa característica, se estabelecem prioridades para técnicas de correção e diminuição dos impactos ambientais negativos que possam ocorrer.

Tendo em vista este entendimento, a administração dos recursos hídricos se organiza em função da área de drenagem das bacias, definindo o controle e autorização dos usos dos recursos hídricos, através dos comitês de bacias. O comitê de determinada bacia é formado pelos usuários das águas, entidades civis e representantes do governo, que elaboram o esquema de distribuição e gestão da água, de acordo com a Política de Recursos Hídricos, fixando orientações fundamentais para uma gestão equilibrada de água, tanto em quantidade como em qualidade.

A bacia hidrográfica apresenta cinco funções, sendo três hidrológicas: captação, armazenamento e descarga, e duas ecológicas: meio de ocorrência para reações químicas e habitat natural para a flora e fauna (BLACK, 1997). Essas funções são descritas resumidamente como:

a) Função de Captação: é a dinâmica de captação das águas pela bacia no decorrer de um período de tempo ou evento de precipitação (CHIARANDA, 2002). A área da bacia, intensidade, duração e localização da chuva, irão determinar a quantidade de água captada pela bacia;

b) Função de Armazenamento: para Chiaranda (2002) é a retenção temporária da água precipitada pelas componentes de armazenagem. As componentes desta função são classificadas em: interceptação pela vegetação, retenção subsuperficial antes do início do escoamento superficial, detenção superficial por irregularidades do terreno e armazenagem no solo (HEWLETT, 1982). Essa função vai depender das condições de umidade antecedente dos solos da bacia hidrográfica (VILLELA e MATTOS, 1975);

c) Função de Descarga: é a dinâmica da liberação da água para a rede de drenagem, que é fortemente afetada pela quantidade de água mantida no solo e pela quantidade de água captada (CHIARANDA, 2002);

d) Meio de Ocorrência para Reações Químicas: é a dinâmica das reações químicas que ocorrem no meio aquoso das bacias hidrográficas. Tais reações proporcionam as interrelações fundamentais que dão suporte ao conceito de homeostase (equilíbrio dinâmico de um sistema aberto para manter uma condição estável para os seres vivos) e resiliência (capacidade de adaptação das espécies vegetais), que por sua vez desempenham papel de grande importância como mecanismo de estabilidade dos ecossistemas (BLACK, 1997);

e) Meio de habitat de flora e fauna: locais adequados para o suporte da vida aquática (BLACK, 1997).

As respostas integradas das cinco funções da bacia hidrográfica são importantes para todos os ambientes aquáticos, pois as componentes físicas das bacias atenuam os eventos de precipitação, assim como o movimento da água para fora dos sítios de armazenagem, regula a movimentação dos elementos químicos mobilizados. Assim as três funções hidrológicas e as duas funções ecológicas refletem na organização do sistema, constituindo-se na essência da hidrologia das bacias hidrográficas e da qualidade da água (CHIARANDA, 2002)

3.2 CICLO HIDROLÓGICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

De acordo com Chow; Maidment; Mays (1994), o ciclo hidrológico é constituído por toda a água que circula na atmosfera, sendo que seus processos

acontecem de forma contínua não tendo início nem fim. É um fato natural de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, estimulado principalmente pelo calor do sol (TUCCI, 1993).

Essa circulação ocorre no sentido superfície-atmosfera, onde a via do fluxo da água se dá pela evaporação das águas e transpiração das plantas, e no sentido atmosfera-superfície a transferência da água se dá em qualquer estado físico, mais comumente a precipitação pluvial e de neve (TUCCI, 1993).

Segundo Tucci (1993), o ciclo só é fechado a nível global, pois nem todo o volume de chuva precipitado nos continentes evapora, parte vai para rios e oceanos. Dessa maneira, em áreas menores, de bacias hidrográficas, o correto é caracterizar o ciclo hidrológico como se fosse aberto, ao nível local. A forma esquemática do ciclo hidrológico é descrito pela Figura (3.1).

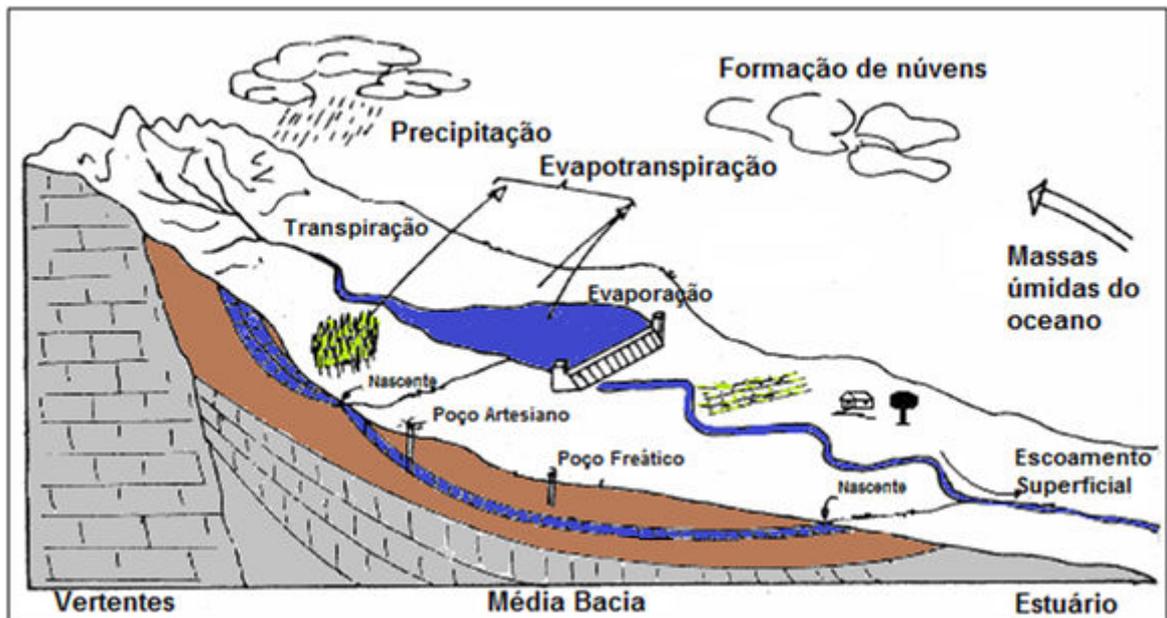


Figura 3.1: Ciclo Hidrológico
Fonte: Lima, 2008

Como indicado na Figura 3.1, o ciclo hidrológico tem início com a precipitação ou, em alguns lugares, com a ocorrência da neve. No seu trajeto em direção à superfície da Terra a chuva pode sofrer evaporação, de acordo com Tucci (1993) e, em alguns lugares a precipitação é totalmente evaporada. Atingindo a superfície, a chuva pode seguir três caminhos: pode ser interceptada pela vegetação e ser evaporada pela ação da radiação solar e dos ventos; pode sofrer o processo de gotejamento e atingir o solo; ou ainda pode cair diretamente no solo.

A água que atinge o solo tem diversos caminhos que podem ser tomados: poderá infiltrar e percolar em direção aos rios, lagos e oceanos pelo escoamento

subsuperficial e evaporar ou ser absorvida pelas raízes das plantas e voltar para a atmosfera em forma de transpiração; ou poderá escoar diretamente para rios, lagos e oceanos e evaporar.

A vegetação reduz o escoamento superficial favorecendo a infiltração em percurso e reduzindo o impacto das gotas de chuva no solo minimizando a erosão dos solos.

Por analogia, de acordo com Chow; Maidment; Mays (1994), o ciclo hidrológico pode ser dividido em três sub-sistemas:

1) O sistema da água atmosférica: ambiente composto pelos processos da precipitação, evaporação, interceptação e transpiração;

2) O sistema das águas superficiais: ambiente o qual é composto pelo fluxo superficial gerando o escoamento superficial;

3) O sistema de águas subsuperficiais: composto pelo processo de infiltração, escoamento subsuperficial e escoamento base ou subterrâneo (água percolada), com recarga dos lençóis freático (raso) e artesianos (profundo).

3.3 BALANÇO HÍDRICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

O estudo e a compreensão da distribuição da água no solo podem facilitar a tomada de decisões para o uso integrado dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas. O Balanço Hídrico é a diferença entre a somatória de água que entra (precipitação) e que sai (escoamento, vazão, evaporação, transpiração) da bacia hidrográfica para um determinado intervalo de tempo.

De acordo com Lima (2008), o balanço hídrico é dividido em global, de continentes e de bacias hidrográficas, ou seja, estudo da água disponível para três níveis hierárquicos. O que interessa para o desenvolvimento desse Trabalho é o balanço hídrico de bacias hidrográficas (unidade geomorfológica).

A equação hidrológica do balanço hídrico representa a quantificação da água presente nas fases do ciclo hidrológico terrestre (bacia hidrográfica), para um intervalo de tempo escolhido.

Considerando todos os processos explicados anteriormente do ciclo hidrológico, o Balanço Hídrico em uma Bacia Hidrográfica pode ser visualizado na Figura 3.2, e representado pela Equação 3.1 e pela Equação 3.2, conforme (LIMA, 2008):

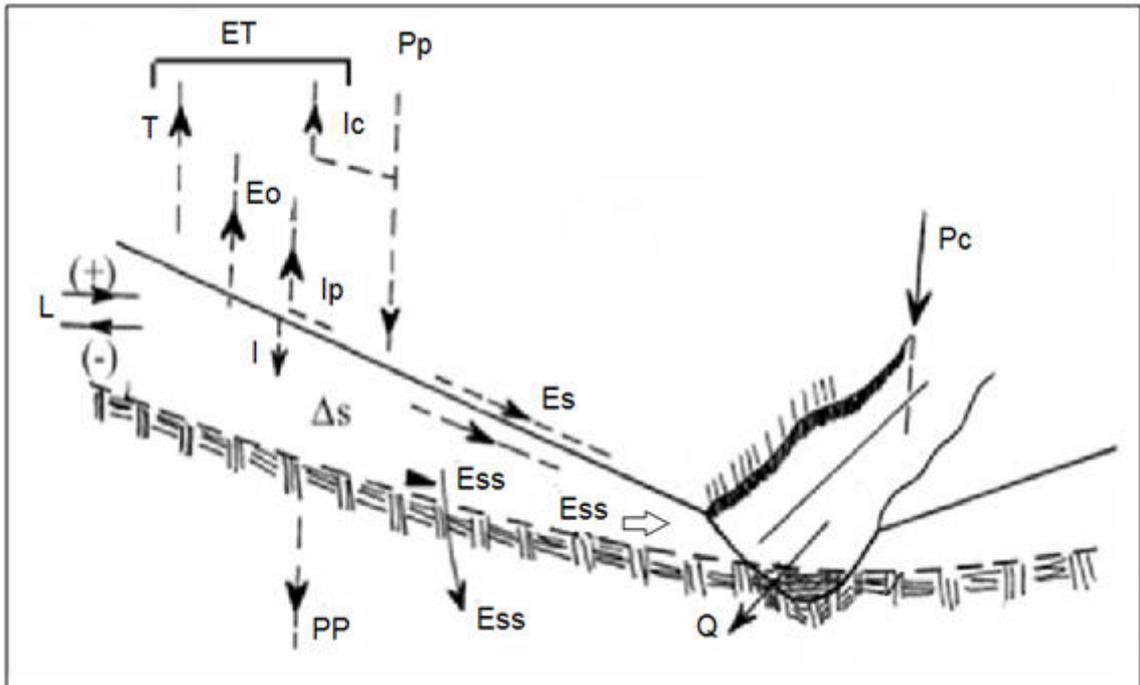


Figura 3.2 Balanço Hídrico em uma bacia hidrográfica
Fonte: Lima, 2008

As variáveis indicadas na Figura 3.2 são descritas da seguinte forma:

P_p = precipitação total

T = transpiração

I_c = interceptação pelas copas das árvores

I_p = interceptação pelo solo

E_o = evaporação do solo e de superfícies líquidas

ET = evapotranspiração (total de perdas por evaporação)

Q = deflúvio ($E_s + E_{ss} + E_b$)

Δs = variação do armazenamento da água do solo

L = vazamento freático

PP = percolação profunda (vazamento por falhas na rocha)

E_s = escoamento superficial (em canais ou para superfície), se assemelha ao escoamento ou vazão direta (Q_d)

E_{ss} = escoamento subsuperficial, se assemelha ao escoamento ou vazão de base (Q_b)

I = infiltração

P_c = precipitação direta nos canais

De forma simplificada, para um dado período de tempo, as equações do balanço hídrico serão:

$$P_p = (T + I_c + I_p + E_o) + Q + \Delta S \pm L \quad (3.1)$$

$$P_p - ET - Q \pm \Delta S = 0 \quad (3.2)$$

Para uma situação onde todos os fluxos positivos e negativos de uma bacia hidrográfica onde não ocorram vazamentos (L), e nem perdas por percolação profunda (PP), para um dado período, a Equação 3.1 pode ser simplificada de acordo com a Equação (3.2). Estas condições ideais são essenciais para que se possa utilizar uma bacia qualquer como área experimental para estudos de Hidrologia Florestal (LIMA, 2008).

Como se observará na Figura 3.3, o escoamento superficial (E_s) se assemelha ao escoamento ou vazão direta (Q_d) e o escoamento subsuperficial (E_{ss}) se assemelha ao escoamento ou vazão de base (Q_b).

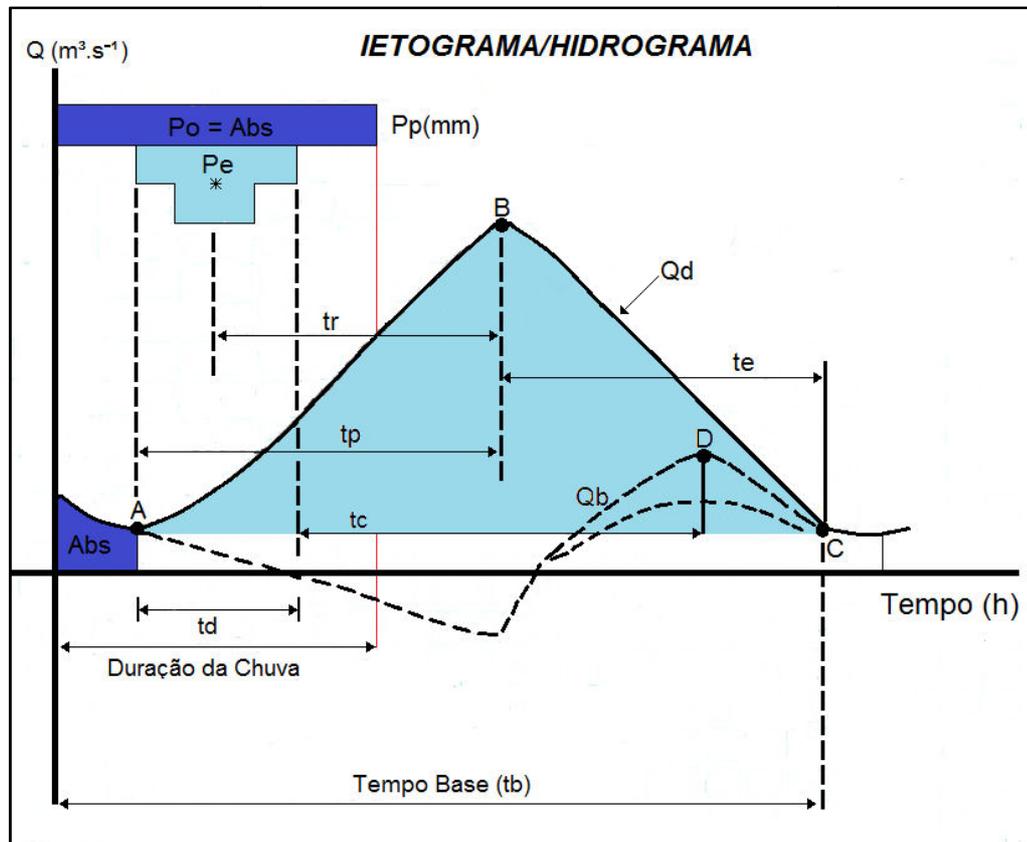


Figura 3.3: Característica de um Hidrograma de Cheia
Fonte: Rizzi 2011

P_p = Precipitação; Q_d ou E_s = Escoamento/Vazão superficial ou Escoamento/Vazão Direta; E_{ss} ou Q_b = Escoamento/Vazão subsuperficial ou Escoamento/Vazão Básico; P_e = Precipitação Efetiva que produz escoamento ou vazão direta (Q_d); BC = Curva de Depleção; AB = Curva de Ascensão; A = Ponto de inflexão início do Q_d ; B = Ponto ou Instante de Vazão máxima; D = Momento de máxima Contribuição do Q_b ; t_p = Tempo de pico, de máxima vazão; t_c = Tempo de Concentração; t_e = Tempo de Recessão; t_b = Tempo de Base; t_r = Tempo de Retardamento; Abs = Abstração ou Armazenamento de água.

O hidrograma, descrito na Figura 3.3, ilustra as variáveis: tempo de retardo (t_r), tempo de pico (t_p), tempo de concentração (t_c), tempo de base (t_b), tempo de recessão (t_e), a Abstração (Abs) e o tempo de duração da chuva (t_d). O t_r é o intervalo de tempo do centro de massa da precipitação efetiva até o ponto B onde a vazão é máxima e o t_p é o intervalo onde inicia o escoamento superficial até o ponto B onde a vazão é máxima; o t_c é o tempo entre o fim da precipitação efetiva e o ponto de inflexão, o ponto D , na curva de depleção do hidrograma, ou seja, é o tempo que a água precipitada leva para se deslocar do ponto mais distante da bacia hidrográfica até a seção principal; o t_b é o tempo do início da precipitação até o tempo em que o rio volta as condições anteriores a da ocorrência da precipitação; e o t_e é o período em que acaba o escoamento superficial. (TUCCI, 1993). O tempo de abstração é o período em há a infiltração, período esse que antecede o escoamento superficial.

Tucci (1993) explica que o hidrograma pode ser dividido em três partes principais: curva de ascensão, curva central (região de pico) e curva de recessão. O tempo de ascensão (trajeto AB do hidrograma) é onde a vazão cresce desde o instante correspondente ao ponto A , região altamente correlacionada com a intensidade da precipitação; região de pico (ponto B do hidrograma), resultado da redução da precipitação, é quando o hidrograma começa a mudar de inflexão. Esta região termina quando o escoamento superficial acaba (ponto C do hidrograma), resultando no escoamento subterrâneo; recessão (a partir do ponto B do hidrograma), ou curva de depleção do escoamento superficial, assim chamado por Pinto, Holtz; Martins (1973), é a fase que somente o escoamento subterrâneo está contribuindo para a vazão do rio.

O escoamento da água ocorrido na seção considerada está relacionado a quatro parâmetros (SARTORI, 2004):

I - Precipitação direta sobre a calha do rio, ou seja, recolhida diretamente pela superfície livre das águas;

II - Escoamento Superficial ($E_s = Q_d$): É a água da chuva que esco superficialmente até a calha do rio, tendo início no momento em que o volume de água precipitada é maior do que o volume da água infiltrada nos solos;

III - Escoamento Subsuperficial (E_{ss}): é a água infiltrada que esco logo abaixo da superfície do solo atingindo o leito dos rios mais lentamente do que o escoamento superficial;

IV -. Escoamento Subterrâneo (Q_b): é influenciado pela infiltração e percolação da água da chuva elevando o nível do lençol subterrâneo, o excesso de água é escoado para os rios.

Uma das principais utilização do cálculo do balanço hídrico é identificar locais para que uma determinada cultura possa ser explorada com maior eficácia. Os balanços hídricos também têm sido utilizados para estimar parâmetros climáticos e, a partir deles, estabelecer comparações entre as condições predominantes em locais diferentes.

3.4 MÉTODO HIDROLÓGICO DA CURVA NÚMERO – CN

O método da Curva Número (CN) ou Números Hidrológicos é um método sintético (estimativa da Precipitação Efetiva) para o cálculo da transformação da precipitação total em escoamento direto, ou seja, para determinar a vazão máxima. Foi apresentado em 1947 pelo Soil Conservation Service (SCS), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) (TASSI, *et al.*, 2006), atualmente conhecido por Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS) dos EUA.

De acordo com Tassi *et al.* (2006), o método (em conjunto com uma metodologia de geração de hidrogramas) foi desenvolvido para pequenas bacias rurais dos Estados Unidos, em 1950. Com o seu aprimoramento, ele foi adaptado também para pequenas bacias urbanas e de outros países (SARTORI, 2004).

Ferrer Juliá *et al.*². (2003 citado por Reyes, 2010), mencionam que em ambos os casos (bacia urbana e rural), a perda de infiltração foi modelada considerando

unicamente os processos que a controlam na superfície, sem considerar os processos de vertentes que controlam o fluxo subsuperficial e subterrâneo.

É um modelo que depende de três variáveis para estimar a chuva excedente ou efetiva de uma determinada precipitação. É dependente da chuva total, da umidade antecedente e do complexo solo-cobertura (SARTORI, 2004). Sendo que no método do SCS a caracterização do uso e cobertura do solo é definida pelo parâmetro Curva Número (CN) (TASSI *et al.*, 2006).

Kohler e Richards³ (1962 citado por Tucci, 1993) obtiveram valores muito próximos entre a precipitação total e a efetiva durante a análise de uma cheia com os parâmetros utilizados pelo SCS, considerando a abstração inicial igual a 20% da capacidade de saturação do solo (S). Assim, quando a precipitação total for menor que os 20% de “S”, a precipitação efetiva foi considerada igual à zero.

Outro trabalho bastante interessante foi de Sartori; Lombardi Neto; Genovez (2005a) e (2005b) que discutiram as classificações hidrológicas de solo proposto por Lombardi Neto *at al.* (1989) relacionando-as com a original do SCS e com as principais características dos solos para o Estado de São Paulo. Pode-se verificar no estudo que, no Brasil, existem solos argilosos que se comportam de maneiras diferentes daqueles para onde a classificação hidrológica do solo foi primeiramente desenvolvida.

Baugarten *et al.* (2003) em trabalho realizado na bacia hidrográfica do Rio Chopim, no Estado do Paraná, também utilizaram o modelo da CN associado ao SIG para determinar a precipitação efetiva, mostrando a eficiência do software na sistematização de modelos matemáticos para estudos de problemas hidrológicos.

Pesquisa similar foi realizada por Mendes Filho, Vendrame; Carvalho (2007) associando técnicas do sensoriamento remoto para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos (SP). Para a avaliação do método do SCS, Jabur (2010) aplicou a metodologia para o Rio Ligeiro, com adaptação das tipologias de solo e, conseqüentemente, os valores da CN. Sartori, Lombardi Neto; Genovez (2005b) utilizaram os valores de CN para o cálculo

² FERRER JULIÁ, M.; BLANCO, J.; RAMÍREZ, J. **Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número curva: perfiles de suelos y teledetección.** In: CONGRESSO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEMIO AMBIENTE, 3. 2003.

³ KOHLER, M. A., RICHARDS, M. M. **Multi-Capacity basin accounting for predicting runoff from storm precipitation.** Journal of Geophysical Research, Washington, p. 5187-97. 1962.

da lâmina de escoamento superficial, ou seja, o volume de escoamento por unidade de área da bacia. O resultado encontrado por esses autores indicam que o local estudado está com o potencial de retenção de água no solo reduzido, condição propícia para o aumento do escoamento superficial, enchentes, erosões e assoreamentos dos cursos d'água.

Pesquisa feita por Ferreira *et al.* (2007), também com uso de SIG, mostraram que apenas 46,46% da precipitação total em 12 horas de chuva, incidente na área da bacia hidrográfica do Córrego João Pedro, localizado em Linhares e Sooretama, ES, escoam superficialmente.

De acordo com Sartori; Lombardi Neto; Genovez (2005b), estimando a altura precipitação efetiva com o uso da CN, pode-se gerar, através do hidrograma unitário adimensional regionalizado, a distribuição e o volume do escoamento superficial (vazão) para uma determinada bacia.

A equação para o cálculo da altura da precipitação efetiva (P_e), ou escoamento superficial, foi desenvolvida com dados diários de precipitação, assim o recomendado é estimar P_e para um dia ou menos (TASSI *et al.*, 2006).

A chuva efetiva é representada pela aplicação da Equação (3.3) (USBR, 1977):

$$P_e = \frac{(P_t - I_a)^2}{(P_t - I_a) + S} \quad (3.3)$$

onde:

P_e = altura da chuva efetiva (mm)

P_t = Altura da Chuva total (mm)

S = potencial máximo de retenção (mm)

$I_a = P_o = Abs$ = abstração ou perda inicial por interceptação, infiltração e retenção superficial (mm)

As perdas iniciais, representadas na Equação 3.4, geralmente estão relacionadas com o tipo de solo e cobertura vegetal. De acordo com Sartori (2004), o SCS propôs uma relação linear entre I_a e S , ou seja, a perda inicial é função do armazenamento potencial máximo do solo. Adotando um valor médio de 20% para a retenção do potencial máximo, remove a necessidade de estimar I_a para uso comum ou lugares sem a disponibilidade de dados:

$$I_a = 0,2.S \quad (3.4)$$

Em gráficos que relacionam a altura da chuva efetiva P_e pela precipitação P_p , observa-se que com o aumento de P_p a P_e se aproxima da precipitação total. A diferença entre P_p e P_e que ocorre durante a chuva é limitada pela taxa de infiltração com o aumento da P_p , mostrando dessa forma que o potencial máximo de retenção (S) varia com a capacidade do solo em armazenar água e da intensidade da infiltração (SARTORI, 2004).

O potencial máximo de retenção (S) depende do uso e ocupação do solo e é calculado em função de um único parâmetro, a curva número (CN), que de acordo com Tassi *et al.* (2006), são valores tabelados e podem ser encontrados em manuais e livros de drenagem das águas pluviais ou de Hidrologia. A CN é adimensional e pode variar de 0 a 100, indicando o grau de escoamento, ou seja, quanto menor a CN tanto menor o escoamento superficial e maior a infiltração no solo. Quanto maior ou mais próximo de 100, maior será o escoamento superficial e menor a infiltração, a bacia está impermeabilizada. Uma vez definido o valor da CN, temos a representação do S conforme Equação (3.5):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.5)$$

Substituindo as Equações 3.4 e 3.5 na Equação 3.3 obtém-se a Equação 3.6 para o cálculo da chuva efetiva (FENDRICH, 2008):

$$P_e = \frac{(P_t - \frac{5080}{CN} + 50,8)^2}{P_t + \frac{20320}{CN} - 203,2} \quad (3.6)$$

onde:

P_e = Altura da chuva efetiva ou chuva excedente (mm)

P_t = Altura da chuva total (mm)

CN = Curva Número

As CNs estão relacionadas às condições de cobertura do solo (FENDRICH, 2008). Os solos por sua vez são classificados de acordo com sua suscetibilidade a infiltração e a produção de escoamento superficial, (Mendes Filho; Vendrame;

Carvalho 2007), e com as suas propriedades hidrológicas, desconsiderando a cobertura vegetal e a declividade da bacia (OGROSKY e MOCKUS, 1964). A partir da textura dos solos e de sua espessura se pode enquadrar os solos em classes A, B, C e D conforme metodologia do (ábaco) da Soil Survey Staff (2006), Figura 3.4, ou pela classificação hidrológica para o Estado do Paraná, Gomes e Fendrich (1991), Tabela 3.1, respectivamente.

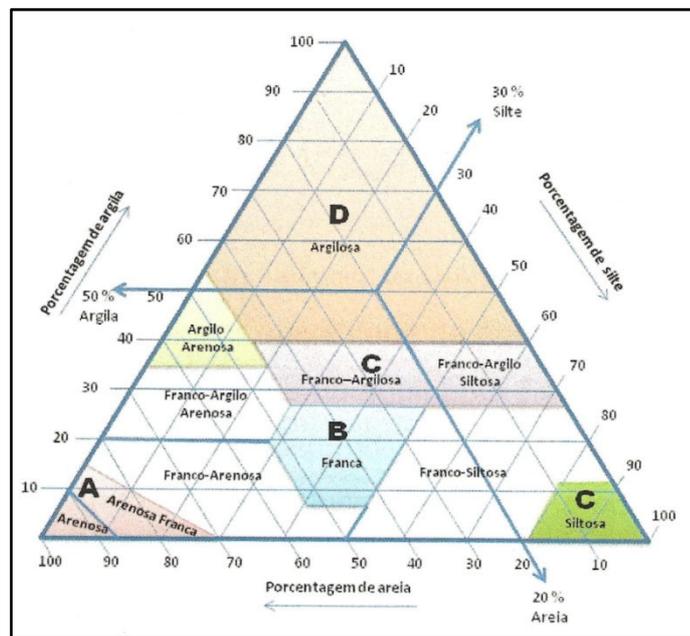


Figura 3.4 – Classes Texturais Básicas dos Solos

Fonte: Adaptada de USDA, Soil Survey Staff (2006 citado por Reyes 2010)

TABELA 3.1 – CLASSIFICAÇÃO HIDROLÓGICA DOS SOLOS PARA O ESTADO DO PARANÁ

SIGLA	TIPO DE SOLO	GRUPO HIDROLÓGICO
P	Podzol	A
Ca	Cambissolos	C ou D
PV	Podzólicos vermelho/ amarelo - vermelho/ escuro	B
Ra	Solos litólicos	D ou E
LE	Latossolo vermelho escuro	C
LR	Latossolo roxo	E
LB	Latossolo Bruno	E
TR	Terra roxa estruturada	E
TB	Terra Bruno estruturada	E
PE	Podzólico vermelho/ amarelo eutrófico	B
LV	Latossolo vermelho/ amarelo álico	C
AQ	Areias quartzosas	A
SM	Solo de mangue	D ou E
AR	Afloramento de rocha	B
HO	Solos orgânicos	D ou E
Ae	Solos aluviais	C ou D
HG	Solos hidromórficos	B ou C

FONTE: GOMES E FENDRICH (1991)

⁴ MOCKUS, V. Hydrologic soil groups. In: National Engineering Handbook. USDA – SCS, section 4, chapter 7, 1972.

São apresentadas a seguir as características dos grupos hidrológicos, apresentados pelo SCS MOCKUS⁴ (1972 citado por SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005a):

CLASSE DO SOLO A – Terrenos permeáveis com baixo potencial de escoamento superficial. Solos arenosos e profundos, com baixo teor de silte e argila. Possuem capacidade de infiltração (fc) maior que 7,6 mm. hora⁻¹.

CLASSE DO SOLO B – Solos com moderada capacidade de infiltração após o complexo de umedecimento. Maioria dos solos é moderadamente profundo com permeabilidade superior a média. Textura moderadamente fina e moderadamente grossa. Capacidade de infiltração (fc) de 3,8 – 7,6 mm. hora⁻¹.

CLASSE DO SOLO C – Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média. Solos mais argilosos que o grupo B, textura moderadamente fina. Capacidade de infiltração (fc) de 1,3 – 3,8 mm. hora⁻¹.

CLASSE DO SOLO D – Solos com alto grau de escoamento superficial com baixa taxa de infiltração, formada por solos argilosos e impermeabilizados. Capacidade de infiltração (fc) de 0 – 1,3 mm. hora⁻¹.

A classificação hidrológica para os solos do Estado do Paraná feita por Gomes e Fendrich (1991) relacionou a classificação feita por Setzer e Porto, (1979) com o mapa pedológico do Estado do Paraná, apresentado pelo ITCF (Instituto de Terras e Cartografia e Florestas) de 1988. Setzer e Porto (1979) acrescentaram o grupo hidrológico do solo E, no Estado de São Paulo, o qual há predomínio das camadas argilosas altamente impermeáveis ou com presença de rochas. Os teores totais de argila são superiores a 40% e, no caso de terras roxas este teor pode chegar a 60% (SETZER e PORTO, 1979). Esse grupo de solo do ponto de vista hidrológico apresenta alto potencial de escoamento superficial (FENDRICH, 2008).

No Brasil existem trabalhos que adaptaram essa classificação hidrológica do solo feita pelo SC – EUA às características dos solos brasileiros. O trabalho pioneiro foi publicado por Setzer e Porto (1979), o qual propunham cinco classes hidrológicas do solo para o Estado de São Paulo, seguido pelo trabalho de Lombardi Neto *et al.* (1989), que apresentaram uma nova abordagem para a classificação dos solos, no estudo sobre cálculo de espaçamento entre terraços. O mais recente trabalho é o de Sartori (2004), que apresenta uma classificação hidrológica para os perfis

representativos dos grandes grupos hidrológicos do Estado de São Paulo, classificados como:

GRUPO HIDROLÓGICO A - LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A moderado textura argilosa; LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico A moderado textura muito argilosa; LATOSSOLO VERMELHO Acriférrico típico; LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico A moderado textura argilosa; LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico A moderado textura muito argilosa; LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico A moderado textura muito argilosa; LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico A moderado textura muito argilosa.

GRUPO HIDROLÓGICO B - ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico A moderado textura argilosa/muito argilosa; LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico A proeminente textura média; LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (típico); NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico A fraco; NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico A moderado textura média / argilosa; NITOSSOLO HÁPLICO Eutroférrico chernossólico; NITOSSOLO VERMELHO Distrófico latossólico A; moderado textura argilosa/muito argilosa; NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico A moderado textura muito argilosa

GRUPO HIDROLÓGICO C – ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico típico A moderado textura média/; ARGISSOLO AMARELO Distrófico arênico A moderado, textura arenosa/média; ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado textura média/argilosa; CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico latossólico; CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico A moderado textura média; CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico; ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO Hidromórfico típico; NEOSSOLO FLUVICO

GRUPO HIDROLÓGICO D - NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

A estimativa da CN, além de depender do grupo hidrológico, cobertura do solo, também depende das condições de saturação de água dos solos (umidade antecedente), conforme (SETZER e PORTO, 1979):

Condição I (NI) – É a condição em que os solos encontram-se muito secos, mas não a Ponto de Murcha Permanente, ou seja, não provoca o murchamento das plantas;

Condição II (NII) – É a condição intermediária em que os solos normalmente se encontram na estação úmida do ano;

Condição III (NIII) – É a condição em que o solo encontra-se muito próximo da saturação. Situação causada pela ocorrência 5 dias antes da precipitação pesada, que interessa para estudo com baixas temperaturas, que reduziram a evapotranspiração, aumentando o risco de enchentes nas partes mais baixas da bacia hidrográfica.

De acordo com Baugarten; Félix; Müller (2003) essas condições são representadas pela Equação (3.7) e Equação (3.8):

$$\text{Condição I (NI):} \quad \frac{4,2 \cdot N_{II}}{10 - 0,058 \cdot N_{II}} \quad (3.7)$$

$$\text{Condição III (NIII):} \quad \frac{23 \cdot N_{II}}{10 + 0,13 \cdot N_{II}} \quad (3.8)$$

onde:

N_{II} = número tabelado da CN em condições normais de umidade e cobertura do solo, definida nas tabelas pelo método da CN

Considerando que os solos da bacia hidrográfica têm propriedades semelhantes (espessura, textura, conteúdo de matéria orgânica, estrutura e grau de expansão) quando saturados, terão respostas parecidas para uma mesma precipitação (USBR, 1977).

As tabelas a seguir relacionam os valores das CNs em função da utilização e cobertura do solo e grupo hidrológico. Na Tabela 3.2 e na Tabela 3.3 estão apresentados os valores da CN, com abordagem para o grupo hidrológico E,

conforme Setzer e Porto (1979) e na Tabela 3.4 e Tabela 3.5 estão apresentados os valores da CN conforme a classificação do Soil Conservation Service, sem o grupo hidrológico E. Todos os valores tabelados da CN são classificados conforme condição II de umidade antecedente do solo da bacia de drenagem, e a abstração inicial ($I_a = P_o = Abs$) igual a 20% do potencial máximo de retenção de água (S).

TABELA 3.2 – CURVA NÚMERO CONFORME TIPO E USO DO SOLO

COBERTURA VEGETAL OU TIPO DE USO DO SOLO	DEFESA CONTRA EROSIÃO	SITUAÇÃO HIDROLÓGICA DA INFILTRAÇÃO	GRUPO HIDROLÓGICO				
			A	B	C	D	E
Arado, quase sem cobertura vegetal	SR	Boas	65	80	88	92	95
	C	Boas	65	78	86	90	92
Cultivo de ciclo curto e revolimentos frequentes	SR	Más	60	72	81	87	90
	SR	Boas	52	66	75	82	86
	C	Más	56	65	78	84	87
	C	Boas	48	60	72	78	82
	C-T	Más	52	62	74	80	84
	C-T	Boas	45	55	67	75	80
Cultivo de ciclo médio, revolimentos anuais	SR	Más	58	65	73	82	88
	SR	Boas	54	62	70	79	85
	C	Más	55	64	72	78	84
	C	Boas	50	60	67	75	83
	T	Más	52	62	70	77	82
	T	Boas	48	55	65	73	80
Semeação densa ou a lanço; cobertura curta, mas densa, como a das leguminosas e dos pastos em rodízio	SR	Más	56	64	72	80	86
	SR	Boas	50	58	66	76	82
	C	Más	54	60	69	76	83
	C	Boas	48	56	64	72	80
	T	Más	50	58	65	75	80
	T	Boas	45	52	60	70	76
Pastagens velhas com arbustos	C	Más	65	70	78	85	90
	C	Médias	60	66	75	82	87
	C	Boas	56	62	72	79	84
	C	Más	55	62	70	78	86
		Médias	42	59	67	75	82
		Boas	50	56	64	72	79
Reflorestamento	SR	Más	35	50	62	74	83
	SR	Boas	30	42	55	68	78
	C	Más	30	45	57	69	80
	C	Boas	25	36	52	64	75
Mata, capoeira velha		Más	32	40	55	67	76
		Boas	18	25	42	58	70
Gramados tratados		Más	72	72	78	84	88
		Boas	67	67	74	81	86
Estrada de terra	SR	Más	80	85	90	93	95
	C	Boas	74	80	86	90	92

NOTA: SR = sulcos retos; C = cultivo em contorno, paralelo as curvas de nível; T = terraceamento. Para estradas de terra

Fonte: Setzer e Porto (1979)

TABELA 3.3 - CURVA NÚMERO CONFORME A COBERTURA VEGETAL DOS SOLOS

TIPO DE VEGETAÇÃO	ESTADO ATUAL	GRUPO HIDROLÓGICO				
		A	B	C	D	E
Herbácea: com alta porcentagem (25 - 30%) de ervas não comestíveis para o gado	Mau	42	52	65	80	89
	Médio	36	47	60	76	85
	Bom	30	42	56	72	80
Campo-Sujo: como a anterior, mas com 10-15% de área ocupada por arbustos de pequeno porte, além das ervas daninhas, cuja porcentagem pode baixar a 15-25%	Mau	39	50	62	75	85
	Médio	32	44	58	70	80
	Bom	25	40	53	64	75
Campo-Cerrado: maior parte da área ocupada por arbustos e árvores baixas e ralas. Os capins comestíveis ocupam apenas 10-20% da área. A topografia é sempre suave	Mau	26	46	58	70	80
	Médio	28	37	50	64	74
	Bom	20	30	42	56	68
Vegetação arbustiva: pasto abandonado, em transição para capoeira, não havendo quase campinas aproveitáveis	Mau	33	44	54	66	75
	Médio	24	35	46	59	69
	Bom	15	26	38	52	63

Fonte: Setzer e Porto (1979)

TABELA 3.4 - CURVA NÚMERO PARA ÁREAS URBANAS

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	GRUPO HIDROLÓGICO			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições de cobertura do solo	68	79	86	89
Terrenos Baldios em boas condições de cobertura do solo	39	61	74	80
Prado em boas condições de cobertura do solo	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: cobertura ruim	45	66	77	83
cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições:				
com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais:				
lores de (m ²)	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Estacionamentos, telhados, viadutos	98	98	98	98
Arruamentos e estradas:				
asfaltadas com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
paralelepípedos	76	85	89	91
terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci (1993)

TABELA 3.5 – CURVA NÚMERO PARA ÁREAS AGRÍCOLAS

USO DO SOLO	SUPERFÍCIE	GRUPO HIDROLÓGICO			
		A	B	C	D
Solo Lavrado	com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações Regulares	em curvas de nível	67	77	83	87
	terraceado em nível	64	76	84	88
	em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	em curvas de nível	62	74	82	85
	terraceado em nível	60	71	79	82
	em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	em curvas de nível	60	72	81	84
	terraceado em nível	57	70	78	89
	pobres	68	79	86	89
	normais	49	69	79	94
	boas	39	61	74	80
Pastagens	pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	normais	30	58	71	78
	esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	normais	36	60	73	79
	densos, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras, estradas de terra	normais	56	75	86	91
	más	72	82	87	89
	de superfície dura	74	84	90	92
Florestas	muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	esparsas	46	68	78	84
	densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	normais	36	60	70	79

Fonte: Tucci (1993)

Outro parâmetro utilizado para estimar a altura da chuva efetiva (P_e) é o cálculo da chuva total (P_t), Equação (3.9):

$$P_t = i_{max} * t_d \quad (3.9)$$

onde:

P_t = Chuva total (mm)

i_{max} = Intensidade da chuva máxima (mm.h⁻¹)

t_d = tempo de duração da chuva (horas)

A intensidade da chuva máxima (i_{max}) representa a relação entre Intensidade x Freqüência x Duração da chuva para cada região. Para o presente Trabalho foi utilizada a equação pluviométrica do município de Piraquara (PR), mesma estação utilizada para a coleta dos dados climatológicos. A equação de Piraquara, obtida por Fendrich em 1989, é representada pela Equação (3.10):

$$i_{max} = \frac{1.537,80 * Tr^{0,120}}{(t_d + 17)^{0,859}} \quad (3.10)$$

onde:

i_{max} = Intensidade da chuva máxima (mm.h⁻¹)

Tr = Tempo de recorrência (anos)

t_d = Tempo de duração da chuva (minutos)

O método da CN, em conjunto com uma metodologia de geração de hidrograma, pode analisar vazões máximas para uma determinada bacia de drenagem. A forma do hidrograma depende de vários fatores como o relevo, cobertura da bacia, modificações artificiais no rio, duração, distribuição e intensidade da chuva, das condições do solo (TUCCI, 1993).

Para Tucci (1993) o hidrograma é um gráfico que relaciona a curva de distribuição da vazão no tempo registrada em uma determinada seção de um curso de água devido a uma precipitação ocorrida na bacia.

Tucci (1993) e Villela e Mattos (1975) relatam que antes de iniciar o escoamento superficial existe o tempo de retardo de resposta da bacia, ou seja, tempo em que o nível de água no solo começa a elevar-se. Esse processo se deve as perdas iniciais da água por interceptação vegetal, nas depressões dos solos e também pelo próprio tempo de resposta da bacia, devido ao deslocamento da

movimentação da água na mesma. No período que a vazão leva para chegar ao seu pico máximo tem como processo predominante o escoamento superficial, refletindo a resposta ao comportamento aleatório da precipitação. O hidrograma tem seu pico máximo em resposta à distribuição da precipitação por toda a área de drenagem da bacia, para em seguida apresentar uma recessão, normalmente onde se observa o ponto de inflexão no hidrograma Figura 3.3, que caracteriza o início do escoamento subterrâneo e o final do escoamento superficial. O escoamento superficial termina antes do escoamento subterrâneo, pois ocorre em um meio de rápida resposta, enquanto que o subterrâneo escoar em um meio poroso (REYES, 2010).

Para Pinto; Holtz; Martins (1973) o escoamento superficial pode sofrer influências de fatores intervenientes que podem ajudar ou prejudicar na sua ocorrência. Entre os fatores que interferem na quantidade de água precipitada tem-se a quantidade de vapor de água na atmosfera e as condições meteorológicas e topográficas favoráveis à evaporação (temperatura, ventos, pressão atmosférica e relevo); e ainda os fatores que presidem ao afluxo da água na área de drenagem da bacia hidrográfica (forma, declividade, retentores de água, condições da superfície do solo e constituição geológica do sub-solo, irrigação ou drenagem do terreno, construção de barragens). Tucci (1993) ressalta que a vegetação diminui o impacto da gota da chuva no solo, minimizando a erosão, além de reduzir o escoamento superficial favorecendo a infiltração em percurso.

A intensidade e a duração da chuva, fatores esses relacionados ao clima, estão diretamente ligados ao escoamento superficial. Quanto maior a intensidade da chuva, mais rápido o solo atinge sua capacidade de infiltração e assim gerando maior volume de água precipitada que escoará superficialmente. A mesma relação está ligada a duração da chuva, ou seja, maior o período de chuva maior o volume de água precipitada que se transformará em escoamento superficial ou vazão direta. (TUCCI, 1993).

Dois métodos são os mais utilizados para estudos de transformação da chuva efetiva (P_e) em vazão nas bacias hidrográficas: o clássico Método Racional, aplicável a bacias urbanas com área de drenagem de 0,5 até 5,0 km², conforme Fendrich (2008), e os métodos baseados na teoria do hidrograma unitário, utilizados em bacia de maior porte. É fundamental para estudos hidrológicos, o conhecimento da chuva excedente ou escoamento superficial direto, que representa a parcela da

chuva total que escoar inicialmente pela superfície do solo que é responsável pelas vazões de cheia em pequenas bacias impermeabilizadas (RIZZI, 2011).

A vazão máxima obtida será pelo Método Hidrológico de Ven Te Chow, método esse apresentado em um trabalho por Chow (1962), para obtenção de vazão em obras hidráulicas em pequenas bacias hidrográficas rurais no Estado de Illinois (E.U.A.) (GOMES e FENDRICH, 1991). O Método Hidrológico de Ven Te Chow utiliza-se da metodologia do Soil Conservation Service (SCS) para a avaliação e obtenção da Chuva Efetiva (P_e).

Definiu-se o produto da chuva efetiva (P_e) pela vazão unitária de pico (q_p), o valor da vazão máxima de uma área de drenagem, conforme a Equação (3.11) (GOMES E FENDRICH, 1991):

$$Q = P_e * q_p \quad (3.11)$$

onde:

Q = Vazão máxima ($m^3 \cdot s^{-1}$);

P_e = Chuva efetiva (mm);

q_p = Pico do Hidrograma Unitário ($l \cdot s^{-1}$).

Para determinar q_p utilizaram o conceito “fator de redução de pico” como o quociente da vazão unitária de pico (q_p) pelo escoamento direto (Q). Considerando uma chuva efetiva uniforme sobre uma área A , em hectares, com uma intensidade da chuva de 1,0 mm em (t_d) por hora, tem-se a Equação (3.12):

$$Q = C * i_{max} * A \quad (3.12)$$

onde:

$C = 1,0$ (apenas o escoamento direto é considerado);

$i_{max} = 1,0/t_d$ ($mm \cdot h^{-1}$).

Substituindo os valores na Equação 3.12 tem-se a Equação 3.13 que pelo conceito empregado do fator de redução de pico determina-se a Equação (3.14):

$$Q = \frac{A}{t} \quad (3.13)$$

$$Z = \frac{q_p * t_d}{A} \quad (3.14)$$

onde:

Z = Fator de redução de pico.

Transformando a Equação 3.14 de mm.h^{-1} para l.s^{-1} e rearranjando as variáveis tem-se a Equação (3.15):

$$q_p = \frac{2,78 * A * Z}{t_d} \quad (3.15)$$

Substituindo o valor de q_p da Equação 3.15 na Equação 3.11 tem-se a Equação 3.16 para o cálculo da vazão.

$$Q = \frac{2,78 * P_e * A * Z}{t_d} \quad (3.16)$$

Onde:

Q = Vazão calculada ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$);

A = Área de drenagem (km^2);

Z = Fator de redução de pico.

Na Equação 3.16 o fator $(2,78 P_e/t_d)$ pode ser substituído pelo produto de dois fatores: X e Y (GOMES e FENDRICH, 1991). O fator X está descrito na Equação 3.17 e o fator Y pela Equação (3.18):

$$X = \frac{2,78 * P_{eo}}{t_d} \quad (3.17)$$

$$Y = \frac{P_t}{P_{to}} \quad (3.18)$$

onde:

P_{eo} = Excesso de chuva (mm) na localidade base, aumentada de uma certa porcentagem, para considerar o efeito da variação da distribuição da chuva durante o tempo de duração da mesma (t);

P_t = altura da chuva (mm) na localidade da base;

P_{to} = altura da chuva (mm) em outra localidade da base.

Sendo X um fator de escoamento e o Y um fator climático a razão de P_t por P_{to} é o fator de convenção para converter a altura de chuva para a localidade de estudo. Especificado os fatores a Equação 3.11 pode ser descrita da seguinte forma Equação (3.19):

$$Q_{max} = 0.278 * A * X * Y * Z \quad (3.19)$$

onde:

Q_{\max} = Vazão Máxima ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

A = área (km^2);

X = Fator de escoamento (mm);

Y = Fator Climático;

Z = Fator de redução de pico.

Quando não se conhece o pico de vazão do hidrograma unitário o fator de redução de pico pode ser determinado através de valores tabelados em função da relação entre a duração da chuva (t_d) e o tempo de ascensão (t_p) (GOMES e FENDRICH, 1991). O tempo de ascensão pode ser calculado conforme Equação (3.20):

$$t_p = 0,005055 * \left(\frac{L}{\sqrt{D_m}} \right)^{0,64} \quad (3.20)$$

onde:

t_p = Tempo ascensão (horas);

L = Comprimento do curso d'água principal (m);

D_m = Declividade média do curso d'água (%)

O tempo de concentração da bacia (t_c) é o tempo gasto pela gota de chuva para se deslocar do ponto mais afastado da bacia de drenagem até o ponto de vazão do rio (FREITAS 1984 citado, por GOMES e FENDRICH, 1991). A fórmula de Ven Te Chow, método utilizado no Trabalho, para calcular t_c está descrita conforme Equação (3.21):

$$t_c = 52,64 * \left(\frac{L}{\sqrt{D_m}} \right)^{0,67} \quad (3.21)$$

onde:

t_c = Tempo Concentração (minutos);

L = Extensão do Talvegue principal (km);

D_m = Declividade da bacia ($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$).

Porém, existem outros métodos para o cálculo do tempo de concentração que consideram a área da bacia e o CN ao invés do comprimento do talvegue principal. Para uma comparação entre os resultados o t_c também foi calculado pela

fórmula de Kirpich (1940), citado por Tucci (1993), que é uma fórmula indicada para bacias hidrográficas com área de até 0,5 km², descrita na Equação (3.22):

$$tc = 3,989.L^{0,77}.S^{-0,385} \quad (3.22)$$

onde:

t_c = Tempo de Concentração (minutos);

L = Comprimento do Talvegue principal (km);

S = Declividade do Talvegue (m/m).

Pelo método de Dooge (1956), citado por Tucci (1993), indicado para bacias rurais com áreas entre 140 a 930 km², descrito na Equação (3.23):

$$tc = 21.A^{0,41}.S^{-0,17} \quad (3.23)$$

onde:

t_c = Tempo de Concentração (minutos);

A = Área da bacia (km²);

S = Declividade do Talvegue (m/m).

E pelo método do SCS Lag, citado por Tucci (1993), método indicado para bacias de até 8 km², descrito na Equação (3.24) (TUCCI, 1993):

$$tc = 3,42.L^{0,8}.\left(\frac{1000}{CN-9}\right)^{0,7}.S^{-0,5} \quad (3.24)$$

onde:

t_c = Tempo de Concentração (minutos);

L = Comprimento do Talvegue principal (km);

S = Declividade do Talvegue (m/m).

CN = Curva Número

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

4.1.1 Localização da Bacia

A área de estudo, ilustrada na Figura 4.1, bacia de drenagem do Rio Canguiri, encontra-se na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), e abrange quatro municípios: Colombo, Pinhais, Campina Grande do Sul e Quatro Barras, os quais possuem, respectivamente, 39,91%, 31,33%, 15,27% e 13,49 % de seus territórios inseridos na Bacia do Rio Canguiri.

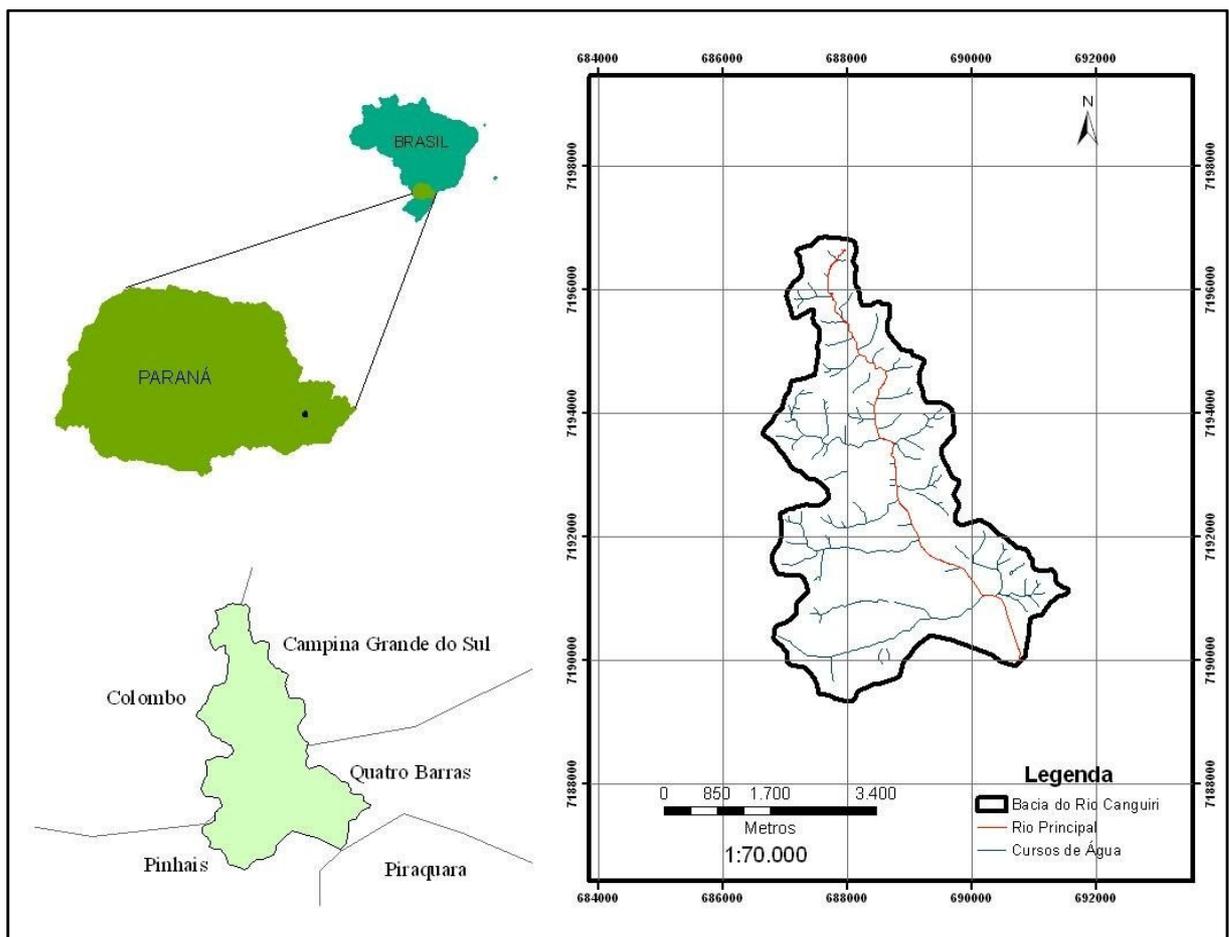


Figura 4.1: Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri

Na Tabela 4.1 pode-se observar mais detalhadamente a área em quilômetros quadrados de cada município inserida na bacia do Rio Canguiri.

TABELA 4.1 - RELAÇÃO DE ÁREA (km²) PARA CADA MUNICÍPIO QUE FORMA A BACIA DO RIO CANGUIRI

MUNICÍPIOS	ÁREA (km ²)	ÁREA RELATIVA (%)
Colombo	7,16	39,91
Pinhais	5,62	31,33
Campina Grande do Sul	2,74	15,27
Quatro Barras	2,42	13,49
TOTAL	17,94	100,00

A Bacia do Rio Canguiri, encontra-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Iraí e uma parte da bacia, parte mais ao Sul, está alagada pela Barragem do Iraí. A Barragem foi construída no limite de Pinhais e Piraquara, alagando uma área significativa dos municípios de Pinhais, Piraquara e Quatro Barras, ocupando cerca de 0,82 km² da bacia do Rio Canguiri, na divisa com Piraquara.

É uma bacia com área de 17,94 km² localizada na bacia hidrográfica do alto Rio Iguaçu, sendo cercada ao Norte pela bacia hidrográfica do Rio Palmital, ao Sul pela bacia do Rio Iraí, ao Leste pela bacia do Rio Timbu, e ao Oeste pela bacia hidrográfica do Rio do Meio.

4.1.2 Caracterização Morfológica e Populacional da Bacia

As áreas da RMC vêm sofrendo um processo intenso de apropriação de seus recursos (campos e florestas), o qual tem sido agravado pela ocupação e uso desordenado do solo. Tal situação determina uma abordagem mais detalhada de como ocorreu a antropização, uso e ocupação do solo na RMC, em especial na área da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri.

O fator de forma (Kf), descrito na Tabela 4.2, é um índice indicativo da tendência para enchentes de uma bacia, ou seja, uma bacia com fator de forma mais baixo é menos sujeita a enchentes que outras de mesma área e com Kf maior. O Kf para a bacia do rio Canguiri indica que é uma bacia pouco suscetível à

enchente. Assim como a densidade de drenagem (Dd) indica que a bacia tem uma boa drenagem.

TABELA 4.2: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA DO RIO CANGUIRI

CARACTERÍSTICAS	SIGLAS	EXTENSÃO
Área da bacia de drenagem	A	17,94 km ²
Perímetro da Bacia	Pb	25,44 km
Ordem dos cursos d'água	-	5ª ordem
Densidade de Drenagem	Dd	2,79 km/km ²
Densidade Hidrográfica	Dh	6,72 km/km ²
Coefficiente de Compacidade	Kc	1,7
Fator de Forma	Kf	0,25
Comprimento do Rio Principal	L	8,58 km
Diferenças de cotas entre o ponto mais afastado da bacia e o exutório	H	85 m

FONTE: JACOBS (2002)

Conforme o censo realizado pelo IBGE nos anos de 2000 e 2010, houve um acréscimo significativo no aumento da população da RMC dos municípios que compõem a bacia, como visto na Tabela (4.3):

TABELA 4.3: POPULAÇÃO DOS MUNICÍPIOS QUE FORMAM A BACIA DO RIO CANGUIRI

MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO TOTAL (HABITANTES)	
	Censo 2000	Censo 2010
Campina Grande do Sul	34.566	38.769
Colombo	183.329	212.967
Pinhais	102.985	117.008
Quatro Barras	16.161	19.851

FONTE: IBGE 2010

As APAS foram criadas na RMC, com base na Lei Estadual nº 12.248/98 para a proteção das bacias contribuintes das represas de abastecimento público (COMEC, 2010). No caso da Bacia do Rio Canguiri, a Represa do Rio Iraí, que ocupa uma parte ao extremo sul da bacia, teve o início da construção em 1997 e foi inaugurada em Agosto de 2000.

4.1.3 Geologia, Hipsometria e Vegetação da Bacia

A bacia do Rio Canguiri faz parte do Primeiro Planalto Paranaense, inserida na Bacia Sedimentar de Curitiba. Está situada na região sul do Primeiro Planalto, o qual é formado pelo embasamento cristalino, de superfícies mais ou menos onduladas, com altitudes que variam entre 850 a 970 m (BIGARELLA, 1978). Conforme Bigarella; Salamuni; Marques (1961) a Bacia de Curitiba é composta por duas formações sedimentares de diferentes fases de deposição: a mais antiga denominada Formação Guabirotuba, constituída por argilitos e arcósios, e a mais

recente compreende os depósitos das planícies de inundação e os baixos terraços que margeiam as várzeas holocênicas. Os sedimentos da Formação Guabirota são expansivos e retrativos, com suscetibilidade à erosão, e movimentos gravitacionais de massa em encostas para áreas desprotegidas de vegetação (FELIPE, 2011). Locais com origem na Formação Guabirota, como é o caso da Bacia do Rio Canguiri, tem um relevo suave, predominando morros baixos e vales abertos e assimétricos com drenagem de caráter dendrítico (JACOBS, 2002).

O mapa geológico, como mostra a Figura 4.2, teve como fonte a Carta Geológica do Estado do Paraná na escala de 1:250.000, fornecido pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG, 2010) e o arquivo no formato “shape” de delimitação da bacia. Utilizando o programa gvSIG, a ferramenta *intersec*, para utilizar a área em comum nos dois “shapes”, o da carta de geologia, já georreferenciada na Projeção cartográfica UTM, datum sad 69 e fuso 22° S, e o da delimitação da bacia hidrográfica, determinou o mapa geológico da bacia hidrográfica do Rio Canguiri.

A Curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo médio de uma bacia. Representa a variação da elevação dos vários terrenos da bacia hidrográfica, com referência ao nível médio do mar. O mapa hipsométrico, Figura 4.3, mostra que a área de estudo não tem diferenças grandes entre a menor e a maior cota topográfica, sendo, detalhadas a cada 5 metros para melhor visualização do ponto mais alto da bacia hidrográfica.

A cobertura vegetal da bacia hidrográfica, Figura 4.4, teve como fonte a Carta Fitogeográfica do Estado do Paraná, na escala de 1:250.000, fornecido pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG, 2010) na Projeção cartográfica UTM, datum sad 69 e fuso 22° S, e o da delimitação da bacia hidrográfica, determinou o mapa da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Canguiri. É composta por estepe gramíneo lenhosa com capões, e pela Floresta Ombrófila Mista Aluvial ou estepe gramíneo-lenhosa (várzeas) (JACOBS, 2002; IBGE, 1992). Nas margens dos rios ou nas pequenas depressões aparecem os capões e matas de galerias associadas à Araucária (Floresta Ombrófila Mista Aluvial), porém o grande avanço da urbanização tem descaracterizado o tipo fitogeográfico de transição de mata para campo e até mesmo reduzindo espécies lenhosas da área da bacia.

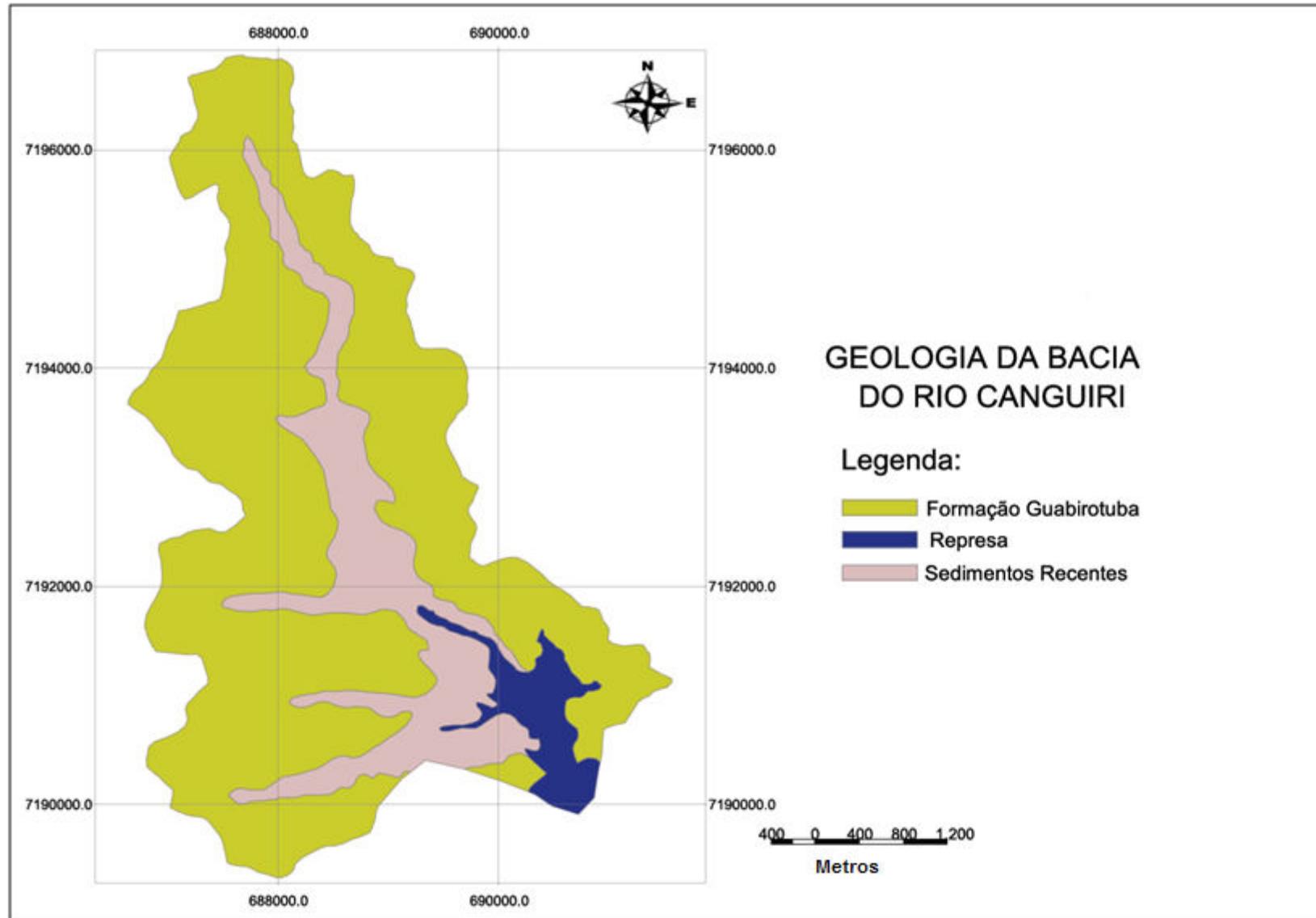


Figura 4.2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri
Fonte: ITCG (2010)

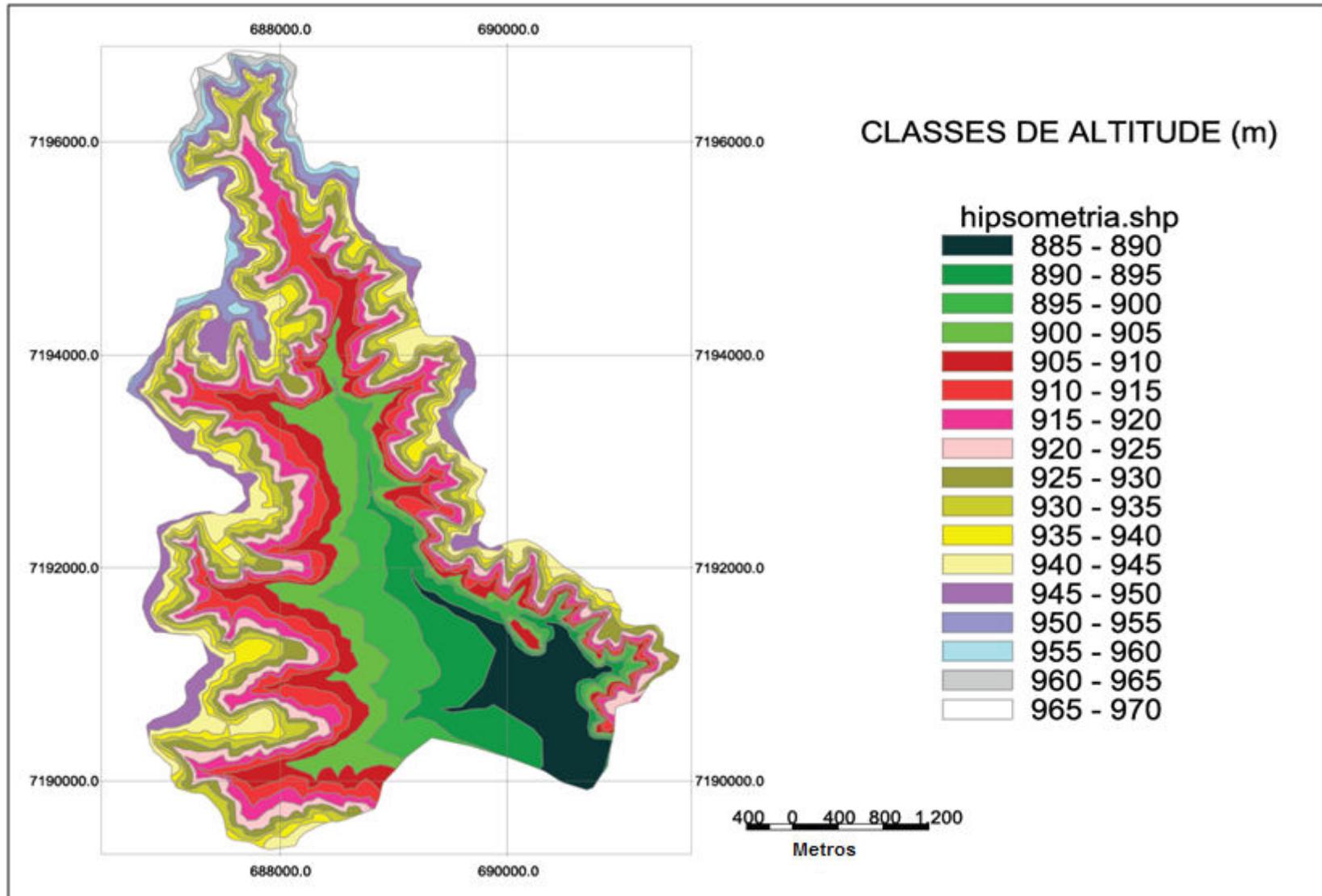


Figura 4.3: Mapa hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri.
Fonte: JACOBS (2002)

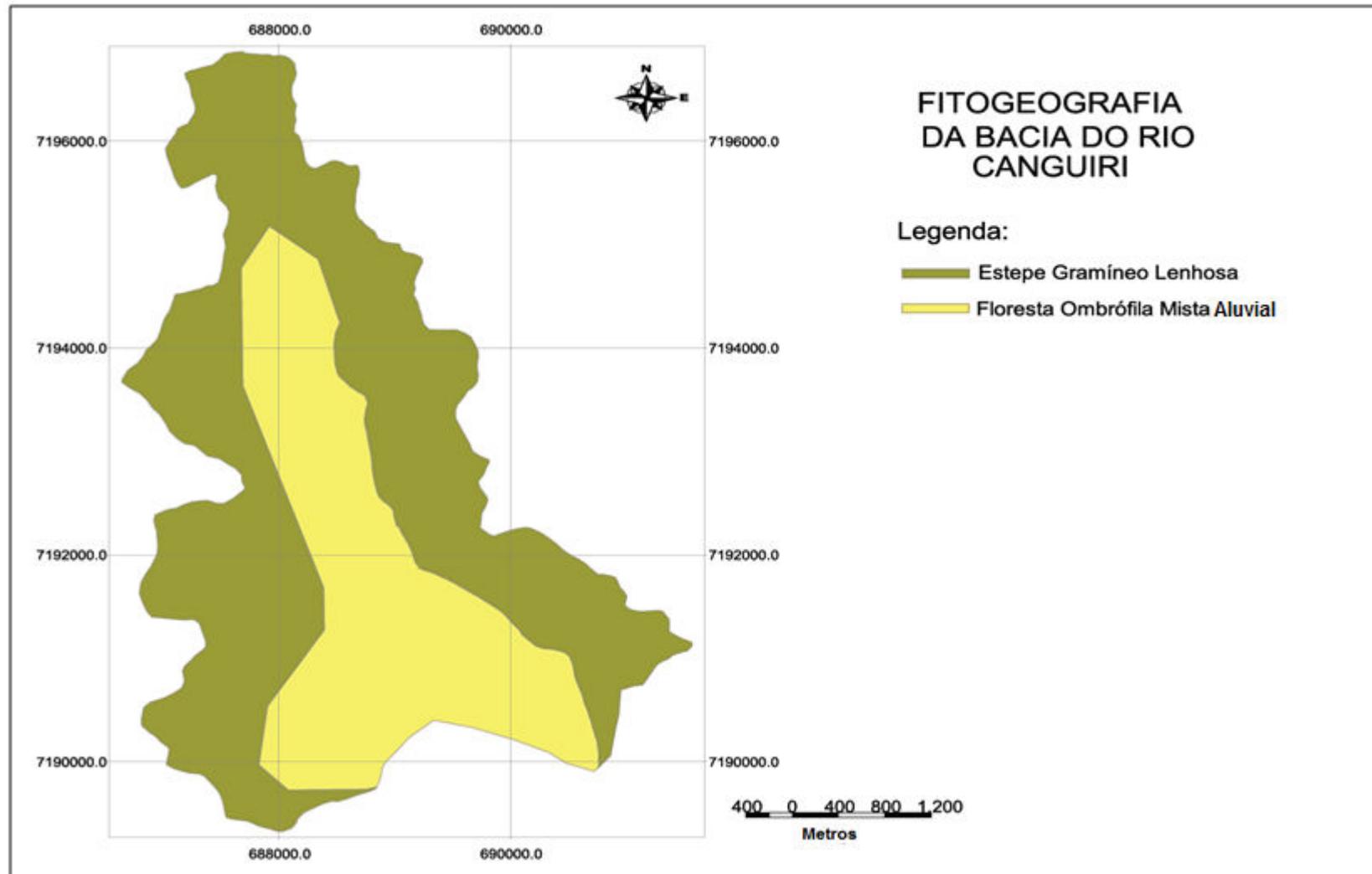


Figura 4.4: Mapa Fitogeográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri
Fonte: ITCG (2010)

4.1.4 Clima da Bacia

Uma classificação feita pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR, 2011) cruzando mapas de temperatura e precipitação, no programa SPRING, classificou o Estado do Paraná em dois tipos climáticos, Cfa (Clima Temperado) e Cfb (Clima Subtropical), Figura (4.5):

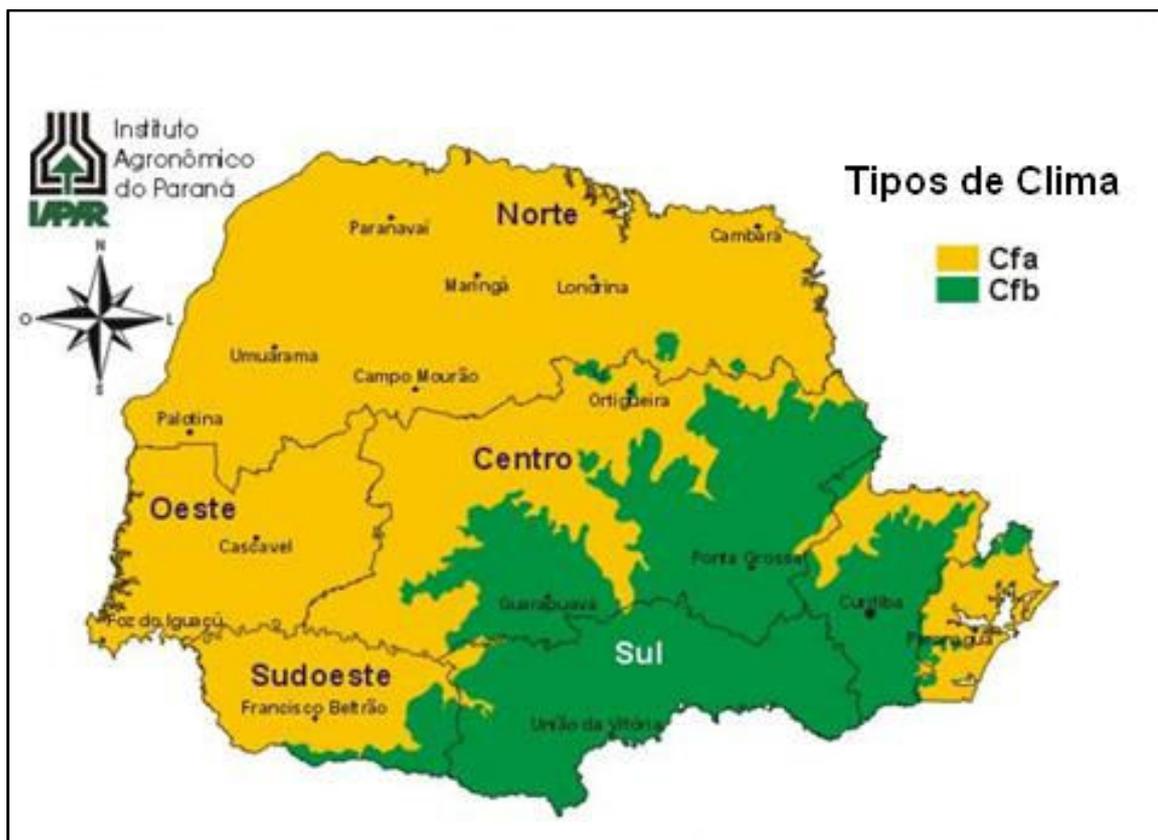


Figura 4.5 – Mapa Climático do Estado do Paraná, Segundo Köppen
Fonte: IAPAR (2011)

Do ponto de vista climático, os parâmetros climáticos, extrapolados de Curitiba, são válidos para todas as localidades da RMC, apresentando variações insignificantes para a média em geral (JACOBS, 2002). O clima é do tipo Cfb – subtropical úmido mesotérmico, ou seja, sempre úmido, pluvial, quente-temperado, sujeitos a geadas anuais no Inverno. A temperatura média anual é de 16,5 °C sem estações bem definidas, classificação Köppen (IAPAR, 2011).

4.1.5 Dados de Precipitação e Vazão da Bacia

Dados utilizados para o estudo do balanço hídrico como precipitação (mm), Insolação (h), Radiação ($W.m^{-2}$), Umidade relativa do ar (%), Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas ($^{\circ}C$), Velocidade Média do Vento ($m.s^{-1}$) e Vento Acumulado, foram providos da estação Meteorológica de Piraquara pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e pelo Sistema Meteorológico do Paraná (Instituto Tecnológico SIMEPAR). A estação está localizada no município de Pinhais/PR, como pode ser observada na Figura 4.6, com 930 m de altitude, $25^{\circ}25'S$ de Latitude Sul e $49^{\circ}08'W$ de Longitude Oeste (KOBAYAMA e VESTENA, 2006).

A estação para a medição de vazão mais próxima a bacia do Rio Canguiri, que ainda é monitorada com frequência, é a estação fluviométrica do Rio Iraí, como se pode observar na Figura 4.6, localizada no município de Pinhais, PR, Estação Olaria Do Estado, com latitude de $25^{\circ}26'27'' S$, longitude de $49^{\circ}07'06'' W$ e a altitude de 876 m, com área da bacia de drenagem igual a $182 km^2$. Os dados de vazão são monitorados pelo Instituto das Águas do Paraná. No Trabalho, a média anual da vazão do Rio Canguiri é uma média ponderada por área extrapolada da vazão anual do Rio Iraí, ou seja, a vazão medida no Rio Iraí vezes a área da bacia do Rio Canguiri dividido pela área de drenagem da bacia do rio Iraí, conforme a Equação (4.1):

$$Q_{Canguiri} = \frac{(Q_{Iraí} * Área_{Canguiri})}{Área_{Iraí}} \quad (4.1)$$

onde:

$$Q_{Canguiri} \text{ e } Q_{Iraí} = \text{Vazão (m}^3.s^{-1}\text{);}$$

$$Área_{Canguiri} \text{ e } Área_{Iraí} = \text{Área de drenagem (km}^2\text{).}$$

A vazão média por área foi realizada para obtenção de informações de um local para outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante, pois a bacia do Rio Canguiri não possui nenhuma estação para o controle anual ou mensal de vazão.

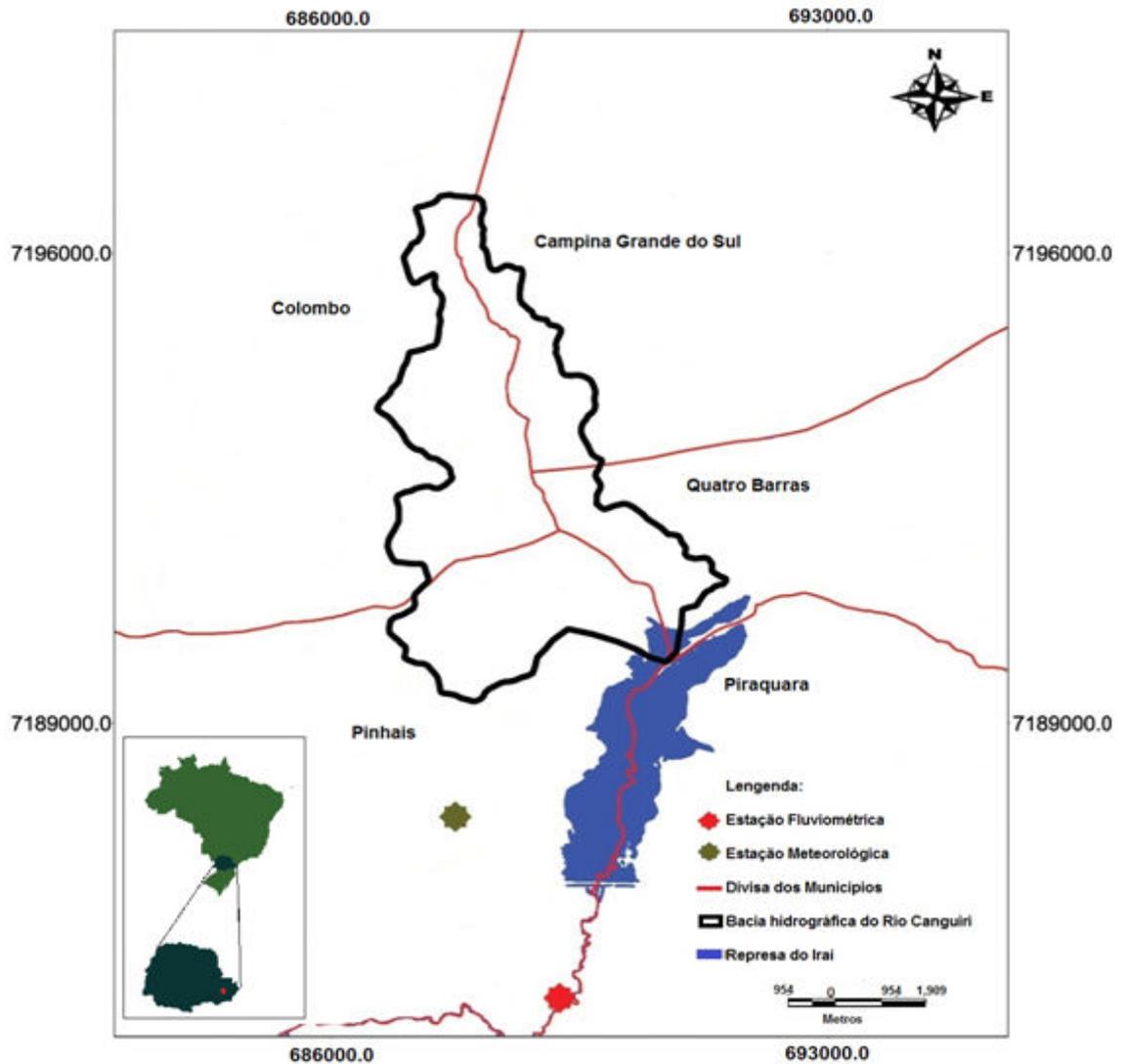


Figura 4.6 – Localização das Estações Meteorológica e Fluviométrica
 Fonte: (ITCG, 2010)

4.2 MAPAS TEMÁTICOS UTILIZADOS

Os mapas temáticos de solos e uso do solo são de extrema importância para o estudo da vazão máxima pelo Método de Ven Te Chow. Para estabelecer o valor da CN (valor esse tabelado) depende: primeiramente da classe hidrológica do solo, o qual é estipulado pelo tipo de solo da área e em segundo pela cobertura florestal ou uso do solo. Conhecendo o valor da CN determina-se o valor da Precipitação Efetiva (P_e) e com ela o fator de escoamento (X), uma das variáveis para o cálculo da vazão máxima de pelo Método de Ven Te Chow.

4.2.1 Mapeamento de Solos

As informações e atualizações sobre as classes de solos que ocorrem na bacia foram obtidas do trabalho: MAPA DE SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ – Legenda Atualizada: Articulação da Folha: MI-514, escala 1: 600.000, realizado pela Embrapa Florestas, Embrapa Solos e o IAPAR em 1999 (BHERING e SANTOS, 2008). No programa gvSIG a articulação da folha digitalizada no formato JPG foi georreferenciada na Projeção Universal Transversal de Mercator (UTM), datum sad 69 e fuso 22°S, o qual foi registrado e com o formato de “shape” (arquivo utilizado no programa gvSIG) da delimitação da bacia fez-se a interseção do mapa de solos com a delimitação da bacia, resultando em um mapa temático, Figura (4.7).

Com a área da bacia hidrográfica igual a 17,94 km² pode-se estimar a porcentagem de cada tipo de solo pertencente à bacia conforme mostrado na Tabela (4.4):

TABELA 4.4 – PORCENTAGEM DA ÁREA OCUPADA PELOS DIFERENTES TIPOS DE SOLOS

TIPO DE SOLO	ÁREA (%)
Cambissolos Úmicos alumínicos (CHa6 + CHa7)	3,18
Cambissolos Háplicos Tb distróficos (CXbd1)	26,88
Latossolos Brunos distróficos (LBd8 + LBd9)	16,23
Latossolos Brunos acrícos (LBw1)	26,53
Organossolos Háplicos (Ox1)	27,18

Avaliando a porcentagem de cada tipo de solo observa-se que a área é composta basicamente por 42,76 % de Latossolos, ou seja, quase 8 km² da bacia é composta por essa tipologia. Os outros 10 km² são formados por 30,06 % de Cambissolos e 27,18 % de Organossolos.

Segundo descrição completa das classes de solos feita por Bhering; Santos (2008) tanto os Latossolos como os Cambissolos possuem textura argilosa. Os solos estão descritos como:

- CHa6 – CAMBISSOLOS HÚMICOS Alumínicos: Associação de CAMBISSOLOS HÚMICOS Alumínicos típicos + NEOSSOLO LITÓLICO

Húmico típico, álico, ambos fase campo subtropical, substrato rochas eruptivas + ORGANOSSOLOS HÁPLICOS Sáprico típico álico, fase campo subtropical de várzea, todos textura argilosa, relevo suave ondulado de vertentes curtas.

- CHa7 – CAMBISSOLOS HÚMICOS Alumínicos:CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico, textura argilosa, fase campo subtropical, relevo forte ondulado, substrato filitos.
- CXbd1 – CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos: CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Distróficos úmbrico, textura argilosa, álico, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado, substrato migmatitos.
- LBd8 – LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos: Associação de LATOSSOLO BRUNO Distrófico úmbrico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico úmbrico, substrato sedimentos pleistocênicos, ambos textura argilosa, álicos, fase campo subtropical, relevo suave ondulado.
- LBd9 – LATOSSOLOS BRUNOS Distróficos: LATOSSOLO BRUNO Distrófico cambissólico úmbrico, textura argilosa, álicos, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado e ondulado.
- LBw1 – LATOSSOLOS BRUNOS Ácricos: LATOSSOLO BRUNO Ácrico úmbrico, textura argilosa, fase campo subtropical perenifólia, relevo suave ondulado.
- Ox1 – ORGANOSSOLO HÁPLICO – Indiscriminado

Por possuir solos rasos e a formação geológica Guabirotuba em quase toda a sua extensão, a bacia hidrográfica do Rio Canguiri, em locais sem cobertura florestal e com um mínimo de declividade, apresenta forte tendência para gerar erosões. Solos originados a partir da formação Guabirotuba são solos que possuem em sua constituição, preferencialmente, argilominerais, assim conhecido como “material expansivo”. São materiais que possuem limites de liquidez elevados e alta plasticidade. Quando secos são duros, mas perdem facilmente sua resistência quando absorvem água (FELIPE, 2011).

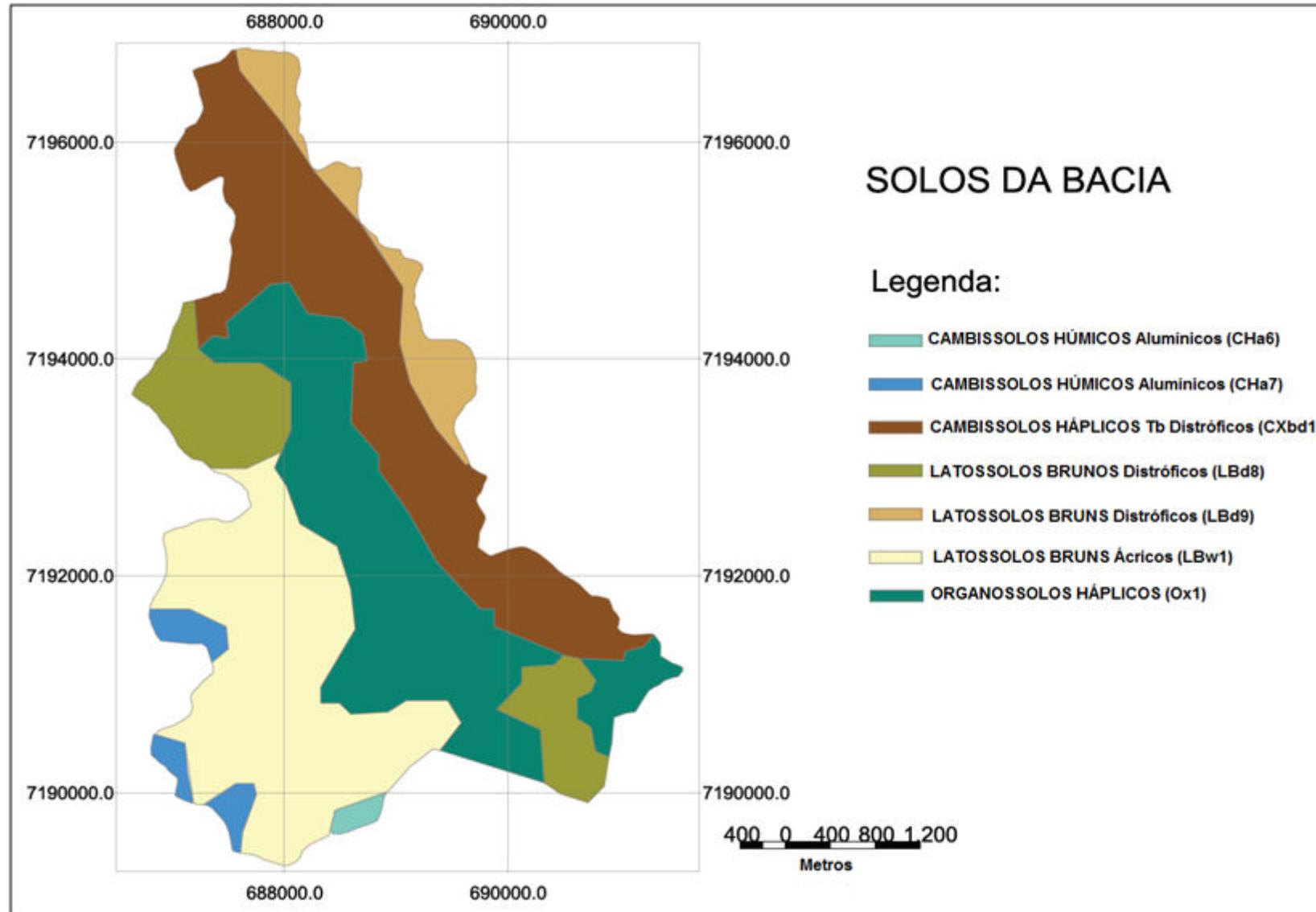


Figura 4.7 – Mapa dos Solos da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri
 Fonte: Adaptado de BHERING e SANTOS (2008)

4.2.2 Mapeamento de Tipologias de Uso do Solo

As áreas das tipologias de uso do solo para os anos de 1976, 1984 e 2009 anos que serão analisados a vazão máxima, podem ser observadas na Tabela 4.5 e o mapa para o ano de 2009 na Figura (4.8).

TABELA 4.5 – ÁREA COM PORCENTAGEM RELATIVA DE CADA TIPOLOGIA DE USO DO SOLO

TIPOLOGIAS DE USO DO SOLO	1976		1984		2009	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Floresta Ombrófila Mista Montana	3,84	21,38	0,86	4,77	1,86	10,36
Floresta Ombrófila Mista - Sistema Veg. Secundária	2,15	11,97	3,74	20,84	2,60	14,49
Reflorestamento	0,00	0,00	0,96	5,36	0,87	4,84
Campos e áreas verdes	7,21	40,21	8,53	47,57	5,54	30,88
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	2,08	11,59	0,03	0,17	1,08	6,04
Uso da Terra Agricultura	0,50	2,76	1,85	10,29	2,05	11,44
Áreas Urbanas	2,17	12,09	1,97	11,00	3,12	17,37
Áreas com água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	4,57
Total de área da bacia	17,94	100,00	17,94	100,00	17,94	100,00

FONTE: JACOBS (2002) para os anos de 1976 e 1984

O mapa de uso do solo para o ano de 2009, Figura 4.8, foi feito com apoio de levantamento de campo e com imagem multiespectral do satélite RAPIDEYE do ano de 2009, com resolução de 5 m, providas pela empresa SENOGRAFIA Sensoriamento Remoto Ltda. A imagem foi digitalizada na projeção UTM, datum sad 69 no fuso 22°S e classificada no programa gvSIG, exportada no formato “shape” e, no mesmo programa, convertida em mapa temático. Para os anos de 1976 e 1984 não há mapas apenas dados de áreas em quilômetros quadrados e porcentagem feita por Jacobs (2002).

Jacobs (2002) classificou os usos da terra de todas as sub-bacias da Bacia do Alto Rio Iguaçu. A classificação para a bacia do Rio Canguiri foi adaptada conforme a classificação feita pelo método SCS, descrito a seguir:

- TIPO I – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA: tem como característica a ocorrência do Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria angustifolia*). Inicialmente se formam os capões em pequenas depressões sendo sucedido pelos estágios arbóreos avançados da vegetação secundária, conhecido como capoeirão. Na tabela de classificação para a CN esse tipo de cobertura foi considerado como Florestas Densas de Alta Transpiração.

- TIPO II – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA – SISTEMA DE VEGETAÇÃO SECUNDÁRIA: é a vegetação que surge logo após as alterações antrópicas (destruição da floresta e abandono do terreno) e ou naturais (incêndios), sendo características o aparecimento de capoeirinhas, estágios sucessionais secundários. Classificada como capoeira com presença de espécies arbustivas de pequeno porte, Florestas Normais.
- TIPO III – REFLORESTAMENTO: inclui os povoamentos homogêneos e heterogêneos de Pinus e Eucaliptos, devido à constante exploração inadequada durante os anos.
- TIPO IV – ESTEPE GRAMÍNEO LENHOSA/ CAMPOS E ÁREAS VERDES: ocupam as áreas mais planas, os campos ou várzeas são constituídos por um pequeno número de espécies adaptadas às inundações periódicas. Classificada como pastagem velha com arbustos e gramados tratados em más condições.
- TIPO V – FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL: conhecidas como florestas de galerias, florestas bastante abertas de porte baixo com sub-bosque quase inexistente ou sem sub-bosque, classificada como florestas esparsas.
- TIPO VI – USO DA TERRA PARA AGRICULTURA: áreas de floresta que foram substituídas por áreas agrícolas, principalmente por haras, condomínios e chácaras. Classificadas como terrenos cultivados regularmente; cultivo com fileiras retas;
- TIPO VII – ÁREAS URBANAS: área de uso intensivo, com grande parte da terra coberta por estruturas, inclui cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços de transporte, energia e comunicação, fábricas, supermercados, complexos industriais e comerciais. Classificada como área residencial, lotes menores que 500 m² com taxa de impermeabilização de 65%;
- TIPO VIII – ÁREAS COM ÁGUA.

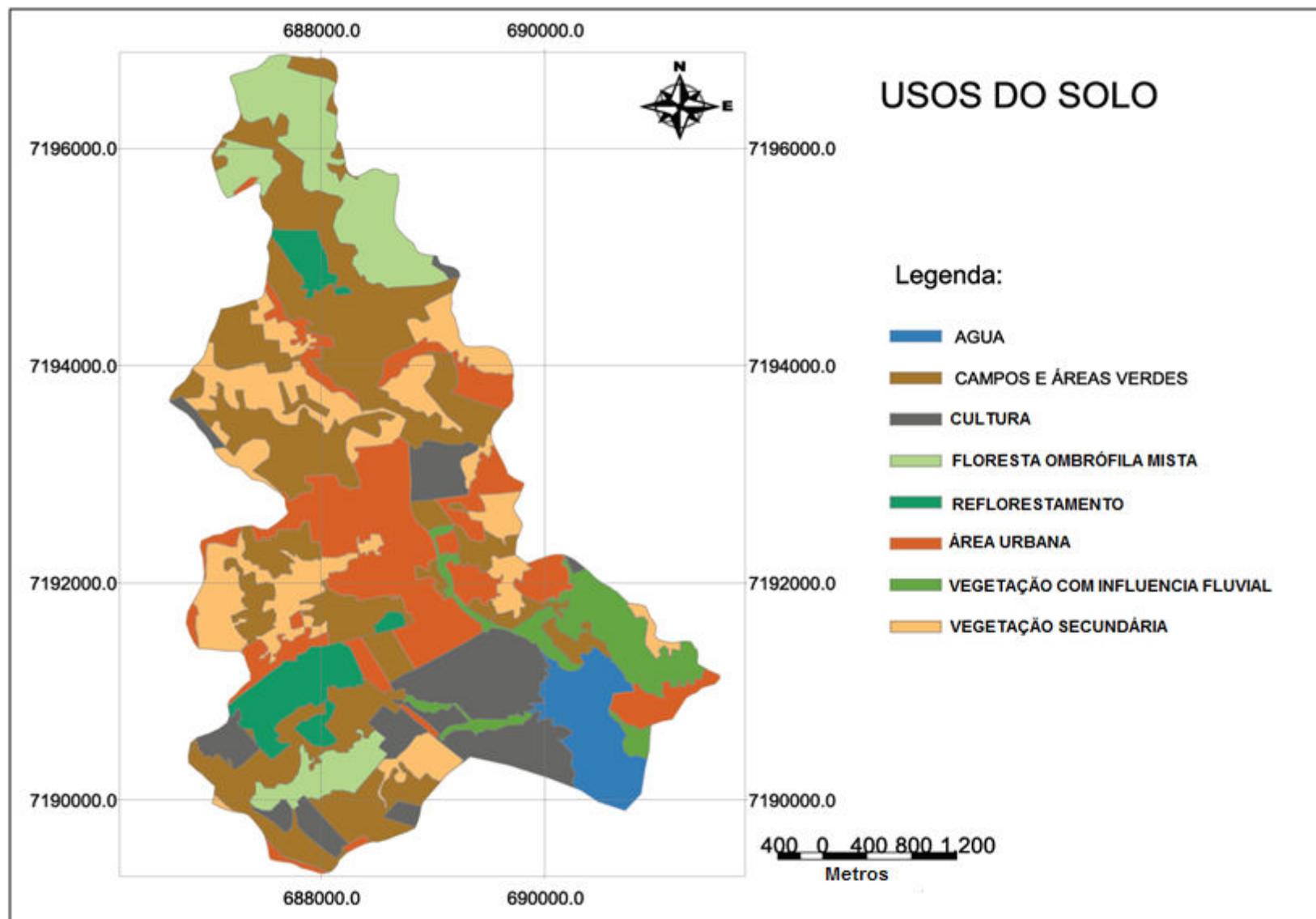


Figura 4.8 – Mapa de usos do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri para o ano de 2009
Fonte: Imagem de satélite fornecida pela Empresa Senografia (2009)

4.3 BALANÇO HÍDRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

O Balanço Hídrico é a maneira de computar o movimento de água no solo num intervalo de tempo representando o balanço entre entradas de água, que são as chuvas, orvalho, drenagem lateral, ascensão capilar e irrigação, e as saídas de água da bacia, que é a evapotranspiração, escoamento superficial (*run off*), drenagem lateral e drenagem profunda (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIAMA, 1997). É a quantidade líquida de água disponível no solo até a profundidade explorada pelas raízes das plantas, assim em sua estimativa é comum admitir que o solo atue apenas como um recipiente, sendo a capacidade de campo igual à máxima quantidade de água que o solo pode armazenar (VAREJÃO-SILVA, 2000).

O Balanço Hídrico Climatológico tem como ponto chave o suprimento natural de água no solo pela chuva (Pp) e da demanda atmosférica representada pela evapotranspiração potencial (ETP) e com uma capacidade de campo (CC) apropriada para o local, fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência (DEF), do excedente (EXC), e o armazenamento de água no solo (ARM) (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIAMA, 1997).

A evapotranspiração potencial (ETP) corresponde à água utilizada por uma superfície completamente coberta por vegetação, sem restrição hídrica e a evapotranspiração real (ETR), são perdas de água nas condições reais de umidade do solo e da atmosfera, ocorre em qualquer circunstância (VILLELA e MATTOS, 1975).

O cálculo da ETP foi feito com base no método FAO24-Penman, cuja metodologia foram descritos por Faria *et al.* (2002), com os parâmetros de entrada como a precipitação, radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura média. No método combinado ou de Penman a ETP é calculada em função do termo energético e aerodinâmico (PENMAN, 1948), sendo a única diferença entre o método de Penman e FAO24-Penman, a modificação no termo aerodinâmico (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

A Equação 4.2 descreve a fórmula para o cálculo da ETP pelo método FAO24-PENMAN:

$$ETP = TP = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot 2,7W_f \cdot (e_s - e_a) \quad (4.2)$$

onde:

ETP = Evapotranspiração Potencial (mm.d⁻¹);

Δ = Declividade da curva de pressão de vapor de água (KPa°C⁻¹);

γ = Constante Psicrométrica (KPa°C⁻¹);

R_n = Radiação Líquida da superfície (MJ.m⁻².d⁻¹);

G = Balanço do Fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².d⁻¹);

e_s = Tensão de Saturação de vapor (kPa);

e_a = Tensão parcial de vapor (kPa);

W_f = Função de vento (m.s⁻¹).

O Δ depende da temperatura média do ar (°C) e a constante psicrométrica da temperatura (°C) e da pressão atmosférica (kPa) de acordo com a Equação (4.3) e Equação (4.4):

$$\Delta = (0,2(7,3810^{-3} T + 0,8072)^7 - 0,000116) \quad (4.3)$$

$$\gamma = \frac{1,013 \cdot 10^{-3} P}{0,622 \lambda} \quad (4.4)$$

onde:

T = Temperatura média do ar (°C);

P = Pressão (kPa): $[P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065z}{293}\right)^{5,26}]$, onde z é a altitude em metros;

λ = Calor latente de vaporização (MJ.Kg⁻¹): ($\lambda = 2,501 - 2,361 \cdot 10^{-3} \cdot T$), onde T é a temperatura em (°C).

A R_n é a diferença entre os ganhos e as perdas radiativas, sendo que o saldo é usado no aquecimento, fotossíntese e como calor latente (VAREJÃO-SILVA, 2000). É calculada pela Equação (4.5):

$$R_n = \frac{1}{\lambda} \cdot [(1 - r)R_s - R_b] \quad (4.5)$$

onde:

R_s = radiação solar incidente medida (MJ.m².d⁻¹), obtida através do IAPAR e SIMEPAR;

R_b = Radiação de onda longa ($\text{MJ.m}^2.\text{d}^{-1}$).

r = Albedo (adimensional) e igual a 0,23;

λ = Calor latente de vaporização (MJ.Kg^{-1});

A radiação de onda longa é calculada em função da temperatura média em ($^{\circ}\text{C}$); da tensão de saturação de vapor (e_a); do número de horas da insolação (n) e das horas do brilho solar (N). Como os dados de insolação não foram obtidos para todos os anos a radiação de onda longa foi calculada pelo método de FAO24-Penman, conforme Equação(4.6):

$$R_b = 4,903 \cdot 10^{-3} \cdot (273 + T_{méd})^4 \cdot (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \cdot (1,35 \cdot \text{auxiliar} - 0,35) \quad (4.6)$$

onde:

Auxiliar é a relação entre a radiação do topo da atmosfera (R_{so}) e a radiação de céu claro (Q_o), sendo seu menor valor igual a 1.0 R_{so} e o Q_o podem ser descritos de acordo com a Equação (4.7) e Equação (4.8):

$$Q_o = \frac{24 \cdot 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [(W_s \text{sen}(\theta) \text{sen}(\delta) + \cos(\theta) \cos(\delta) \text{sen}(W_s))] \quad (4.7)$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot Q_o \quad (4.8)$$

onde:

Q_o = Radiação extraterrestre ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$);

R_{so} = Radiação de Céu Claro ($\text{MJm}^{-1}\text{d}^{-1}$)

G_{sc} : Constante Solar ($0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$);

d_r = Distância relativa terra-sol (adimensional) calculada pela seguinte relação: $d_r = 1 + 0,033 \cos(2\pi \frac{J}{365})$, dada em função dia do ano (J) após primeiro de janeiro;

W_s = Ângulo horário do pôr do sol (radianos), calculada pela seguinte relação: $W_s = \arccos(-\tan(\theta) * \tan(\delta))$;

θ = Latitude (radianos) da estação meteorológica ($\theta = 0,4436051 \text{ rad}$);

δ = Declinação Solar (radianos), em função dos dias do ano (J), representada pela equação: $\delta = 0,4093 \text{ sen}[2\pi(284 + \frac{J}{365})]$;

z : Altitude (m).

Outro parâmetro a ser calculado para a análise da ETP é a tensão parcial de vapor (e_a), calculada em função da umidade relativa (%) e da tensão saturada de vapor (e_s), de acordo com a Equação (4.9) e a Equação (4.10), respectivamente:

$$e_a = e_s \cdot \frac{UR}{100} \quad (4.9)$$

$$e_s = \frac{e^{\left(\frac{16,78 \cdot T_{méd} - 116,9}{237,3 + T_{méd}}\right)}}{2} \quad (4.10)$$

A tabulação, a organização dos dados e os cálculos foram realizados no programa Microsoft Office Excel.

As etapas que descrevem o balanço hídrico climatológico, maneira essa de se monitorar o armazenamento de água no solo, são descritas a seguir:

- a) A Precipitação (**Pp**) são dados medidos e a Evapotranspiração Potencial (**ETP**) é calculado pelo método de Penman;
- b) **Pp – ETP**: quantidade de água disponível no solo define estação de seca e úmido;
- c) A diferença entre (**Pp – ETP**) defini a Perda Potencial Acumulada (**PPA**) e o armazenamento (**ARM**). A PPA ou negativo acumulado é a quantidade de água que não é evaporada, está relacionada a situação do déficit hídrico. Não havendo PPA há excesso de água a qual, sendo superior a capacidade de campo poderá ter outro destino (RIZZI, 2011). O ARM de água no solo é igual ou menor que a capacidade de campo (CC). A capacidade de campo é a capacidade máxima de armazenamento conforme tipos/textura dos solos e tipologias de uso do solo, como cultivo e florestas. Para a bacia do Rio Canguiri foi definida que CC foi definida, considerando a textura do solo argilosa e a profundidade média do sistema radicular das plantas. Para efeito dos cálculos considerou-se a CC igual a 200 mm. O PPA e o ARM são definidos da seguinte maneira:
 - ✓ **Pp – ETP ≥ 0**, a PPA é igual a zero e o ARM igual a Capacidade de Campo (CC);
 - ✓ **Pp – ETP ≤ 0**, a PPA é igual a diferença entre (**Pp – ETP**) para o primeiro mês de seca, e igual a soma do (**PP – ETP**) do mês com a PPA acumulada do mês anterior, até o final do período seco. Nesse período o ARM é calculado pela Equação (4.11):

$$ARM = CC. \exp. \left(-\frac{PPA}{CC} \right) \quad (4.11)$$

onde:

ARM = Armazenamento na Bacia (mm);

CC = Capacidade de Campo (200mm);

PPA = Perda Potencial ou negativo acumulado, com PPA = -(P-ETP)

daquele mês.

O ARM do mês úmido, que segue o período de seca, é igual à soma do (Pp – ETP) do mês mais ARM do mês anterior. Conhecendo o ARM calcula-se PPA, pela logaritimização da Equação (4.11), conforme Equação (4.12).

$$-\ln \left(\frac{ARM}{CC} \right) = \frac{-PPA}{CC} \quad (4.12)$$

d) Variação da reserva de água no solo (**ΔS**): É a diferença da reserva de água no solo (ARM) de um mês para outro subsequente;

e) Evapotranspiração Real (**ETR**): Nos meses em que Pp – ETP ≥ 0, com ΔS positivo, considera a ETR igual a ETP. Porém, nos meses em que a PP – ETP ≤ 0, ETR é igual a Pp – ΔS;

f) Déficit de água (**DEF**): é a diferença entre ETP – ETR, para que haja DEF hídrica no mês, a soma de P_p - ETP tem que ser negativo, ou seja, o solo começa a secar resultando ETR menor que ETP, logo a DEF é igual à ETP – ETR; sem DEF hídrica a soma P_p – ETP é positiva indicando que a ETP = ETR (RIZZI, 2011).

g) Excesso de água (**EXC**): é a diferença entre Pp – ETP – ΔS, conhecendo a DEF hídrica tem-se diretamente o EXC, pois meses com DEF tem ARM < CC não podendo existir EXC. Esse excesso, no ano, poderá sair da bacia durante o ano ou em anos posteriores, assim como também se acumular nas camadas mais profundas do solo (RIZZI, 2011).

h) Estimativa de Drenagem: Está relacionada ao hidrograma de vazão (tempo de resposta e de concentração). A saída de água de uma bacia depende, portanto, de muitos fatores ambientais e de uso do solo. Portanto, trabalha-se com a hipótese de que 50% do excesso produzirá escoamento direto ou vazão direta.

Como o balanço hídrico climatológico, para um “ano médio”, resulta do princípio da conservação de massa da água, num volume de solo, pode-se verificar

a exatidão dos cálculos usando as relações fundamentais descritas na Equação (4.13), Equação (4.14), Equação (4.15) e Equação (4.16):

$$\sum P_p = \sum ETP + \sum (P_p - ETP) \quad (4.13)$$

$$\sum P_p = \sum ETR + \sum EXC \quad (4.14)$$

$$\sum ETP = \sum ETR + \sum DEF \quad (4.15)$$

$$\sum ARM = 0 \quad (4.16)$$

4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO HIDROLÓGICO DA CURVA NÚMERO (CN) E DO MÉTODO DE VEN TE CHOW

Para a análise da Curva Número foram utilizados dados resultantes da análise de imagem de satélite dos usos do solo na bacia do Rio Canguiri para os anos de 1976, 1984 e 2009. Os dados de uso do solo para os dois primeiros anos citados correspondem ao levantamento realizado por Jacobs (2002). Com base nesses dados e no tipo de solo foi estipulado o grupo hidrológico a fim de determinar o escoamento superficial da bacia, conforme a metodologia do SCS.

Para isso, foram simuladas precipitações para os tempos de duração iguais a 20, 40, 60, 80, 120, 180, 240 e 300 minutos, com os tempos de recorrência iguais a 3, 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos. Foi definido o tempo de duração e de recorrência da bacia para evidenciar bem as diferenças que possam existir entre os anos estudados. Tomou-se como referência a umidade antecedente normal (NII).

Para a determinação da curva número (CN) foi analisado o grupo hidrológico para a bacia hidrográfica. Teve como base o mapa de solo atualizado conforme o mapa de solos para o Estado do Paraná feito pela Embrapa, mostrado na Figura (4.6). No mapa de solos da bacia hidrográfica pode-se observar um predomínio de CAMBISSOLOS e LATOSSOLOS, Tabela (4.6). Mesmo considerando um percentual na ordem de 27,18 da área ocupada pelos solos Organossolos Háplicos é possível considerar baixa infiltração ($0 - 1,3 \text{ mm.h}^{-1}$), por ser referenciado à classificação equivalente aos solos orgânicos (DONE), conforme Tabela 3.1, de Gomes e Fendrich (1991). A classificação textural feita por Bhering e Santos (2008) é de textura argilosa, sendo assim, conforme o ábaco das classes texturais apresentado

na Figura 3.4, o grupo hidrológico que pertence à bacia hidrográfica do Rio Canguiri é o grupo “D”.

TABELA 4.6 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES DE SOLOS E SEUS RESPECTIVOS GRUPOS HIDROLÓGICOS

TIPO DE SOLO	ÁREA (%)	ÁBACO - CLASSES TEXTURAIS	GRUPO HIDROLÓGICO
Cambissolos Úmicos aluminicos (CHa6 + CHa7)	3,18	Textura Argilosa	D
Cambissolos Háplicos Tb distróficos (CXbd1)	26,88	Textura Argilosa	D
Latossolos Brunos distróficos (LBd8 + LBd9)	16,23	Textura Argilosa	D
Latossolos Brunos acrícos (LBw1)	26,53	Textura Argilosa	D
Organossolos Háplicos (Ox1)	27,18	sem classificação de textura	D ou E

A Tabela 4.7 mostra os valores das CNs para cada tipologia determinada. O valor da CN para áreas urbanas podem ser encontradas na Tabela 3.4; já os valores para campos e áreas verdes na Tabela 3.3; as CNs das demais tipologias estão na Tabela 3.5. A tipologia que se refere à água teve uma CN igual a 100, pois considerou que toda a água precipitada sobre um rio ou lago não infiltra.

TABELA 4.7 – ENQUADRAMENTO DA CN DA TIPOLOGIA DE USO DO SOLO

USO DO SOLO	CARACTERÍSTICAS	VALOR DA CN (GRUPO HIDROLÓGICO D)
Floresta Ombrófila Mista Montana	Floresta densa com alta transpiração	69
F.O.M. Sistema de Vegetação Secundária	Florestas Normais	79
Reflorestamento	-	68
Campos e Áreas Verdes	Pastagens Velhas com arbustos + gramados tratados com más condições	média (82+84) = 83
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	Florestas Esparsas	84
Agricultura	Plantações Regulares em fileiras retas	88
Área urbana	áreas menores que 500 m ²	92
Água	-	100

Uma avaliação do escoamento superficial, ou chuva excedente, é de suma importância para os estudos hidrológicos. O escoamento superficial direto representa a parcela de água total que esco inicialmente pela superfície do solo, contribuindo para as vazões dos rios e podendo causar cheias em pequenas bacias impermeabilizadas (JABUR, 2010).

O tempo de concentração pelo Método de Ven Te Chow, que é calculado pela Equação (3.20) apresentada no Capítulo 3 da Revisão Bibliográfica, é em

função da declividade média do talvegue principal. A declividade média do curso d'água do rio Canguiri foi verificada através da confecção do perfil longitudinal do rio, conforme mostra a Figura (4.9).

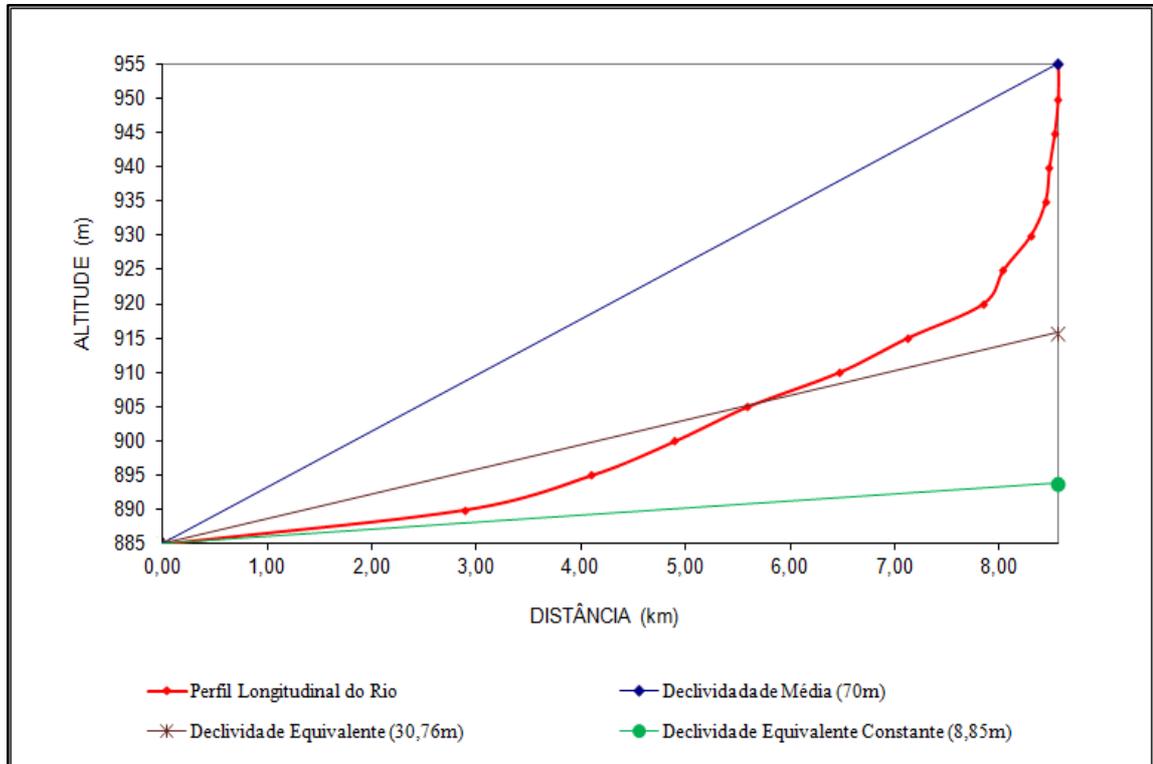


Figura 4.9 – Perfil Longitudinal do Rio Canguiri

Sabendo que a extensão do talvegue principal (L) é de 8,559 km e que a declividade média do talvegue (D_m) é igual a: $D_m = (955-885)/8,559 = 8,178 \text{ m.km}^{-1}$ tem-se o t_c igual a:

$$t_c = 52,64 * (8,559 / (8,178)^{1/2})^{0,67}$$

$$t_c = 109,72 \text{ min ou } t_c = \mathbf{1,83 \text{ horas}}$$

Com o tempo de duração da chuva (t_d) estipulado em 20, 40, 60, 80, 120, 180, 240 e 300 minutos e com os tempos de recorrência (T_r) igual 3, 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos obteve-se a intensidade pluviométrica (i_{max}) com o uso da equação base regionalizada para o município de Piraquara, (Equação 3.9), descrita no Item (3.4). A multiplicação da intensidade pluviométrica pelo tempo de duração da chuva (t_d) resulta na altura da chuva total (P_t), de acordo com a Equação (3.8).

Com um tempo de duração da chuva (t_d) igual a 20 minutos ou 0,33 horas e o tempo de recorrência (T_r) de 3 anos tem i_{max} e P_t iguais a:

$$i_{max} = 1.537,80 * (3)^{0,120 / (20+17)^{0,859}}$$

$$i_{max} = \mathbf{78,90 \text{ mm.h}^{-1}}$$

$$P_t = 78,90 * 0,33$$

$$P_t = \mathbf{26,04 \text{ mm}}$$

Os cálculos para i_{\max} e P_t são feitos para todos os tempos de duração da chuva (t_d) e tempos de recorrência (Tr).

Os valores das CNs tabelados são valores na condição normal (NII) de umidade antecedente da bacia hidrográfica. Sendo que as demais condições de umidade antecedente (NI e NIII) são ajustadas através das relações com as condições de normalidade da umidade, mostrado nas Equações (3.7) e (3.8), respectivamente. A CN média, para os três anos e para as três condições de umidade antecedente do solo, foi obtida por meio de uma composição ponderada, considerando os diversos complexos hidrológicos solo-cobertura da terra, ocorridos no interior da bacia, representada na Equação (4.17).

$$CN = \frac{\sum(CNi * ai)}{A} \quad (4.17)$$

onde:

CN = Curva Número média;

CNi = Curva Número da área de uso do solo i;

a_i = área ou percentagem deste uso;

A = área total ou percentagem total desse uso.

Essa regra também pode ser usada para as classes do grupo hidrológico (A, B, C, D) de tal forma que, se na bacia fossem reconhecidos diferentes classes de solos, se teria uma combinação de tipologias de uso em diferentes classes. Exemplificando, a Equação 4.10, a CN média para o ano de 1976 nas condições normais de umidade (NII) foi obtida da seguinte maneira:

$$CN_{\text{media}} = (69 * 3,84 + 79 * 2,15 + 68 * 0,00 + 83 * 7,21 + 84 * 2,08 + 88 * 0,5 + 92 * 2,17 + 100 * 0,00) / 17,94$$

$$CN_{\text{media}} = \mathbf{81}$$

Uma vez conhecida a Curva Número média da bacia hidrográfica para cada ano estudado, pode-se calcular a capacidade máxima de saturação do solo (S). “S” são as perdas máximas possíveis que dependem da umidade inicial antes da chuva, da vegetação, do tipo de solo; é dada pela Equação (3.5). Sabendo qual o valor de S pode-se calcular o conteúdo de chuva para a abstração/encharcamento ($Abs = I_a =$

P_o), que é a altura mínima de chuva necessária para que haja o início do escoamento superficial, ou seja, a abstração para o início da subida do hidrograma de vazão. Essa retenção inicial representa 20% de “S” e é descrita na Equação (3.4). Exemplificando, a Equação 3.4 e a Equação 3.5, a capacidade máxima de saturação do solo (S) para o ano de 1976 com a CN média igual a 81 é de:

$$S = 25400/81 - 254$$

$$S = \mathbf{59,58 \text{ mm}}$$

$$\text{Abs} = I_a = 0,2 * 59,58$$

$$\text{Abs} = I_a = \mathbf{11,92 \text{ mm}}$$

O escoamento superficial real ou a altura da chuva efetiva (P_e) atinge o leito do rio como vazão direta (Q_d) do hidrograma de vazão. “ P_e ” é a quantidade de água que escoar após encharcamento do solo e é dada pela Equação 3.6, descrita no item (3.4).

Exemplificando a Equação 3.6, e considerando a P_t igual a 26,04 mm, T_r de 3 anos, t_d de 20 minutos e CN igual a 81 para o ano de 1976 na condição normal de umidade antecedente do solo, tem-se a P_e igual a:

$$P_e = [26,04 - (5080/81) + 50,8]^2 / [26,04 + (20320/81) - 203,2]$$

$$P_e = \mathbf{2,71 \text{ mm}}$$

A P_e é feita para os três anos estudados (1976, 1984 e 2009) e para todos os T_r e t_d .

O Método de Ven Te Chow determina dois grupos que influenciam na altura da chuva efetiva: O primeiro, que afeta na altura da P_e , consiste no tipo e uso do solo, condição da superfície, quantidade e duração da chuva; o segundo que inclui o tamanho e forma da bacia hidrográfica, afeta na distribuição do escoamento direto (FENDRICH, 2008).

Quando o pico de vazão do Hidrograma Unitário não é conhecido não se aplica a Equação 3.10 para o cálculo da vazão máxima e sim a Equação 3.18 que é uma equação geral de Ven Te Chow que engloba o fator climático (Y), o fator de escoamento (X) e o fator de redução de pico (Z).

Os parâmetros da equação de vazão foram definidos da seguinte forma: quando a intensidade máxima é calculada por uma equação local o fator climático é igual a 1, como é o presente caso que foi utilizada a equação de Piraquara. A razão entre a precipitação efetiva pela duração da chuva resulta no fator de escoamento

(X); a Tabela 4.8 fornece os valores dos fatores de redução de pico (Z), em função da relação entre a duração da chuva (t_d) e o tempo de ascensão ou tempo de pico (t_p).

TABELA 4.8 – FATOR DE REDUÇÃO DE PICO (Z)

t_d/t_p	Z								
0,05	0,04	0,46	0,36	0,84	0,58	1,22	0,75	1,60	0,90
0,10	0,08	0,48	0,38	0,86	0,59	1,24	0,76	1,62	0,90
0,12	0,10	0,50	0,39	0,88	0,59	1,26	0,77	1,64	0,91
0,14	0,12	0,52	0,40	0,90	0,60	1,28	0,78	1,66	0,91
0,16	0,14	0,54	0,41	0,92	0,61	1,30	0,79	1,68	0,92
0,18	0,16	0,56	0,42	0,94	0,62	1,32	0,80	1,70	0,92
0,20	0,18	0,58	0,44	0,96	0,63	1,34	0,81	1,72	0,93
0,22	0,19	0,60	0,45	0,98	0,64	1,36	0,82	1,74	0,93
0,24	0,20	0,62	0,46	1,00	0,65	1,38	0,82	1,76	0,94
0,26	0,22	0,64	0,47	1,02	0,66	1,40	0,82	1,78	0,94
0,28	0,24	0,66	0,48	1,04	0,67	1,42	0,83	1,80	0,95
0,30	0,25	0,68	0,49	1,06	0,68	1,44	0,84	1,82	0,95
0,32	0,26	0,70	0,50	1,08	0,69	1,46	0,85	1,84	0,96
0,34	0,28	0,72	0,51	1,10	0,70	1,48	0,86	1,86	0,96
0,36	0,29	0,74	0,52	1,12	0,71	1,50	0,86	1,88	0,97
0,38	0,30	0,76	0,54	1,14	0,72	1,52	0,87	1,90	0,97
0,40	0,32	0,78	0,55	1,16	0,73	1,54	0,88	1,92	0,98
0,42	0,33	0,80	0,56	1,18	0,74	1,56	0,88	1,94	0,98
0,44	0,34	0,82	0,57	1,20	0,74	1,58	0,89	1,96	0,99

FONTE: WILKEN (1978)

LEGENDA: t_d – Tempo de duração da chuva; t_p – Tempo de pico

Considerando a P_e de 2,71 mm e um t_d de 0,33 horas tem-se X igual a:

$$X = 2,71/0,33$$

$$X = \mathbf{8,21 \text{ mm.h}^{-1}}$$

A Equação 3.19 indica a fórmula para determinação do tempo de pico (t_p). Co, na Figura 4.10, calcula-se a declividade média em porcentagem por: $D_m = (955-885)/8.559 * 100 = 0,8178 \%$, assim t_p é igual a:

$$t_p = 0,005055 * (8.559 / (0,8178)^{1/2})^{0,64}$$

$$t_p = \mathbf{1,77 \text{ horas}}$$

Exemplificando o cálculo do fator de redução de pico (Z) para o t_d de 20 minutos ou 0,33 horas tem-se o seguinte dado:

$$t_d/t_p = 0,33/1,77$$

$$t_d/t_p = \mathbf{0,17}$$

Verificando na Tabela 4.8 percebe-se que o valor correspondente de Z a essa razão de t_d/t_p é 0,16, concluindo que o valor de Z para um tempo de duração de chuva de 0,33 horas é de 0,16. Caso o resultado dessa razão não é um valor

estipulado na tabela, por exemplo, para o t_d de 80 minutos ou 1,33 horas a razão t_d/t_p é igual a 0,75, Z será calculado da seguinte maneira:

$$Z = (\text{valor de Z para } t_d/t_p \text{ igual } 0,74 + \text{valor de Z para } t_d/t_p \text{ igual } 0,76)/2 + 0,01$$

$$Z = (0,52 + 0,54)/2 + 0,01$$

$$Z = \mathbf{0,54}$$

Com todas as variáveis calculadas a vazão máxima é estipulada para cada duração de chuva e tempo de recorrência (Tr). Para exemplificar o cálculo da vazão pela Equação 3.18, tomou como dados o ano de 1976, com um t_d de 20 minutos, Tr de 3 anos, $Z = 0,17$, $Y = 1$ e $X = 8,20$:

$$Q_{\max} = 0,278 * 17,9 * 8,20 * 1 * 0,17$$

$$Q_{\max} = \mathbf{6,93 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}$$

Dessa maneira, a vazão é calculada para todos os Tr e t_d existindo um vazão máxima para cada tempo de recorrência.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os objetivos especificados, neste capítulo serão discutidos e apresentados os resultados da análise da vazão máxima nos anos de 1976, 1984, e 2009 que foram obtidos pela análise da precipitação efetiva.

5.1 ANÁLISE DA ALTERAÇÃO DA OCUPAÇÃO DO USO DO SOLO

As áreas e suas representações em percentuais dos diferentes tipos e usos do solo, no período de 1976 a 2009, estão detalhadas na Tabela 5.1 e podem ser visualizadas na Figura 5.1. Na Figura 4.8 foi apresentado o mapa de uso do solo, da interpretação e classificação da imagem, para 2009.

Com os resultados mostrados na Tabela 5.1 fica bastante visível o aumento da área agrícola e urbana e uma forte queda na área de florestas..

TABELA 5.1 – USOS DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

TIPOLOGIAS DE USO DO SOLO	1976		1984		1990		1996		1999		2009	
	km ²	%										
Floresta Ombrófila Mista Montana	3,84	21,38	0,86	4,77	2,90	16,16	2,51	13,99	2,10	11,71	1,86	10,36
Floresta Ombrófila Mista - Sistema Veg. Secundária	2,15	11,97	3,74	20,84	1,83	10,20	1,62	9,03	1,53	8,53	2,60	14,49
Reflorestamento	0,00	0,00	0,96	5,36	0,29	1,62	0,48	2,68	0,67	3,73	0,87	4,84
Campos e áreas verdes	7,21	40,21	8,53	47,57	5,14	28,65	5,56	30,99	6,57	36,62	5,54	30,88
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	2,08	11,59	0,03	0,17	2,25	12,54	2,30	12,82	3,40	18,95	1,08	6,04
Uso da Terra Agricultura	0,50	2,76	1,85	10,29	2,90	16,16	1,51	8,42	0,72	4,01	2,05	11,44
Áreas Urbanas	2,17	12,09	1,97	11,00	2,55	14,21	3,77	21,01	2,89	16,11	3,12	17,37
Áreas com água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,33	0,09	0,50	0,06	0,33	0,82	4,57
Áreas não classificadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,11	0,10	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de área da bacia	17,94	100,00	17,94	100,00	17,94	100,00	17,94	100,00	17,94	100,00	17,94	100,00

Fonte: Para os anos de 1976 e 1984 (RIZZI; GUIERA, 1996 citado por, JACOBS, 2002), para os anos de 1990, 1996 e 1999 adaptados de (JACOBS, 2002).

A Floresta Ombrófila Mista Montana foi à tipologia que maior modificação apresentou, constando para o ano de 2009 apenas 51,40 % (21,38% para 10,36%) da área de floresta verificada em 1976, correspondendo a uma redução média de 5,76 ha.ano⁻¹.

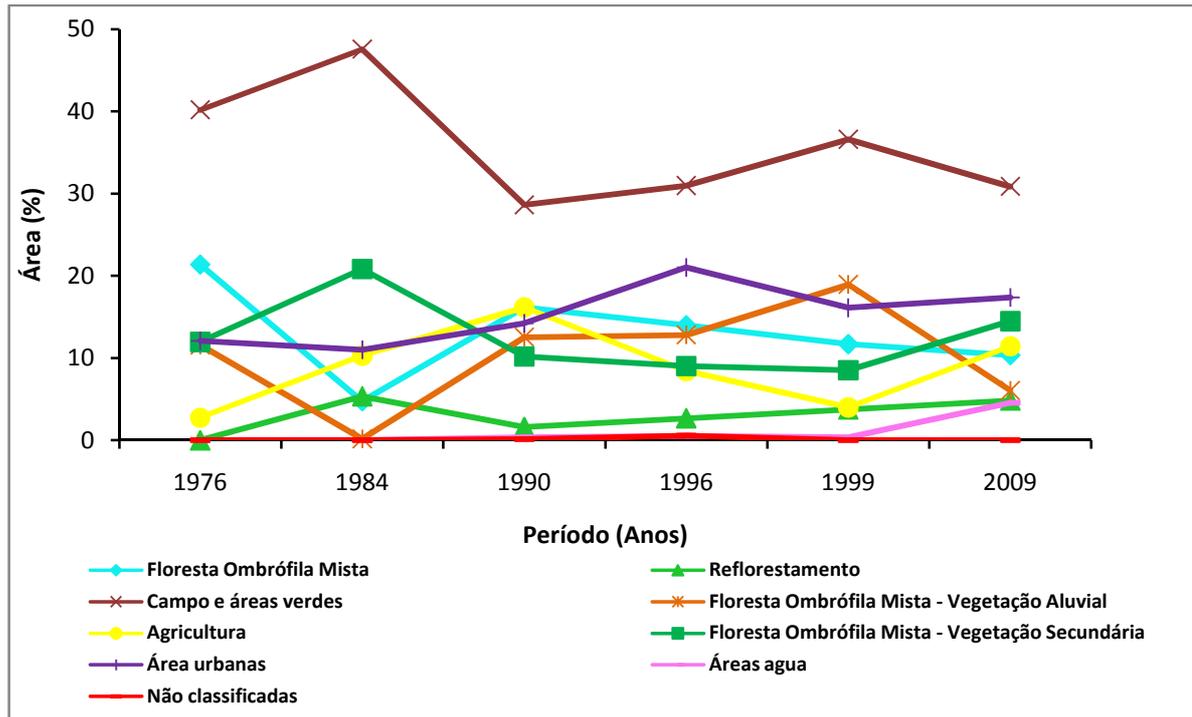


Figura 5.1 – Dinâmica dos usos do solo na Bacia do Rio Canguiri

Entre o período de 1976 e 1984 houve uma queda brusca nessa mesma tipologia o qual apresentou uma redução de 77, 57 % $\left(\frac{(21,4\% - 4,8\%) * 100}{21,4\%}\right)$, correspondendo a uma redução média anual de 36,25 ha por ano $\left(\frac{((13,8 \text{ km}^2 - 0,9 \text{ km}^2) * 1 \text{ ano})}{8 \text{ anos}} * 100\right)$.

A área com agricultura aumentou 8,7% de 1976 para 2009 com um maior valor em 1990 e uma leve queda para 2009, mostrando assim que as áreas agricultáveis tiveram seu aumento considerável.

A área urbana teve um acréscimo de 43,80 % em 2009 comparado com o ano de 1976. Nesse período teve um pico de crescimento em 1996 com 72,72 % de área urbanizada em relação 1976 e de 18,42 % em relação ao ano de 2009.

A área com água teve um acréscimo de 1999 para 2009 em relação aos outros anos, pois foi inaugurado em 2002 o reservatório do Rio Iraí, alagando uma parte da área da bacia do Rio Canguiri, aproximadamente, 4% da área da bacia hidrográfica foram alagadas.

A vegetação secundária manteve sua área mais ou menos constante apresentado um acréscimo maior entre 1976 e 1984. A tipologia de campos e áreas verdes teve uma queda de 23,61 % da área verificada em 1976.

5.2 ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA

A Tabela 5.2 mostra a sequência das precipitações observadas na Estação Meteorológica de Piraquara para os anos de 1976, 1984, 1999 e 2009.

TABELA 5.2 – DADOS MENSAIS DA PRECIPITAÇÃO (P_p) NA BACIA DO RIO CANGUIRI

ANO	MÊS	Pp (mm)									
1976	J	269,9	1984	J	148,9	1999	J	256,6	2009	J	135,2
	F	125,5		F	54,9		F	244,6		F	160,6
	M	157,8		M	174,0		M	83,2		M	124,0
	A	63,2		A	173,9		A	38,4		A	13,4
	M	143,2		M	91,5		M	51,2		M	41,6
	J	94,9		J	108,8		J	72,2		J	70,2
	J	116,0		J	46,9		J	139,6		J	265,6
	A	127,6		A	171,7		A	6,8		A	103,8
	S	98,8		S	110,1		S	81,0		S	272,4
	O	156,8		O	38,9		O	72,0		O	163,6
	N	86,5		N	218,5		N	24,4		N	213,8
	D	76,8		D	120,8		D	46,8		D	233,4

Analisando a Tabela 5.2 nota-se que não há uma frequência de período extenso de seca na região da bacia hidrográfica. Essa característica é apresentada na Figura 5.2, ano em que o maior período de chuva foi em Janeiro e o menor no mês de Abril sem período de seca; Figura 5.3, Novembro foi o mês mais chuvoso e o mais seco foi o mês de Outubro; Figura 5.4, foi um ano mais seco que os dois anteriores sendo Janeiro e Fevereiro os meses mais chuvosos e a Figura 5.5, foi um ano de distribuição normal de chuva com um período visível de seca, nos meses de Abril, Maio e Junho.

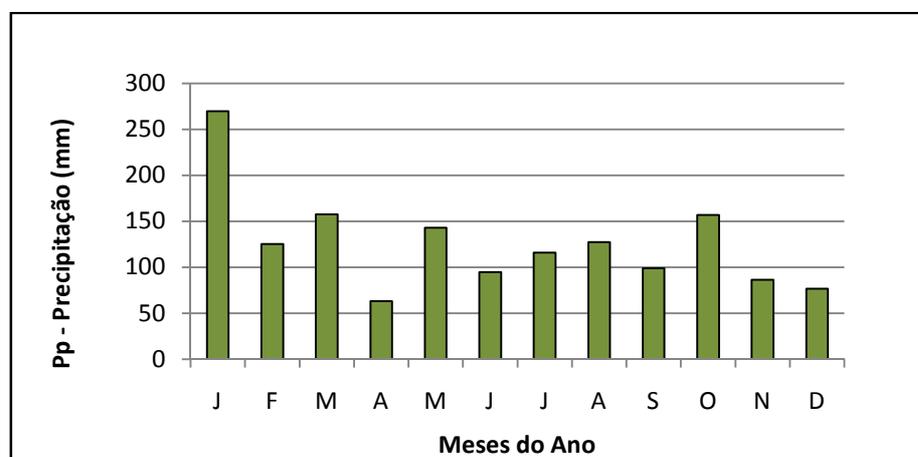


Figura 5.2 – Precipitação anual para o ano de 1976
Fonte: IAPAR

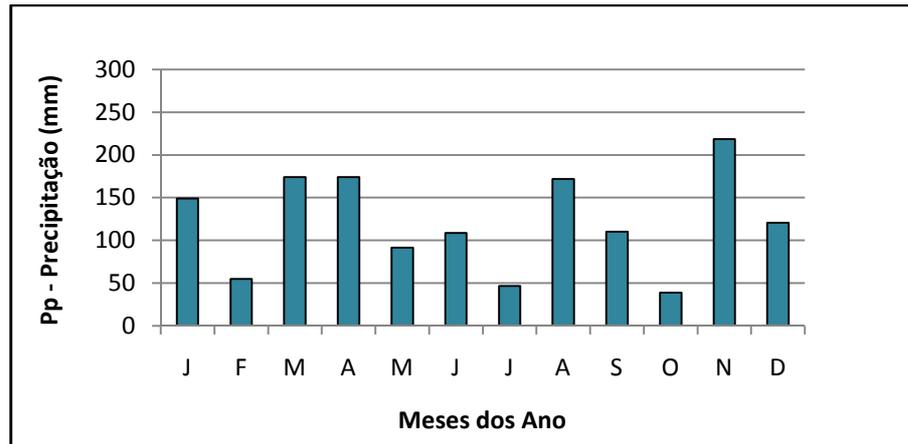


Figura 5.3 – Precipitação anual para o ano de 1984
Fonte: IAPAR

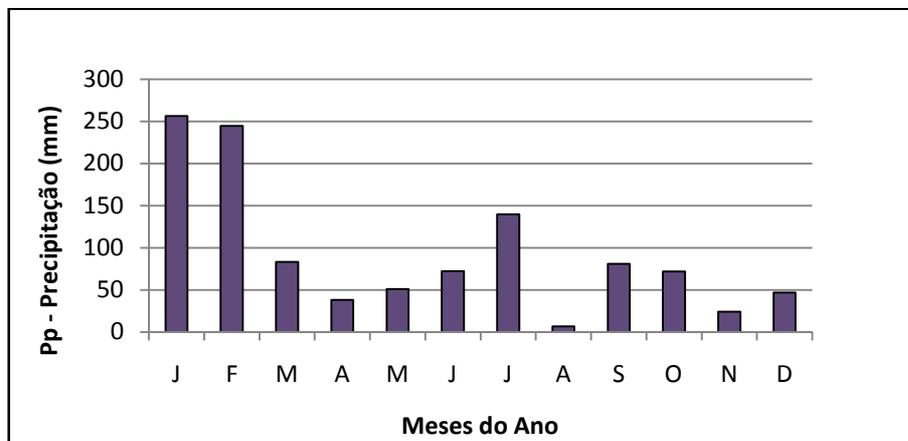


Figura 5.4 – Precipitação anual para o ano de 1999
Fonte: Simepar

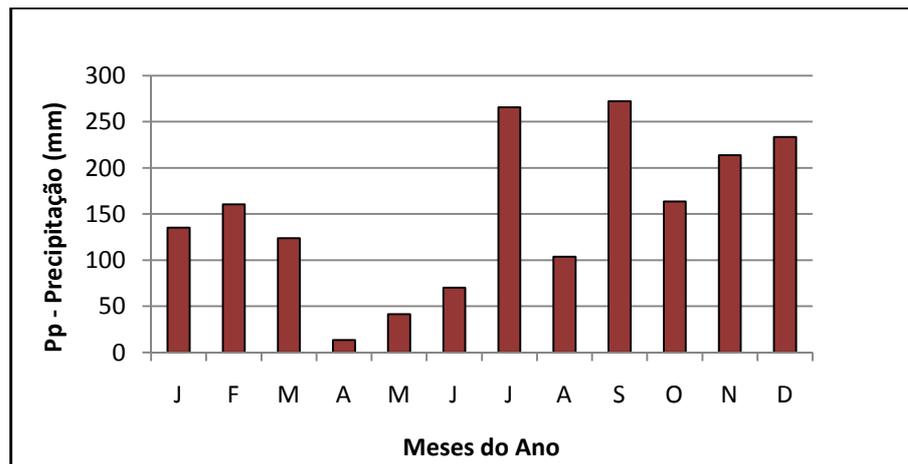


Figura 5.5 – Precipitação anual para o ano de 2009
Fonte: Simepar

5.3 ANÁLISE DA VAZÃO DE DADOS DE BACIAS MAIORES PARA MENORES

A Tabela 5.3 e a Figura 5.6 relata uma série de dados da vazão (média ponderada por área da bacia do Rio Iraí) para a bacia do Rio Canguiri de 1984 a 2009, sendo que para os anos de 1998 e 1999 não houve medição de vazão.

TABELA 5.3 – VAZÕES CARACTERÍSTICAS ANUAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

ANO	DIAS	VAZÃO MÉDIA - IRAÍ	VAZÃO MÉDIA - CANGUIRI	DATA	DIAS DE PERMANENCIA DA MENOR VAZÃO CANGUIRI							
					7 DIAS	15 DIAS	30 DIAS	60 DIAS	90 DIAS	20 DIAS	50 DIAS	80 DIAS
1984	259	3,45	0,340	05/nov	0,113	0,124	0,162	0,236	0,289	0,287	0,309	0,308
1985	365	1,49	0,147	23/fev	0,031	0,039	0,050	0,059	0,071	0,073	0,084	0,081
1986	365	2,46	0,242	19/dez	0,033	0,044	0,063	0,072	0,089	0,119	0,119	0,135
1987	365	2,62	0,258	21/mai	0,071	0,079	0,092	0,107	0,137	0,149	0,140	0,146
1988	366	2,72	0,268	24/mai	0,050	0,060	0,066	0,089	0,108	0,118	0,113	0,119
1989	365	3,12	0,308	05/jan	0,068	0,076	0,079	0,105	0,154	0,200	0,230	0,213
1990	365	5,2	0,513	20/jul	0,097	0,125	0,141	0,253	0,297	0,330	0,321	0,390
1991	302	1,97	0,194	08/mar	0,062	0,063	0,069	0,102	0,102	0,143	0,145	0,141
1992	44	1,78	0,175	02/dez	0,085	0,092	0,162	-	-	-	-	-
1993	286	3,61	0,356	01/out	0,095	0,097	0,101	0,189	0,349	0,354	0,370	-
1994	342	2,57	0,253	09/mar	0,065	0,070	0,077	0,086	0,110	0,198	-	-
1995	262	3,54	0,349	09/jan	0,085	0,091	0,095	0,116	0,136	0,179	0,217	0,227
1996	31	0,95	0,094	31/jan	0,084	0,091	0,093	-	-	-	-	-
1999	145	1,63	0,161	09/ago	0,061	0,088	0,114	0,146	0,152	0,156	-	-
2000	354	2,11	0,208	19/fev	0,057	0,083	0,097	0,106	0,116	0,118	0,121	0,147
2001	365	4,64	0,457	02/out	0,114	0,167	0,189	0,297	0,380	0,370	0,402	0,421
2002	365	4,11	0,405	13/mar	0,114	0,122	0,161	0,173	0,176	0,184	0,190	0,208
2003	325	2,89	0,285	18/fev	0,119	0,133	0,138	0,177	0,269	0,273	0,275	0,284
2004	366	3,76	0,371	26/jan	0,084	0,099	0,131	0,189	0,215	0,216	0,267	0,291
2005	280	3,41	0,336	26/fev	0,128	0,174	0,213	0,247	0,271	0,361	-	-
2006	365	2,34	0,231	27/mai	0,095	0,134	0,154	0,174	0,184	0,184	0,190	0,200
2007	357	2,99	0,295	07/dez	0,133	0,168	0,216	0,249	0,260	0,280	0,280	0,283
2008	366	4,29	0,423	03/mai	0,170	0,190	0,267	0,315	0,329	0,338	0,358	0,409
2009	365	5,57	0,549	29/set	0,173	0,193	0,200	0,205	0,229	0,255	0,286	0,299

Fonte: Instituto das Águas do Paraná

A alta vazão do ano de 2009 é o reflexo da alta precipitação no mês de Setembro (272,4 mm) mostrado na Tabela (5.3). Os dias de permanência indicados na Tabela 5.3 se referem apenas ao ano indicado como período de retorno, como por exemplo, a vazão de $0,085 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ com permanência de 7 dias para 1992, seguida da menor vazão que é $0,092 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ com permanência de 15 dias e com 30 dias a vazão é de $0,162 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Lembrando que nesse ano a quantidade de dias com registro de vazão foi de 44 dias, tem-se assim um tempo de permanência máximo de 30 dias. Outro exemplo é o ano de 2009 que foram registrados 365 dias de vazão com informações até 80 dias com menor vazão de $0,299 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

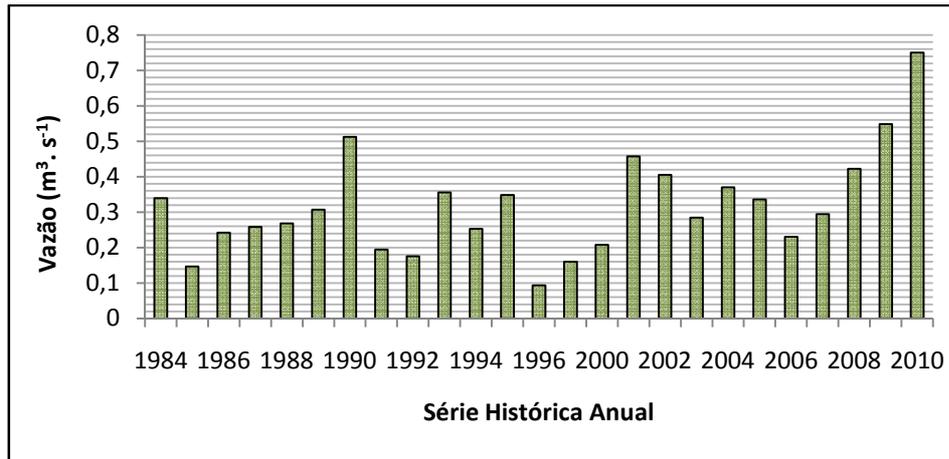


Figura 5.6 – Vazão média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri

Como no Rio Canguiri não têm pontos para coleta de dados fluviométricos ativos, a maneira foi extrapolar os dados de medições de vazão do Rio Iraí, local onde se encontra a régua mais próxima da área de drenagem do Rio Canguiri para a medição de vazão. Exemplificando, a Equação 4.1 do item 4.1.5, para a média ponderada da vazão no ano de 1984 tem-se como resultado a vazão do Rio Canguiri igual a:

$$Q = (3,45 \cdot 17,94) / 182$$

$$Q = \mathbf{0,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}$$

Tanto a vazão média anual como os dados dos dias de permanência Tabela 5.3 foram valores de uma média ponderada dos dados coletados pela estação fluviométrica do Rio Iraí.

5.4 ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO

Com a falta de período de seco e úmido definido na região onde se encontra a bacia hidrográfica do Rio Canguiri pode-se notar, no Balanço Hídrico de diferentes épocas, a variação da estação de seca, onde a precipitação (P_p) é menor que a evapotranspiração potencial (ETP). Com os valores dos parâmetros de entrada para o cálculo da ETP pelo método de Penman-Monteith foi desenvolvida a Tabela 5.4 com os valores para o balanço hídrico no ano de 1990, a Tabela 5.5 para o balanço hídrico de 1996, a Tabela 5.6 para a análise do balanço hídrico de 2001 e a Tabela 5.7 para o ano de 2010.

TABELA 5.4 – BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO ANO DE 1990

Meses	Pp (mm)	ETP (mm)	Pp - ETP Estação (mm)	PPA		ARM (CC=200 mm)	Variação da reserva de água no solo ΔS (mm)	ETR (mm)	ETP - ETR Déficit de água (mm)	Pp - ETP - ΔS Excesso de água (mm)	Drenagem ou deflúvio 50% (mm)
				Perda Potencial Acumulada							
J	304,60	140,79	163,81	0,00	200,00	84,64	140,79	0,00	79,17	39,58	
F	100,30	177,31	-77,01	-77,01	136,08	-63,92	164,22	13,10	0,00	0,00	
M	173,70	132,60	41,10	-24,23	177,18	41,10	132,60	0,00	0,00	0,00	
A	119,40	108,74	10,66	-12,54	187,84	10,66	108,74	0,00	0,00	0,00	
M	81,10	80,58	0,52	-11,98	188,37	0,52	80,58	0,00	0,00	0,00	
J	112,30	65,30	47,00	0,00	200,00	11,63	65,30	0,00	35,37	17,69	
J	232,20	58,14	174,06	0,00	200,00	0,00	58,14	0,00	174,06	87,03	
A	133,20	87,27	45,93	0,00	200,00	0,00	87,27	0,00	45,93	22,97	
S	122,20	106,74	15,46	0,00	200,00	0,00	106,74	0,00	15,46	7,73	
O	132,30	130,15	2,15	0,00	200,00	0,00	130,15	0,00	2,15	1,08	
N	206,10	143,43	62,67	0,00	200,00	0,00	143,43	0,00	62,67	31,33	
D	63,60	173,66	-110,06	-110,06	115,36	-84,64	148,24	25,41	0,00	0,00	
Média/ Total	1781,00	1404,71	376,29	-235,82	-	0,00	1366,19	38,51	414,81	207,40	

Na Tabela 5.4 acima pode-se observar que a reposição de água no solo (quando a Pp é maior que a ETP) ocorre em quase todos os meses, apenas fevereiro e dezembro são os períodos de retirada da água, ou seja, período de seca.

Perda Potencial Acumulada (PPA) é a quantidade de água que não é evaporada. Quando o valor é negativo houve a perda de água por evaporação, como é o caso do mês de fevereiro que a PPA foi de -77,01 mm, o mês de Março que foi de -24,23 mm, Abril -12,54 mm, Maio -11,98 mm e o mês de dezembro que foi de -110,06 mm. A reserva de água no solo (ARM) se refere à tendência de acúmulo de água no solo em função da infiltração, assim ARM máxima é semelhante à Capacidade de Campo (CC), que é a capacidade máxima de retenção de água pelo solo. Quando a PPA for diferente de zero a ARM é menor que CC, no caso em Fevereiro a ARM foi de 136,08 mm, Março de 177,18 mm, Abril 187,84 mm, Maio 188,37 mm e em dezembro de 115,36 mm. A ETR nos meses de Fevereiro e Dezembro foi menor que o valor da ETP, pois a variação da reserva de água no solo é menor que zero. Como se trata de um ano hidrológico e não período, é importante registrar que a soma da variação total será igual a zero. O excedente hídrico para esse ano foi de 414,81 mm, ou seja, meses em que o excesso foi negativo considerou-se EXC igual a zero, pois não excesso de água no solo.

No balanço hídrico o armazenamento de água no solo varia entre ponto de murcha e a capacidade de campo. A quantidade de água acima da capacidade de campo do perfil do solo, o excesso de água, resulta na drenagem profunda ou no escoamento superficial (RIZZI, 2011).

A drenagem de uma bacia na tabela do balanço hídrico é trabalhada com a hipótese de que 50% do excesso produziram Escoamento Direto (Qd do hidrograma de vazão). Portanto o excedente hídrico, computado mês a mês, representaria 50% e os restantes 50% estariam armazenados, percolados, ou mesmo saindo da bacia nos anos subseqüentes. Nos meses de seca, Fevereiro e Dezembro não excesso assim a drenagem foi negativa -6,55 mm para Fevereiro é 12,71 mm para Dezembro.

A relação da Pp, da ETP e da ETR, Figura 5.7, mostra que os meses de seca para esse ano foi Fevereiro e Dezembro, meses esse que a ETP foi maior e não igual a ETR pela ocorrência da variação de água no solo ser menor que zero.

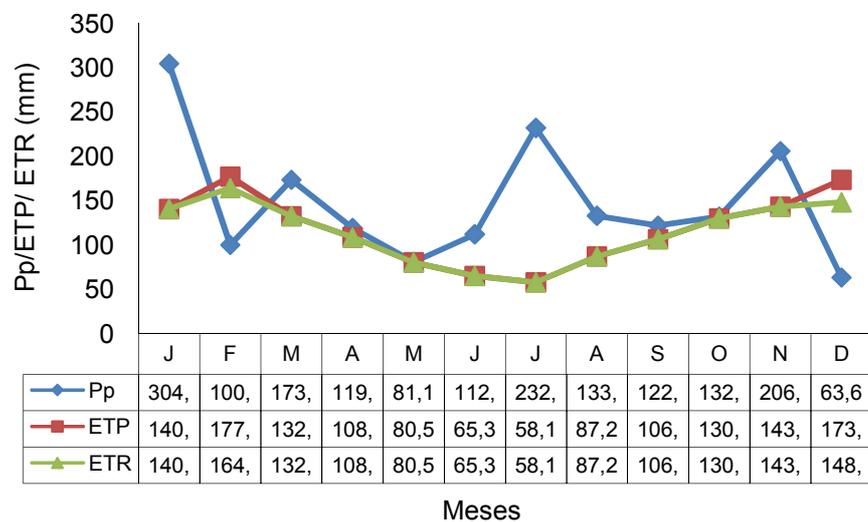


Figura 5.7 – Balanço Hídrico para 1990

TABELA 5.5 – BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO ANO DE 1996

Meses	Pp (mm)	ETP (mm)	Pp - ETP Estação (mm)	PPA Perda Potencial Acumulada	ARM (CC=200 mm)	Varição da reserva de água no solo ΔS (mm)	ETR (mm)	ETP - ETR Déficit de água (mm)	Pp - ETP - ΔS Excesso de água (mm)	Drenagem ou deflúvio 50% (mm)
J	210,10	161,58	48,52	-	200,00	0,00	161,58	0,00	48,52	24,26
F	249,80	142,03	107,77	-	200,00	0,00	142,03	0,00	107,77	53,89
M	202,20	112,90	89,30	-	200,00	0,00	112,90	0,00	89,30	44,65
A	45,20	98,59	-53,39	-53,39	153,14	-46,86	92,06	6,53	0,00	0,00
M	4,90	64,63	-59,73	-113,12	113,60	-39,54	44,44	20,19	0,00	0,00
J	125,10	53,37	71,73	-15,23	185,33	71,73	53,37	0,00	0,00	0,00
J	83,90	68,79	15,11	-	200,00	14,67	68,79	0,00	0,44	0,22
A	86,30	83,58	2,72	-	200,00	0,00	83,58	0,00	2,72	1,36
S	192,80	89,49	103,31	-	200,00	0,00	89,49	0,00	103,31	51,66
O	198,50	118,48	80,02	-	200,00	0,00	118,48	0,00	80,02	40,01
N	141,70	136,50	5,20	-	200,00	0,00	136,50	0,00	5,20	2,60
D	352,30	158,80	193,50	-	200,00	0,00	158,80	0,00	193,50	96,75
Média/ Total	1892,80	1288,74	604,06	-181,75	-	0,00	1262,01	26,72	630,79	315,39

Na Tabela 5.5 nota-se que os meses de retirada de água no solo se dá em Abril e Maio. O excedente hídrico para o ano foi de 630,79 mm com drenagem igual a 315,39 mm, ou seja, 50% do excesso de água foram infiltrados ou percolados.

Um solo com cobertura florestal tem maior umidade e capacidade de recarga (S) de água do solo refletindo maior rendimento hídrico ou deflúvio excedente. No caso de áreas florestadas o processo de transpiração é maior para vegetação de maior área foliar, por exemplo, 1 hectare de Eucalipto compreende cerca de 4 a 5 hectares de área foliar, enquanto que, 1 ha de coníferas corresponde aproximadamente 15 ha de área foliar (RIZZI, 2011).

A Figura 5.8 relaciona a Pp, ETP e ETR, mostrando assim os períodos em que há redução da chuva e o aumento da ETP.

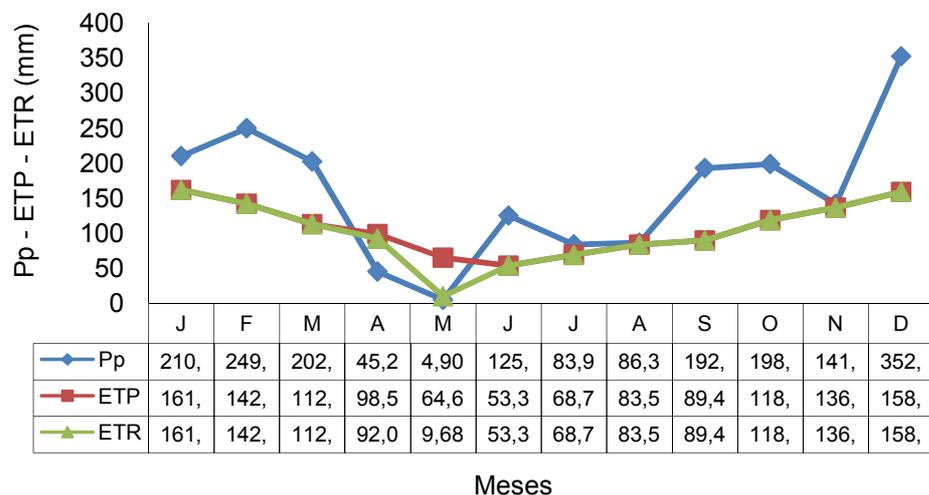


Figura 5.8 – Balanço Hídrico para 1996

TABELA 5.6 – BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO ANO DE 2001

Meses	Pp (mm)	ETP (mm)	Pp - ETP Estação (mm)	PPA Perda Potencial Acumulada	ARM (CC=200 mm)	Variação da reserva de água no solo ΔS (mm)	ETR (mm)	ETP - ETR Déficit de água (mm)	Pp - ETP - ΔS Excesso de água (mm)	Drenagem ou deflúvio 50% (mm)
J	160,40	183,86	-23,46	-23,46	177,86	0,48	159,92	23,94	0,00	0,00
F	237,20	160,38	76,82	0,00	200,00	22,14	160,38	0,00	54,68	27,34
M	165,00	177,46	-12,46	-12,46	187,92	-12,08	177,08	0,38	0,00	0,00
A	64,40	133,23	-68,83	-81,28	133,21	-54,72	119,12	14,11	0,00	0,00
M	171,60	102,13	69,47	0,00	200,00	66,79	102,13	0,00	2,68	1,34
J	106,60	91,07	15,53	0,00	200,00	0,00	91,07	0,00	15,53	7,77
J	154,20	91,91	62,29	0,00	200,00	0,00	91,91	0,00	62,29	31,14
A	91,40	85,10	6,30	0,00	200,00	0,00	85,10	0,00	6,30	3,15
S	65,80	63,34	2,46	0,00	200,00	0,00	63,34	0,00	2,46	1,23
O	215,40	87,99	127,41	0,00	200,00	0,00	87,99	0,00	127,41	63,71
N	154,40	100,33	54,07	0,00	200,00	0,00	100,33	0,00	54,07	27,03
D	111,00	135,00	-24,00	-24,00	177,39	-22,61	133,61	1,38	0,00	0,00
Media/ Total	1697,40	1411,79	285,61	-141,19	-	0,00	1371,98	39,81	325,42	162,71

Na Tabela 5.6 nota-se que o período de retirada de água no solo, período de seca, se dá nos meses de Janeiro, Março, Abril e Dezembro. A PPA do mês de janeiro igual a -23,46 mm, mês de Março de -12,46 mm, Abril -81,28 mm e em Dezembro de -24,00 mm, meses em que o ARM foi menor que a CC.

A Figura 5.9 relaciona a Pp, ETP e ETR, mostrando os meses em que a ETP foi menor e não igual a ETR, meses esse em que a variação de água no solo foi menor que zero.

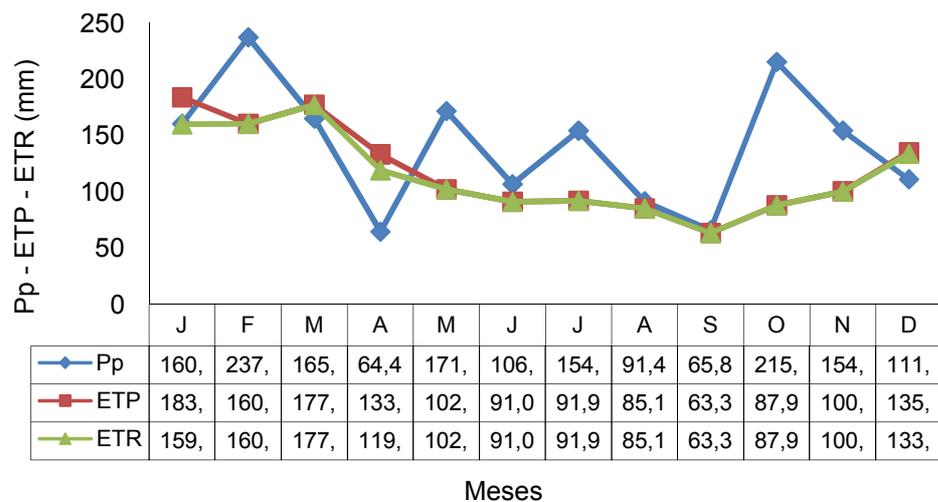


Figura 5.9 – Balanço Hídrico para 2001

No ano de 2010, Tabela 5.7, foi um ano de boa precipitação sendo Agosto o mês de menor precipitação 30,80 mm. Comparando o total anual percebe-se que a quantidade precipitada de 2366 mm foi muito superior ao valor evapotranspirado de 1298,80 mm. O mês de Agosto foi o mês de seca e de déficit hídrico, ETP maior que Pp.

Meses	Pp (mm)	ETP (mm)	Pp - ETP Estação (mm)	PPA Perda Potencial Acumulada	ARM (CC=200 mm)	Varição da reserva de água no solo ΔS (mm)	ETR (mm)	ETP - ETR Déficit de água (mm)	Pp - ETP - ΔS Excesso de água (mm)	Drenagem ou deflúvio 50% (mm)
J	514,60	129,19	385,41	0,00	200,00	0,00	129,19	0,00	385,41	192,71
F	211,40	158,72	52,68	0,00	200,00	0,00	158,72	0,00	52,68	26,34
M	216,20	152,14	64,06	0,00	200,00	0,00	152,14	0,00	64,06	32,03
A	306,20	127,66	178,54	0,00	200,00	0,00	127,66	0,00	178,54	89,27
M	103,20	99,33	3,87	0,00	200,00	0,00	99,33	0,00	3,87	1,94
J	99,00	97,84	1,16	0,00	200,00	0,00	97,84	0,00	1,16	0,58
J	95,80	76,31	19,49	0,00	200,00	0,00	76,31	0,00	19,49	9,75
A	30,80	86,50	-55,70	-55,70	151,38	-48,62	79,42	7,08	0,00	0,00
S	116,60	67,11	49,49	0,00	200,00	48,62	67,11	0,00	18,49	9,25
O	145,80	79,22	66,58	0,00	200,00	0,00	79,22	0,00	79,22	39,61
N	166,80	104,42	62,38	0,00	200,00	0,00	104,42	0,00	104,42	52,21
D	359,60	120,37	239,23	0,00	200,00	0,00	120,37	0,00	120,37	60,18
Media/ Total	2366,00	1298,80	1067,20	-	-	0,00	1291,72	7,08	1027,73	513,87

TABELA 5.7 – BALANÇO HÍDRICO PARA A BACIA DO RIO CANGUIRI NO ANO DE 2010

A Figura 5.10 representa a relação entre a Pp, ETP e ETR do ano de 2010.

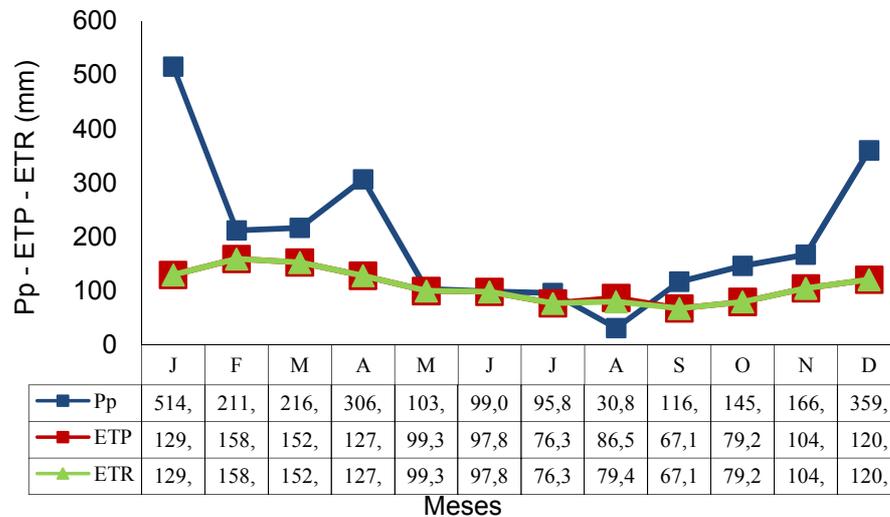


Figura 5.10 – Balanço Hídrico para 2010

O balanço hídrico global é igual a zero, ou seja, toda a água que precipita retorna pra a atmosfera. No entanto, quando se considera uma bacia hidrográfica isolada o balanço hídrico não se iguala a zero, pois existem perdas de água que não são contabilizadas. O balanço hídrico para uma bacia é feito da seguinte forma: $Pp - ETP - \text{Excesso de água no solo} - \text{déficit de água no solo} = \text{zero}$. O Balanço Hídrico para os anos estudados foram:

Ano de 1990: $1781 \text{ mm} - 1404,71 \text{ mm} - 414,81 \text{ mm} - 38,51 \text{ mm} = \mathbf{-77,03 \text{ mm}}$
 Ano de 1996: $1892,80 \text{ mm} - 1288,74 \text{ mm} - 630,79 \text{ mm} - 26,72 \text{ mm} = \mathbf{-53,45 \text{ mm}}$;
 Ano de 2001: $1697,40 \text{ mm} - 1411,79 \text{ mm} - 325,42 \text{ mm} - 39,81 \text{ mm} = \mathbf{-79,62 \text{ mm}}$
 Ano de 2010: $2366 \text{ mm} - 1298,80 \text{ mm} - 1027,73 \text{ mm} - 7,08 \text{ mm} = \mathbf{32,39 \text{ mm}}$.

A estimativa da ETP para estudo do Balanço Hídrico foi feita pelo método de Penman, pois se utilizam de dados como a radiação solar, vento e umidade do ar e não apenas da temperatura e do comprimento do dia como o método de Thornthwaite, dando assim maior veracidade para os resultados. Em um trabalho realizado por Kobiyama e Vestena (2006), os quais aplicaram o método de Penman para o cálculo da ETP para quatro estações meteorológicas do estado do Paraná, uma delas foi à estação de Piraquara, estação essa utilizada para a obtenção dos dados climáticos para o estudo. Nos resultados encontrados pelos autores a ETP anual de Piraquara foi à menor para todos os anos estudados (1990 a 2000), concluindo que a ETP estimada apresentou uma elevada correlação com a temperatura do que com a precipitação, confirmando assim a importância dos dados da radiação solar.

5.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DA CURVA NÚMERO (CN)

O Método do Soil Conservation Service (SCS) estima o número da Curva Número (CN), a partir das características e da cobertura dos solos, ou seja, classifica a CN (valor tabelado) conforme o tipo de solo e sua classe hidrológica. Pelo número da CN pode-se estimar o potencial máximo de retenção de água no solo (S) e com “S” estimar a abstração ou perda inicial ($P_o = I_a = Abs$) que pode ocorrer pela interceptação, infiltração e retenção superficial. O método emprega todas essas variáveis para calcular a chuva efetiva (P_e).

5.5.1 Enquadramento dos Solos e das Tipologias (CN)

A definição do grupo hidrológico apresentado na Tabela 4.6, no item 4.4, mostra que a bacia se enquadra no grupo “D” e na Tabela 4.7, no item 4.4, mostra a classificação da CN para cada tipo de uso do solo de acordo com o grupo hidrológico. Classificada a CN para as diferentes tipologias de uso do solo e nas diferentes condições de umidade antecedente (NI, NII e NIII) é feita uma média ponderada para os anos estudados, conforme mostra a Tabela (5.8).

TABELA 5.8 – VALORES MÉDIOS DA CN NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

TIPOLOGIAS DE USO DOS SOLOS	1976		1984		2009		CURVA NÚMERO (CN)		
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	NI	NII	NIII
Floresta Ombrófila Mista Montana	3,84	21,40	0,86	4,79	1,86	10,36	48	69	84
Vegetação Secundária	2,15	11,98	3,74	20,85	2,60	14,49	61	79	90
Reflorestamento	0,00	0,00	0,96	5,35	0,87	4,84	47	68	83
Campos e áreas verdes	7,21	40,19	8,53	47,55	5,54	30,88	67	83	92
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	2,08	11,59	0,03	0,17	1,08	6,04	69	84	92
Uso da Terra para Agricultura	0,50	2,79	1,85	10,31	2,05	11,44	75	88	94
Áreas Urbanas	2,17	12,10	1,97	10,98	3,12	17,37	83	92	96
Áreas com água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	4,57	100	100	100
Total de área da bacia	17,94	100	17,94	100	17,94	100	-	-	-
CN média nas condições de umidade NI	65	-	67	-	69	-	-	-	-
CN média nas condições de umidade NII	81	-	82	-	83	-	-	-	-
CN média nas condições de umidade NIII	90	-	91	-	92	-	-	-	-

O aumento da CN entre os anos de 1976, 1984 e 2009 mostram uma redução da cobertura vegetal com um crescimento na área urbanizada. A bacia já é considerada uma bacia urbanizada, porém sem grandes áreas industriais, sendo composta basicamente por casas, mercadinhos e áreas de gramíneas como lotes, chácaras e condomínios fechados, conforme Figura (5.11).

Há também um aumento na área com água com a construção da represa do Rio Iraí, que até 1999 ainda não tinha sido construída. A diferença dos valores da CN média ponderada entre os anos é dada pela relação da curva número e a área de cada tipologia dividida pela área total da bacia hidrográfica.



Figura 5.11 – Fotos da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri

5.5.2 Análise da Retenção de Água no Solo (S) e da Abstração Inicial (P_o/I_a / Abs)

Com a alteração da bacia hidrológica ao longo do período pode-se estudar a capacidade de retenção máxima do solo adotando um valor de CN para as diferentes condições de umidade antecedente do solo. Os resultados estão na Tabela 5.9 e na Figura 5.12 para todas as diferentes tipologias da bacia e na Figura 5.13 relacionando o S nos diferentes anos.

TABELA 5.9 – CAPACIDADE MÁXIMA DE SATURAÇÃO DA BACIA (S) (mm) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

TIPOLOGIAS DE USO DOS SOLOS	CURVA NÚMERO			CAPACIDADE MÁXIMA DE SATURAÇÃO DA BACIA (S)		
	NI	NII	NIII	SI	SII	SIII
Floresta Ombrófila Mista Montana (1)	48	69	84	271,70	114,12	49,62
FOM - Sistema Veg. Secundária (2)	61	79	90	160,76	67,52	29,36
Reflorestamento (3)	47	68	83	284,59	119,53	51,97
Campos e áreas verdes (4)	67	83	92	123,87	52,02	22,62
FOM Aluvial (5)	69	84	92	115,19	48,38	21,04
Uso da Terra Agricultura (6)	75	88	94	82,47	34,64	15,06
Áreas Urbanas (7)	83	92	96	52,59	22,09	9,60
Áreas com água (8)	100	100	100	0,00	0,00	0,00
Média CN 1976	65	81	90	138,20	59,58	26,67
Média CN 1984	67	82	91	127,55	55,76	24,29
Média CN 2009	69	83	92	115,85	52,02	21,85

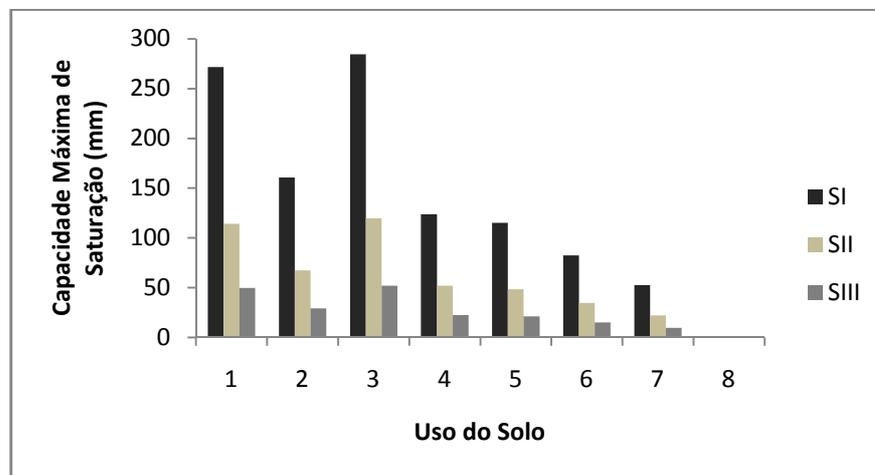


Figura 5.12 – Capacidade Máxima de Saturação do Solo para as diferentes tipologias

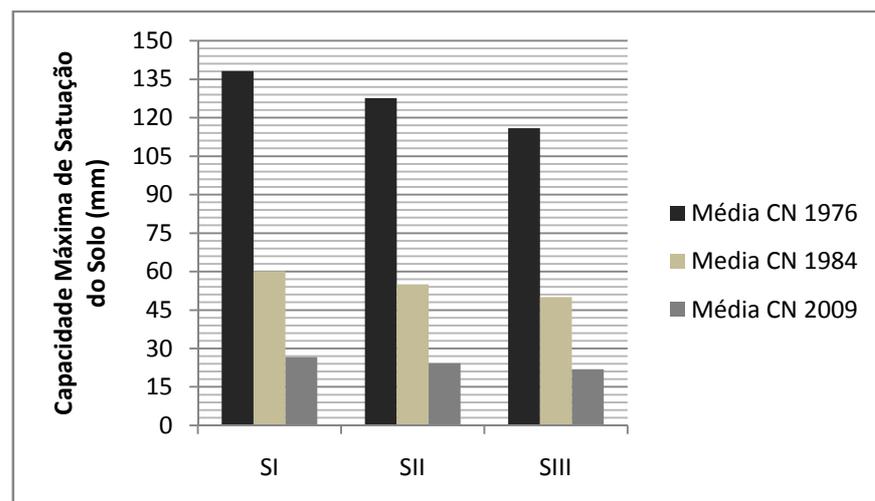


Figura 5.13 – Capacidade Máxima de Saturação do Solos para as CNs médias.

A evapotranspiração (ET) de uma bacia depende, além das condições atmosféricas, da disponibilidade de água no solo, da densidade e estágio de desenvolvimento da vegetação (RIZZI, 2011). Assim, quanto maior a capacidade de

recarga de água no solo, ou capacidade máxima de saturação da bacia (S), maior a redução da depleção de água no solo.

Se a média da CN para cada ano for avaliada observa-se uma tendência à impermeabilização, por exemplo, a CNII no período passa de 81 em 1976 para 83 em 2009, o que reduz a capacidade de saturação de 59,58 mm para 52,02 mm. Este comportamento também é observado para as condições NI e NIII. Com o potencial de retenção de água reduzido há uma proporção para o aumento do escoamento superficial, podendo causar problemas como enchentes, assoreamento dos rios e erosões.

Com a capacidade de campo calculada é possível estimar a abstração inicial, considerando que o SCS estipulou que 20% da chuva é abstraída ou perdida por interceptação da vegetação, infiltração ou retenção superficial. Os resultados estão detalhados na Tabela 5.10 e mostrados de acordo com a tipologia na Figura 5.14 e nos diferentes anos na Figura 5.15.

TABELA 5.10 – ABSTRAÇÃO INICIAL ($I_a/P_o/Abs$) (mm) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

TIPOLOGIAS DE USO DOS SOLOS	CAPACIDADE MÁXIMA DE SATURAÇÃO DA BACIA (S)			ABSTRAÇÃO INICIAL ($I_a/P_o/Abs$)		
	SI	SII	SIII	Abs I	Abs II	Abs III
Floresta Ombrófila Mista Montana (1)	271,70	114,12	49,62	54,34	22,82	9,92
FOM - Sistema Veg. Secundária (2)	160,76	67,52	29,36	32,15	13,50	5,87
Reflorestamento (3)	284,59	119,53	51,97	56,92	23,91	10,39
Campos e áreas verdes (4)	123,87	52,02	22,62	24,77	10,40	4,52
FOM Aluvial (5)	115,19	48,38	21,04	23,04	9,68	4,21
Uso da Terra Agricultura (6)	82,47	34,64	15,06	16,49	6,93	3,01
Áreas Urbanas (7)	52,59	22,09	9,60	10,52	4,42	1,92
Áreas com água (8)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média CN 1976	138,20	59,58	26,67	27,64	11,92	5,33
Média CN 1984	127,55	55,76	24,29	25,51	11,15	4,86
Média CN 2009	115,85	52,02	21,85	23,17	10,40	4,37

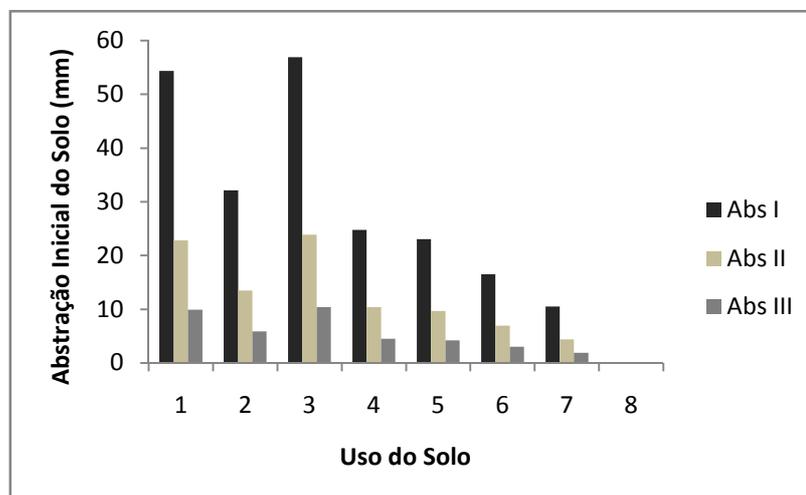


Figura 5.14 – Abstração Inicial para as diferentes tipologias de usos do solo.

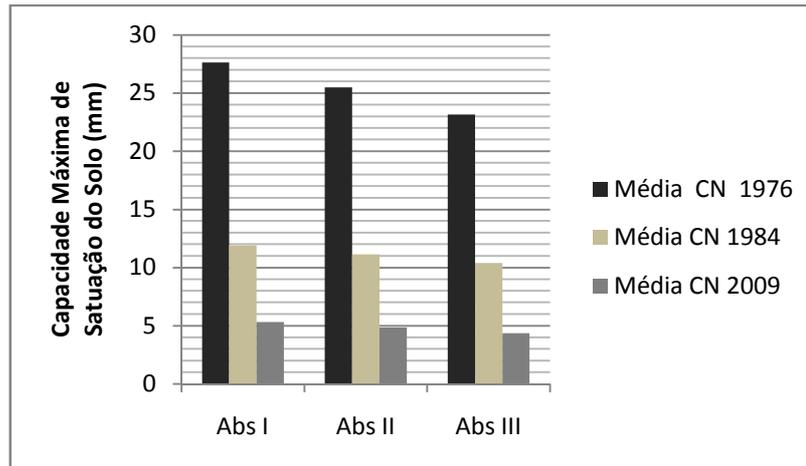


Figura 5.15 – Abstração Inicial nos diferentes anos estudados

A abstração inicial é diretamente proporcional a capacidade máxima de saturação do solo, assim quanto maior “S” maior será “Abs” como mostra a Tabela (5.10). Avaliando os resultados da abstração e comparando com a CN é visível que quanto maior a CN menor será a abstração inicial, um exemplo é a CN da tipologia 3, reflorestamento, é a menor CN das tipologias e na Figura 5.14 nota-se que a mesma tipologia tem o maior índice de abstração inicial. A análise mostra que na região com a presença da tipologia tem maior infiltração da água pelo solo e interceptação da vegetação antes de iniciar o escoamento superficial.

Caso contrário é a CN da tipologia 7, áreas urbanas, é a maior CN das tipologias, igual a 92, podendo notar na Figura 5.14 a mesma tipologia tem o menor índice de abstração inicial e na Figura 5.12 a menor capacidade de saturação do solo.

5.5.3 Análise da Intensidade Máxima (i_{max}) da Chuva na Bacia do Rio Canguiri

A intensidade máxima (i_{max}) foi obtida pela equação de Intensidade Pluviométrica, descrita na Equação 3.9 para a Estação Pluviométrica de Piraquara – PR. Para o cálculo da intensidade da chuva adotou-se o tempo de recorrência (Tr) igual a 3, 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos e tempo de duração da chuva (t_d) igual a 20, 40, 60, 80, 120, 180, 240 e 300 minutos, como descrito no Tabela 5.11 e na Figura (5.16).

Os resultados obtidos são uma estimativa da intensidade de chuva (mm/h) para cada tempo de recorrência e duração. Quanto maior o tempo de recorrência adotado e menor o tempo de duração, maior é a intensidade da chuva a ser trabalhada, isso acontece, pois a equação da Intensidade x Duração x Frequência (IDF) está diretamente proporcional ao tempo de recorrência e inversamente proporcional ao tempo de duração da chuva.

TABELA 5.11 – VALORES DE INTENSIDADE MÁXIMA (i_{max}) DA CHUVA ($mm.h^{-1}$)

TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS (T_r)	TEMPO DE DURAÇÃO EM MINUTOS (t_d)							
	20	40	60	80	120	180	240	300
3	78,90	54,43	42,04	34,48	25,63	18,76	14,93	12,47
5	83,89	57,87	44,70	36,66	27,25	19,94	15,87	13,25
10	91,16	62,89	48,57	39,83	29,61	21,67	17,25	14,40
15	95,71	66,03	51,00	41,82	31,09	22,76	18,11	15,12
20	99,07	68,35	52,79	43,29	32,18	23,55	18,75	15,65
25	101,76	70,20	54,22	44,46	33,05	24,19	19,25	16,08
50	110,58	76,29	58,92	48,32	35,92	26,29	20,92	17,47

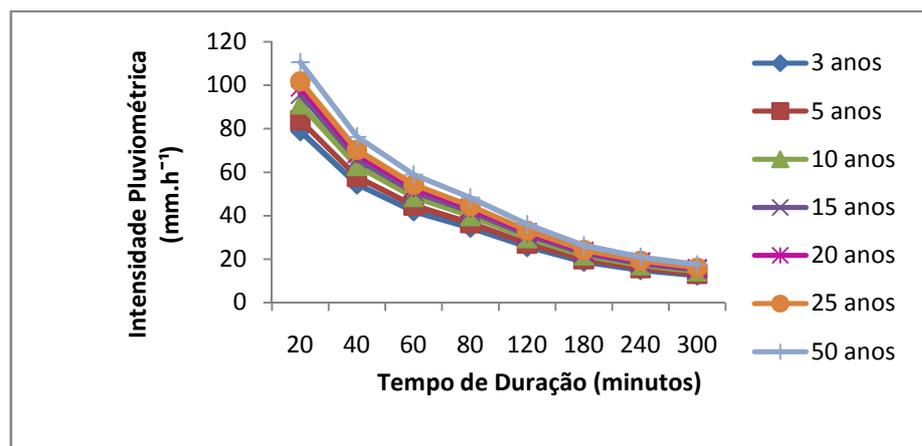


Figura 5.16 – Intensidade x Duração x Frequência (IDF) da Estação Meteorológica de Piraquara

A intensidade máxima da chuva permite avaliar o grau de risco a que está submetida uma bacia hidrográfica, pois situações de intensidade pluviométrica elevada, isto é, alta pluviosidade anual e curta duração do período chuvoso, podem ser traduzidas como situações onde a quantidade de água disponível para o escoamento superficial é muito grande e, portanto, é maior a capacidade de erosão e vazão máxima para solos desprotegidos (CREPANI; MEDEIROS; PALMEIRA, 2004).

5.5.4 Análise da Precipitação Máxima Total (P_t) e da Chuva Efetiva (P_e)

A altura da precipitação total (P_t) é o resultado da multiplicação da intensidade máxima (i_{max}) pela duração da chuva (t_d), como mostra a Tabela (5.12) e Figura (5.17).

Analisando a Tabela 5.12 observa-se que a altura da chuva total (P_t) aumenta com o tempo de duração da chuva e com o tempo de recorrência. O tempo de recorrência é considerado como o período de tempo médio em que um determinado evento pode ser igualado ou superado pelo menos uma vez (FENDRICH, 2008). Assim quanto maior o “Tr” maior será o volume de chuva precipitada para que o evento se iguale ou seja superado pelo menos uma vez nesse tempo.

TABELA 5.12 – VALORES DA PRECIPITAÇÃO TOTAL (P_t) (mm)

TEMPO DE RECORRÊNCIA	TEMPO DE DURAÇÃO DA CHUVA EM MINUTOS (t_d)							
	20	40	60	80	120	180	240	300
3	26,04	36,47	42,04	45,85	51,26	56,28	59,71	62,33
5	27,68	38,78	44,70	48,75	54,50	59,83	63,49	66,27
10	30,08	42,14	48,57	52,98	59,22	65,02	69,00	72,02
15	31,58	44,24	51,00	55,62	62,18	68,27	72,44	75,61
20	32,69	45,79	52,79	57,58	64,36	70,66	74,98	78,27
25	33,58	47,04	54,22	59,14	66,11	72,58	77,02	80,39
50	36,49	51,12	58,92	64,27	71,84	78,88	83,70	87,36

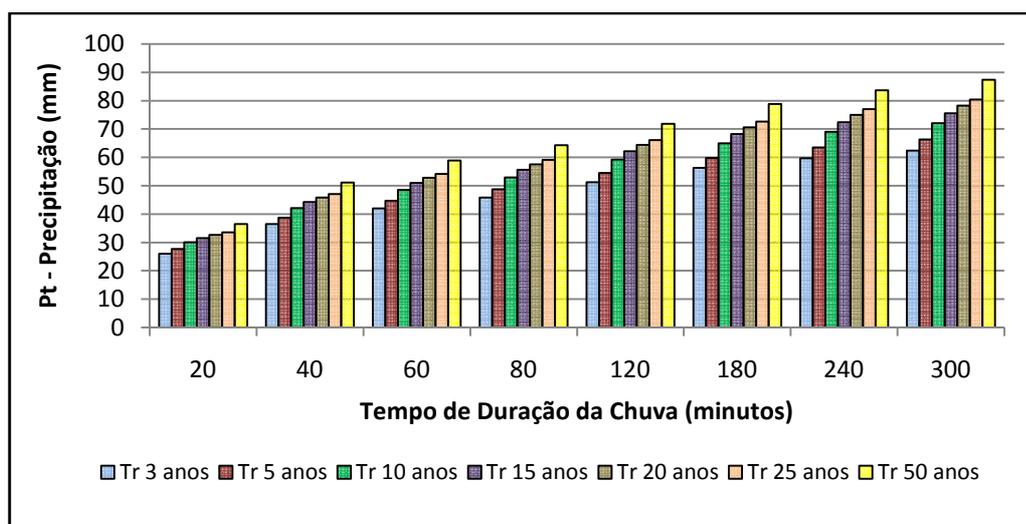


Figura 5.17 – Chuva total (P_t) na condição NII de umidade do solo

O hietograma é uma sequência de precipitações (P_e) responsáveis em ocasionar cheias para um tempo de duração da chuva. Lembrando-se que o tempo

de duração da chuva no método de Ven Te Chow é aquela que produzir maior vazão (BARROS e PALOS, 1997). A precipitação efetiva (P_e) é a quantidade de água que escoou pela superfície depois do solo estar completamente encharcado, depois da abstração inicial da chuva, atingindo o leito do rio como vazão direta (Q_d) do hidrograma de vazão (JABUR, 2010). A obtenção da " P_e " permite calcular o coeficiente de escoamento superficial pela fórmula racional, método esse não utilizado para o cálculo da vazão máxima, pois seus resultados têm maior segurança para áreas de drenagem com até 5 km² de área (FENDRICH 2008). Mas também permite calcular o fator de escoamento (X), no Método de Ven Te Chow, método utilizado no trabalho.

O Quadro 5.1 mostra o comportamento hidrológico da bacia através da precipitação efetiva para o tempo de recorrência de 10 anos e para os tempos de duração da chuva de 20 e 180 minutos. A tabela completa está no Anexo (A).

Ano	CN (média)	Área da Bacia (km ²)	Classe Hidrológica	Intensidade da Chuva (tr=10 anos) (mm.h ⁻¹)	Tempo de Duração da Chuva t _d (minutos)	Altura da Chuva Pt (mm)	Precipitação efetiva P _e (mm)	Fator de Escoamento X
1976	65	17,94	NI	91,16	20	30,08	0,05	0,16
	81		NII				4,25	12,86
	90		NIII				11,34	34,36
1984	67		NI				0,2	0,61
	82		NII				4,8	14,54
	91		NIII				12,51	37,92
2009	69		NI				0,43	1,32
	83		NII				5,4	16,37
	92		NIII				13,79	41,8
1976	65	17,94	NI	21,67	180	65,02	8,13	2,71
	81		NII				25,03	8,34
	90		NIII				40,25	13,42
1984	67		NI				9,69	3,23
	82		NII				26,47	8,82
	91		NIII				42,29	14,1
2009	69		NI				11,39	3,8
	83		NII				27,97	9,32
	92		NIII				44,42	14,81

QUADRO 5.1 – ESTIMATIVA DO FATOR DE ESCOAMENTO X NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

Observa-se que o fator de escoamento ou de deflúvio tende a aumentar com o passar dos anos, em 1976 era de 12,86 mm.h⁻¹ e foi para 18,35 mm.h⁻¹ em 2009 para as condições normais de umidade (NII), mostrando a impermeabilização do solo ocorrido no período estudado. O "Tr" e o "t_d" afetam no escoamento direto e esse, por sua vez, também pode ser afetado pela área de drenagem da bacia, declividade do terreno e pelo tempo de ascensão do hidrograma (FENDRICH, 2008).

A altura da chuva total (P_t) e a altura da chuva efetiva (P_e) estão relacionadas no Quadro (5.2) e na Figura (5.18).

TEMPO DURAÇÃO td (min)	TEMPO DURAÇÃO td (h)	PRECIPITAÇÃO P_t (mm)	PRECIPITAÇÃO EFETIVA P_e (mm) CONDIÇÃO NI			PRECIPITAÇÃO EFETIVA P_e (mm) CONDIÇÃO NII			PRECIPITAÇÃO EFETIVA P_e (mm) CONDIÇÃO NIII		
			1976	1984	2009	1976	1984	2009	1976	1984	2009
Tr 3 anos											
20	0,33	26,04	0,01	0,01	0,09	2,71	3,14	3,61	8,55	9,57	10,69
40	0,67	36,47	0,57	0,96	1,46	7,17	7,91	8,70	16,09	17,48	18,98
60	1,00	42,04	1,42	2,04	2,77	10,12	11,01	11,96	20,50	22,05	23,71
80	1,33	45,85	2,20	2,97	3,87	12,32	13,31	14,37	23,63	25,28	27,03
120	2,00	49,69	3,56	4,55	5,67	15,65	16,78	17,97	28,18	29,96	31,83
180	3,00	56,28	5,05	6,25	7,58	18,93	20,19	21,49	32,51	34,39	36,37
240	4,00	59,71	6,19	7,53	9,01	21,28	22,61	23,99	35,53	37,48	39,51
300	5,00	62,33	7,12	8,57	10,16	23,11	24,50	25,94	37,85	39,84	41,93
Tr 5 anos											
20	0,33	27,68	0,01	0,06	0,20	3,30	3,78	4,31	9,66	10,75	11,93
40	0,67	38,78	0,88	1,36	1,96	8,35	9,15	10,01	17,89	19,35	20,91
60	1,00	44,70	1,95	2,67	3,52	11,63	12,60	13,62	22,67	24,29	26,01
80	1,33	48,75	2,89	3,78	4,80	14,07	15,14	16,27	26,05	27,77	29,59
120	2,00	52,83	4,50	5,62	6,88	17,75	18,96	20,23	30,97	32,81	34,76
180	3,00	59,83	6,23	7,58	9,06	21,36	22,69	24,08	35,63	37,58	39,62
240	4,00	63,49	7,55	9,05	10,68	23,93	25,34	26,81	38,88	40,89	43,00
300	5,00	66,27	8,62	10,23	11,98	25,93	27,40	28,93	41,37	43,43	45,58
Tr 10 anos											
20	0,33	30,08	0,05	0,20	0,43	4,25	4,80	5,40	11,34	12,51	13,79
40	0,67	42,14	1,44	2,06	2,80	10,17	11,07	12,02	20,58	22,13	23,79
60	1,00	48,57	2,85	3,73	4,74	13,96	15,03	16,15	25,90	27,62	29,43
80	1,33	52,98	4,04	5,11	6,30	16,75	17,93	19,16	29,66	31,47	33,38
120	2,00	57,42	6,02	7,34	8,80	20,94	22,25	23,63	35,09	37,03	39,06
180	3,00	65,02	8,13	9,69	11,39	25,03	26,47	27,97	40,25	42,29	44,42
240	4,00	69,00	9,72	11,44	13,30	27,93	29,45	31,04	43,83	45,93	48,12
300	5,00	72,02	11,00	12,84	14,82	30,18	31,77	33,41	46,57	48,73	50,96
Tr 15 anos											
20	0,33	31,58	0,13	0,33	0,62	4,88	5,48	6,13	12,42	13,65	14,98
40	0,67	44,24	1,86	2,56	3,38	11,37	12,32	13,33	22,29	23,90	25,61
60	1,00	51,00	3,48	4,47	5,58	15,48	16,61	17,79	27,96	29,73	31,60
80	1,33	55,62	4,84	6,01	7,32	18,49	19,73	21,03	31,94	33,81	35,77
120	2,00	60,28	7,07	8,51	10,09	23,00	24,38	25,83	37,71	39,70	41,79
180	3,00	68,27	9,42	11,11	12,94	27,39	28,90	30,47	43,17	45,26	47,44
240	4,00	72,44	11,18	13,03	15,03	30,50	32,09	33,74	46,95	49,11	51,35
300	5,00	75,61	12,59	14,57	16,70	32,91	34,56	36,27	49,86	52,06	54,34
Tr 20 anos											
20	0,33	32,69	0,20	0,44	0,79	5,37	6,00	6,68	13,24	14,50	15,87
40	0,67	45,79	2,19	2,96	3,85	12,28	13,28	14,33	23,58	25,23	26,98
60	1,00	52,79	3,99	5,04	6,23	16,63	17,80	19,03	29,49	31,30	33,21
80	1,33	57,58	5,47	6,72	8,11	19,81	21,09	22,43	33,65	35,56	37,55
120	2,00	62,40	7,88	9,41	11,08	24,55	25,98	27,47	39,65	41,69	43,80
180	3,00	70,66	10,42	12,20	14,13	29,17	30,73	32,34	45,34	47,47	49,68
240	4,00	74,98	12,30	14,26	16,36	32,43	34,07	35,76	49,28	51,47	53,74
300	5,00	78,27	13,81	15,90	18,13	34,96	36,66	38,41	52,30	54,54	56,85
Tr 25 anos											
20	0,33	33,58	0,27	0,55	0,93	5,78	6,43	7,14	13,90	15,19	16,59
40	0,67	47,04	2,48	3,29	4,24	13,02	14,05	15,14	24,61	26,29	28,07
60	1,00	54,22	4,41	5,53	6,77	17,57	18,77	20,03	30,72	32,57	34,50
80	1,33	59,14	5,99	7,31	8,77	20,88	22,20	23,57	35,02	36,96	38,99
120	2,00	64,09	8,56	10,16	11,90	25,81	27,28	28,80	41,22	43,29	45,43
180	3,00	72,58	11,24	13,10	15,11	30,61	32,20	33,85	47,09	49,25	51,48
240	4,00	77,02	13,23	15,27	17,45	33,99	35,67	37,40	51,15	53,37	55,66
300	5,00	80,39	14,82	16,99	19,30	36,62	38,36	40,15	54,26	56,53	58,86
Tr 50 anos											
20	0,33	36,49	0,57	0,96	1,46	7,18	7,92	8,71	16,11	17,50	19,00
40	0,67	51,12	3,52	4,50	5,62	15,56	16,69	17,87	28,06	29,83	31,70
60	1,00	58,92	5,92	7,23	8,68	20,73	22,04	23,41	34,83	36,76	38,79
80	1,33	64,27	7,85	9,37	11,04	24,49	25,91	27,40	39,57	41,60	43,72
120	2,00	69,65	10,92	12,75	14,73	30,05	31,63	33,27	46,41	48,56	50,79
180	3,00	78,88	14,10	16,21	18,46	35,43	37,15	38,91	52,86	55,11	57,43
240	4,00	83,70	16,44	18,73	21,18	39,22	41,02	42,86	57,32	59,63	62,00
300	5,00	87,36	18,30	20,74	23,32	42,16	44,01	45,92	60,74	63,09	65,50

QUADRO 5.2 – PRECIPITAÇÃO EFETIVA (P_e) DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CANGUIRI

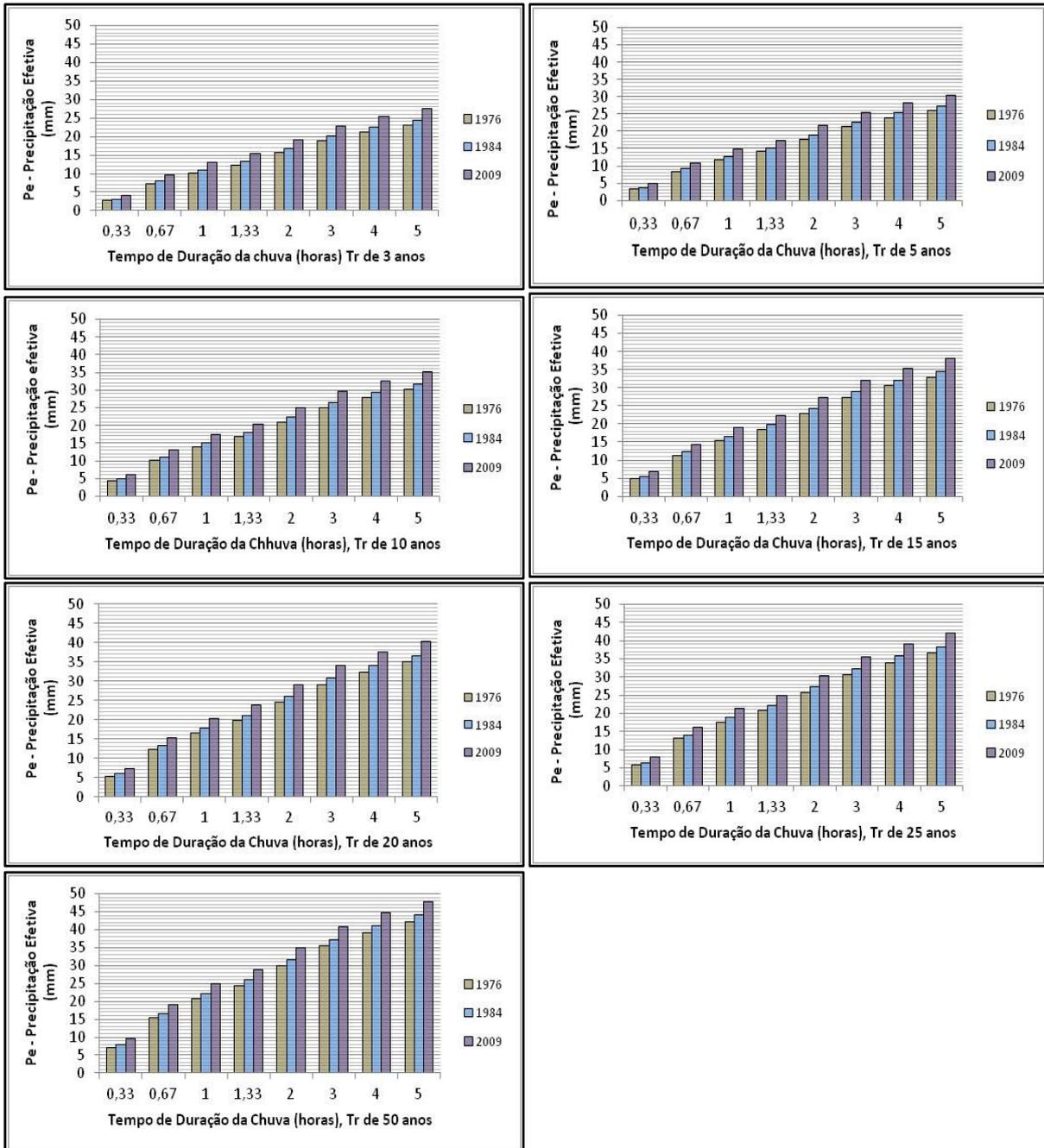


Figura 5.18 – Precipitação Efetiva (P_e) para os diferentes Tempo de Recorrência na condição NII de Umidade do Solo

A precipitação efetiva (P_e) em 2009 com um t_d de 0,33 horas e Tr de 3 anos e na condição NII foi de 4,13 mm, enquanto que a precipitação total (P_t) nas mesmas condições foi igual a 26,04 mm. Esse menor volume é explicado, pois a precipitação efetiva representa a precipitação total descontada das perdas por interceptação, acumulação nas depressões, evaporação e infiltração (FENDRICH, 2008).

A estimativa de volume das perdas por interceptação e acumulação em depressões é 0,3 mm da chuva para áreas permeáveis e de 0,1 para áreas impermeáveis (RAMOS, 1972). Enquanto que para infiltração que vai variar com a

declividade, umidade antecedente, quantidade de matéria orgânica, vegetação, Fendrich (2008), Wilken (1978) recomenda a adoção de 25 mm.h^{-1} na primeira meia hora, 20 mm.h^{-1} na segunda meia hora e de 15 mm.h^{-1} depois da primeira hora de chuva.

A Figura 5.19 ilustra a precipitação efetiva nos diferentes períodos estudados, no tempo de duração de 300 minutos, na condição NII de umidade antecedente do solo.

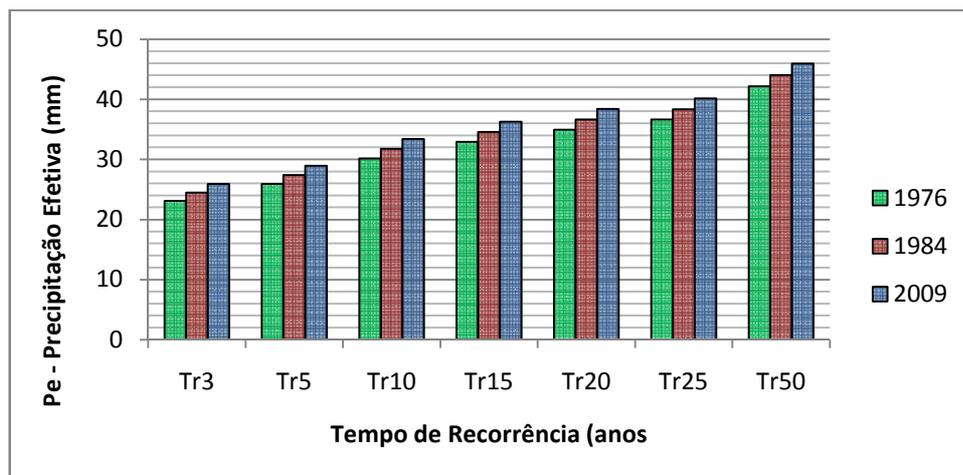


Figura 5.19 – Precipitação efetiva (P_e) para o tempo de duração (t_d) de 300 minutos

Os valores máximos da “ P_e ”, nos diferentes anos, são encontrados entre os maiores tempos de recorrência e tempos de duração, no caso do Trabalho, as máximas são encontradas no tempo de recorrência de 50 anos e com duração de 300 minutos. A diferença das precipitações, para Tr de 50 anos, foi de 2,38 mm a mais em 2009 quando comparado com a precipitação obtida em 1976.

5.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE VEN TE CHOW

5.6.1 Tempo de Pico (t_p) e Tempo de Concentração (t_c)

Com um tempo de pico (t_p) de 1,77 horas o valor do fator de redução de pico (Z) para a relação t_d/t_p é igual aos valores da Tabela 5.13 de acordo com a Tabela (4.8). “ Z ” é um dos coeficientes para calcular a vazão pelo Método de Ven Te Chow.

TABELA 5.13 - FATOR DE REDUÇÃO DE PICO (Z) PARA TEMPO DE RECORRÊNCIA IGUAL A 1,77 HORAS

td (minutos)	td (horas)	td/T	Z (tabelado)
20	0,33	0,19	0,17
40	0,67	0,38	0,30
60	1	0,56	0,42
80	1,33	0,75	0,53
120	2	1,13	0,72
180	3	1,69	0,92
240	4	2,26	1,00
300	5	2,82	1,00

O tempo de concentração da bacia hidrográfica do Rio Canguiri (t_c), pelo Método de Ven Te Chow, é de 109,8 minutos ou 1,83 horas, ou seja, uma gota de chuva leva 1,83 horas para se deslocar do ponto mais afastado da bacia até o seu exutório (FENDRICH, 2008). Com a fórmula de Kirpich de 1940 foi de 2,21 horas, para a fórmula de Dooge o t_c foi igual a 2,70 horas e para a fórmula do SCS no ano de 2009 foi de 4,36 horas.

A semelhança entre os valores de t_p e de t_c , pelo Método de Ven Te Chow, pode estar relacionada ao tamanho e ao grau de impermeabilização da bacia, mas também pela fórmula utilizada, como se pode observar. Cada fórmula está direcionada para diferentes áreas da bacia hidrográfica e para diferentes tipos de CN, como a fórmula do SCS.

5.6.2 Análise da Vazão Máxima ou de Pico (Q_{max})

Os resultados apresentados no Quadro 5.3 mostram os valores da vazão máxima para os anos de 1976, 1984 e 2009 e os hidrogramas das Figuras 5.20, 5.21 e 5.22 são as vazões máximas nos diferentes anos na condição normal de saturação do solo (NII).

td (minutos)	td (horas)	NI			NII			NIII		
		1976	1984	2009	1976	1984	2009	1976	1984	2009
		Qmáx (m ³ .s ⁻¹)								
Tr 3										
20	0,33	0,03	0,02	0,23	6,93	8,03	9,25	21,91	24,51	27,39
40	0,67	1,27	2,14	3,25	15,95	17,60	19,37	35,83	38,92	42,25
60	1,00	2,97	4,26	5,78	21,13	23,00	24,98	42,81	46,05	49,50
80	1,33	4,37	5,89	7,66	24,40	26,38	28,46	46,81	50,08	53,55
120	2,00	6,37	8,14	10,15	28,01	30,04	32,17	51,46	53,63	56,98
180	3,00	7,70	9,53	11,56	28,87	30,78	32,78	49,57	52,45	55,46
240	4,00	7,70	9,36	11,20	26,45	28,10	29,83	44,16	46,59	49,12
300	5,00	7,08	8,52	10,10	22,98	24,36	25,80	37,64	39,62	41,69
Tr 5										
20	0,33	0,03	0,14	0,51	8,45	9,68	11,03	24,75	27,52	30,57
40	0,67	1,96	3,03	4,36	18,58	20,38	22,29	39,83	43,08	46,56
60	1,00	4,08	5,58	7,35	24,30	26,32	28,45	47,34	50,73	54,33
80	1,33	5,74	7,50	9,51	27,88	30,01	32,24	51,62	55,03	58,63
120	2,00	8,05	10,06	12,32	31,77	33,94	36,21	56,54	58,74	62,21
180	3,00	9,50	11,56	13,82	32,57	34,60	36,72	54,33	57,31	60,42
240	4,00	9,39	11,25	13,28	29,75	31,50	33,33	48,33	50,83	53,45
300	5,00	8,57	10,17	11,91	25,79	27,25	28,77	41,14	43,19	45,33
Tr 10										
20	0,33	0,14	0,50	1,11	10,87	12,29	13,83	29,05	32,05	35,33
40	0,67	3,21	4,59	6,22	22,64	24,64	26,77	45,82	49,28	52,97
60	1,00	5,95	7,79	9,90	29,16	31,39	33,73	54,09	57,68	61,47
80	1,33	8,01	10,12	12,49	33,20	35,53	37,97	58,76	62,36	66,14
120	2,00	10,78	13,14	15,75	37,47	39,84	42,30	64,07	66,29	69,92
180	3,00	12,40	14,78	17,37	38,16	40,37	42,66	61,37	64,49	67,73
240	4,00	12,08	14,22	16,53	34,72	36,61	38,58	54,48	57,10	59,82
300	5,00	10,94	12,76	14,74	30,02	31,59	33,22	46,32	48,46	50,67
Tr 15										
20	0,33	0,32	0,84	1,60	12,50	14,04	15,69	31,82	34,96	38,38
40	0,67	4,13	5,70	7,53	25,31	27,44	29,68	49,63	53,22	57,03
60	1,00	7,28	9,33	11,65	32,33	34,68	37,15	58,38	62,08	65,98
80	1,33	9,59	11,92	14,51	36,64	39,10	41,66	63,29	66,99	70,88
120	2,00	12,65	15,23	18,07	41,17	43,65	46,23	68,86	71,07	74,80
180	3,00	14,36	16,94	19,73	41,76	44,07	46,46	65,82	69,02	72,34
240	4,00	13,89	16,20	18,69	37,91	39,89	41,94	58,36	61,05	63,83
300	5,00	12,52	14,49	16,60	32,73	34,37	36,07	49,58	51,77	54,04
Tr 20										
20	0,33	0,51	1,14	2,01	13,76	15,38	17,12	33,91	37,15	40,66
40	0,67	4,88	6,59	8,57	27,34	29,56	31,90	52,49	56,16	60,06
60	1,00	8,33	10,53	13,01	34,73	37,17	39,73	61,58	65,37	69,35
80	1,33	10,84	13,32	16,07	39,25	41,79	44,45	66,67	70,45	74,41
120	2,00	14,11	16,85	19,84	43,95	46,51	49,17	72,41	74,62	78,41
180	3,00	15,88	18,60	21,55	44,47	46,85	49,31	69,13	72,39	75,76
240	4,00	15,29	17,72	20,34	40,31	42,35	44,46	61,26	63,98	66,80
300	5,00	13,74	15,81	18,03	34,77	36,46	38,20	52,01	54,24	56,53
Tr 25										
20	0,33	0,69	1,40	2,37	14,80	16,48	18,29	35,60	38,91	42,51
40	0,67	5,51	7,33	9,44	29,00	31,28	33,70	54,79	58,53	62,50
60	1,00	9,21	11,54	14,15	36,68	39,20	41,83	64,16	68,01	72,05
80	1,33	11,88	14,49	17,37	41,37	43,98	46,70	69,39	73,23	77,25
120	2,00	15,32	18,18	21,31	46,21	48,83	51,56	75,27	77,48	81,32
180	3,00	17,14	19,98	23,04	46,67	49,10	51,62	71,80	75,09	78,50
240	4,00	16,44	18,98	21,69	42,25	44,34	46,49	63,58	66,34	69,19
300	5,00	14,74	16,89	19,20	36,41	38,14	39,92	53,96	56,21	58,54
Tr 50										
20	0,33	1,47	2,47	3,75	18,38	20,28	22,32	41,26	44,82	48,66
40	0,67	7,83	10,03	12,51	34,63	37,15	39,79	62,47	66,42	70,58
60	1,00	12,36	15,09	18,12	43,29	46,03	48,89	72,73	76,77	81,00
80	1,33	15,54	18,57	21,88	48,52	51,35	54,29	78,41	82,43	86,62
120	2,00	19,54	22,82	26,36	53,79	56,62	59,55	84,74	86,92	90,91
180	3,00	21,50	24,71	28,15	54,03	56,64	59,33	80,60	84,03	87,56
240	4,00	20,43	23,29	26,32	48,76	50,99	53,28	71,26	74,12	77,07
300	5,00	18,20	20,62	23,19	41,92	43,77	45,66	60,41	62,74	65,14

QUADRO 5.3 – VAZÃO MÁXIMA NAS DIFERENTES CONDIÇÕES DE UMIDADE DO SOLO

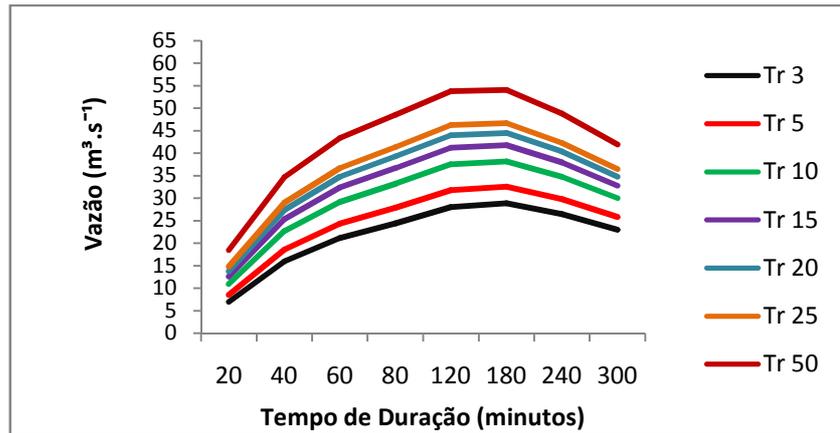


Figura 5.20 – Hidrograma de Vazão para o ano de 1976 na Condição (NII) de umidade do solo

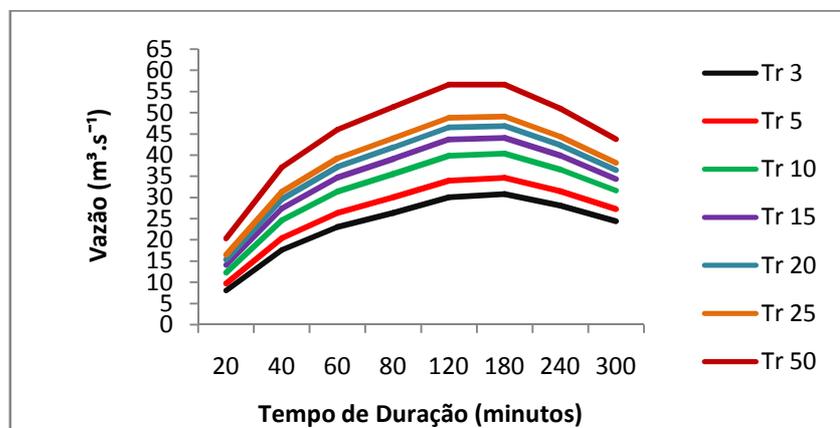


Figura 5.21 - Hidrograma de Vazão para o ano de 1984 na Condição (NII) de umidade do solo

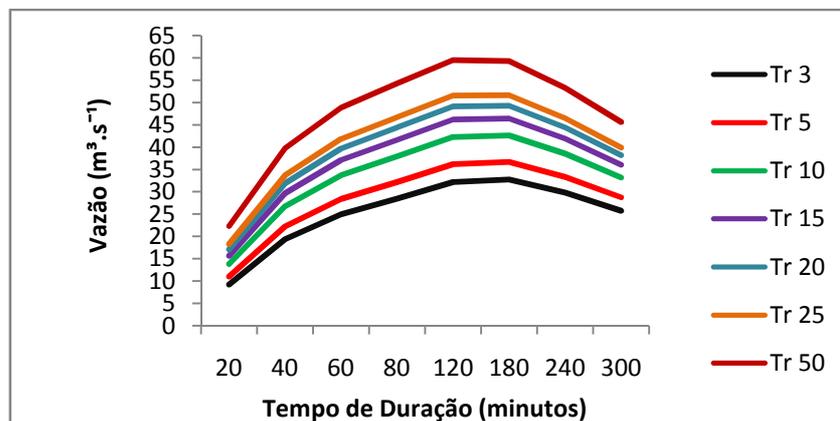


Figura 5.22 - Hidrograma de Vazão para o ano de 2009 na Condição Normal (NII) de umidade

O pico de escoamento superficial, ou a vazão máxima de projeto alterna entre os tempos de duração de 2 e 3 horas. Os resultados das vazões (aumenta com o passar dos anos e com o aumento do Tr) confirmam que o crescimento da tipologia de uso do solo relacionada às áreas urbanas e diminuição das áreas com vegetação acarretando na compactação do solo e redução da infiltração.

A Figura 5.23 ilustra a vazão de pico no período de 1976, 1984 e 2009. Como a “P_e”, a vazão de pico também tendeu a aumentar com o passar dos anos e com o aumento do Tr, devido a impermeabilização do solo.

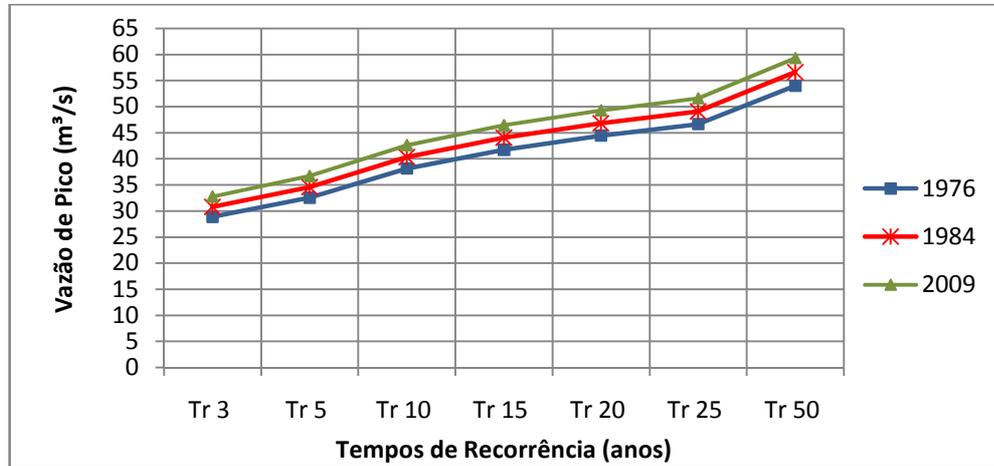


Figura 5.23 – Vazão de pico para a Condição NII de umidade antecedente do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri

Para Tr de 3 anos, na condição NII de umidade antecedente do solo, a vazão pico foi de 28,87 m³.s⁻¹ para 1976, 30,78 m³.s⁻¹ para 1984 e de 32,78 m³.s⁻¹ para 2009. Com um Tr de 50, nas mesmas condições, a vazão pico foi de 54,03 m³.s⁻¹ para 1976, 56,64 m³.s⁻¹ para 1984 e de 59,55 m³.s⁻¹ em 2009.

De acordo com Fendrich (2008), a determinação da precipitação efetiva para uma bacia urbanizada é de suma importância, pois é a responsável pela formação do escoamento superficial direto, gerando a vazão pico, escoando diretamente para os rios. Em obras hidráulicas é importante saber a vazão de projeto para poder decidir os diâmetros das tubulações, o mesmo ocorre para obras de captação de água ou para energia elétrica, pois acresce os volumes dos corpos d’água (JABUR, 2010).

A Figura 5.24, Figura 5.25 e Figura 5.26 mostram a relação das vazões de pico nos diferentes tempos de recorrência nas três condições de umidade antecedente do solo.

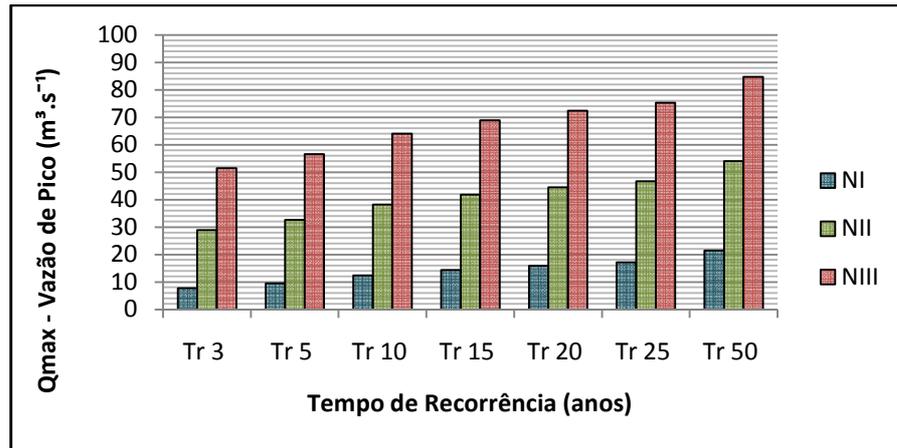


Figura 5.24 – Relação das Vazões de Pico para 1976 na Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri

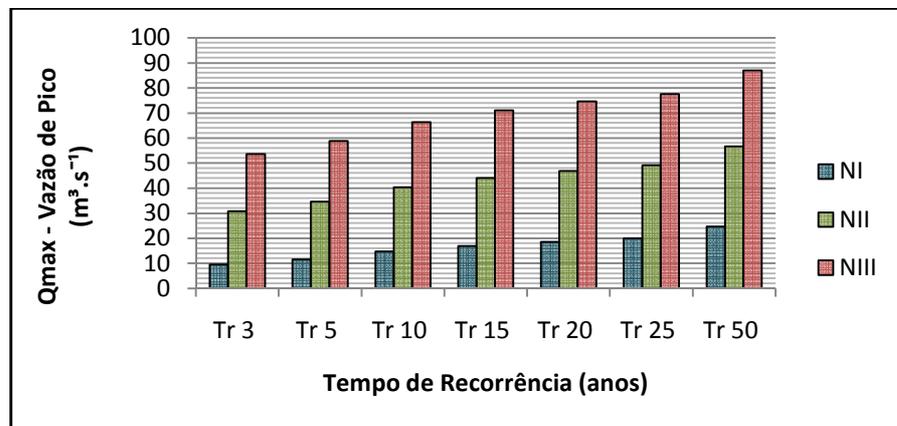


Figura 5.25 – Relação das Vazões de Pico para 1984 na Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri

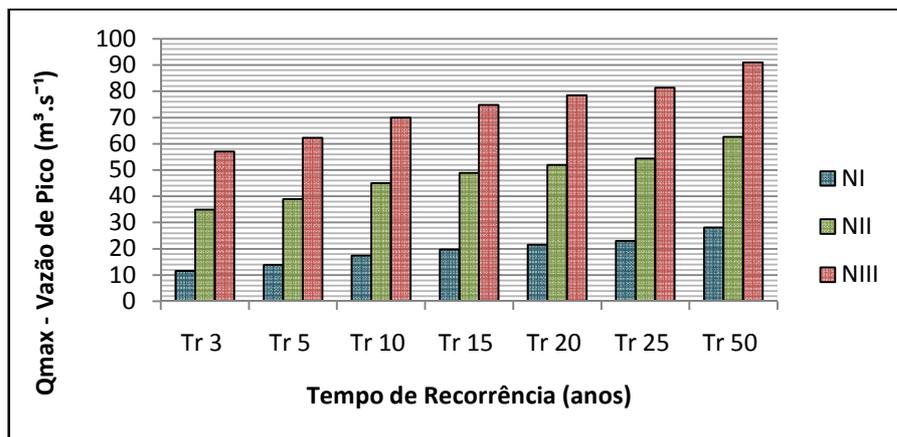


Figura 5.26 – Relação das Vazões de Pico para 2009 na Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri

As figuras mostraram o aumento da vazão de 1976 para 2009, um aumento de $5,52 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ no período de 33 anos com Tr de 50 anos. Um estudo realizado por Jabur (2010) na bacia hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, em Pato Branco – PR, mostra que a vazão de pico com o tempo de recorrência de 50 anos foi de $503,63 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

para o ano de 2008 e de 488,64 m³.s⁻¹ em 1980, um aumento de 14,99 m³.s⁻¹ em um período de 28 anos.

Nunes e Fiori (2007) também realizaram um trabalho para a estimativa da vazão máxima para a bacia hidrográfica do Rio Atuba com uma área de drenagem de 127,43 km², pelo método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service. Obtiveram as vazões de pico para o ano de 1962 de 231,42 m³.s⁻¹; para 1980 uma vazão de 266,22 m³.s⁻¹ e para 200 uma vazão de 312,63 m³.s⁻¹ para o tempo de recorrência de 20 anos, esse aumento de áreas urbanizadas reflete diretamente na elevação das vazões.

De acordo com Jabur (2010) o método de Ven Te Chow é mais adequado do que o método Racional (outro método para calcular vazão de pico) porque apresenta dados mais coerentes para bacias acima de 5 Km², onde a resposta em relação ao escoamento é imediata.

5.7 ANÁLISE DE CENÁRIOS FUTUROS

A Tabela 5.14 mostra a análise futura para a bacia hidrográfica do Rio Canguiri de acordo com a classificação de tipologias de uso do solo.

TABELA 5.14 – ÁREAS ESTIPULADAS PARA A ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE 2019 E 2029

TIPOLOGIAS DE USO DO SOLO	1999		2009		2019		2029	
	km ²	%						
Floresta Ombrófila Mista Montana	2,1	11,71	1,86	10,37	1,86	10,37	1,86	10,37
Vegetação Secundária	1,53	8,53	2,60	14,49	2,27	12,65	1,94	10,81
Reflorestamento	0,67	3,73	0,87	4,85	0,67	3,73	0,47	2,62
Campos e áreas verdes	6,57	36,62	5,54	30,88	4,51	25,14	3,48	19,40
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	3,4	18,95	1,08	6,02	1,08	6,02	1,08	6,02
Uso da Terra Agricultura	0,72	4,01	2,05	11,43	3,39	18,90	4,72	26,31
Áreas Urbanas	2,89	16,11	3,12	17,39	3,34	18,62	3,57	19,90
Áreas com água	0,06	0,33	0,82	4,57	0,82	4,57	0,82	4,57
Total de área da bacia	17,94	100	17,94	100	17,94	100	17,94	100

As áreas estipuladas para os cenários futuros foram feitas da seguinte maneira:

- a) A área relacionada à tipologia Floresta Ombrófila Mista Montana ficou constante desde 2009, considerando as exigências do Código Florestal para a proteção das áreas de APP e reserva legal;

- b) A área correspondente a Vegetação Secundária cresceu em função da redução dos campos, ou seja, foi à última tipologia para estipulada a área futura;
- c) O Reflorestamento cresceu 0,2 km² de 1999 para 2009, portanto, para os cenários futuros, a área dessa tipologia, decresce 0,2 km², considerando que o plantio já está pronto para corte e que seu replantio é proibido dentro de uma APA;
- d) Para os campos e áreas verdes houve uma redução de 1,03 km² em dez anos (1999-2009). Essa redução é mantida para os próximos dez anos e para mais dez anos, ou seja, a área dessa mesma tipologia em 2019 será a área de 2009, que é 5,54 km², menos 1,03 km², que foi o que reduziu da tipologia de 1999 a 2009. Da mesma maneira é feito para o ano de 2029;
- e) As áreas de Floresta Ombrófila Mista Aluvial mantiveram a mesma área desde 2009, considerando as exigências do Código Florestal;
- f) O uso da terra para agricultura aumentou na mesma proporção de 1999 a 2009, como a tipologia dos campos de áreas verdes, que reduziram na mesma proporção de 1999 para 2009;
- g) A urbanização aumentou na mesma proporção de 1999 a 2009;
- h) Área alagada manteve a mesma área que de 2009, considerando que esse é o limite que a represa do Rio Iraí pode alcançar.

Estabelecidas as áreas das tipologias para os cenários futuros, foram estabelecidas as CNs ponderadas para cada ano, conforme a Tabela (5.15).

TABELA 5.15 – VALOR MÉDIO DA CURVA NÚMERO PARA 2019 E 2029

TIPOLOGIAS DE USO DO SOLO	2019		2029		CN GRUPO HIDROLÓGICO (D)		
	Km ²	%	Km ²	%	NI	NII	NIII
Floresta Ombrófila Mista Montana	1,86	10,37	1,86	10,37	48	69	84
Vegetação Secundária	2,27	12,65	1,94	10,81	61	79	90
Reflorestamento	0,67	3,73	0,47	2,62	47	68	83
Campos e áreas verdes	4,51	25,14	3,48	19,40	67	83	92
Floresta Ombrófila Mista Aluvial	1,08	6,02	1,08	6,02	69	84	92
Uso da Terra Agricultura	3,39	18,90	4,72	26,31	75	88	94
Áreas Urbanas	3,34	18,62	3,57	19,90	83	92	96
Áreas com água	0,82	4,57	0,82	4,57	100	100	100
Total de área da bacia	17,94	100	17,94	100	-	-	-
CN média para NI	70	-	71	-	-	-	-
CN média para NII	84	-	85	-	-	-	-
CN média para NIII	92	-	93	-	-	-	-

A tendência para os cenários futuros mostra, através das CNs, que a impermeabilização do solo na bacia ainda continua. Essa tendência pode ser verificada no Quadro 5.4 onde são comparadas as vazões dos anos de 2009, 2019 e 2029.

td (minutos)	NI			NII			NIII		
	2009	2019	2029	2009	2019	2029	2009	2019	2029
	Qmax (m³.s⁻¹)	Qmax (m³.s⁻¹)	Qmax (m³.s⁻¹)	Qmáx (m³.s⁻¹)	Qmax (m³.s⁻¹)	Qmax (m³.s⁻¹)	Qmáx (m³.s⁻¹)	Qmax (m³.s⁻¹)	Qmax (m³.s⁻¹)
Tr 3									
20	0,23	0,41	0,96	9,25	10,62	12,10	27,39	27,47	30,67
40	3,25	3,90	5,40	19,37	21,33	23,36	42,25	42,38	45,98
60	5,78	6,66	8,59	24,98	27,17	29,42	49,50	49,66	53,36
80	7,66	8,67	10,84	28,46	30,76	33,10	53,55	53,72	57,41
120	10,15	11,29	13,68	32,17	34,51	36,86	56,98	57,15	60,70
180	11,56	12,70	15,08	32,78	34,97	37,16	55,46	55,63	58,79
240	11,20	12,23	14,35	29,83	31,72	33,60	49,12	49,27	51,93
300	10,10	10,98	12,79	25,80	27,37	28,93	41,69	41,82	43,99
Tr 5									
20	0,51	0,78	1,51	11,03	12,55	14,17	30,57	30,66	34,03
40	4,36	5,13	6,86	22,29	24,41	26,59	46,56	46,70	50,45
60	7,35	8,35	10,53	28,45	30,80	33,20	54,33	54,49	58,33
80	9,51	10,65	13,08	32,24	34,70	37,18	58,63	58,81	62,64
120	12,32	13,58	16,23	36,21	38,71	41,21	62,21	62,41	66,05
180	13,82	15,08	17,69	36,72	39,05	41,36	60,42	60,60	63,87
240	13,28	14,41	16,73	33,33	35,33	37,31	53,45	53,61	56,34
300	11,91	12,88	14,86	28,77	30,44	32,08	45,33	45,46	47,69
Tr 10									
20	1,11	1,51	2,51	13,83	15,55	17,38	35,33	35,44	39,04
40	6,22	7,17	9,23	26,77	29,11	31,51	52,97	53,13	57,08
60	9,90	11,09	13,63	33,73	36,31	38,92	61,47	61,65	65,68
80	12,49	13,82	16,62	37,97	40,65	43,34	66,14	66,34	70,34
120	15,75	17,21	20,23	42,30	45,01	47,69	69,92	70,13	73,94
180	17,37	18,81	21,76	42,66	45,17	47,64	67,73	67,94	71,32
240	16,53	17,82	20,42	38,58	40,74	42,85	59,82	60,00	62,83
300	14,74	15,83	18,04	33,22	35,01	36,76	50,67	50,83	53,13
Tr 15									
20	1,60	2,08	3,25	15,69	17,54	19,49	38,38	38,50	42,23
40	7,53	8,58	10,86	29,68	32,16	34,69	57,03	57,20	61,27
60	11,65	12,96	15,72	37,15	39,87	42,61	65,98	66,18	70,31
80	14,51	15,96	18,99	41,66	44,48	47,29	70,88	71,10	75,19
120	18,07	19,64	22,89	46,23	49,05	51,87	74,80	75,03	78,93
180	19,73	21,28	24,44	46,46	49,08	51,65	72,34	72,55	76,01
240	18,69	20,06	22,85	41,94	44,19	46,38	63,83	64,02	66,91
300	16,60	17,77	20,13	36,07	37,93	39,75	54,04	54,20	56,55
Tr 20									
20	2,01	2,56	3,85	17,12	19,06	21,10	40,66	40,79	44,62
40	8,57	9,70	12,13	31,90	34,47	37,10	60,06	60,24	64,39
60	13,01	14,41	17,34	39,73	42,55	45,38	69,35	69,56	73,76
80	16,07	17,61	20,81	44,45	47,36	50,26	74,41	74,64	78,80
120	19,84	21,50	24,92	49,17	52,09	54,98	78,41	78,64	82,61
180	21,55	23,18	26,48	49,31	52,01	54,66	75,76	75,99	79,49
240	20,34	21,78	24,69	44,46	46,77	49,02	66,80	67,01	69,93
300	18,03	19,25	21,71	38,20	40,12	41,98	56,53	56,70	59,08
Tr 25									
20	2,37	2,97	4,36	18,29	20,31	22,42	42,51	42,63	46,55
40	9,44	10,63	13,18	33,70	36,35	39,05	62,50	62,69	66,90
60	14,15	15,61	18,67	41,83	44,73	47,62	72,05	72,27	76,53
80	17,37	18,98	22,31	46,70	49,69	52,67	77,25	77,48	81,70
120	21,31	23,04	26,59	51,56	54,55	57,51	81,32	81,57	85,57
180	23,04	24,73	28,15	51,62	54,38	57,08	78,50	78,74	82,28
240	21,69	23,19	26,20	46,49	48,86	51,15	69,19	69,40	72,36
300	19,20	20,47	23,01	39,92	41,88	43,78	58,54	58,71	61,11
Tr 50									
20	3,75	4,51	6,23	22,32	24,57	26,91	48,66	48,80	52,95
40	12,51	13,91	16,88	39,79	42,69	45,62	70,58	70,80	75,21
60	18,12	19,80	23,29	48,89	52,03	55,16	81,00	81,25	85,68
80	21,88	23,71	27,48	54,29	57,52	60,71	86,62	86,88	91,26
120	26,36	28,32	32,28	59,55	62,77	65,91	90,91	91,19	95,32
180	28,15	30,05	33,86	59,33	62,29	65,15	87,56	87,83	91,49
240	26,32	28,00	31,33	53,28	55,81	58,24	77,07	77,31	80,35
300	23,19	24,60	27,40	45,66	47,75	49,75	65,14	65,34	67,81

QUADRO 5.4 – COMPARAÇÃO DAS VAZÕES ENTRE OS ANOS DE 2009, 2019 E 2029 NA CONDIÇÃO NII DE UMIDADE ANTECEDENTE DO SOLO

Nota-se que em 2009 a vazão de pico, na condição normal de umidade antecedente do solo e Tr de 3 anos, é de $32,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, em 2019 é de $34,97 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e em 2029 a vazão pico é igual a $37,16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

A projeção de 2019 a 2029 mostrou um aumento das CNs, mantendo o padrão de redução ou acréscimo, nas áreas das tipologias estudadas comparada com 2009 ou 2019. Dessa maneira, pode-se observar que a devastação da vegetação, aumento desordenado da urbanização podem levar uma tipologia a seu extermínio, podendo futuramente não existir mais.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conforme os objetivos desse Trabalho e, com base nos resultados obtidos, pode-se verificar que a tipologia Floresta Ombrófila Mista Montana, da Bacia do Rio Canguiri, reduziu 51,40% da área em 2009 da área verificada em 1976. Uma redução média de 5,76 ha.ano⁻¹, e um aumento de 8,7% no mesmo período para a área de agricultura e de 43,80% para áreas urbanas em 2009 comparado com 1976.

Comparando os anos de 1976 e 2009, nota-se que, as áreas ocupadas por agricultura e áreas urbanizadas aumentaram em 8,68% e 5,28%, respectivamente.

O mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri, adaptado ao mapa da Embrapa (1999), apresentou 30,06% de Cambissolos, 42,76% de Latossolos e 27,18% de Organossolos. Os meses de seca para a Bacia Hidrográfica do Rio Canguiri, para os anos estudados no Balanço hídrico, foram: Janeiro, Fevereiro, Abril, Maio, Outubro e Dezembro, podendo assim estipular, também pelo balanço hídrico, os meses com maior ou menor deflúvio.

Com o aumento nos valores da Curva Número, pode-se comprovar que a crescente urbanização na Bacia do Rio Canguiri, está causando a impermeabilização do solo, afetando diretamente no escoamento direto (Pe). Essa situação é observada com o aumento do escoamento direto aumenta em todos os parâmetros estudados: Tempo de Retorno (Tr), tempo de duração da chuva (td) e nos anos trabalhados (1976, 1984 e 2009).

O aumento no (Pe) também reflete diretamente na vazão de pico (Q), aumentado também a vazão de pico em todos dos parâmetros estudados. Considerando um tempo de recorrência de 3 anos a vazão de pico elevou-se de 28,87 m³.s⁻¹ em 1976 para 30,78 m³.s⁻¹ em 1984 e, para 34,86 m³.s⁻¹ em 2009. Já para um tempo de recorrência de 5 anos, a vazão de pico que era de 32,57 m³.s⁻¹ em 1976 aumentou para 34,60 m³.s⁻¹ em 1984 e para 38,93 m³.s⁻¹ em 2009 na condição de umidade normal antecedente do solo.

Como previsto, a simulação para a previsão de cenários futuros (2019, 2029), indica uma bacia com solos mais impermeabilizados, quando comparado com o ano de 2009.

Recomendações:

Para diminuir possíveis erros recomenda-se fazer uma análise mais criteriosa da estrutura do solo, como avaliar os perfis em estudo de campo, para a capacidade de infiltração, granulometria, teor de argila. A calibração do método, antes da aplicação prática, poderá melhorar os resultados finais da vazão de pico.

Para bacias hidrográficas com área inferior a 5 km² é indicado calcular a vazão de pico pelo Método Racional. A vazão também pode ser calculada pelo Método do hidrograma unitário sintético de Snyder e pelo Método do hidrograma unitário sintético Triangular, porém, esses métodos possuem um número maior de parâmetros a serem utilizados que devem ser conhecidos e estabelecidos.

Em bacias maiores, onde provavelmente terá mais de um tipo de grupo hidrológico, recomenda-se trabalhar com todos os mapas de uso do solo para fazer uma sobreposição dos shapes de uso do solo e tipo de solo e assim obter a área correspondente de cada tipologia do solo relacionada com a área do grupo hidrológico.

Em trabalhos futuros recomenda-se trabalhar com a CN para cada tipologia do ano hidrológico, ao invés de se fazer uma média ponderada, visando evitar subestimar e/ou superestimar o resultado final do valor da CN.

É necessário realizar ações para interromper a degradação da vegetação e conseqüentemente do solo na bacia do Rio Canguiri, através de trabalhos que abordem o ponto de vista de bacia hidrográfica, e utilizar as informações para desenvolver estratégias com a finalidade de reduzir os processos de degradação para preservar os recursos ameaçados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAUNGARTEN, A. P.; FELIX, D.; MÜLER, M. **Determinação da precipitação efetiva na bacia do rio Chopim através do método da Curva Número do SCS.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15. Curitiba, PR 2003.

BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (ed) **Matas ciliares: conservação e recuperação.** 2ª edição. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001. p. 187 – 207.

BARROS, M.T.L.; PALOS, J.C.F.. **Análise de métodos hidrológicos empregados em projetos de drenagem urbana no Brasil.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12. Vitória, ES 1997.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. (Org.) **Mapa de Solos do Estado do Paraná – Legenda Atualizada.** Rio de Janeiro: Editora da Embrapa Solos, Embrapa Florestas, Instituto Agrônomo do Paraná, 2008. 1 CD-ROM.

BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná.** Curitiba: SEPLAN/ADEA, 1978.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES F. Método para avaliação do nível oceânico à época da formação dos terraços de construção marinha. **Boletim Paranaense de Geografia**, 4/5. 1961.

BLACK, P. E. Watershed functions. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 33, n. 1, p. 1-11, 1997.

CHIARANDA, R.. **Usos da Terra e Avaliação da Capacidade Potencial de Armazenamento de Água da Bacia do Rio Cuiabá - MT.** 362f. Tese (Doutorado, em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

COMEC. Curitiba: IBGE, Censo, 2000/2010. Disponível em : <<http://www.comec.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=58>>. Acesso em: 12/08/2011.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. **Hidrologia aplicada**. Santa Fé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, 1994.

CHOW, V. T. Hydrologic design of culverts. **Journal of Hydraulics Division**, v.88, n. HY2, p. 39-55, 1962.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE); COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Drenagem Urbana: manual de projeto**. São Paulo, 2^a ed., 1980.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F. **Intensidade Pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. INPE, São José dos Campos, 2004, 30p.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSS KOFF, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 1, p. 46 – 54, 2009. Disponível em: <www.agriambi.com.br> Acesso em: 05/04/2011.

DOOREMBOS, J. e PRUIT, W.O. Guidelines for predicting Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, Rome, n. 24, 2 ed. 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999

FARIA, R. T.; CARAMORI, P. H.; CHIBANA, E. Y.; BRITO, L. R. S.; NAKAMURA, A. K.; FERREIRA, A. R. Clima – programa computacional para organização e análise de dados meteorológicos. **Boletim técnico**. Londrina, n. 66, p. 1-29, Maio 2002.

FAO – Manual de Campo para la Ordenacion de Cuencas Hidrográficas. **Estudio y Planificacion de Cuencas Hidrográficas**. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. Roma, 1992. Disponível em: (<http://www.fao.org/DOCREP/006/T0165S/T0165S00.HTM>). Acesso em: 15/03/2011.

FELIPE, R. S.. **Características Geológico-Geotécnicas da Formação Guabirotuba Curitiba**. MINEROPAR, Serviço Geológico do Paraná, 1^a edição, 49 p., 2011. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicações/Caract_Geol_Geot_formacao_Guabirotuba.pdf>. Acesso em: (15/09/2011).

FENDRICH, R.. **Chuvas intensas para obras de drenagem no estado do Paraná**. Curitiba: UFPR/ DHS, 2003.

FENDRICH, R.. **Canais de Drenagem em Pequenas Bacias Hidrográficas**. Curitiba: UFPR/DHS, 2008.

FERREIRA, D. S.; RIBEIRO, C. A. D.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C. **Estimativa de escoamento superficial na bacia do Córrego João Pedro através de técnicas de geoprocessamento**. In: I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico. Taubaté, 2007. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/95/1/163-169.pdf>>. Acesso em: 12/09/2010.

FERRER JULIÁ, M.; BLANCO, J.; RAMÍREZ, J. **Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parâmetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección**. In: CONGRESSO DE INGENIERÍA CIVIL, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE, 3. 2003. Léon. Disponível em: <http://www.ciccp.es/biblio_digital/lcitema_III/congresso/pdf/040205.pdf>. Acesso em: 15/10/2010.

FREITAS, A. J. **Tempo de Concentração**. SUDECAP. Belo Horizonte, 1984. 67 p.

GEIGER, R.. **The Climate Near the Ground**. Harvard University Press: 1996.

GOMES, J; FENDRICH, R.. **A microinformática em projetos de macrodrenagem urbana**. Curitiba, PR: 1991. 79p. Relatório Técnico Final de Pesquisa.

HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology**. Athens, University of Georgia Press, 1982.

INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Classificação Climática**. 2011. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>>. Acesso em: 15/04/2011.

INSTITUTO AGRONOMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Dados Climatológicos da Estação de Piraquara para o período de 1970 a 1998**.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **CENSO 2010**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20/07/2011.

INSTITUTO DAS ÁGUAS - **Dados de Vazão da Estação Fluviométrica de Olaria em Pinhais.**

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS DO ESTADO DO PARANÁ (ITCF). **Atlas do Estado do Paraná:** Mapa de solos do Estado do Paraná. Escala 1:400.000. Curitiba – PR, 1988

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Cartografia e Geodésia – Produtos Cartográficos.** Carta Fitogeográfica do estado do Paraná. Escala: 1: 2.000.000. Curitiba - PR: 2010. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br>>. Acesso em: (12/11/2010)

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Cartografia e Geodésia – Produtos Cartográficos.** Carta Geologia do estado do Paraná. Escala: 1: 2.000.000. Curitiba - PR: 2010. Disponível em: <<http://www.itcg.pr.gov.br>>. Acesso em: (12/11/2010)

JABUR, A. S. **Estudo Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Ligeiro, Pato Branco, PR.** 167f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

JACOBS, G. A. **Dinâmica de uso e ocupação dos mananciais na Região Metropolitana de Curitiba – PR.** 255f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

KOBIAMA, M.; VESTENA, L. R.. **Aplicações do método de Penman modificado no cálculo da Evapotranspiração Potencial para quatro estações meteorológicas do Estado do Paraná.** Revista de Ciências Exatas e Naturais, Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 83-97, 2006.

KLEIN, R.M. & HATSCHBACH, G. Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica do município de Curitiba e arredores (Paraná). Geografia Física. **Boletim da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, n. 4, p.1-30, 1962.

KOHLER, M. A.; RICHARDS, M. M. **Multi-Capacity basin accounting for predicting runoff from storm precipitation.** Journal of Geophysical Research, Washington, p 5187 – 5197, 1962.

LIMA, W. P.. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** Piracicaba: IPEF, 2 ed, 2008.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Nova abordagem para caçulo de espaçamento entre terraços**. In: Simpósio sobre Terraceamento Agrícola. Campinas, 1989

MENDES FILHO W. M.; VENDRAME, I. F.; CARVALHO R. G. **Utilização de sistema de informações geográficas para o mapeamento do potencial de retenção de águas pluviais no município de São José dos Campos – SP**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 21-26 abril, 2007. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.16.33/doc/3453-3460.pdf>>. Acesso em: 23/01/ 2010.

MOCKUS, V. **Hydrologic soil groups**. In: National Engineering Handbook. USDA-SCS, section 4, chapter 7, 1972.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P. F. **A utilização do método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio Atuba**. Revista eletrônica GeoGrafar, Curitiba, v.2, n.2, p. 139-155, julho/dez 2007. Disponível em: <www.ser.ufpr.br/geografar>. Acesso em: 09/11/2010

OGROSKY, H. O.; MOCKUS, V.. Hydrology of Agricultural Lands. In: Chow, V. T. (Ed) **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw-Hill, cap.21, p. 1-97, 1964.

PENMAN, H. L. **Natural evaporation from open water, bare soil and grass**. Mathematical and Physical Sciences. London, v. 193, n. 1032, p. 120-145, Apr. 22, 1948. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/98151>>. Acesso em: 03/04/2010.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de Superfície**. São Paulo: Edgard Blücher, 1973.

RAMOS, F. **Drenagem de águas pluviais**. Centro de Hidráulica e Hidrologia Parigot de Souza. Curitiba, 37p., 1972

REYES, C. D. R. **Análise das características hidrológicas de três sub-bacias do Rio Carapá (Canindeyú, Paraguai) em função das mudanças da cobertura vegetal em três diferentes épocas**. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RIZZI, N. E. **Hidrologia florestal e manejo de bacias hidrográficas**. Apostila didática em meio digital, 2011. Disponível em: <<http://www.hidrologia.ufpr.br>>.

RIZZI, N. E.; GUIERA, F. M. **Análise de tipologias de ocupação da bacia hidrográfica do Rio Iraí**. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 15, n. 2, p. 33-49, 1996.

SARTORI, A. **Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2004.

SARTORI, A.; M.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.05-18, out/dez 2005a.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 19-29, out/dez 2005b.

SENOGRAFIA Sensoriamento Remoto Ltda. Imagem Repideye (Período de 2009).

SETZER, S.; PORTO, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, São Paulo, SP, v. 2, n. 2, p. 81 – 103, Maio/Ago. 1979.

SIMEPAR – **Dados Climatológicos da Estação de Piraquara para o período de 1999 a 2009**.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to Soil Taxonomy**, Washington, DC: Natural Resources Conservation Service. 10th ed 2006.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R.. **Sub-bacias Hidrográficas Unidades Básicas para o Planejamento e Gestão Sustentáveis das Atividades Rurais**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte. v. 21, n. 207, p. 15-20, nov./dez. 2000

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C; HOLZ, J.;SILVEIRA, A. L. L.. **Determinação do Parâmetro CN para Sub-bacias Urbanas do Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba. 2006. Disponível em: <<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo46.pdf>> Acesso em: 01/12/2010.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental** UNIARA, Araraquara, n. 20, p. 137-156 2007. Disponível em: <http://www.uniara.com.br/revistauniara/pdf/20/RevUniara20_11.pdf>. Acessado em: 15/03/2011.

TUCCI, C. E. M.. (Org.) **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), ABRH: EDUSP. v. 4. 1993.

USBR U.S. Bureau of Reclamation - United States Department of the interior. **Design of Small Dams**. Companhia Editorial S.A. México, D. F., 639p., 1977.

WILKEN, P. S.. **Engenharia de Drenagem Superficial**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, São Paulo – SP,477p., 1978.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2000.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ANEXOS

ANEXO A - TABELAS COMPLETAS PARA A AVALIAÇÃO DA VAZÃO PELO MÉTODO DE VEN TE CHOW

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	0,01	0,19	0,17	1	0,04	0,03
40	0,67	54,43	0,57	0,38	0,30	1	0,85	1,27
60	1,00	42,04	1,42	0,56	0,42	1	1,42	2,97
80	1,33	34,48	2,20	0,75	0,53	1	1,66	4,37
120	2,00	28,08	3,56	1,00	0,72	1	1,78	6,37
180	3,00	18,76	5,05	1,69	0,92	1	1,68	7,70
240	4,00	14,93	6,19	2,26	1,00	1	1,55	7,70
300	5,00	12,47	7,12	2,82	1,00	1	1,42	7,08
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	0,01	0,19	0,17	1	0,03	0,03
40	0,67	57,87	0,88	0,38	0,30	1	1,31	1,96
60	1,00	44,70	1,95	0,56	0,42	1	1,95	4,08
80	1,33	36,66	2,89	0,75	0,53	1	2,18	5,74
120	2,00	29,85	4,50	1,00	0,72	1	2,25	8,05
180	3,00	19,94	6,23	1,69	0,92	1	2,08	9,50
240	4,00	15,87	7,55	2,26	1,00	1	1,89	9,39
300	5,00	13,25	8,62	2,82	1,00	1	1,72	8,57
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	0,05	0,19	0,17	1	0,16	0,14
40	0,67	62,89	1,44	0,38	0,30	1	2,15	3,21
60	1,00	48,57	2,85	0,56	0,42	1	2,85	5,95
80	1,33	39,83	4,04	0,75	0,53	1	3,04	8,01
120	2,00	32,44	6,02	1,00	0,72	1	3,01	10,78
180	3,00	21,67	8,13	1,69	0,92	1	2,71	12,40
240	4,00	17,25	9,72	2,26	1,00	1	2,43	12,08
300	5,00	14,40	11,00	2,82	1,00	1	2,20	10,94
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	0,13	0,19	0,17	1	0,38	0,32
40	0,67	66,03	1,86	0,38	0,30	1	2,77	4,13
60	1,00	51,00	3,48	0,56	0,42	1	3,48	7,28
80	1,33	41,82	4,84	0,75	0,53	1	3,64	9,59
120	2,00	34,06	7,07	1,00	0,72	1	3,53	12,65
180	3,00	22,76	9,42	1,69	0,92	1	3,14	14,36
240	4,00	18,11	11,18	2,26	1,00	1	2,79	13,89
300	5,00	15,12	12,59	2,82	1,00	1	2,52	12,52
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	0,20	0,19	0,17	1	0,61	0,51
40	0,67	68,35	2,19	0,38	0,30	1	3,27	4,88
60	1,00	52,79	3,99	0,56	0,42	1	3,99	8,33
80	1,33	43,29	5,47	0,75	0,53	1	4,11	10,84
120	2,00	35,25	7,88	1,00	0,72	1	3,94	14,11
180	3,00	23,55	10,42	1,69	0,92	1	3,47	15,88
240	4,00	18,75	12,30	2,26	1,00	1	3,08	15,29
300	5,00	15,65	13,81	2,82	1,00	1	2,76	13,74
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	0,27	0,19	0,17	1	0,82	0,69
40	0,67	70,20	2,48	0,38	0,30	1	3,70	5,51
60	1,00	54,22	4,41	0,56	0,42	1	4,41	9,21
80	1,33	44,46	5,99	0,75	0,53	1	4,51	11,88
120	2,00	36,21	8,56	1,00	0,72	1	4,28	15,32
180	3,00	24,19	11,24	1,69	0,92	1	3,75	17,14
240	4,00	19,25	13,23	2,26	1,00	1	3,31	16,44
300	5,00	16,08	14,82	2,82	1,00	1	2,96	14,74
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	0,57	0,19	0,17	1	1,73	1,47
40	0,67	76,29	3,52	0,38	0,30	1	5,25	7,83
60	1,00	58,92	5,92	0,56	0,42	1	5,92	12,36
80	1,33	48,32	7,85	0,75	0,53	1	5,90	15,54
120	2,00	39,35	10,92	1,00	0,72	1	5,46	19,54
180	3,00	26,29	14,10	1,69	0,92	1	4,70	21,50
240	4,00	20,92	16,44	2,26	1,00	1	4,11	20,43
300	5,00	17,47	18,30	2,82	1,00	1	3,66	18,20

QUADRO A1 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 1976 NA CONDIÇÃO NI

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	0,01	0,19	0,17	1	0,02	0,02
40	0,67	54,43	0,96	0,38	0,30	1	1,43	2,14
60	1,00	42,04	2,04	0,56	0,42	1	2,04	4,26
80	1,33	34,48	2,97	0,75	0,53	1	2,24	5,89
120	2,00	28,08	4,55	1,00	0,72	1	2,27	8,14
180	3,00	18,76	6,25	1,69	0,92	1	2,08	9,53
240	4,00	14,93	7,53	2,26	1,00	1	1,88	9,36
300	5,00	12,47	8,57	2,82	1,00	1	1,71	8,52
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	0,06	0,19	0,17	1	0,17	0,14
40	0,67	57,87	1,36	0,38	0,30	1	2,03	3,03
60	1,00	44,70	2,67	0,56	0,42	1	2,67	5,58
80	1,33	36,66	3,78	0,75	0,53	1	2,84	7,50
120	2,00	29,85	5,62	1,00	0,72	1	2,81	10,06
180	3,00	19,94	7,58	1,69	0,92	1	2,53	11,56
240	4,00	15,87	9,05	2,26	1,00	1	2,26	11,25
300	5,00	13,25	10,23	2,82	1,00	1	2,05	10,17
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	0,20	0,19	0,17	1	0,60	0,50
40	0,67	62,89	2,06	0,38	0,30	1	3,07	4,59
60	1,00	48,57	3,73	0,56	0,42	1	3,73	7,79
80	1,33	39,83	5,11	0,75	0,53	1	3,84	10,12
120	2,00	32,44	7,34	1,00	0,72	1	3,67	13,14
180	3,00	21,67	9,69	1,69	0,92	1	3,23	14,78
240	4,00	17,25	11,44	2,26	1,00	1	2,86	14,22
300	5,00	14,40	12,84	2,82	1,00	1	2,57	12,76
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	0,33	0,19	0,17	1	0,99	0,84
40	0,67	66,03	2,56	0,38	0,30	1	3,82	5,70
60	1,00	51,00	4,47	0,56	0,42	1	4,47	9,33
80	1,33	41,82	6,01	0,75	0,53	1	4,52	11,92
120	2,00	34,06	8,51	1,00	0,72	1	4,25	15,23
180	3,00	22,76	11,11	1,69	0,92	1	3,70	16,94
240	4,00	18,11	13,03	2,26	1,00	1	3,26	16,20
300	5,00	15,12	14,57	2,82	1,00	1	2,91	14,49
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	0,44	0,19	0,17	1	1,34	1,14
40	0,67	68,35	2,96	0,38	0,30	1	4,41	6,59
60	1,00	52,79	5,04	0,56	0,42	1	5,04	10,53
80	1,33	43,29	6,72	0,75	0,53	1	5,05	13,32
120	2,00	35,25	9,41	1,00	0,72	1	4,71	16,85
180	3,00	23,55	12,20	1,69	0,92	1	4,07	18,60
240	4,00	18,75	14,26	2,26	1,00	1	3,56	17,72
300	5,00	15,65	15,90	2,82	1,00	1	3,18	15,81
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	0,55	0,19	0,17	1	1,66	1,40
40	0,67	70,20	3,29	0,38	0,30	1	4,92	7,33
60	1,00	54,22	5,53	0,56	0,42	1	5,53	11,54
80	1,33	44,46	7,31	0,75	0,53	1	5,50	14,49
120	2,00	36,21	10,16	1,00	0,72	1	5,08	18,18
180	3,00	24,19	13,10	1,69	0,92	1	4,37	19,98
240	4,00	19,25	15,27	2,26	1,00	1	3,82	18,98
300	5,00	16,08	16,99	2,82	1,00	1	3,40	16,89
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	0,96	0,19	0,17	1	2,92	2,47
40	0,67	76,29	4,50	0,38	0,30	1	6,72	10,03
60	1,00	58,92	7,23	0,56	0,42	1	7,23	15,09
80	1,33	48,32	9,37	0,75	0,53	1	7,05	18,57
120	2,00	39,35	12,75	1,00	0,72	1	6,38	22,82
180	3,00	26,29	16,21	1,69	0,92	1	5,40	24,71
240	4,00	20,92	18,73	2,26	1,00	1	4,68	23,29
300	5,00	17,47	20,74	2,82	1,00	1	4,15	20,62

QUADRO A2 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 1984 NA CONDIÇÃO NI

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	0,09	0,19	0,17	1	0,27	0,23
40	0,67	54,43	1,46	0,38	0,30	1	2,18	3,25
60	1,00	42,04	2,77	0,56	0,42	1	2,77	5,78
80	1,33	34,48	3,87	0,75	0,53	1	2,91	7,66
120	2,00	28,08	5,67	1,00	0,72	1	2,84	10,15
180	3,00	18,76	7,58	1,69	0,92	1	2,53	11,56
240	4,00	14,93	9,01	2,26	1,00	1	2,25	11,20
300	5,00	12,47	10,16	2,82	1,00	1	2,03	10,10
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	0,20	0,19	0,17	1	0,60	0,51
40	0,67	57,87	1,96	0,38	0,30	1	2,92	4,36
60	1,00	44,70	3,52	0,56	0,42	1	3,52	7,35
80	1,33	36,66	4,80	0,75	0,53	1	3,61	9,51
120	2,00	29,85	6,88	1,00	0,72	1	3,44	12,32
180	3,00	19,94	9,06	1,69	0,92	1	3,02	13,82
240	4,00	15,87	10,68	2,26	1,00	1	2,67	13,28
300	5,00	13,25	11,98	2,82	1,00	1	2,40	11,91
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	0,43	0,19	0,17	1	1,32	1,11
40	0,67	62,89	2,80	0,38	0,30	1	4,17	6,22
60	1,00	48,57	4,74	0,56	0,42	1	4,74	9,90
80	1,33	39,83	6,30	0,75	0,53	1	4,74	12,49
120	2,00	32,44	8,80	1,00	0,72	1	4,40	15,75
180	3,00	21,67	11,39	1,69	0,92	1	3,80	17,37
240	4,00	17,25	13,30	2,26	1,00	1	3,33	16,53
300	5,00	14,40	14,82	2,82	1,00	1	2,96	14,74
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	0,62	0,19	0,17	1	1,89	1,60
40	0,67	66,03	3,38	0,38	0,30	1	5,05	7,53
60	1,00	51,00	5,58	0,56	0,42	1	5,58	11,65
80	1,33	41,82	7,32	0,75	0,53	1	5,51	14,51
120	2,00	34,06	10,09	1,00	0,72	1	5,05	18,07
180	3,00	22,76	12,94	1,69	0,92	1	4,31	19,73
240	4,00	18,11	15,03	2,26	1,00	1	3,76	18,69
300	5,00	15,12	16,70	2,82	1,00	1	3,34	16,60
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	0,79	0,19	0,17	1	2,38	2,01
40	0,67	68,35	3,85	0,38	0,30	1	5,74	8,57
60	1,00	52,79	6,23	0,56	0,42	1	6,23	13,01
80	1,33	43,29	8,11	0,75	0,53	1	6,10	16,07
120	2,00	35,25	11,08	1,00	0,72	1	5,54	19,84
180	3,00	23,55	14,13	1,69	0,92	1	4,71	21,55
240	4,00	18,75	16,36	2,26	1,00	1	4,09	20,34
300	5,00	15,65	18,13	2,82	1,00	1	3,63	18,03
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	0,93	0,19	0,17	1	2,81	2,37
40	0,67	70,20	4,24	0,38	0,30	1	6,33	9,44
60	1,00	54,22	6,77	0,56	0,42	1	6,77	14,15
80	1,33	44,46	8,77	0,75	0,53	1	6,59	17,37
120	2,00	36,21	11,90	1,00	0,72	1	5,95	21,31
180	3,00	24,19	15,11	1,69	0,92	1	5,04	23,04
240	4,00	19,25	17,45	2,26	1,00	1	4,36	21,69
300	5,00	16,08	19,30	2,82	1,00	1	3,86	19,20
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	1,46	0,19	0,17	1	4,43	3,75
40	0,67	76,29	5,62	0,38	0,30	1	8,39	12,51
60	1,00	58,92	8,68	0,56	0,42	1	8,68	18,12
80	1,33	48,32	11,04	0,75	0,53	1	8,30	21,88
120	2,00	39,35	14,73	1,00	0,72	1	7,36	26,36
180	3,00	26,29	18,46	1,69	0,92	1	6,15	28,15
240	4,00	20,92	21,18	2,26	1,00	1	5,29	26,32
300	5,00	17,47	23,32	2,82	1,00	1	4,66	23,19

QUADRO A3 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 2009 NA CONDIÇÃO NI

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3								
20	0,33	78,90	2,71	0,19	0,17	1	8,20	6,93
40	0,67	54,43	7,17	0,38	0,3	1	10,70	15,95
60	1,00	42,04	10,12	0,56	0,42	1	10,12	21,13
80	1,33	34,48	12,32	0,75	0,53	1	9,26	24,40
120	2,00	28,08	15,65	1,13	0,72	1	7,82	28,01
180	3,00	18,76	18,93	1,69	0,92	1	6,31	28,87
240	4,00	14,93	21,28	2,26	1	1	5,32	26,45
300	5,00	12,47	23,11	2,82	1,00	1	4,62	22,98
Tr 5								
20	0,33	83,89	3,30	0,19	0,17	1	10,00	8,45
40	0,67	57,87	8,35	0,38	0,3	1	12,46	18,58
60	1,00	44,70	11,63	0,56	0,42	1	11,63	24,30
80	1,33	36,66	14,07	0,75	0,53	1	10,58	27,88
120	2,00	29,85	17,75	1,13	0,72	1	8,87	31,77
180	3,00	19,94	21,36	1,69	0,92	1	7,12	32,57
240	4,00	15,87	23,93	2,26	1	1	5,98	29,75
300	5,00	13,25	25,93	2,82	1,00	1	5,19	25,79
Tr 10								
20	0,33	91,16	4,25	0,19	0,17	1	12,86	10,87
40	0,67	62,89	10,17	0,38	0,3	1	15,18	22,64
60	1,00	48,57	13,96	0,56	0,42	1	13,96	29,16
80	1,33	39,83	16,75	0,75	0,53	1	12,60	33,20
120	2,00	32,44	20,94	1,13	0,72	1	10,47	37,47
180	3,00	21,67	25,03	1,69	0,92	1	8,34	38,16
240	4,00	17,25	27,93	2,26	1	1	6,98	34,72
300	5,00	14,40	30,18	2,82	1,00	1	6,04	30,02
Tr 15								
20	0,33	95,71	4,88	0,19	0,17	1	14,79	12,50
40	0,67	66,03	11,37	0,38	0,3	1	16,97	25,31
60	1,00	51,00	15,48	0,56	0,42	1	15,48	32,33
80	1,33	41,82	18,49	0,75	0,53	1	13,91	36,64
120	2,00	34,06	23,00	1,13	0,72	1	11,50	41,17
180	3,00	22,76	27,39	1,69	0,92	1	9,13	41,76
240	4,00	18,11	30,50	2,26	1	1	7,62	37,91
300	5,00	15,12	32,91	2,82	1,00	1	6,58	32,73
Tr 20								
20	0,33	99,07	5,37	0,19	0,17	1	16,28	13,76
40	0,67	68,35	12,28	0,38	0,3	1	18,33	27,34
60	1,00	52,79	16,63	0,56	0,42	1	16,63	34,73
80	1,33	43,29	19,81	0,75	0,53	1	14,89	39,25
120	2,00	35,25	24,55	1,13	0,72	1	12,28	43,95
180	3,00	23,55	29,17	1,69	0,92	1	9,72	44,47
240	4,00	18,75	32,43	2,26	1	1	8,11	40,31
300	5,00	15,65	34,96	2,82	1,00	1	6,99	34,77
Tr 25								
20	0,33	101,76	5,78	0,19	0,17	1	17,51	14,80
40	0,67	70,20	13,02	0,38	0,3	1	19,44	29,00
60	1,00	54,22	17,57	0,56	0,42	1	17,57	36,68
80	1,33	44,46	20,88	0,75	0,53	1	15,70	41,37
120	2,00	36,21	25,81	1,13	0,72	1	12,91	46,21
180	3,00	24,19	30,61	1,69	0,92	1	10,20	46,67
240	4,00	19,25	33,99	2,26	1	1	8,50	42,25
300	5,00	16,08	36,62	2,82	1,00	1	7,32	36,41
Tr 50								
20	0,33	110,58	7,18	0,19	0,17	1	21,75	18,38
40	0,67	76,29	15,56	0,38	0,3	1	23,22	34,63
60	1,00	58,92	20,73	0,56	0,42	1	20,73	43,29
80	1,33	48,32	24,49	0,75	0,53	1	18,41	48,52
120	2,00	39,35	30,05	1,13	0,72	1	15,02	53,79
180	3,00	26,29	35,43	1,69	0,92	1	11,81	54,03
240	4,00	20,92	39,22	2,26	1	1	9,81	48,76
300	5,00	17,47	42,16	2,82	1,00	1	8,43	41,92

QUADRO A4 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 1976 NA CONDIÇÃO NII

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	3,14	0,19	0,17	1	9,50	8,03
40	0,67	54,43	7,91	0,38	0,3	1	11,80	17,60
60	1,00	42,04	11,01	0,56	0,42	1	11,01	23,00
80	1,33	34,48	13,31	0,75	0,53	1	10,01	26,38
120	2,00	28,08	16,78	1,13	0,72	1	8,39	30,04
180	3,00	18,76	20,19	1,69	0,92	1	6,73	30,78
240	4,00	14,93	22,61	2,26	1	1	5,65	28,10
300	5,00	12,47	24,50	2,82	1,00	1	4,90	24,36
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	3,78	0,19	0,17	1	11,46	9,68
40	0,67	57,87	9,15	0,38	0,3	1	13,66	20,38
60	1,00	44,70	12,60	0,56	0,42	1	12,60	26,32
80	1,33	36,66	15,14	0,75	0,53	1	11,39	30,01
120	2,00	29,85	18,96	1,13	0,72	1	9,48	33,94
180	3,00	19,94	22,69	1,69	0,92	1	7,56	34,60
240	4,00	15,87	25,34	2,26	1	1	6,34	31,50
300	5,00	13,25	27,40	2,82	1,00	1	5,48	27,25
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	4,80	0,19	0,17	1	14,54	12,29
40	0,67	62,89	11,07	0,38	0,3	1	16,52	24,64
60	1,00	48,57	15,03	0,56	0,42	1	15,03	31,39
80	1,33	39,83	17,93	0,75	0,53	1	13,48	35,53
120	2,00	32,44	22,25	1,13	0,72	1	11,13	39,84
180	3,00	21,67	26,47	1,69	0,92	1	8,82	40,37
240	4,00	17,25	29,45	2,26	1	1	7,36	36,61
300	5,00	14,40	31,77	2,82	1,00	1	6,35	31,59
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	5,48	0,19	0,17	1	16,60	14,04
40	0,67	66,03	12,32	0,38	0,3	1	18,39	27,44
60	1,00	51,00	16,61	0,56	0,42	1	16,61	34,68
80	1,33	41,82	19,73	0,75	0,53	1	14,84	39,10
120	2,00	34,06	24,38	1,13	0,72	1	12,19	43,65
180	3,00	22,76	28,90	1,69	0,92	1	9,63	44,07
240	4,00	18,11	32,09	2,26	1	1	8,02	39,89
300	5,00	15,12	34,56	2,82	1,00	1	6,91	34,37
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	6,00	0,19	0,17	1	18,19	15,38
40	0,67	68,35	13,28	0,38	0,3	1	19,81	29,56
60	1,00	52,79	17,80	0,56	0,42	1	17,80	37,17
80	1,33	43,29	21,09	0,75	0,53	1	15,86	41,79
120	2,00	35,25	25,98	1,13	0,72	1	12,99	46,51
180	3,00	23,55	30,73	1,69	0,92	1	10,24	46,85
240	4,00	18,75	34,07	2,26	1	1	8,52	42,35
300	5,00	15,65	36,66	2,82	1,00	1	7,33	36,46
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	6,43	0,19	0,17	1	19,50	16,48
40	0,67	70,20	14,05	0,38	0,3	1	20,97	31,28
60	1,00	54,22	18,77	0,56	0,42	1	18,77	39,20
80	1,33	44,46	22,20	0,75	0,53	1	16,69	43,98
120	2,00	36,21	27,28	1,13	0,72	1	13,64	48,83
180	3,00	24,19	32,20	1,69	0,92	1	10,73	49,10
240	4,00	19,25	35,67	2,26	1	1	8,92	44,34
300	5,00	16,08	38,36	2,82	1,00	1	7,67	38,14
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	7,92	0,19	0,17	1	24,00	20,28
40	0,67	76,29	16,69	0,38	0,3	1	24,90	37,15
60	1,00	58,92	22,04	0,56	0,42	1	22,04	46,03
80	1,33	48,32	25,91	0,75	0,53	1	19,48	51,35
120	2,00	39,35	31,63	1,13	0,72	1	15,81	56,62
180	3,00	26,29	37,15	1,69	0,92	1	12,38	56,64
240	4,00	20,92	41,02	2,26	1	1	10,25	50,99
300	5,00	17,47	44,01	2,82	1,00	1	8,80	43,77

QUADRO A5 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 1984 NA CONDIÇÃO NII

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	3,61	0,19	0,17	1	10,94	9,25
40	0,67	54,43	8,70	0,38	0,3	1	12,99	19,37
60	1,00	42,04	11,96	0,56	0,42	1	11,96	24,98
80	1,33	34,48	14,37	0,75	0,53	1	10,80	28,46
120	2,00	28,08	17,97	1,13	0,72	1	8,99	32,17
180	3,00	18,76	21,49	1,69	0,92	1	7,16	32,78
240	4,00	14,93	23,99	2,26	1,00	1	6,00	29,83
300	5,00	12,47	25,94	2,82	1,00	1	5,19	25,80
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	4,31	0,19	0,17	1	13,05	11,03
40	0,67	57,87	10,01	0,38	0,3	1	14,94	22,29
60	1,00	44,70	13,62	0,56	0,42	1	13,62	28,45
80	1,33	36,66	16,27	0,75	0,53	1	12,23	32,24
120	2,00	29,85	20,23	1,13	0,72	1	10,11	36,21
180	3,00	19,94	24,08	1,69	0,92	1	8,03	36,72
240	4,00	15,87	26,81	2,26	1,00	1	6,70	33,33
300	5,00	13,25	28,93	2,82	1,00	1	5,79	28,77
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	5,40	0,19	0,17	1	16,37	13,83
40	0,67	62,89	12,02	0,38	0,3	1	17,94	26,77
60	1,00	48,57	16,15	0,56	0,42	1	16,15	33,73
80	1,33	39,83	19,16	0,75	0,53	1	14,41	37,97
120	2,00	32,44	23,63	1,13	0,72	1	11,82	42,30
180	3,00	21,67	27,97	1,69	0,92	1	9,32	42,66
240	4,00	17,25	31,04	2,26	1,00	1	7,76	38,58
300	5,00	14,40	33,41	2,82	1,00	1	6,68	33,22
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	6,13	0,19	0,17	1	18,57	15,69
40	0,67	66,03	13,33	0,38	0,3	1	19,90	29,68
60	1,00	51,00	17,79	0,56	0,42	1	17,79	37,15
80	1,33	41,82	21,03	0,75	0,53	1	15,81	41,66
120	2,00	34,06	25,83	1,13	0,72	1	12,91	46,23
180	3,00	22,76	30,47	1,69	0,92	1	10,16	46,46
240	4,00	18,11	33,74	2,26	1,00	1	8,43	41,94
300	5,00	15,12	36,27	2,82	1,00	1	7,25	36,07
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	6,68	0,19	0,17	1	20,26	17,12
40	0,67	68,35	14,33	0,38	0,3	1	21,38	31,90
60	1,00	52,79	19,03	0,56	0,42	1	19,03	39,73
80	1,33	43,29	22,43	0,75	0,53	1	16,87	44,45
120	2,00	35,25	27,47	1,13	0,72	1	13,73	49,17
180	3,00	23,55	32,34	1,69	0,92	1	10,78	49,31
240	4,00	18,75	35,76	2,26	1,00	1	8,94	44,46
300	5,00	15,65	38,41	2,82	1,00	1	7,68	38,20
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	7,14	0,19	0,17	1	21,64	18,29
40	0,67	70,20	15,14	0,38	0,3	1	22,59	33,70
60	1,00	54,22	20,03	0,56	0,42	1	20,03	41,83
80	1,33	44,46	23,57	0,75	0,53	1	17,72	46,70
120	2,00	36,21	28,80	1,13	0,72	1	14,40	51,56
180	3,00	24,19	33,85	1,69	0,92	1	11,28	51,62
240	4,00	19,25	37,40	2,26	1,00	1	9,35	46,49
300	5,00	16,08	40,15	2,82	1,00	1	8,03	39,92
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	8,71	0,19	0,17	1	26,40	22,32
40	0,67	76,29	17,87	0,38	0,3	1	26,67	39,79
60	1,00	58,92	23,41	0,56	0,42	1	23,41	48,89
80	1,33	48,32	27,40	0,75	0,53	1	20,60	54,29
120	2,00	39,35	33,27	1,13	0,72	1	16,63	59,55
180	3,00	26,29	38,91	1,69	0,92	1	12,97	59,33
240	4,00	20,92	42,86	2,26	1,00	1	10,72	53,28
300	5,00	17,47	45,92	2,82	1,00	1	9,18	45,66

QUADRO A6 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 2009 NA CONDIÇÃO NII

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	8,55	0,19	0,17	1	25,92	21,91
40	0,67	54,43	16,09	0,38	0,30	1	24,02	35,83
60	1,00	42,04	20,50	0,56	0,42	1	20,50	42,81
80	1,33	34,48	23,63	0,75	0,53	1	17,76	46,81
106	1,77	29,35	28,18	1,00	0,65	1	15,92	51,46
180	3,00	25,63	32,51	1,69	0,92	1	10,84	49,57
240	4,00	22,80	35,53	2,26	1,00	1	8,88	44,16
300	5,00	20,57	37,85	2,82	1,00	1	7,57	37,64
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	9,66	0,19	0,17	1	29,28	24,75
40	0,67	57,87	17,89	0,38	0,30	1	26,70	39,83
60	1,00	44,70	22,67	0,56	0,42	1	22,67	47,34
80	1,33	36,66	26,05	0,75	0,53	1	19,59	51,62
106	1,77	31,20	30,97	1,00	0,65	1	17,50	56,54
180	3,00	27,25	35,63	1,69	0,92	1	11,88	54,33
240	4,00	24,24	38,88	2,26	1,00	1	9,72	48,33
300	5,00	21,87	41,37	2,82	1,00	1	8,27	41,14
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	11,34	0,19	0,17	1	34,37	29,05
40	0,67	62,89	20,58	0,38	0,30	1	30,72	45,82
60	1,00	48,57	25,90	0,56	0,42	1	25,90	54,09
80	1,33	39,83	29,66	0,75	0,53	1	22,30	58,76
106	1,77	33,91	35,09	1,00	0,65	1	19,83	64,07
180	3,00	29,61	40,25	1,69	0,92	1	13,42	61,37
240	4,00	26,34	43,83	2,26	1,00	1	10,96	54,48
300	5,00	23,76	46,57	2,82	1,00	1	9,31	46,32
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	12,42	0,19	0,17	1	37,64	31,82
40	0,67	66,03	22,29	0,38	0,30	1	33,27	49,63
60	1,00	51,00	27,96	0,56	0,42	1	27,96	58,38
80	1,33	41,82	31,94	0,75	0,53	1	24,02	63,29
106	1,77	35,60	37,71	1,00	0,65	1	21,31	68,86
180	3,00	31,09	43,17	1,69	0,92	1	14,39	65,82
240	4,00	27,65	46,95	2,26	1,00	1	11,74	58,36
300	5,00	24,95	49,86	2,82	1,00	1	9,97	49,58
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	13,24	0,19	0,17	1	40,11	33,91
40	0,67	68,35	23,58	0,38	0,30	1	35,19	52,49
60	1,00	52,79	29,49	0,56	0,42	1	29,49	61,58
80	1,33	43,29	33,65	0,75	0,53	1	25,30	66,67
106	1,77	36,85	39,65	1,00	0,65	1	22,40	72,41
180	3,00	32,18	45,34	1,69	0,92	1	15,11	69,13
240	4,00	28,63	49,28	2,26	1,00	1	12,32	61,26
300	5,00	25,82	52,30	2,82	1,00	1	10,46	52,01
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	13,90	0,19	0,17	1	42,11	35,60
40	0,67	70,20	24,61	0,38	0,30	1	36,73	54,79
60	1,00	54,22	30,72	0,56	0,42	1	30,72	64,16
80	1,33	44,46	35,02	0,75	0,53	1	26,33	69,39
106	1,77	37,85	41,22	1,00	0,65	1	23,29	75,27
180	3,00	33,05	47,09	1,69	0,92	1	15,70	71,80
240	4,00	29,40	51,15	2,26	1,00	1	12,79	63,58
300	5,00	26,52	54,26	2,82	1,00	1	10,85	53,96
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	16,11	0,19	0,17	1	48,82	41,26
40	0,67	76,29	28,06	0,38	0,30	1	41,88	62,47
60	1,00	58,92	34,83	0,56	0,42	1	34,83	72,73
80	1,33	48,32	39,57	0,75	0,53	1	29,75	78,41
106	1,77	41,13	46,41	1,00	0,65	1	26,22	84,74
180	3,00	35,92	52,86	1,69	0,92	1	17,62	80,60
240	4,00	31,95	57,32	2,26	1,00	1	14,33	71,26
300	5,00	28,82	60,74	2,82	1,00	1	12,15	60,41

QUADRO A7 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 1976 NA CONDIÇÃO NIII

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	9,57	0,19	0,17	1	29,00	24,51
40	0,67	54,43	17,48	0,38	0,30	1	26,09	38,92
60	1,00	42,04	22,05	0,56	0,42	1	22,05	46,05
80	1,33	34,48	25,28	0,75	0,53	1	19,01	50,08
106	2,00	29,35	29,96	1,00	0,72	1	14,98	53,63
180	3,00	25,63	34,39	1,69	0,92	1	11,46	52,45
240	4,00	22,80	37,48	2,26	1,00	1	9,37	46,59
300	5,00	20,57	39,84	2,82	1,00	1	7,97	39,62
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	10,75	0,19	0,17	1	32,56	27,52
40	0,67	57,87	19,35	0,38	0,30	1	28,88	43,08
60	1,00	44,70	24,29	0,56	0,42	1	24,29	50,73
80	1,33	36,66	27,77	0,75	0,53	1	20,88	55,03
106	2,00	31,20	32,81	1,00	0,72	1	16,41	58,74
180	3,00	27,25	37,58	1,69	0,92	1	12,53	57,31
240	4,00	24,24	40,89	2,26	1,00	1	10,22	50,83
300	5,00	21,87	43,43	2,82	1,00	1	8,69	43,19
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	12,51	0,19	0,17	1	37,92	32,05
40	0,67	62,89	22,13	0,38	0,30	1	33,03	49,28
60	1,00	48,57	27,62	0,56	0,42	1	27,62	57,68
80	1,33	39,83	31,47	0,75	0,53	1	23,66	62,36
106	2,00	33,91	37,03	1,00	0,72	1	18,52	66,29
180	3,00	29,61	42,29	1,69	0,92	1	14,10	64,49
240	4,00	26,34	45,93	2,26	1,00	1	11,48	57,10
300	5,00	23,76	48,73	2,82	1,00	1	9,75	48,46
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	13,65	0,19	0,17	1	41,36	34,96
40	0,67	66,03	23,90	0,38	0,30	1	35,68	53,22
60	1,00	51,00	29,73	0,56	0,42	1	29,73	62,08
80	1,33	41,82	33,81	0,75	0,53	1	25,42	66,99
106	2,00	35,60	39,70	1,00	0,72	1	19,85	71,07
180	3,00	31,09	45,26	1,69	0,92	1	15,09	69,02
240	4,00	27,65	49,11	2,26	1,00	1	12,28	61,05
300	5,00	24,95	52,06	2,82	1,00	1	10,41	51,77
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	14,50	0,19	0,17	1	43,95	37,15
40	0,67	68,35	25,23	0,38	0,30	1	37,65	56,16
60	1,00	52,79	31,30	0,56	0,42	1	31,30	65,37
80	1,33	43,29	35,56	0,75	0,53	1	26,73	70,45
106	2,00	36,85	41,69	1,00	0,72	1	20,84	74,62
180	3,00	32,18	47,47	1,69	0,92	1	15,82	72,39
240	4,00	28,63	51,47	2,26	1,00	1	12,87	63,98
300	5,00	25,82	54,54	2,82	1,00	1	10,91	54,24
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	15,19	0,19	0,17	1	46,04	38,91
40	0,67	70,20	26,29	0,38	0,30	1	39,24	58,53
60	1,00	54,22	32,57	0,56	0,42	1	32,57	68,01
80	1,33	44,46	36,96	0,75	0,53	1	27,79	73,23
106	2,00	37,85	43,29	1,00	0,72	1	21,64	77,48
180	3,00	33,05	49,25	1,69	0,92	1	16,42	75,09
240	4,00	29,40	53,37	2,26	1,00	1	13,34	66,34
300	5,00	26,52	56,53	2,82	1,00	1	11,31	56,21
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	17,50	0,19	0,17	1	53,03	44,82
40	0,67	76,29	29,83	0,38	0,30	1	44,53	66,42
60	1,00	58,92	36,76	0,56	0,42	1	36,76	76,77
80	1,33	48,32	41,60	0,75	0,53	1	31,28	82,43
106	2,00	41,13	48,56	1,00	0,72	1	24,28	86,92
180	3,00	35,92	55,11	1,69	0,92	1	18,37	84,03
240	4,00	31,95	59,63	2,26	1,00	1	14,91	74,12
300	5,00	28,82	63,09	2,82	1,00	1	12,62	62,74

QUADRO A8 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 1984 NA CONDIÇÃO NIII

td (min)	td (horas)	imax (mm.h ⁻¹)	Pe (mm)	td/T	Z	Y	X	Qmáx (m ³ .s ⁻¹)
Tr 3 anos								
20	0,33	78,90	10,69	0,19	0,17	1	32,41	27,39
40	0,67	54,43	18,98	0,38	0,30	1	28,32	42,25
60	1,00	42,04	23,71	0,56	0,42	1	23,71	49,50
80	1,33	34,48	27,03	0,75	0,53	1	20,32	53,55
106	2,00	29,35	31,83	1,00	0,72	1	15,92	56,98
180	3,00	25,63	36,37	1,69	0,92	1	12,12	55,46
240	4,00	22,80	39,51	2,26	1,00	1	9,88	49,12
300	5,00	20,57	41,93	2,82	1,00	1	8,39	41,69
Tr 5 anos								
20	0,33	83,89	11,93	0,19	0,17	1	36,17	30,57
40	0,67	57,87	20,91	0,38	0,30	1	31,21	46,56
60	1,00	44,70	26,01	0,56	0,42	1	26,01	54,33
80	1,33	36,66	29,59	0,75	0,53	1	22,25	58,63
106	2,00	31,20	34,76	1,00	0,72	1	17,38	62,21
180	3,00	27,25	39,62	1,69	0,92	1	13,21	60,42
240	4,00	24,24	43,00	2,26	1,00	1	10,75	53,45
300	5,00	21,87	45,58	2,82	1,00	1	9,12	45,33
Tr 10 anos								
20	0,33	91,16	13,79	0,19	0,17	1	41,80	35,33
40	0,67	62,89	23,79	0,38	0,30	1	35,51	52,97
60	1,00	48,57	29,43	0,56	0,42	1	29,43	61,47
80	1,33	39,83	33,38	0,75	0,53	1	25,10	66,14
106	2,00	33,91	39,06	1,00	0,72	1	19,53	69,92
180	3,00	29,61	44,42	1,69	0,92	1	14,81	67,73
240	4,00	26,34	48,12	2,26	1,00	1	12,03	59,82
300	5,00	23,76	50,96	2,82	1,00	1	10,19	50,67
Tr 15 anos								
20	0,33	95,71	14,98	0,19	0,17	1	45,41	38,38
40	0,67	66,03	25,61	0,38	0,30	1	38,23	57,03
60	1,00	51,00	31,60	0,56	0,42	1	31,60	65,98
80	1,33	41,82	35,77	0,75	0,53	1	26,90	70,88
106	2,00	35,60	41,79	1,00	0,72	1	20,89	74,80
180	3,00	31,09	47,44	1,69	0,92	1	15,81	72,34
240	4,00	27,65	51,35	2,26	1,00	1	12,84	63,83
300	5,00	24,95	54,34	2,82	1,00	1	10,87	54,04
Tr 20 anos								
20	0,33	99,07	15,87	0,19	0,17	1	48,11	40,66
40	0,67	68,35	26,98	0,38	0,30	1	40,26	60,06
60	1,00	52,79	33,21	0,56	0,42	1	33,21	69,35
80	1,33	43,29	37,55	0,75	0,53	1	28,24	74,41
106	2,00	36,85	43,80	1,00	0,72	1	21,90	78,41
180	3,00	32,18	49,68	1,69	0,92	1	16,56	75,76
240	4,00	28,63	53,74	2,26	1,00	1	13,44	66,80
300	5,00	25,82	56,85	2,82	1,00	1	11,37	56,53
Tr 25 anos								
20	0,33	101,76	16,59	0,19	0,17	1	50,29	42,51
40	0,67	70,20	28,07	0,38	0,30	1	41,90	62,50
60	1,00	54,22	34,50	0,56	0,42	1	34,50	72,05
80	1,33	44,46	38,99	0,75	0,53	1	29,31	77,25
106	2,00	37,85	45,43	1,00	0,72	1	22,71	81,32
180	3,00	33,05	51,48	1,69	0,92	1	17,16	78,50
240	4,00	29,40	55,66	2,26	1,00	1	13,92	69,19
300	5,00	26,52	58,86	2,82	1,00	1	11,77	58,54
Tr 50 anos								
20	0,33	110,58	19,00	0,19	0,17	1	57,56	48,66
40	0,67	76,29	31,70	0,38	0,30	1	47,32	70,58
60	1,00	58,92	38,79	0,56	0,42	1	38,79	81,00
80	1,33	48,32	43,72	0,75	0,53	1	32,87	86,62
106	2,00	41,13	50,79	1,00	0,72	1	25,39	90,91
180	3,00	35,92	57,43	1,69	0,92	1	19,14	87,56
240	4,00	31,95	62,00	2,26	1,00	1	15,50	77,07
300	5,00	28,82	65,50	2,82	1,00	1	13,10	65,14

QUADRO A9 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DA VAZÃO PARA O ANO DE 2009 NA CONDIÇÃO NIII