

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

BIANCA IANSEN DE MATTOS

**DRENAGEM SUSTENTÁVEL: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE
COBERTURAS VERDES E PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL**

GUARAPUAVA

2021

BIANCA IANSEN DE MATTOS

**DRENAGEM SUSTENTÁVEL: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE
COBERTURAS VERDES E PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL**

**Sustainable Drainage: Analysis of the influence of the use of Green Roofs and
Permeable Pavements on surface runoff**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Dra. Joice Cristini Kuritza.

GUARAPUAVA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

BIANCA IANSEN DE MATTOS

**DRENAGEM SUSTENÁVEL: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE
COBERTURAS VERDES E PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03/dezembro/2021

Joice Cristini Kuritza
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Adelena Gonçalves Maia
Doutorado
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Mariane Kempka
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2021

Dedico este trabalho à minha mãe, pelo carinho,
cuidado e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, por me motivar e estar sempre presente. Nada seria possível sem você.

À minha família, pelo apoio nos momentos difíceis e por compreenderem minha ausência.

Ao Jackson, pelo companheirismo e carinho.

À minha orientadora Prof. Dra. Joice Cristini Kuritza, cuja dedicação e sabedoria serviram como pilares de sustentação para a conclusão deste trabalho.

À Prestes Construtora pela disponibilização do material necessário para a realização dessa pesquisa.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

O desenvolvimento urbano tende a diminuir as coberturas vegetais do solo e aumentar as áreas impermeáveis, o que causa transtorno ao meio ambiente e aos sistemas de drenagem já implantados. O aumento excessivo nas taxas de escoamento superficial provoca enchentes e inundações que, por sua vez, causam inúmeros impactos negativos ao meio ambiente. A drenagem urbana é o conjunto de medidas que visa atenuar os riscos que a sociedade está sujeita e minimizar os prejuízos causados por enchentes e inundações, mas as técnicas tradicionais, além de caras, não solucionam completamente o problema, pois apenas transferem o impacto para jusante. Nesse contexto, a drenagem sustentável surge com o objetivo de reduzir os impactos da urbanização através do controle do escoamento superficial, aplicando medidas de controle no lote que simulam o ciclo hidrológico natural. De forma a analisar a redução do escoamento superficial urbano, os dispositivos abordados nesta pesquisa são as coberturas verdes e os pavimentos permeáveis, ambos caracterizados por permitir a infiltração da água precipitada. Foi realizada uma análise sobre a implementação dos dispositivos em um condomínio residencial no município de Guarapuava, comparando diversos cenários de aplicação destes dispositivos, aplicados de forma isolada e em conjunto, à condição inicial do condomínio. Para isso, foi realizada a caracterização hidrológica da região e da bacia hidrográfica na qual o condomínio está inserido. Além disso, através do software IPHS1, foram gerados hidrogramas resultantes para situações em relação ao condomínio e em relação a bacia, onde foi possível verificar que a implementação simultânea dos dispositivos resultou em uma redução de 72,9% da vazão de pico e de 66,9% do volume escoado para os sistemas de drenagem. Também, observou-se que mesmo a implementação isolada dos dispositivos apresentou redução significativa dos parâmetros avaliados.

Palavras-chave: IPHS1; escoamento superficial; vazão de pico.

ABSTRACT

Urban development tends to decrease soil vegetation cover and increase impermeable areas, which causes disruption to the environment and drainage systems already in place. The excessive increase in surface runoff rates causes floods and inundations, which in turn cause numerous negative impacts on the environment. Urban drainage is the set of measures aimed at reducing the risks that society is subject to and the damage caused by floods and inundations. Traditional techniques are expensive and do not completely solve the problem, as they only transfer the impact downstream. In this context, sustainable drainage emerges with the objective of reducing the impacts of urbanization through the control of surface runoff with the application of control measures in the lot, simulating the natural hydrological cycle. The devices covered in this research are the green roofs and the permeable pavements, characterized by allowing the infiltration of precipitated water. An analysis was carried out on the implementation of the devices in a residential allotment in the municipality of Guarapuava. Several application scenarios of these devices were compared, applied in isolation and together, to the initial condition of the allotment. For this, the hydrological characterization of the region and the hydrographic basin in which the allotment is inserted was performed. In addition, through the IPHS1 software, the resulting hydrograms were generated for situations in relation to the condominium and in relation to the watershed. It was possible to verify that the simultaneous implementation of the devices resulted in a reduction of 72,9% of the peak flow rate and 66,9% of the volume drained to drainage systems. It was also observed that, even the isolated implementation of the devices, presented a significant reduction of the parameters evaluated.

Keywords: IPHS1; surface runoff; peak flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Características para a definição do Hidrograma Unitário Sintético ..	23
Figura 2 - Representação do Hidrograma Unitário Sintético.....	24
Figura 3 - Projeção da população urbana e rural no mundo	28
Figura 4 - Processos que ocorrem em uma área urbana.....	29
Figura 5 - Influência da urbanização no hidrograma de uma bacia hidrográfica	30
Figura 6 - Camadas da cobertura verde	40
Figura 7 - Fluxograma do trabalho	45
Figura 8 - Localização do condomínio Vista Cilla	46
Figura 9 - Precipitação mensal do município de Guarapuava.....	47
Figura 10 - Curva IDF para o município de Guarapuava.....	48
Figura 11 - Implantação do Condomínio Vista Cilla	49
Figura 12 - Bacia hidrográfica delimitada com auxílio do QGIS	51
Figura 13 - Perfil longitudinal do curso principal	51
Figura 14 - Mapa de declividade da sub-bacia.....	52
Figura 15 - Curva hipsométrica da sub-bacia	52
Figura 16 - Hietograma de projeto	55
Figura 17 - Fluxograma dos cenários estudados	58
Figura 18 - Fluxograma dos cenários estudados	62
Figura 19 - Hidrograma resultante para a Situação 02 com CN 75	67
Figura 20 - Hidrograma resultante para a Situação 02 com CN 90	67
Figura 21 - Hidrograma resultante da Situação 03 com CN 75.....	68
Figura 22 - Hidrograma resultante para a Situação 03 com CN 90	68
Figura 23 - Hidrograma resultante para a Situação 04 com CN 75	69
Figura 24 - Hidrograma resultante para a Situação 04 com CN 90	69
Figura 25 Comparação dos volumes escoados para a Situação 02	70
Figura 26 - Comparação dos volumes escoados para a Situação 03.....	71
Figura 27 - Comparação dos volumes escoados para a Situação 04.....	71
Figura 28 - Coeficiente de escoamento para a Situação 02.....	72
Figura 29 - Coeficiente de escoamento pra a Situação 03.....	72
Figura 30 - Coeficiente de escoamento para a Situação 04.....	73
Figura 31 - Tempo de pico para a Situação 02.....	74
Figura 32 - Tempo de pico para a Situação 03.....	74
Figura 33 - Tempo de pico para a Situação 04.....	75
Figura 34 - Hidrograma resultante para a Situação 06.....	76
Figura 35 - Hidrograma resultante para a Situação 07 com CN 75	76
Figura 36 - Hidrograma resultante para a Situação 07 com CN 90	77
Figura 37 - Hidrograma resultante para a Situação 08 com CN 75	77
Figura 38 - Hidrograma resultante para a Situação 08 com CN 90	78

Figura 39 - Volume escoado para a Situação 06	79
Figura 40 – Comparação dos volumes escoados para a Situação 07	79
Figura 41 – Comparação dos volumes escoados para a Situação 08	80
Figura 42 - Coeficiente de escoamento para a Situação 06.....	81
Figura 43 – Comparação dos coeficientes de escoamento para a Situação 07	81
Figura 44 - Coeficiente de escoamento para a Situação 08.....	82
Figura 45 - Tempo de pico para a Situação 06.....	83
Figura 46 - Tempo de pico para a Situação 07.....	83
Figura 47 - Tempo de pico para a Situação 08.....	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação do Índice de Compacidade	18
Quadro 2 - Classificação do Fator de Forma	18
Quadro 3 - Classificação da Rede de Drenagem	19
Quadro 4 - Classificação do solo pelo método SCS	24
Quadro 5 - Principais características de medidas estruturais	33
Quadro 6 - Características dos grupos de medidas não estruturais	34
Quadro 7 - Características das camadas constituintes de coberturas verdes ..	40
Quadro 8 - Composição da estrutura de pavimentos permeáveis.....	43
Quadro 9 - Coeficiente CN em função da situação da cobertura verde	55
Quadro 10 - Coeficiente CN para as situações do pavimento permeável	56
Quadro 11 - Coeficiente CN para a condição inicial.....	56
Quadro 12 - Resumo dos cenários estudados	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de retorno para sistemas urbanos	21
Tabela 2 - Coeficiente CN para bacias rurais.....	25
Tabela 3 - Coeficiente CN para bacias urbanas e suburbanas.....	26
Tabela 4 – Descrição e quantificação das áreas estudadas.....	49
Tabela 4 – Descrição e quantificação das áreas estudadas.....	50
Tabela 5 - Chuva de projeto.....	54
Tabela 6 – Área impermeável e coeficiente CN para a Situação 01	58
Tabela 7 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 02	59
Tabela 8 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 03	59
Tabela 9 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 04	60
Tabela 10 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 05	62
Tabela 11 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 06	62
Tabela 12 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 07	62
Tabela 13 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 08	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BMP's	Best Management Practices
HEC-HMS	Hydrologic Modeling System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LID	Low Impact Development
MDE	Modelo Digital de Elevação
ONU	Organização das Nações Unidas
SCS	Soil Conservation Service
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
SWMM	Storm Water Management Model
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	ÁGUAS URBANAS	16
2.1	Conceitos Hidrológicos	16
2.1.1	Eventos de Projeto	19
2.1.2	Simulação Chuva-Vazão	22
2.2	A Urbanização e seus Impactos	27
3	DRENAGEM URBANA	31
3.1	Medidas de Controle	32
3.2	Drenagem Sustentável	35
4	MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE	38
4.1	Coberturas Verdes	38
4.2	Pavimentos Permeáveis	41
5	METODOLOGIA	45
5.1	Caracterização da área de estudo	46
5.1.1	Descrição da área estudada.....	46
5.1.2	Características hidrológicas	47
5.1.3	Definição e quantificação das áreas.....	48
5.2	Caracterização da bacia hidrográfica	50
5.3	Caracterização das variáveis	53
5.3.1	Valores dos coeficientes CN	55
5.4	Cenários hipotéticos estudados	57
5.5	Modelagem chuva-vazão	64
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	66
6.1	Simulação em relação ao condomínio	66
6.1.1	Vazão de pico.....	66
6.1.2	Volume escoado.....	70
6.1.3	Coeficiente de escoamento	72
6.1.4	Tempo de pico.....	73
6.2	Simulação em relação à bacia	75
6.2.1	Vazão de pico.....	75

6.2.2	Volume escoado.....	78
6.2.3	Coefficiente de escoamento	80
6.2.4	Tempo de pico.....	82
6.3	Discussão dos resultados	84
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
	REFERÊNCIAS.....	88
	APÊNDICE A - HIDROGRAMAS RESULTANTES DAS DEMAIS SITUAÇÕES EM RELAÇÃO AO CONDOMÍNIO.....	93
	APÊNDICE B - HIDROGRAMAS RESULTANTES DAS DEMAIS SITUAÇÕES EM RELAÇÃO À BACIA.....	97
	APÊNDICE C - RESUMO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS EM RELAÇÃO AO CONDOMÍNIO.....	100
	APÊNDICE D - RESUMO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS EM RELAÇÃO À BACIA.....	103

1 INTRODUÇÃO

Um dos processos que acompanham a trajetória humana ao longo da história é a urbanização, o qual representa uma das manifestações mais significativas e tem aumentado mundialmente desde a segunda metade do século XVII, como consequência da Revolução Industrial (TUCCI; BERTONI, 2003). Nesse contexto, e devido a um intenso processo de êxodo rural iniciado na segunda metade do século XX, o Brasil passa pelo processo de urbanização há décadas. A busca por melhores condições de vida fez com que a população se deslocasse das áreas rurais para os centros urbanos, fazendo com que a industrialização e sua expansão gerassem uma mudança no perfil das cidades cada vez maior. Segundo dados do IBGE (2012), apenas 30% da população vivia em centros urbanos em 1960, enquanto em 2010 essa porcentagem subiu para 84,4% dos moradores.

Caracterizado pelo aumento na quantidade de edificações, o rápido crescimento de centros urbanos agrava significativamente os problemas de cheias urbanas geradas pelo aumento do escoamento superficial, na medida em que o desenvolvimento urbano tende a diminuir as coberturas vegetais e aumentar a impermeabilização do solo (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2015). Assim, as cidades sofrem com o agravamento das cheias, acumulando não só perdas econômicas como sociais.

A drenagem urbana, inicialmente, teve como objetivo principal remover as águas pluviais em excesso a fim de evitar prejuízos e riscos de inundações. Com o tempo, esse conceito extravasou o campo da engenharia e se tornou um problema de gestão, definido como: *“o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável”* (TUCCI, 2001). Com isso, as técnicas tradicionais deixaram de ser eficazes, uma vez que as obras de drenagem além de serem muito caras não solucionam o problema em determinadas condições meteorológicas. Para Dias e Antunes (2010), uma alternativa para solucionar problemas de drenagem não convencionais é a drenagem sustentável.

A drenagem sustentável, ou compensatória, objetiva reduzir os impactos da urbanização através do controle do escoamento superficial o mais próximo possível da fonte, ou seja, do local onde a precipitação atinge o solo. Essa abordagem propõe

uso de medidas estruturais e não estruturais e incorpora o uso de dispositivos de retardo do escoamento (CRUZ; TUCCI; SILVEIRA, 1998). Dentre as principais medidas de controle na fonte pode-se citar o pavimento permeável e a cobertura (ou telhado) verde, caracterizados por resultar em condições hidrológicas similares às condições originais (DIAS; ANTUNES, 2010).

O uso de telhados verdes, por exemplo, tem auxiliado no controle do escoamento superficial, já que possui a capacidade de reter e absorver a água da chuva (CASTRO; GOLDEFUM, 2010). Para Righi et al. (2016), telhados verdes, coberturas verdes, coberturas vivas ou ecotelhados são estruturas caracterizadas pelo uso de vegetação em coberturas de edificações. Em seus estudos, Heneine (2008), define como coberturas verdes o uso de solo e vegetação em coberturas de edificações, com uma base impermeável e camadas adicionais de drenagem e sistema de irrigação.

Diversos autores (CASTRO; GOLDEFUM, 2010; FILHO et al., 2016; OHNUMA; MARQUES; SILVA, 2017) vem pesquisando sobre o tema nas últimas décadas. Dentre esses, pode-se destacar o trabalho de Castro e Goldefum (2010) que realizaram um estudo sobre o uso de telhados verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano e concluíram que seu uso reduz o volume de água escoado, sendo que a inclinação do telhado é um dos parâmetros que influencia a efetividade dos resultados.

Outra alternativa sustentável é o pavimento permeável, caracterizado por Virgiliis (2009) como o dispositivo que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevada e que influencia positivamente as taxas de escoamento. Filho, Széliga e Szesz (2000) caracterizam como uma alternativa onde o escoamento superficial é desviado para um reservatório de pedras sob o terreno, por meio de uma superfície permeável.

Dentre os inúmeros autores (BARROS; BOAVENTURA, 2020; CASTRO et al., 2013) que vem pesquisando sobre o tema, pode-se destacar o trabalho de Castro et al. (2013) que avaliou o comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial em dois tipos de revestimento, blocos vazados e asfalto poroso. Seu trabalho concluiu que o revestimento de blocos vazados tem controle adequado do volume de escoamento superficial, enquanto o revestimento asfáltico apresenta comprometimento da sua capacidade de infiltração.

1.1 Objetivos

Os objetivos desse trabalho são divididos em geral e específicos, conforme descrito nos itens subsequentes.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência do uso de técnicas compensatórias de drenagem urbana, coberturas verdes e pavimentos permeáveis, no escoamento superficial de águas pluviais em uma área urbana.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho, que importam atingir para alcance do objetivo geral, são:

- Descrever os benefícios e as limitações das técnicas compensatórias, denominadas coberturas verdes e pavimentos permeáveis, baseado em literatura técnica pertinente;
- Simular a aplicação de técnicas compensatórias de drenagem urbana em um estudo de caso;
- Avaliar o desempenho das técnicas compensatórias na redução das taxas de escoamento superficial.

2 ÁGUAS URBANAS

Neste capítulo, estão apresentados alguns conceitos de hidrologia, esclarecendo as etapas do ciclo hidrológico e os procedimentos de cálculo que foram necessários para o desenvolvimento da pesquisa, bem como sua relação com o processo de urbanização e os impactos ambientais associados.

2.1 Conceitos Hidrológicos

O enfoque central da hidrologia é o ciclo hidrológico, caracterizado, em uma escala global, pela circulação fechada de água entre a atmosfera e a superfície da terra, sendo alimentado pela energia solar e associado à rotação da terra e a força da gravidade. Os processos constituintes do ciclo hidrológico ocorrem de maneira contínua e dinâmica, onde a água evapora dos rios, oceanos, solos e coberturas vegetais, tornando-se parte da atmosfera; na atmosfera o vapor d'água condensa e forma as precipitações. Essas podem ser interceptadas pelas folhas e caules da vegetação, retornando à atmosfera pela evaporação, ou infiltrar no solo. A parcela de água que não consegue infiltrar no solo e não sofre o processo de evaporação gera o escoamento superficial (PIMENTEL, 2015).

Estudado geralmente na fase terrestre, o ciclo hidrológico tem como principal elemento de análise as bacias hidrográficas. As bacias hidrográficas são uma área de captação natural da água gerada pela precipitação, onde os escoamentos são convergidos para um único ponto de saída, chamado exutório. São compostas por superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos de água que convergem até resultar em um único leito no exutório (TUCCI, 2001).

O tipo de cheia gerada na bacia hidrográfica é influenciada pelas características da própria bacia, tornando seu conhecimento um fator fundamental. Na literatura, os aspectos que se destacam são: a área de drenagem, o coeficiente de escoamento e o tempo de concentração. Segundo Tonello (2005), a área de drenagem é entendida como toda a área drenada pelo conjunto de superfícies vertentes dentro dos divisores topográficos, projetada em plano horizontal. O coeficiente de escoamento é definido por Tucci (2000), como a representação da quantidade de água escoada gerada por uma bacia em eventos de chuva, variando

com a magnitude da precipitação e com a urbanização da própria bacia. Por fim, para Collischonn e Dornelles (2015), o tempo de concentração é definido como o tempo necessário para que a água da chuva saia do ponto mais remoto da bacia e chegue ao seu exutório, que pode ser calculado pela equação de Carter (Equação 1), considerando bacias com área de drenagem menor que 21km².

$$t_c = 5,96 \left(\frac{L^{0,6}}{S^{0,3}} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

t_c é o tempo de concentração, em minutos;
 L é o comprimento do curso d'água principal, em km;
 S é a declividade do curso d'água principal.

A declividade do curso d'água principal é estimado por Collschonn e Dornelles (2015) através da razão da diferença de altitude entre o ponto mais afastado e o exutório e o comprimento de drenagem do curso d'água principal, expressa pela Equação 2.

$$S = \frac{z_{100} - z_0}{L} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

S é a declividade do curso d'água principal, com unidade adimensional;
 z_{100} é a altitude do ponto mais afastado do exutório, em m;
 z_0 é a altitude do exutório, em m;
 L é o comprimento do curso d'água principal, em m.

Outros fatores também são importantes na caracterização de uma bacia hidrográfica, como os índices que estão relacionados a sua forma e a sua rede de drenagem. A forma superficial de uma bacia pode ser caracterizada a partir do índice de compacidade e do fator de forma. O índice de compacidade relaciona o perímetro da bacia em estudo com a circunferência de um círculo de área equivalente e pode ser calculado pela Equação 3. Já o fator de forma define a relação entre a largura e o comprimento da bacia através da Equação 4 (PIMENTEL, 2015).

$$K_c = 0,28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Equação 3

Onde:

K_c é o índice de compacidade;
 P é o perímetro da bacia, em km;
 A é a área da bacia, em km².

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Equação 4

Onde:

K_f é o fator de forma;
 A é a área da bacia, em km²;
 L é o comprimento do curso d'água principal, em km.

Ainda a respeito dos índices relacionados a forma da bacia, os mesmos são classificados por Collischonn e Dornelles (2015) quanto à sua susceptibilidade a enchente. A classificação para o índice de compacidade está apresentada no Quadro 1 e para o fator de forma no Quadro 2.

Quadro 1 - Classificação do Índice de Compacidade

Valores de K_c	Susceptibilidade a enchente
$1,00 \leq K_c < 1,25$	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
$1,25 \leq K_c < 1,50$	Bacia com tendência mediada a grandes enchentes
$K_c > 1,50$	Bacia não sujeita a grandes enchentes

FONTE: Collischonn e Dornelles (2015)**Quadro 2 - Classificação do Fator de Forma**

Valores de K_f	Susceptibilidade a enchente
$K_f \geq 0,75$	Bacia sujeita a enchentes
$0,50 < K_f < 0,75$	Bacia com tendência mediada a enchentes
$K_f \leq 0,50$	Bacia não sujeita a enchentes

FONTE: Collischonn e Dornelles (2015)

Já quanto aos índices relacionados a rede de drenagem, o fator destacado por Pimentel (2015) é a densidade da rede de drenagem, dada pela razão entre o

comprimento total de todos os cursos d'água da bacia e sua área de drenagem e pode ser calculada pela Equação 5.

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

D_d é a densidade da rede de drenagem, em km/km²;

L é o comprimento dos cursos d'água, em km;

A é a área de drenagem, em km².

Collischonn e Dornelles (2015) classificam as densidades de rede de drenagem de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação da Rede de Drenagem

Densidade da rede de drenagem	Característica da rede
$D_d < 0,5 \text{ km/km}^2$	Drenagem pobre
$0,5 < D_d < 1,5 \text{ km/km}^2$	Drenagem regular
$1,5 < D_d < 2,5 \text{ km/km}^2$	Drenagem boa
$2,5 < D_d < 3,5 \text{ km/km}^2$	Drenagem muito boa
$D_d > 3,5 \text{ km/km}^2$	Excepcionalmente bem drenada

FONTE: Collischonn e Dornelles (2015)

Quando se trata de ciclo hidrológico, uma das etapas mais perceptíveis no meio urbano é a chuva, já que ao precipitar sobre áreas impermeáveis não consegue infiltrar no solo, causando o aumento do escoamento superficial e gerando alagamentos. As chuvas podem ser quantificadas com o auxílio de pluviômetros ou pluviógrafos, os quais registram as precipitações que ocorrem no dia. Chamado de séries históricas, o conjunto de dados de precipitação diárias de uma região brasileira são disponibilizados pela ANA, e permitem a realização de estudos sobre a frequência, distribuição e variabilidade das precipitações (BUFFON, 2010).

2.1.1 Eventos de Projeto

Uma ocorrência extrema em uma bacia hidrográfica, com duração e distribuição temporal e espacial crítica é conhecida como precipitação máxima. Essa

ocorrência pode causar erosão do solo e inundações rurais e urbanas. Seu estudo é um dos métodos para a determinação da vazão de enchente de uma bacia, e ocorre através das curvas IDF, que representam a relação entre três variáveis: intensidade, duração e frequência, a partir da análise de chuvas intensas durante um determinado período de tempo, que representa os eventos extremos da região (TUCCI, 2001).

As curvas IDF são resultados da análise estatística de, no mínimo, 30 anos de séries históricas, retiradas de um determinado pluviógrafo. Sua representação gráfica é realizada com base nas maiores chuvas de determinada duração em cada ano dos dados obtidos, que são relacionadas com uma distribuição de frequência. Essa análise é realizada para diferentes durações da precipitação, constituindo a curva IDF da região em questão (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Além da forma gráfica, também é possível representar uma curva IDF a partir da Equação 6, trazida por diversos autores (TUCCI, 2001; COLLISCHONN; DORNELLES, 2015; CANHOLI, 2014).

$$i = \frac{a \times T_r^b}{(t + c)^d} \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

i é a intensidade, em mm/h;
 T_r é o tempo de retorno, em anos;
 t é a duração da chuva, em minutos;
 a, b, c, d são os parâmetros locais.

Pimentel (2015) define como tempo de retorno a probabilidade associada a um evento, ou seja, o intervalo de tempo em anos para que um evento ocorra novamente, de maneira semelhante ou superior e pode ser calculado pelo inverso da probabilidade de ocorrência de um evento. O tempo de retorno está associado ao tipo de obra de engenharia e, segundo Tucci e Bertoni (2003) pelo tipo de sistema urbano e sua característica, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de retorno para sistemas urbanos

Sistema	Característica	Intervalo	Valor frequente
Microdrenagem	Residencial	2-5	2
	Comercial	2-5	5
	Áreas de prédios públicos	2-5	5
	Aeroporto	5-10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5-10	10
Macro-drenagem		10-25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5-100	100

Fonte: Tucci e Bertoni (2012, p.54)

Quanto a duração da chuva, Collischonn e Dornelles (2015) evidenciam que normalmente utiliza-se o critério de adoção da duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica em estudo, mas em alguns casos pode-se seguir um critério pré-estabelecido.

Diferentes localidades possuem curvas IDF distintas, assim como a mesma localidade apresenta curvas IDF distintas para cada período de tempo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Uma alternativa que facilita o desenvolvimento das curvas IDF é o programa PLUVIO 2.1, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, que, segundo a ANA ([s.d.]), permite determinar os parâmetros das chuvas intensas para diversas localidades brasileiras.

As chuvas de projeto são uma representação simplificada da distribuição no tempo de uma determinada precipitação, utilizadas em simulações de chuva-vazão. Uma forma gráfica de demonstrar a intensidade da chuva ao longo de sua duração é através de hietogramas (BEMFICA; GOLDENFUM; SILVEIRA, 2000). Para Tucci (2001), os hietogramas de projeto são uma sequência de precipitações capazes de provocar a cheia de projeto, a maior enchente que a obra deve ser projetada.

Na literatura existem diversos métodos para desenvolvimento dos hietogramas, dentre os mais utilizados destaca-se o Método dos Blocos Alternados. Bemfica, Goldenfum e Silveira (2000) acrescentam que:

Por esse procedimento, após a definição da duração total da chuva a ser obtida e de seu tempo de retorno, são calculadas, com base nas relações IDF, as intensidades médias para a diversas durações até a duração total. Essas intensidades são, então, transformadas em alturas de chuva e representam os valores acumulados até o último intervalo. Os incrementos

entre um valor acumulado e outro são calculados e rearranjados, de forma que o maior valor se localize no centro da duração total da chuva, e os demais sejam dispostos em ordem decrescente, sempre um à direita e outro à esquerda do bloco central, alternadamente (BEMFICA; GOLDENFUM; SILVEIRA, 2000).

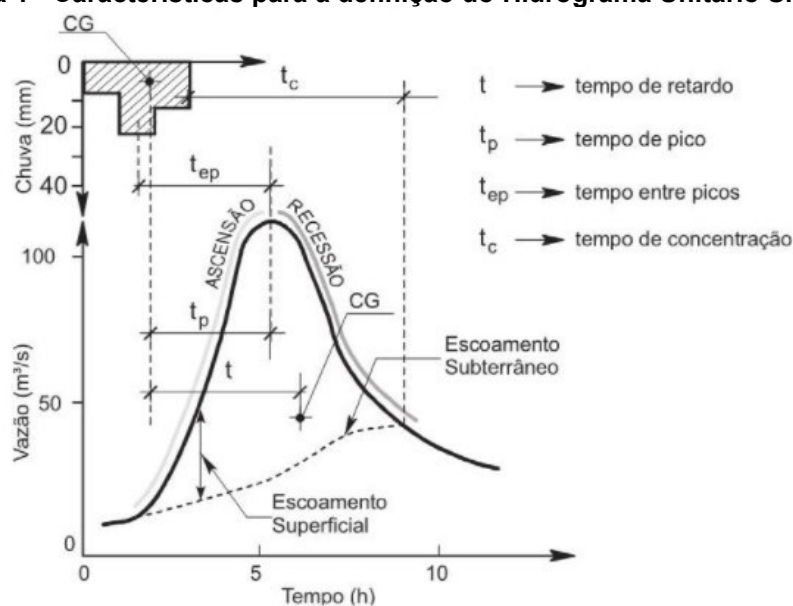
2.1.2 Simulação Chuva-Vazão

A interação de todos os elementos do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão gerada na bacia hidrográfica resulta na distribuição da vazão no tempo, representada por um gráfico chamado de hidrograma. Os hidrogramas podem ser caracterizados por três regiões: ascensão, correlacionada com a intensidade da precipitação; região de pico, próximo ao valor máximo; e recessão, onde o escoamento direto e o escoamento subterrâneo contribuem para a vazão do rio. O escoamento superficial é caracterizado pelas regiões de ascensão e de pico (TUCCI, 2001).

A resposta de uma bacia para um evento de chuva está relacionada com suas características físicas e com as características do próprio evento. Chuvas mais intensas tendem a ter uma maior geração de escoamento do que as chuvas menos intensas, apresentando hidrogramas distintos. Para identificar o hidrograma gerado por uma chuva, geralmente utiliza-se a teoria do hidrograma unitário, a qual é baseada na hipótese que a chuva efetiva e seu hidrograma gerado estão relacionados linearmente. O hidrograma unitário representa o escoamento direto gerado por uma chuva efetiva unitária, considerando que essa tem intensidade constante e está distribuída uniformemente sobre a área de drenagem (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Quando se tem a inexistência de dados de vazão, aplica-se o método do hidrograma unitário sintético, apresentado graficamente na Figura 1. Esse método é desenvolvido com base em estudos em bacias experimentais que apresentem os dados necessários, de forma a obter o hidrograma unitário e relacionar alguns parâmetros com as características da bacia hidrográfica, como a área de drenagem e o tempo de concentração (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Figura 1 - Características para a definição do Hidrograma Unitário Sintético



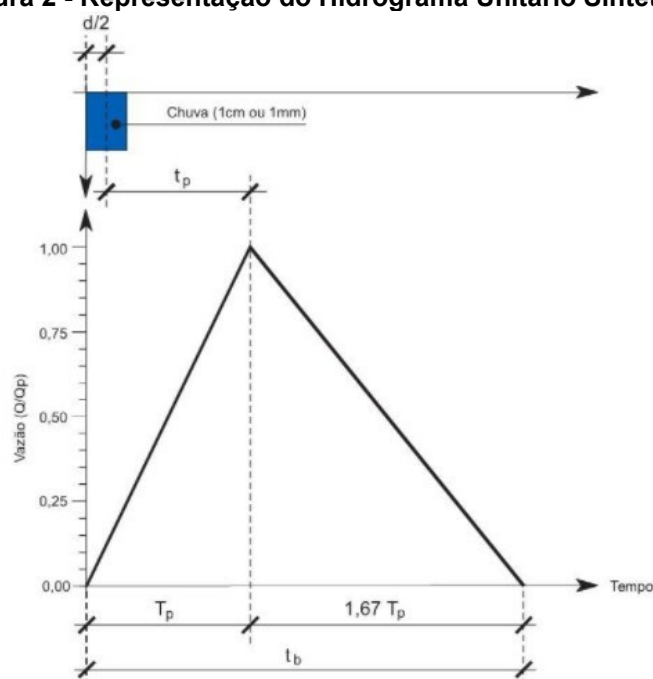
Fonte: Collischonn e Dornelles, (2015, p. 153)

As características importantes do hidrograma para a definição do hidrograma unitário sintético podem ser entendidas da seguinte maneira:

[...] o tempo de concentração é definido como o intervalo de tempo entre o final da ocorrência de chuva efetiva e o final do escoamento superficial [...]. O tempo entre picos é definido como o intervalo entre o pico da chuva efetiva e o pico da vazão superficial. O tempo de retardamento é definido como o intervalo de tempo entre os centros de gravidade do hidrograma (chuva efetiva) e do hidrograma superficial (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015, p. 153).

Uma variação do método do hidrograma unitário sintético é sua versão triangular apresentada na Figura 2, desenvolvida pelo SCS. Nessa variação, os hidrogramas unitários são “*aproximados por relações de tempo e vazão estimadas com base no tempo de concentração e na área das bacias*”, podendo ser aproximado por um triângulo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Figura 2 - Representação do Hidrograma Unitário Sintético



FONTE: Collischonn e Dornelles, (2015, p. 154)

A estimativa do volume escoado em bacias hidrográficas pode ser realizada através do Método da Curva Número ou CN, desenvolvido pelo SCS em 1954. É um método baseado na relação entre a intensidade da chuva, as condições de superfície da bacia e o volume escoado, onde o valor da Curva Número é “*uma função do uso e cobertura do solo, condições hidrológicas, grupo hidrológico do solo e condições de umidade antecedente*”. Para sua aplicação, considera-se que a intensidade da chuva efetiva é uma função da intensidade da chuva total e de um coeficiente CN (MACHADO, 2002). Para a definição dos coeficientes CN, os solos são classificados de acordo com o Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação do solo pelo método SCS

Grupo	Características
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração e solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

FONTE: Tucci (2001, p. 404)

Tucci (2001) aponta os valores do coeficiente CN para bacias rurais e bacias urbanas e suburbanas, relacionando o uso de solo e o tipo de superfície com o tipo de solo da região. Os valores do coeficiente CN são apresentados nas Tabela 2 e Tabela 3.

Tabela 2 - Coeficiente CN para bacias rurais

Uso do solo	Superfície	Tipo do solo			
		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	28	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
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras e 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, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

FONTE: Tucci (2001, p. 405)

Tabela 3 - Coeficiente CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo		Tipo do solo			
		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	Más condições	68	79	86	89
Baldios	Boas condições	39	61	74	80
Prado	Boas condições	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 golfe, cemitérios	Boas condições com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Boas condições com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonais industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais:					
Lotes de (m ²)	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
Arruamentos e estradas:					
Asfaltadas e com drenagem de águas		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

FONTE: Tucci (2001, p. 406)

Em seu estudo Rathke (2012) salienta que a transformação da precipitação em vazão pode ser realizada através de um *Software* desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS em parceria com a Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Pelotas, chamado de IPHS1. Tolentino (2018) ressalta outros dois *Softwares* que podem ser utilizados: o SWMM e o HEC-HMS.

2.2 A Urbanização e seus Impactos

A ONU define o que é urbano, por um ponto de vista demográfico, como um “agrupamento urbano de população igual ou superior a 20000 habitantes” e, por um ponto de vista geográfico, como uma ocupação contínua do espaço por determinado número de habitantes (ONU¹, *apud* CAMPANA, 1995). Esse conceito pode ser definido a partir de diversos pontos de vista, Ferrari (1977), por exemplo, define que cidade é um espaço contínuo ocupado por uma população densa e permanente, a qual tem sua evolução e estrutura determinada pelo meio físico, pelo desenvolvimento tecnológico e pelo seu modo de produção.

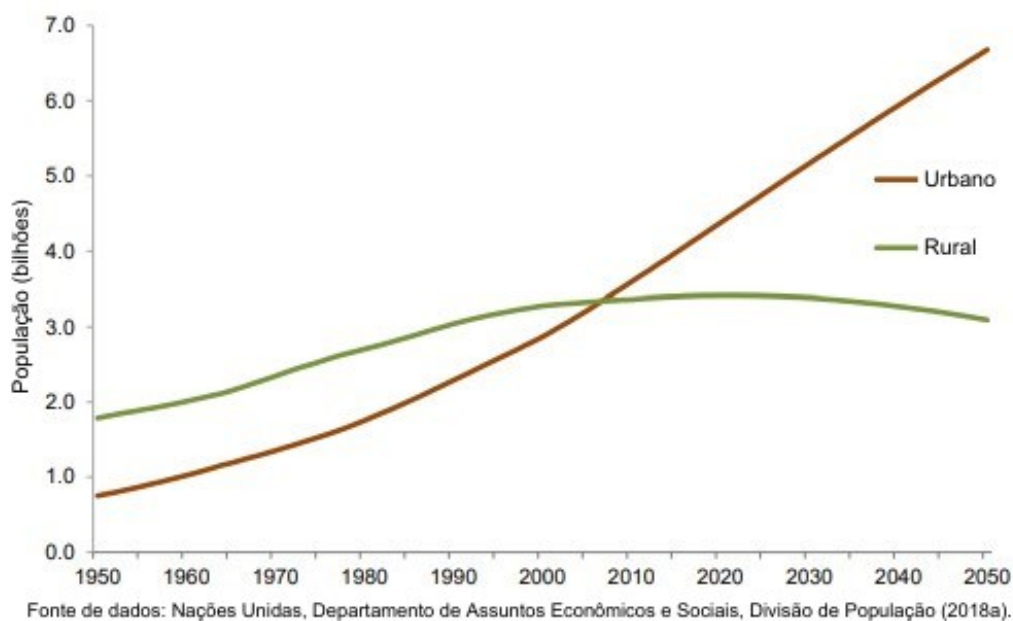
A urbanização em países desenvolvidos ocorreu de forma intensa como consequência da revolução industrial no início do século XX, enquanto em países em desenvolvimento essa intensificação da urbanização teve início na segunda metade século XX, caracterizado como um processo acelerado e mais desorganizado. Nas duas situações, a expansão das cidades acompanhou o crescimento populacional, juntamente com o desenvolvimento de novas residências, novos bairros e novos centros urbanos (IMADA, 2014).

O desenvolvimento urbano, e a forma como se desenvolve, é baseado na necessidade do homem de suprir suas necessidades básicas causando uma crescente demanda por espaço (VICENTINI, 2000). A população brasileira, nas últimas décadas, é caracterizada por Portela e Versentini (1998) pelos processos de urbanização e de êxodo rural que ocorreram devido a um significativo deslocamento da população rural para os centros urbanos. Segundo Hartiwig (2012), vários fatores explicam esse processo que ocorre desde 1950, dentre eles destaca a modernização do campo brasileiro que foi desenvolvida conforme um modelo de concentração de renda, elevando a produtividade, mas prejudicando pequenas e médias propriedades.

Na Figura 3 observa-se o crescimento populacional urbano e rural a partir de 1950 e sua projeção até o ano de 2050.

¹ ONU – Study Group (1970). **Outlook for space**, USA, p 60.

Figura 3 - Projeção da população urbana e rural no mundo



FONTE: United Nation, (2019, p. 5)

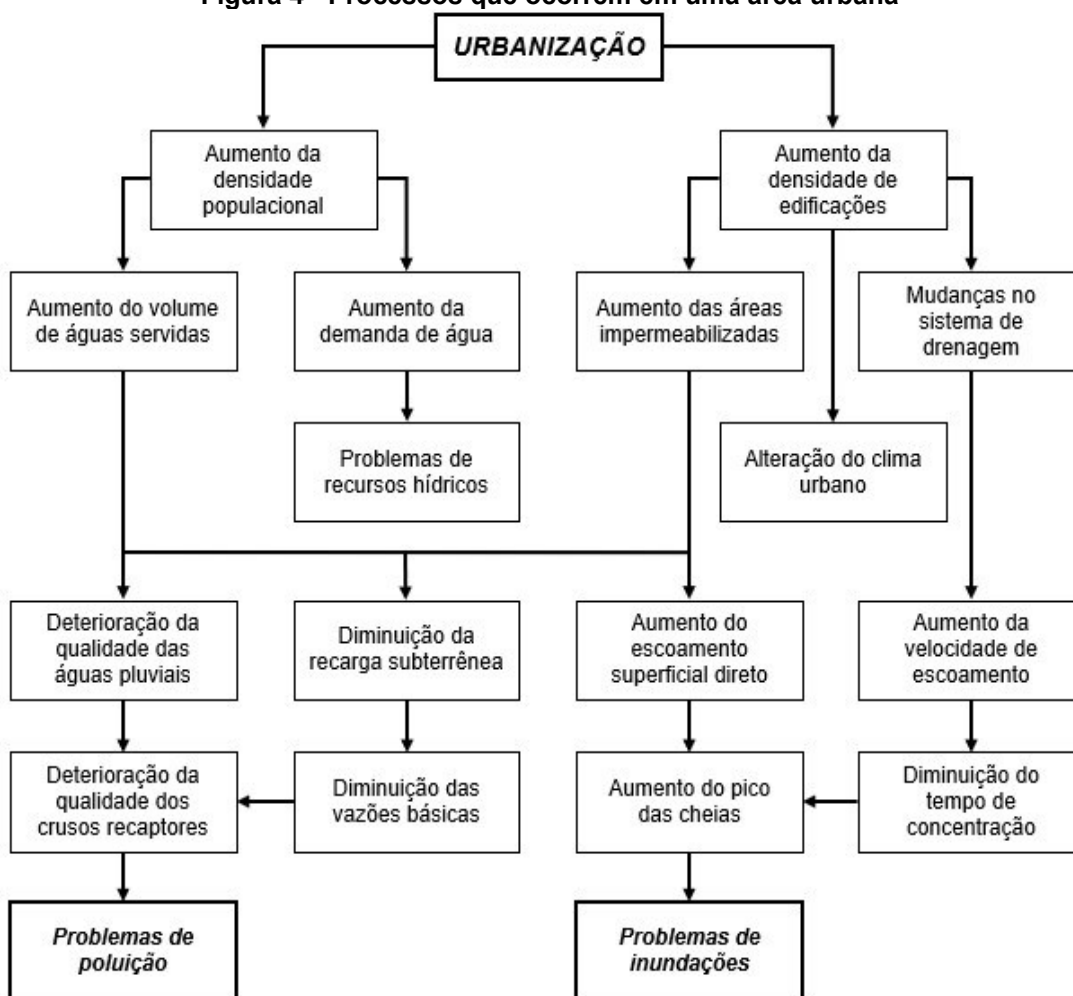
As mudanças provocadas pelo processo de urbanização afetam significativamente o ecossistema, uma vez que o uso urbano do solo altera aspectos quantitativos e qualitativos da água no regime hidrológico, provocando enchentes e inundações (VICENTINI, 2000). Segundo Castro (2011), a urbanização possui diversos efeitos positivos como o crescimento econômico e o aumento de áreas de recreação, mas esse desenvolvimento aumenta a emissão de poluentes e a quantidade de sedimentos provenientes de construções que chegam a cursos d'água, prejudicando flora e fauna.

Algumas modificações são citadas por Spirn (1995², apud VICENTINI, 2000), sendo elas: as cidades, em razão do adensamento populacional, alteram o clima local e poluem o ar; a escavação e os aterros feitos para ampliação do espaço urbano transformam o relevo local; e a instalação de ruas e calçadas e de sistemas de águas pluviais prejudicam o ciclo hidrológico, alterando os cursos d'água e lagos.

O crescimento populacional, a ocupação do solo e a ineficácia do planejamento urbano são os processos fundamentais dos impactos causados pela urbanização no sistema de drenagem das cidades (RATHKE, 2012). Na Figura 4 é apresentado os principais processos que ocorrem nas áreas urbanas.

² SPIRN, A.W. **O Jardim de Granito**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1995.

Figura 4 - Processos que ocorrem em uma área urbana

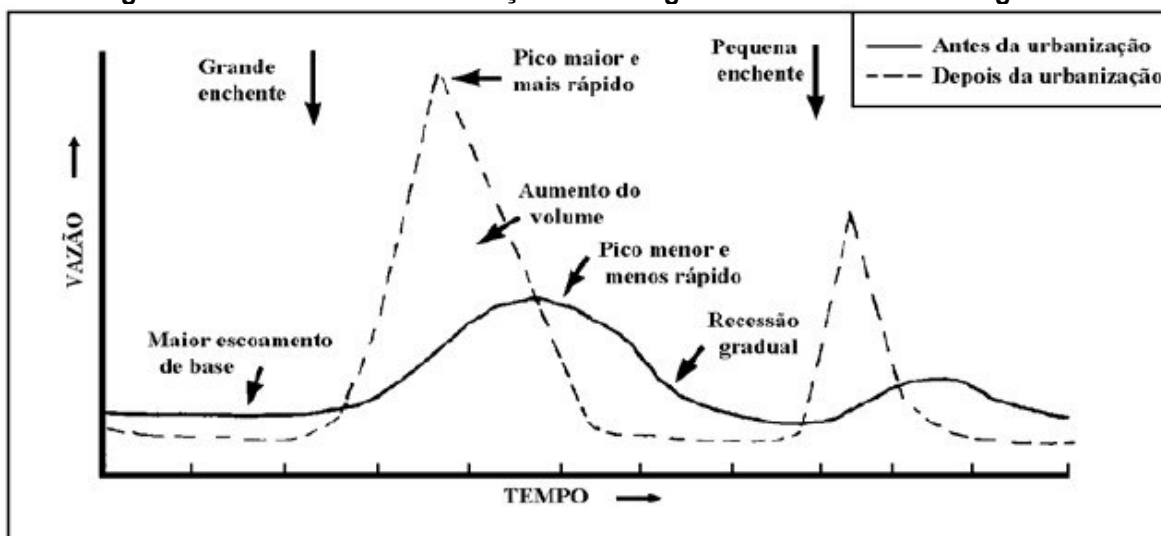


FONTE: Adaptado de Hall (1984, *apud* TUCCI, 2001, p. 808)³

Castro e Goldefum (2010) afirmam que a urbanização provoca a diminuição das áreas de coberturas vegetais, alterando as quantidades de água presentes em cada etapa do ciclo hidrológico, pois a área impermeabilizada passa a direcionar uma maior quantidade da água precipitada para o escoamento superficial à medida que as quantidades de águas envolvidas nos processos de evapotranspiração, interceptação vegetal e infiltração são diminuídas em relação à situação original. Esse fenômeno, além de aumentar os volumes escoados superficialmente, reduz o tempo de concentração, provocando hidrogramas de cheias cada vez mais críticos (CASTRO; GOLDEFUM, 2010). O hidrograma típico de uma bacia natural e aqueles resultantes da urbanização são apresentados na Figura 5.

³ HALL, MJ. 1984. *Urban Hydrology*. Essex: Elsevier.(HALL, 1984)

Figura 5 - Influência da urbanização no hidrograma de uma bacia hidrográfica



FONTE: Tucci e Bertoni, (2012, p. 91)

Ao alterar uma área natural para um ambiente urbanizado, o ciclo hidrológico é afetado significativamente, uma vez que a água que era evaporada ou infiltrada passa a ser convertida em escoamento superficial. Toda superfície com capacidade de infiltração reduzida produz excesso de escoamento superficial durante a precipitação, como as superfícies de áreas impermeabilizadas presentes em loteamentos, ruas e estradas. Quando a precipitação é muito intensa, o volume escoado para o sistema de drenagem pode ser superior a capacidade do mesmo, provocando inundações (CASTRO, 2011).

Campana (1995) conclui que existem duas alternativas viáveis para a caracterização das modificações causadas pela urbanização no comportamento do ciclo hidrológico: a primeira é em termos de volume, ou seja, através do balanço hídrico realizado a partir da quantificação das etapas do mesmo; a segunda é por meio da análise do hidrograma de escoamento superficial em termos da vazão de pico e do tempo de pico.

3 DRENAGEM URBANA

No Brasil, as cidades apresentam uma tendência de urbanização que causam impactos no meio ambiente e na própria população, deteriorando a qualidade de vida devido ao aumento de cheias e redução da qualidade da água. A forma como as cidades se desenvolvem é o principal contribuinte desse processo e está relacionada aos projetos de drenagem ineficazes que visam apenas escoar rapidamente a água (TUCCI; BERTONI, 2003).

Segundo Tucci (2001), para que as soluções de drenagem urbana sejam eficazes deve-se existir uma política para o uso e ocupação do solo urbano que esteja alinhada com a política de drenagem urbana, deve-se também: estabelecer objetivos e a forma de alcançá-los; definir um planejamento de curto, médio e longo prazo; e organizar campanhas de conscientização pública. Por muito tempo, a drenagem urbana teve como principal objetivo a rápida remoção das águas pluviais de centros urbanos, afim de evitar transtornos e prejuízos. Contudo, esse conceito de drenagem não representa uma solução eficaz dos problemas recorrentes, passando a ser um problema, não só de engenharia, mas também do ramo da gestão pública (TUCCI, 2001).

O conceito de drenagem que recomenda a retirada da água através do uso de condutos, geralmente subterrâneos e que funcionem por gravidade, é chamado de conceito higienista, também conhecido por sistemas clássicos ou tradicionais. São compostos essencialmente por “*dispositivos de microdrenagem que efetuam o transporte das águas superficiais nas ruas (sarjetas), sua captação (bocas de lobo) e o deságue até sistemas de macrodrenagem constituídos de canais abertos ou galerias*” (VIRGILIIS, 2009). Esse conceito alterou a relação entre os centros urbanos e os cursos d’água, reduzindo o papel dos cursos d’água na urbanização e melhorando as questões sanitárias e de insalubridade (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Nesse contexto, os sistemas de drenagem podem ser classificados em microdrenagem, macrodrenagem e drenagem na fonte. A microdrenagem é determinada pelos condutos pluviais e canais a nível de loteamento, também chamada de rede primária urbana, é projetada para condições de risco moderado. A macrodrenagem abrange os coletores das redes de microdrenagem, cobrindo uma área de no mínimo 2 km² ou 200 ha, é projetado para precipitações maiores e com um

risco elevado. Já a drenagem na fonte é caracterizada pelo escoamento gerado dentro do lote (TUCCI; BERTONI, 2012).

3.1 Medidas de Controle

A urbanização pode ser controlada a partir da quantidade de água ou de sedimentos e da qualidade da água. Esse controle deve ser regido por um Plano Diretor que irá estabelecer as diretrizes gerais da implementação de medidas, abrangendo toda a bacia hidrográfica, sendo regido por um manual de drenagem (VICENTINI, 2000).

O controle dos impactos da urbanização deve garantir o controle do escoamento superficial, que pode ser distribuído, na microdrenagem ou na macrodrenagem. O controle do escoamento distribuído está relacionado aos loteamentos, onde é promovido o aumento de áreas de infiltração ou o armazenamento em reservatórios. O controle na microdrenagem busca a implantação de reservatórios de retenção, afim de gerar um hidrograma final igual ou menor que o hidrograma da região natural. Já o controle na macrodrenagem atua em cursos d'água, com a aplicação de medidas estruturais e não estruturais (VICENTINI, 2000).

Para Canholi (2014) as medidas estruturais e não estruturais são medidas corretivas divididas conforme sua natureza. As medidas estruturais são caracterizadas pela implementação de obras que visem a correção ou prevenção dos prejuízos causados pelas enchentes. Já as medidas não estruturais procuram reduzir os prejuízos por meio de normas, regulamentos e programas que visam conscientizar a população a respeito do tema.

As medidas estruturais podem ser classificadas em extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são as que atuam na bacia, modificando a relação entre a precipitação e a vazão e as medidas intensivas são as que atuam no rio (TUCCI; BERTONI, 2012). Segundo Canholi (2014), as medidas intensivas pode ser caracterizadas quanto o seu objetivo, podendo ser: de aceleração do escoamento através de canalizações; de retardamento do fluxo através da aplicação de reservatórios, bacias de retenção e retenção e restauração de calhas naturais; e de desvio do escoamento através de tuneis e canais. Algumas medidas estruturais, e suas principais características, são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Principais características de medidas estruturais

Medida	Principal Vantagem	Principal Desvantagem	Aplicação
Medidas Extensivas:			
Cobertura vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda	Reduz assoreamento	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Medidas Intensivas:			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios
<i>Melhoria do canal:</i> Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<i>Reservatórios:</i> Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerabilidade a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com o mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<i>Mudança de canal:</i> Caminho da cheia	Amortecimento do volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Depende da topografia	Bacias médias e grandes

FONTE: Simons et al. (1977⁴, *apud* TUCCI, 2001, p. 628)

Tucci e Bertoni (2012) salientam que as medidas estruturais não são projetadas para uma proteção completa e podem criar uma sensação de segurança ilusória que permite a ocupação de áreas inundáveis, além de possuírem um custo de implantação elevado. Em contrapartida, as medidas não estruturais possuem custos

⁴ SIMONS, D.B. et al. 1977. **Flood flows, stages and damages**. Fort Collins: Colorado State University.

reduzidos e podem ser mais eficientes, uma vez que conscientizam a população sobre a ocupação e uso do solo e as atividades econômicas (CANHOLI, 2014).

Ainda, Tucci (2001) cita as medidas não estruturais identificadas por Johnson (1978)⁵ sendo algumas delas:

[...] instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas, elevação de estruturas existentes, construção de novas estruturas sob pilotis, construção de pequenas paredes ou diques circundando a estrutura, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente, relocação de estruturas para fora da área de inundação, uso de material resistente à água ou novas estruturas, regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento, regulamentação de subdivisão e código de construção, compra de áreas de inundação, seguro de inundação, instalação de serviço de previsão e de alerta de enchente com plano de evacuação, adoção de incentivos fiscais para um uso prudente da área de inundação; instalação de avisos de alerta na área e adoção de políticas de desenvolvimento. (JOHNSON, 1978 *apud* TUCCI, 2001, p. 629).

Para Tucci (2001), as medidas não estruturais podem ser divididas em grupos conforme o Quadro 6.

Quadro 6 - Características dos grupos de medidas não estruturais

(continua)

Grupo	Características
Regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis	Para regulamentar a área é preciso identificar o risco de inundações de todas as cotas. Nas áreas de maior risco não é permitido a habitação, mas se o investimento for baixo e não se danificar pode ser utilizada para recreação. Em cotas com riscos menores são permitidas construções com precauções especiais.
Previsão e alerta de inundações	Sistema composto de obtenção de dados em tempo real, transmitidos para um centro de análise, com previsão em tempo atual a partir de um modelo matemático e de um Plano de Defesa Civil que envolve as ações individuais e de comunidade para reduzir as perdas durante as cheias.

⁵ JOHNSON, W. 1978. *Physical and economic feasibility of nonstructural flood plain management measures*. Davis: Hydrologic Engineer Center.

Quadro 6 - Características dos grupos de medidas não estruturais**(conclusão)**

Grupo	Características
Construções à prova de enchentes	Conjunto de medidas projetadas para minimizar as perdas de prédios localizados em várzeas de inundações durante o período de cheias.
Seguro de enchentes	Permite que os indivíduos obtenham uma proteção econômica para as eventuais perdas

FONTE: Adaptado de Tucci, (2001, p. 630)

Ainda segundo (TUCCI, 2001), o custo para proteger uma área com risco de cheias com medidas estruturais é superior a proteção com medidas não estruturais. O autor apresenta que, em 1972, em Denver nos Estados Unidos, o custo da proteção com aplicação de medidas estruturais de um quarto da área equivale a proteção de três quartos da área se forem aplicadas medidas não estruturais.

3.2 Drenagem Sustentável

Durante as últimas décadas, a degradação ambiental e o desenvolvimento baseado na exploração da natureza têm motivado discussões e novas propostas para a vida na terra. O conceito de desenvolvimento sustentável, segundo a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1991), é o de um desenvolvimento que seja capaz de suprir as necessidades da geração atual sem comprometer as gerações futuras, se estendendo a todas as atividades antrópicas, inclusive a drenagem urbana. A sustentabilidade associada a drenagem urbana gera uma reconceitualização da própria drenagem e do controle das cheias em áreas urbanas tanto em termos técnicos como em termos gerenciais, uma vez que, segundo Pompêo (2000), promove ações que sejam baseadas no:

[...] reconhecimento da complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade (POMPÊO, 2000, p 17).

Com o objetivo de proporcionar melhorias ao ambiente urbano, as medidas sustentáveis de drenagem geram um ambiente participativo com papel fundamental da população. Desse modo, o desenvolvimento de sistemas de drenagem de

diferentes escalas passa a envolver diversas áreas do conhecimento, incluindo principalmente o uso de medidas que reduzam os impactos da urbanização no ciclo hidrológico (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Visando recuperar as condições hidrológicas da bacia natural, surgem novas técnicas de controle da quantidade e qualidade das águas urbanas. Chamadas de técnicas alternativas ou compensatórias, essas medidas tem como objetivo buscar:

[...] por meio da utilização de diferentes processos físicos e biológicos e da visão multidisciplinar e sistêmica do problema, garantir a diminuição do volume escoado após a urbanização, a manutenção do tempo de concentração da bacia, o controle das velocidades de escoamento, a manutenção da qualidade da água e o uso da água de chuva (CANHOLI, 2014).

O conceito mais relevante na área das medidas inovadoras em drenagem urbana são as obras e os dispositivos empregados na reservação do escoamento, tendo como finalidade a redução do pico das enchentes e as próprias ondas de cheias. Essa solução também é associada a usos de recreação, lazer e a melhoria da qualidade da água (CANHOLI, 2014).

Diversas abordagens têm ganhado destaque na área de sistemas de drenagem, apresentando conceitos distintos para cada autor do tema. As técnicas como as de urbanização de baixo impacto, chamadas de LID, e os sistemas de drenagem urbana sustentável ou SUDS, possuem objetivos similares, mas as técnicas utilizadas são diferentes. Para Canholi (2014), a primeira faz uso de ferramentas de planejamento prévio relacionadas ao desenvolvimento de projetos que visão o controle na fonte, enquanto os SUDS possuem dispositivos de diferentes escalas locais como base, atuando na correção e prevenção dos problemas de drenagem. Ainda segundo Canholi (2014), os SUDS são desenvolvidas para funcionar em pequenas unidades dentro do terreno, mantendo as condições hidrológicas o mais próximo possível das características originais.

De acordo com Toscan Neto (2019), a principal característica dos SUDS são o controle do escoamento superficial na fonte, ou seja, o mais próximo do local que é atingido pela precipitação possível, reduzindo o escoamento pelo uso de tecnologias que promovem a evaporação e evapotranspiração, a infiltração no solo e o armazenamento das águas.

Outro conceito que tem como objetivo minimizar ou impedir os impactos causados pelo escoamento superficial das águas da chuva são as técnicas conhecidas como BMP's, que definem práticas de gerenciamento do controle de inundações através de simulações hidrológicas (CASTRO, 2011).

4 MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE

As medidas de controle na fonte simulam as condições do ciclo hidrológico natural e tem como princípio a drenagem urbana sustentável. Essa proposta objetiva fazer com que as águas provenientes do escoamento superficial infiltrem em determinadas estruturas, reduzindo, assim, a quantidade de água que é direcionada para os sistemas de drenagem da região (CASTRO, 2011).

Urbonas e Stahre (1993⁶ apud CANHOLI, 2014) ressaltam como vantagens do uso de sistemas de controle na fonte: a padronização dos dispositivos, a flexibilidade de locais de instalação, o aumento da eficiência do fluxo de vazão na canalização já existente, a melhoria da valorização e da qualidade da água no meio urbano.

As principais estruturas de medidas de controle na fonte citadas por Canholi (2014) são: superfícies de infiltração, trincheiras de percolação, valetas de infiltração abertas, lagoas de infiltração, bacias de percolação, pavimentos permeáveis e poços de infiltração. Outra medida, citada por autores como Castro e Goldefum (2010), que auxiliam no controle do escoamento superficial gerado na fonte, são as coberturas verdes. Estas, juntamente com os pavimentos permeáveis, são o foco deste trabalho.

4.1 Coberturas Verdes

Uma estrutura caracterizada pelo uso de cobertura vegetal nas edificações, com impermeabilização e drenagem adequadas são chamadas de telhados verdes, telhados vivos ou ecotelhados. *“Consistem basicamente em uma camada de vegetação, uma cama de substrato (onde a água é retida e a vegetação é escorada) e uma camada de drenagem responsável pela retirada da água adicional”* (CASTRO; GOLDEFUM, 2010).

As coberturas verdes são vistas como uma cobertura alternativa que proporciona vantagens sobre as convencionais. Castro (2011) cita a diminuição da água do escoamento, a melhoria da qualidade da água e das condições de conforto ambiental da edificação e a proteção do telhado contra elevadas temperaturas como

⁶ URBONAS, B; STAHERE, P. *Stormwater: best management practices and detection for water quality, drainage and CSO management*. New Jersey: Prentice Hall, 1993.

as principais vantagens dessa estrutura. No escoamento superficial, os principais impactos das coberturas verdes são: a redução do volume de água escoado, devido a presença de plantas que conseguem reter água; o atraso no pico do escoamento, devido a absorção de água no lote; e a distribuição do escoamento no tempo que ocorre pela redução da velocidade de liberação da água retida (CASTRO, 2011).

Para Castro e Goldefum (2010), os telhados e terraços que possuem uma cobertura vegetal controlam de maneira satisfatória, proporcionando uma melhor distribuição do escoamento superficial ao longo do tempo devido a redução da velocidade que o excesso de água é liberado. Os autores concluem que a inclinação dos telhados pode influenciar o volume escoado. Segundo Castro (2011), a inclinação dos telhados pode variar de 0 a 40°, sendo um fator limitante no seu aspecto construtivo.

As coberturas verdes podem ser classificadas em extensivas e intensivas, o que os difere são a espessura do substrato, a estatura da vegetação e sua manutenção. As coberturas verdes extensivas são caracterizadas pela presença de camadas de solo finas, com espessuras de 8 a 12 cm, pela presença de vegetação de pequeno porte e pela alta resistência as variações climáticas. Já as coberturas intensivas possuem uma camada de solo que pode ser superior a 20 cm e a sua vegetação é de porte médio a grande, necessitando de manutenção (LIMA, 2013). Para Castro (2011), as coberturas verdes extensivas podem ser instaladas em superfícies inclinadas, com um ângulo aproximado de 45°, enquanto as coberturas intensivas devem ser instaladas com um ângulo de inclinação inferior a 10°.

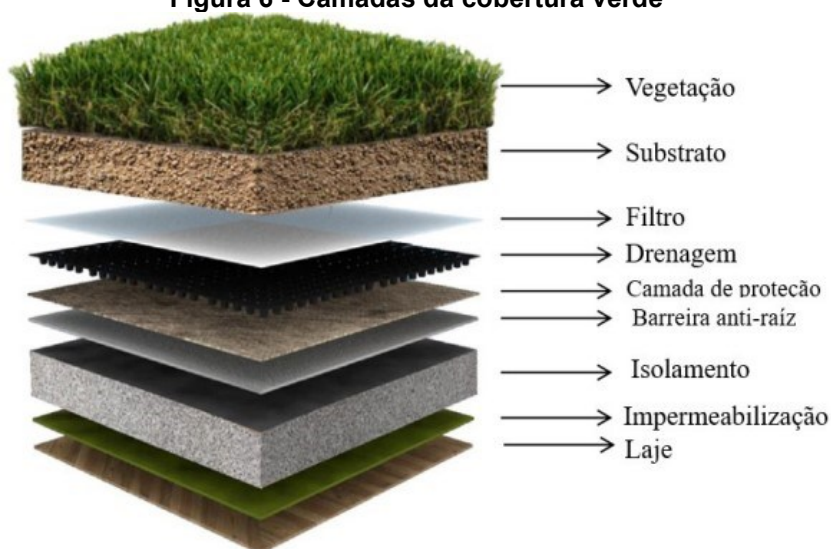
O tipo de cobertura a ser implementada pode ser extensiva, intensiva ou ainda semi-intensiva, variando com a capacidade de carga da estrutura, do orçamento disponível e da capacidade de retenção da precipitação desejável (CASTRO, 2011).

Sua estrutura é composta pela laje e por uma camada impermeabilizante, com função de impedir que a água infiltre na laje. As telhas, presentes em telhados convencionais, são substituídas pelas camadas apresentadas no Quadro 7 e representadas na Figura 6.

Quadro 7 - Características das camadas constituintes de coberturas verdes

Camada	Função	Composição
Camada de proteção	Impedir que as raízes da vegetação não danifiquem a camada impermeabilizante	Composta por aditivos incorporados ao material impermeabilizante ou por um impermeabilizante que já possua as características necessárias
Camada de drenagem	Dar vazão ao excesso de água no solo	Constituída por material graúdo como britas ou seixos, a fim de aumentar o número de vazios e permitir um maior escoamento da água pluvial. Pode-se utilizar placas nervuradas de poliestireno expandido
Meio Filtrante	Impedir a passagem dos substratos para a camada de drenagem	Material filtrante
Camada de substrato	Reten e absorver a água, possuem os nutrientes necessários para dar suporte à vegetação.	A espessura e o tipo de substrato variam de acordo com o tipo de telhado a ser implementado, podendo ser empregados diversos materiais como areia grossa, argila e algum tipo de fertilizante, desde que atendam às necessidades da vegetação utilizada
Camada de vegetação		Depende do tipo de telhado a ser implementado e do clima local

FONTE: Adaptado de Lima, (2013, p. 21)

Figura 6 - Camadas da cobertura verde

FONTE: Bär e Tavares, (2017, p. 258)

Para Oliveira (2009), as coberturas verdes ainda podem ser classificadas como acessíveis e inacessíveis. As coberturas verdes acessíveis se caracterizam por ser uma área aberta ao uso de pessoas, onde benefícios sociais são proporcionados aos usuários e valor comercial é agregado ao edifício e as inacessíveis se caracterizam por não permitir o acesso de pessoas.

Costa, Costa e Poletto (2012) realizaram um estudo sobre a redução e retardo do escoamento superficial simulando precipitações ocorridas em diversas superfícies com o auxílio de um protótipo de telhado. As superfícies simulavam três tipos de telhados: o comum, o composto por isopor, cimento e água e uma cobertura verde. Ao realizar os testes, concluíram que os telhados compostos por isopor, cimento e água e as coberturas verdes são mais eficientes que o telhado comum, uma vez que além de contribuírem com a redução e o retardo do escoamento, ajudam na redução do volume de águas pluviais que são escoadas para o sistema de drenagem urbana.

4.2 Pavimentos Permeáveis

Virgiliis (2009) define como pavimento permeável o pavimento que possui taxas de porosidade e permeabilidade significativas, conseguindo influenciar a hidrologia local e gerar impactos positivos ao meio ambiente. Ainda segundo Virgiliis, (2009), os pavimentos permeáveis possuem uma estrutura que admite absorção de água pelas suas camadas, sendo considerados dispositivo de infiltração que visam aumentar a permeabilidade do solo.

Os pavimentos permeáveis são caracterizados por permitir o escoamento da água precipitada, através de seus poros, para um reservatório de pedras, onde é armazenada temporariamente. Nas áreas urbanas, tem grande aplicabilidade em ruas de baixo tráfego, garagens, praças, calçadas e estacionamentos. Os pavimentos podem possuir quatro tipos de camada superficial, sendo elas: blocos de concreto permeáveis, grid de concreto ou plástico, concreto permeável e asfalto poroso (IMADA, 2014).

A camada superficial dos pavimentos permeáveis podem ser impermeáveis, semipermeáveis ou permeáveis. A camada é permeável no caso de utilização de concreto de cimento Portland ou de concreto asfáltico, é semipermeável no caso de pavimentos em paralelepípedos, calçamento poliédrico ou blocos de concreto, e é

permeável no caso de uso de concreto asfáltico poroso, peças pré-moldadas de concreto poroso e blocos de concreto vazados (VIRGILIIS, 2009).

Os pavimentos de asfalto poroso e de concreto poroso são produzidos de maneira muito próxima aos pavimentos tracionais, tendo como diferença a retirada de finos da mistura. Os pavimentos de blocos vazados são dispostos sobre uma camada de areia, com aplicação de um geotêxtil ao redor da camada de brita (CASTRO et al., 2013).

Segundo Baptista, Nascimento e Barraud (2011), os pavimentos permeáveis são classificados de acordo com seu papel no controle do escoamento, podendo ser: pavimentos com revestimento superficial permeável, permitindo que a velocidade do escoamento seja reduzida, os pequenos volumes de água sejam retidos temporariamente na superfície do pavimento e que parte da água infiltre; pavimentos dotados de estrutura porosa, caracterizados por deter temporariamente pequenos volumes de água em reservatórios; e pavimentos com estrutura porosa e dispositivos de facilitação da infiltração, que atuam na detenção temporária e na infiltração de águas pluviais.

Outra classificação dos pavimentos permeáveis é quanto ao seu funcionamento, podendo ser de: entrada imediata da água da chuva na estrutura do pavimento; detenção temporária da água no interior no pavimento, onde os espaços vazios estocam a água como um reservatório; ou de evacuação lenta da água, onde a água é removida através da infiltração direta ou de drenos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Como principais vantagens da aplicação de pavimentos permeáveis tem-se o tratamento da água de escoamento através da remoção de poluentes, a minimização da necessidade de canais de drenagem, o aumento do conforto e segurança de vias públicas e o aumento da recarga das reservas subterrâneas de água. Em relação as desvantagens de seu uso pode-se citar a colmatação do pavimento, a poluição do lençol freático e o aumento dos custos de operação e manutenção (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

A estrutura de um pavimento permeável é muito semelhante à dos pavimentos tradicionais, constituída principalmente de brita e ligante (VIRGILIIS, 2009). No Quadro 8 é apresentado os componentes que, em uma combinação específica para cada tipo de pavimento, constituem um pavimento permeável.

Quadro 8 - Composição da estrutura de pavimentos permeáveis

Camada	Definição	Função
Sobrecamada	Camada aplicada sobre qualquer tipo de pavimento preexistente.	Drenar o escoamento superficial, melhorar a visibilidade, aumentar a aderência e reduzir o barulho e o reflexo.
Revestimento	Camada do pavimento que recebe diretamente a carga de tráfego.	Transferir os esforços para as camadas inferiores.
Camada de base	Camada colocada abaixo da superfície de revestimento para aumenta a espessura do pavimento.	Distribuir o carregamento sobre o subleito.
Sub-base	Camada colocada abaixo da base a fim de aumentar a espessura do pavimento.	Armazenar água no caso dos revestimentos porosos.
Reservatório	Qualquer parte do pavimento com capacidade de estocagem e condutividade de água.	Armazenar e transportar água para um exutório ou saída.
Camada filtrante	Qualquer camada entre outras ou entre o pavimento e o subleito que detenha a migração de partículas para os vazios da camada subjacente.	Deter a migração de partículas para as demais camadas.
Geotêxtil	Manta não-tecida de filamentos de polipropileno que possibilita a livre passagem das águas de infiltração para o meio drenante.	Separação de materiais da base do subleito, para manter a porosidade evitando o carregamento de partículas para outra camada.
Geomembrana	Tecido impermeável geralmente plástico ou Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizada em sistemas impermeabilizantes.	Impedir a penetração de água para o subleito.
Subleito	Solo natural ou reforçado abaixo da estrutura do pavimento.	Absorção em última instância dos carregamentos.

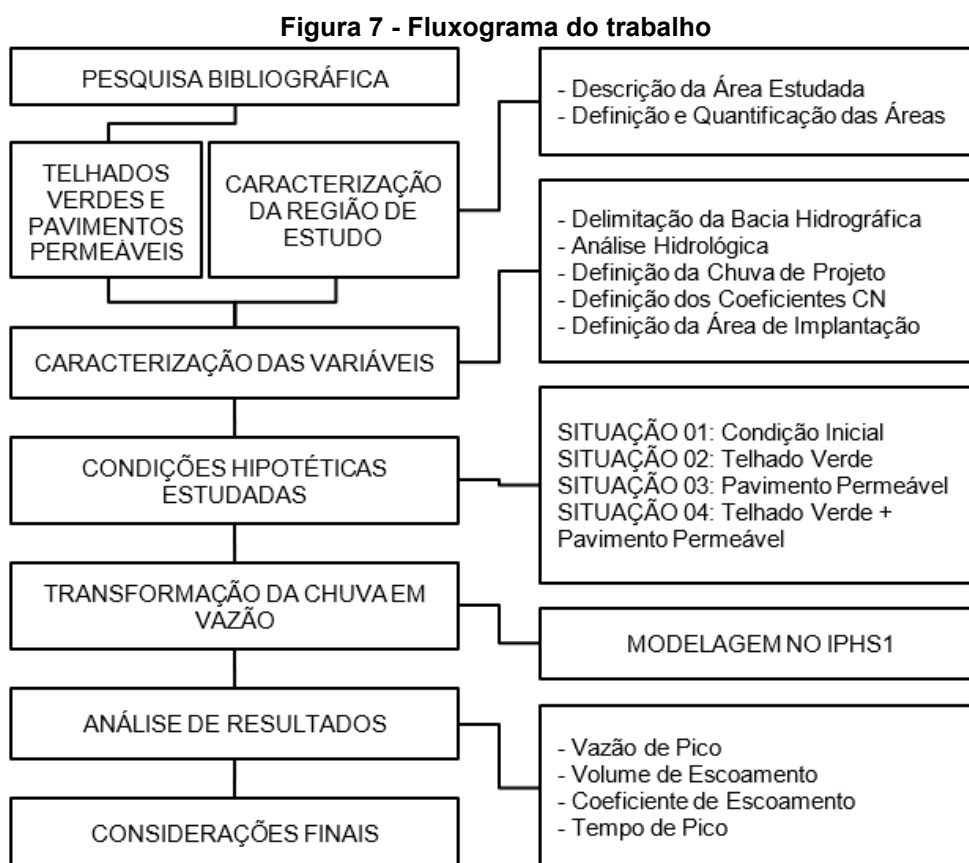
FONTE: Adaptado de Virgiliis, (2009, p. 33 a 42)

Maus, Righes e Buriol (2014) desenvolveram um estudo em uma escola no Rio Grande do Sul, onde foi avaliado a eficiência de diversos tipos de cobertura do

solo, sendo elas: os pavimentos permeáveis, gramados, paralelepípedos e o asfalto. As coberturas foram testadas com uma inclinação de 7% e implantadas em áreas de 3m², os dados foram coletados com o auxílio de um pluviômetro e de caixas coletoras do sistema de drenagem. Ao final, concluíram que os pavimentos permeáveis podem reduzir até 100% do escoamento superficial, enquanto os gramados reduzem 97,63%.

5 METODOLOGIA

Este capítulo aborda a caracterização e a modelagem que foi desenvolvida para avaliar a redução do escoamento superficial gerado em uma determinada área do município de Guarapuava. A metodologia aplicada foi baseada no estudo desenvolvido por Rathke (2012), que avaliou o impacto da implementação de coberturas verdes e pavimentos permeáveis em um *Shopping* do município de Porto Alegre. A Figura 7 apresenta o fluxograma geral da metodologia desta pesquisa, adaptado de Rathke (2012).



FONTE: Adaptado de Rathke (2012)

Esse capítulo aborda sobre a definição dos cenários hipotéticos com a utilização dos dispositivos de estudo deste trabalho, os telhados verdes e pavimentos permeáveis, bem como sua simulação matemática que permitirá avaliar os efeitos gerados no sistema de macrodrenagem urbana. A fim de enriquecer o trabalho, foram construídos cenários que permitiram encontrar resultados que envolvem a bacia com um todo. Para isso, se faz necessário caracterizar a região, a bacia hidrográfica em estudo e as demais variáveis envolvidas no processo.

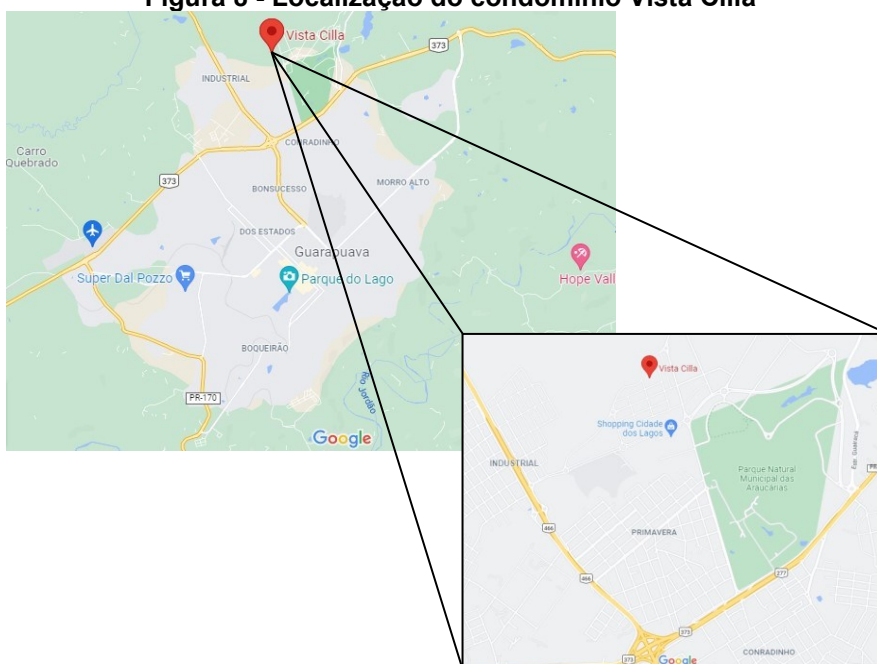
5.1 Caracterização da área de estudo

Nesta seção é apresentada a área estudada e suas principais características hidrológicas, bem como são definidos alguns parâmetros que foram utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

5.1.1 Descrição da área estudada

O objeto de estudo deste trabalho foi o Condomínio Residencial Vista Cilla, situado no município de Guarapuava, no estado do Paraná, localizado no bairro Cidade dos Lagos, na Avenida dos Lagos, nº 1240, limitado pelas ruas nº 4, nº 7 e nº 8. A Figura 8 apresenta a localização do condomínio na cidade de Guarapuava.

Figura 8 - Localização do condomínio Vista Cilla



FONTE: Adaptado de Google Maps (2021)

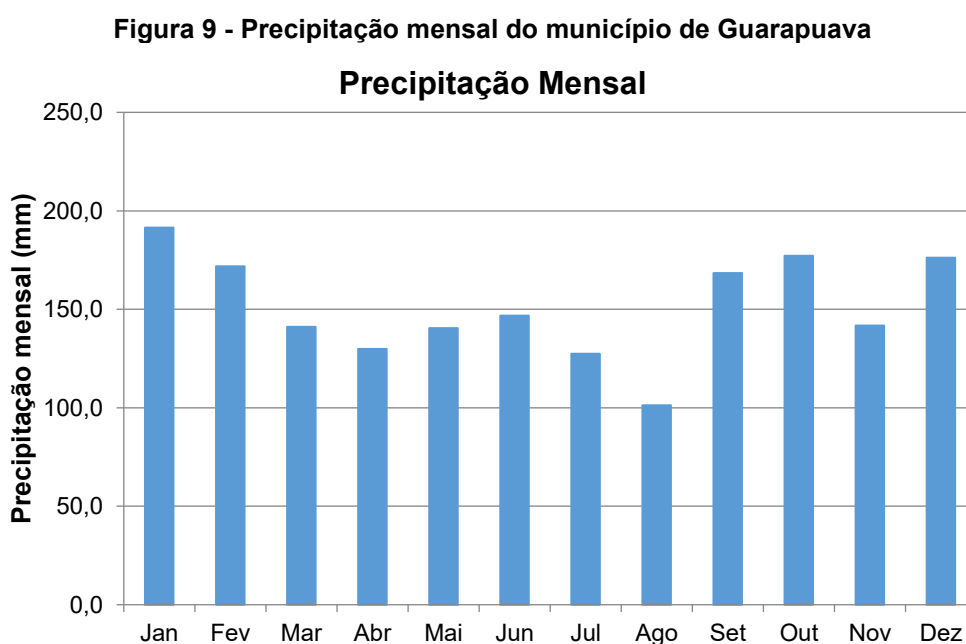
O condomínio se encontra com a infraestrutura 90% concluída, contando com a execução apenas das etapas de revestimento externo e acabamento, estando 90% e 25% concluídas, respectivamente. Possui área total de 27.048,85m² e é dividido em 8 torres residenciais com 7 pavimentos e 8 apartamentos por pavimento, totalizando em 448 apartamentos. O espaço ainda conta com salão gourmet, salão de jogos, quadra esportiva e quadra de tênis, academia, playground, espaço pet e diversos

outros espaços. A região entre as torres é composta por uma área de estacionamento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), calçadas em concreto, espaços com revestimento de paver e concregrama, além de grandes áreas compostas por vegetação.

5.1.2 Características hidrológicas

Guarapuava localiza-se na região do Terceiro Planalto do estado do Paraná (Prefeitura de Guarapuava, 2016), apresenta, segundo a classificação de Koppen, clima subtropical mesotérmico úmido, sem estação seca definida e temperatura média anual de 17°C (THOMAZ; VESTENA, 2003).

Através dos dados de precipitação constantes na série histórica disponibilizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), através da ferramenta Portal HidroWeb, foi possível analisar os principais eventos críticos ou causadores de secas e alagamentos que ocorrem na região. A Figura 9 apresenta as médias mensais de precipitação, onde verifica-se que o município não possui regime de chuva bem definido, sendo os meses de janeiro, outubro e dezembro os mais chuvosos. Destaca-se ainda que a precipitação média anual, obtida a partir da análise dos dados de 1954 a 2002 é de 1821 mm.



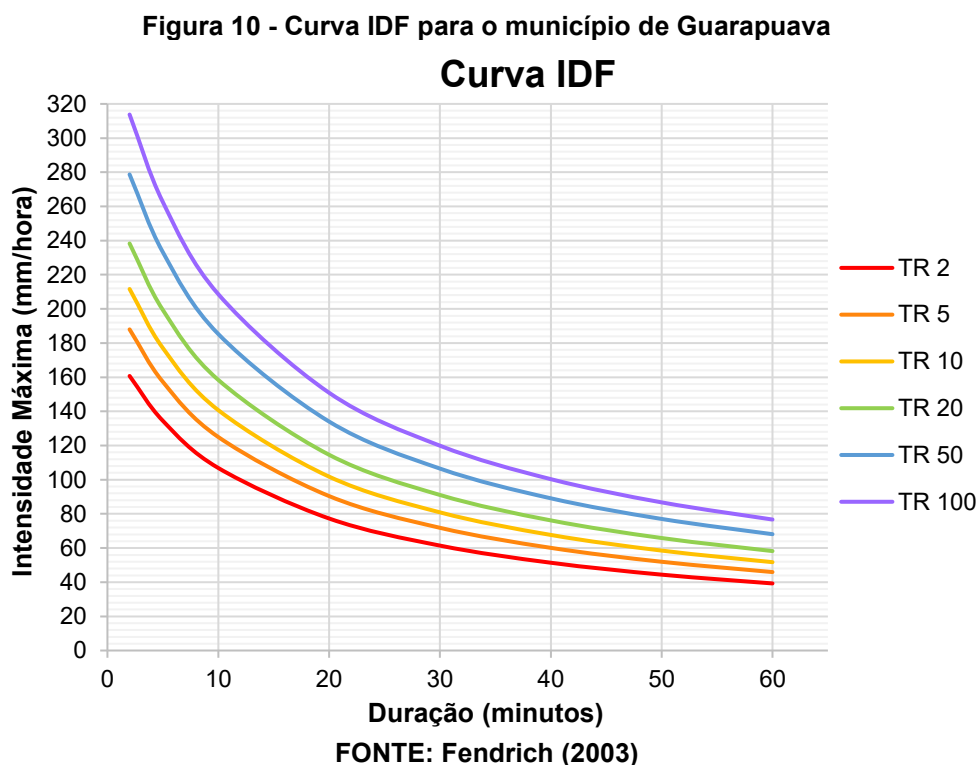
FONTE: ANA (2018)

Outra informação relevante sobre a precipitação trata-se das curvas de intensidade, duração e frequência (IDF). Essas curvas variam conforme a localidade e estão disponíveis para consulta no *Software Plúvio 2.1*. Para Guarapuava, a Figura 10 apresenta as curvas IDF para os tempos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, onde os parâmetros utilizados estão apresentados na Equação 7.

$$i = \frac{1039,68 \times T_r^{0,171}}{(t + 10)^{0,799}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde,

i é a intensidade, em mm/h;
 T_r é o tempo de retorno, em anos;
 t é a duração da chuva, em minutos.



5.1.3 Definição e quantificação das áreas

A composição da área estudada foi classificada em quatro tipos distintos: vegetação, coberturas, pavimentos e inalteráveis. A Figura 11 apresenta as regiões consideradas em cada tipo de área, sendo as coberturas representadas pela cor

laranja, os pavimentos pela cor azul, as áreas inalteráveis pela cor amarela e a vegetação, por estar presente em áreas pequenas e no entorno das edificações não foi possível ser destacada, mas ao observar a figura pode-se encontrar regiões em verde que a representam.

Figura 11 - Implantação do Condomínio Vista Cilla



FONTE: Prestes Construtora (2021)

Com o auxílio do Projeto Arquitetônico disponibilizado pela Construtora Prestes, e do software AutoCad, foi possível quantificar a parcela de cada superfície descrita acima, sendo apresentadas na tabela abaixo, bem como sua porcentagem em relação a área total. A descrição de cada tipo de área, bem como sua quantificação, está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição e quantificação das áreas estudadas

(continua)

Área	Descrição	Área (m²)	Porcentagem de área
Vegetação	Toda a região coberta por gramas, arbustos, árvores e diversos outros tipos de plantas presentes.	7.701,45	28,47%
Coberturas	Regiões de telhados e coberturas das edificações.	4.043,01	14,95%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 5 – Descrição e quantificação das áreas estudadas

(conclusão)

Área	Descrição	Área (m ²)	Porcentagem de área
Pavimentos	Áreas de estacionamento e passeios.	13.579,20	50,20%
Inalteráveis	Áreas que sua composição não pode ser alterada, como: lajes das sacadas e entradas das torres, caixas d'água, quadras e playground.	1.725,19	6,38%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

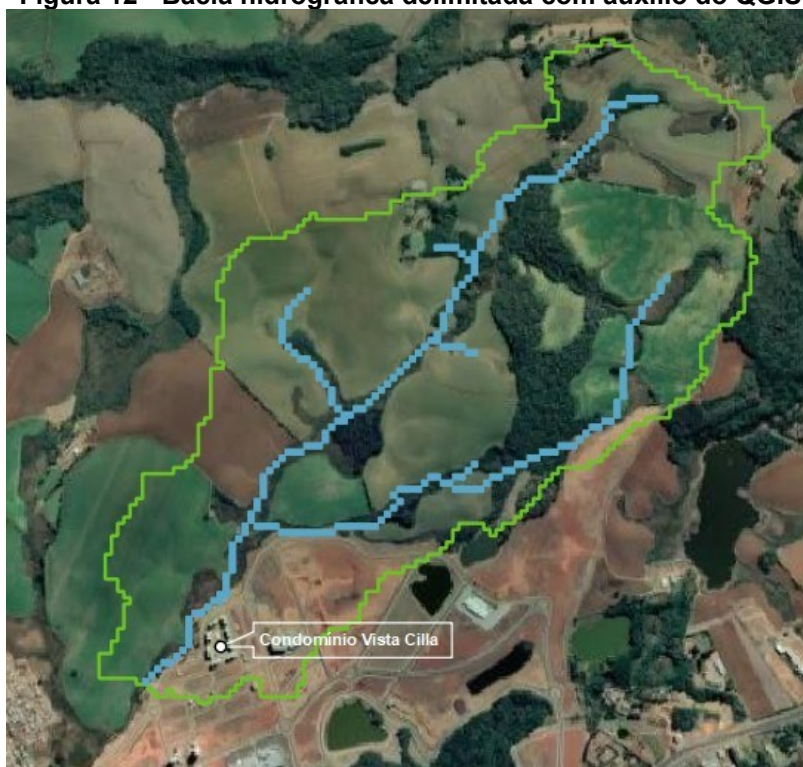
Com isso, verificou-se que as áreas impermeáveis representam 71,53% do total da área estudada, demonstrando a importância de avaliar o efeito da implantação dos dispositivos estudados no escoamento superficial.

5.2 Caracterização da bacia hidrográfica

Além da caracterização da área do condomínio, foi desenvolvida a caracterização da sub-bacia hidrográfica na qual ele está inserido com o auxílio do *Software* QGIS 3.16. Esse processo foi feito a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas, disponibilizado pelo INPE, através do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, em seu projeto Topodata, elaborados a partir de dados SRTM disponibilizados pelo USGS (INPE, 2011). No *Software* QGIS 3.16 foi possível extrair dados como a direção de drenagem e os segmentos de fluxo do MDE e, a partir desses, determinar o ponto de exutório, gerando a sub-bacia.

A Figura 12 apresenta a bacia hidrográfica na qual o condomínio em estudo está inserido, delimitada através do QGIS 3.16. A imagem de satélite, também apresentada na Figura 12, foi capturada em 2021.

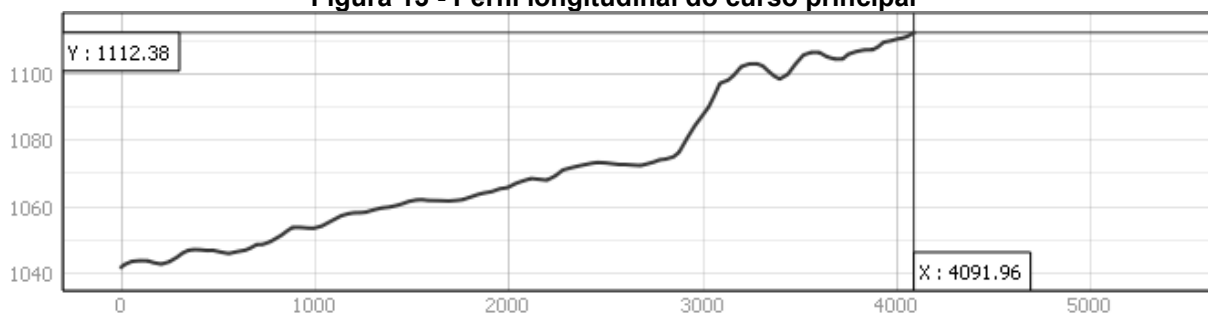
Figura 12 - Bacia hidrográfica delimitada com auxílio do QGIS



FONTE: INPE (2021)

A bacia delimitada possui área de 4,789 km² e um perímetro de 13,898 km. Seu curso principal possui um comprimento de 4,09 km e uma declividade de 0,0185 m/m, com perfil longitudinal apresentado na Figura 13, onde o comprimento está representado no eixo das abscissas e a altitude no eixo das ordenadas.

Figura 13 - Perfil longitudinal do curso principal



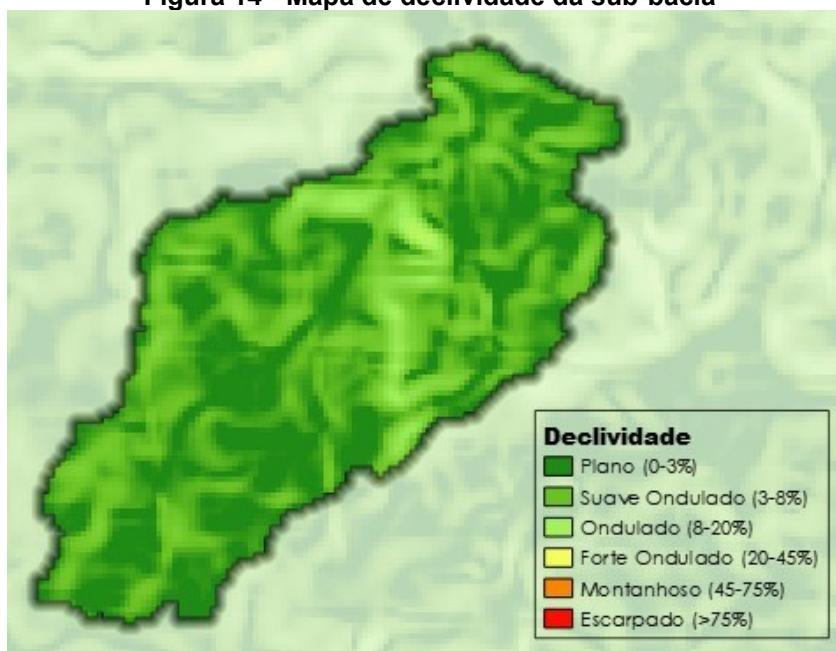
FONTE: INPE (2021)

Ainda com o auxílio do QGIS e a partir do MDE, foi possível gerar o mapa de declividade, ferramenta fundamental na análise do relevo, riscos de erosões e diversos outros fatores, uma vez que demonstra as inclinações da área em relação a um eixo horizontal (FILHO; BEEK, 1995). O mapa de declividade para a sub-bacia em

estudo foi gerado considerando a classificação proposta por Pereira e Neto (2004), e está apresentado na Figura 14.

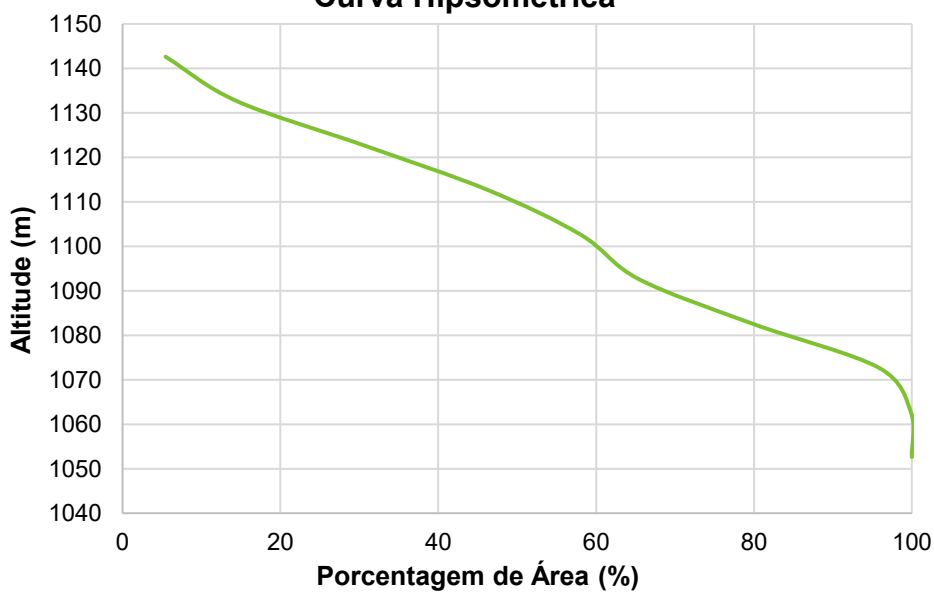
Outra ferramenta relevante de análise do relevo é a curva hipsométrica, que representa graficamente a distribuição das elevações na bacia hidrográfica. A curva hipsométrica para a sub-bacia está apresentada na Figura 15.

Figura 14 - Mapa de declividade da sub-bacia



FONTE: INPE (2021)

Figura 15 - Curva hipsométrica da sub-bacia
Curva Hipsométrica



FONTE: INPE (2021)

Através da Equação 3 e da Equação 4, ambas apresentadas no item 2.1, foi calculado o índice de compacidade (K_c) no valor de 1,778 e o fator de forma (K_f) de 0,286. De acordo com a classificação apresentada nos Quadros 1 e 2 da seção 2.1 para a forma da bacia, esses resultados caracterizam uma bacia cuja forma não está sujeita a enchentes. Também foi calculada a densidade da rede de drenagem, através da Equação 5, também apresentada no item 2.1, onde obteve-se um valor de 1,724km/km², classificada como muito boa.

Por fim, o tempo de concentração da bacia, definido através da Equação 1, desenvolvida por Carter, válida para bacias de até 21m², apresentou valor de 45,9 min.

5.3 Caracterização das variáveis

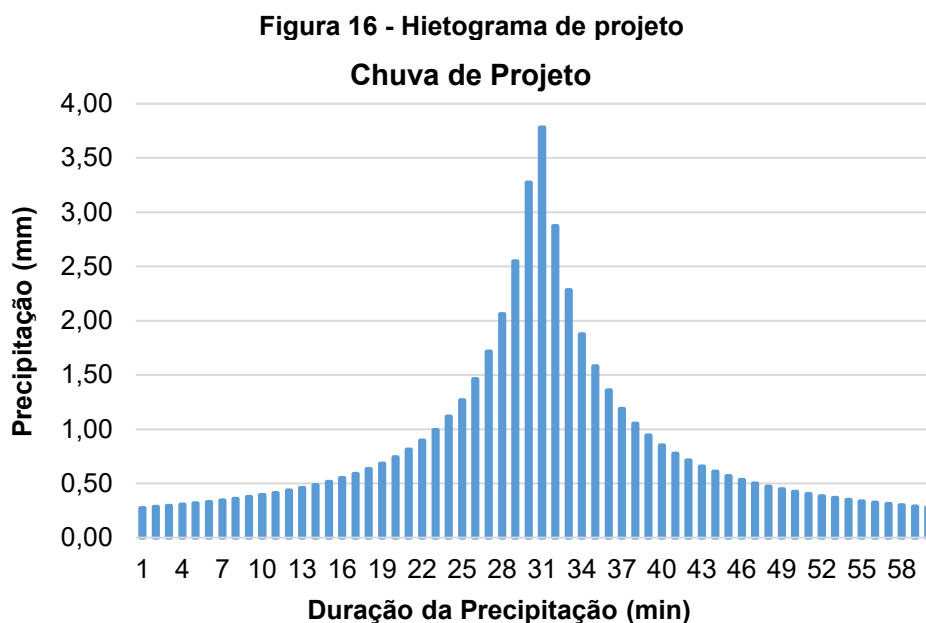
A principal variável utilizada para desenvolvimento das simulações foi a chuva de projeto. A distribuição temporal da chuva na bacia estudada é representada através do hietograma de projeto, que permite identificar os volumes e vazões que irão contribuir para o escoamento superficial. O hietograma é construído com base nas curvas IDF apresentadas na Figura 10.

De maneira geral, a duração de uma chuva crítica é igual ao tempo de concentração da bacia, no entanto considerou-se uma duração de chuva crítica de 60 minutos, espaçadas a cada minuto, a fim de comparações com o estudo desenvolvido por Rathke (2012). Para o tempo de retorno foi considerado um tempo de 10 anos. As precipitações obtidas podem ser vistas na Tabela 6. Em seguida, o hietograma de projeto (Figura 16) foi gerado a partir do Método dos Blocos Alternados, onde o cenário crítico de precipitação foi construído considerando o valor de pico na metade do tempo de duração da chuva.

Tabela 6 - Chuva de projeto

<i>Tempo de Duração (min)</i>	<i>I (mm/h)</i>	<i>P_{acumulado} (mm)</i>	<i>P_{desacumulado} (mm)</i>	<i>Tempo de Duração (min)</i>	<i>I (mm/h)</i>	<i>P_{acumulado} (mm)</i>	<i>P_{desacumulado} (mm)</i>
1	226,90	3,78	3,78	32	77,79	41,49	0,52
2	211,66	7,06	3,27	33	76,34	41,99	0,50
3	198,54	9,93	2,87	34	74,95	42,47	0,48
4	187,13	12,48	2,55	35	73,62	42,94	0,47
5	177,09	14,76	2,28	36	72,34	43,40	0,46
6	168,19	16,82	2,06	35	73,62	42,94	0,47
7	160,24	18,69	1,88	37	71,10	43,85	0,45
8	153,09	20,41	1,72	38	69,92	44,28	0,43
9	146,61	21,99	1,58	39	68,78	44,70	0,42
10	140,73	23,45	1,46	40	67,67	45,12	0,41
11	135,35	24,81	1,36	41	66,61	45,52	0,40
12	130,41	26,08	1,27	42	65,59	45,91	0,39
13	125,86	27,27	1,19	43	64,60	46,29	0,38
14	121,65	28,38	1,12	44	63,64	46,67	0,37
15	117,75	29,44	1,05	45	62,71	47,03	0,37
16	114,11	30,43	0,99	46	61,82	47,39	0,36
17	110,72	31,37	0,94	47	60,95	47,74	0,35
18	107,55	32,27	0,89	48	60,11	48,09	0,34
19	104,58	33,12	0,85	49	59,29	48,42	0,34
20	101,78	33,93	0,81	50	58,50	48,75	0,33
21	99,15	34,70	0,78	49	59,29	48,42	0,34
22	96,67	35,45	0,74	51	57,73	49,07	0,32
23	94,32	36,16	0,71	52	56,99	49,39	0,32
24	92,10	36,84	0,68	53	56,26	49,70	0,31
25	89,99	37,50	0,66	54	55,56	50,00	0,30
26	87,99	38,13	0,63	55	54,88	50,30	0,30
27	86,08	38,74	0,61	56	54,21	50,60	0,29
28	84,27	39,32	0,59	57	53,56	50,88	0,29
29	82,54	39,89	0,57	58	52,93	51,17	0,28
30	80,88	40,44	0,55	59	52,32	51,45	0,28
31	79,30	40,97	0,53	60	51,72	51,72	0,27

FONTE: Calculado pela equação proposta por Fendrich (2003)



5.3.1 Valores dos coeficientes CN

A estimativa da precipitação efetiva foi realizada através do Método da Curva Número do SCS, portanto definiu-se o valor dos coeficientes CN para os dispositivos que sua implementação foi simulada. Foram adotados um conjunto de cenários que simulam diferentes valores do coeficiente com objetivo de refletir as diversas incertezas sobre os dispositivos, tendo como base os valores utilizados por Rathke (2012). No Quadro 9 está apresentado os coeficientes CN para as situações de coberturas verdes, no Quadro 10 para os pavimentos permeáveis e no Quadro 11 para a condição inicial.

Quadro 9 - Coeficiente CN em função da situação da cobertura verde
(continua)

Dispositivo	Situação	Coeficiente CN
Telhados Verdes	Presença de vegetação em condição ideal com substrato sem umidade inicial, condição antecedente favorável, sem inclinação do telhado e com manutenção periódica.	75
	Presença de vegetação em bom estado com substrato parcialmente saturado, baixa inclinação do telhado e com manutenção periódica.	80

FONTE: Rathke, (2012)

Quadro 9 – Coeficiente CN em função da situação da cobertura verde
(conclusão)

	Presença de vegetação em mau estado com substrato saturado, baixa inclinação do telhado e com manutenção periódica.	85
	Presença de vegetação em mau estado com substrato completamente saturado, condição antecedente desfavorável, alta inclinação do telhado e sem manutenção periódica.	90

FONTE: Rathke, (2012)

Quadro 10 - Coeficiente CN para as situações do pavimento permeável

Dispositivo	Situação	Coeficiente CN
Pavimentos Permeáveis	Dispositivo novo e recém instalado com baixa umidade inicial, relevo plano e substrato grosso, com manutenção periódica e condição ideal.	75
	Dispositivo novo com idade baixa, com umidade inicial relativamente baixa, relevo com baixa declividade e substrato médio, com manutenção periódica.	80
	Dispositivo relativamente velho com idade acima da metade da vida útil, solo parcialmente saturado, média declividade e substrato fino, com baixa manutenção.	85
	Dispositivo velho com idade próxima ao final da vida, solo saturado inicialmente, alta declividade e sem manutenção.	90

FONTE: Rathke, (2012)

Quadro 11 - Coeficiente CN para a condição inicial

Dispositivo	Situação	Coeficiente CN
Condição Inicial	Cobertura de edificação impermeabilizada.	98
	Pavimento de estacionamento e passeio impermeabilizado.	98
	Vegetação.	60
	Inalteráveis: áreas impermeáveis que não são passíveis da utilização dos dispositivos	98

FONTE: Rathke, (2012)

5.4 Cenários hipotéticos estudados

O estudo da implementação de coberturas verdes e pavimentos permeáveis e análise da sua influência no escoamento superficial foi dividida em duas partes: em relação ao condomínio e em relação à bacia. A primeira parte diz respeito a análise da implementação dos dispositivos apenas dentro da área do condomínio, já a segunda diz respeito a área total bacia.

Para a análise de implementação dos dispositivos, em relação ao condomínio, foram considerados quatro cenários hipotéticos iniciais:

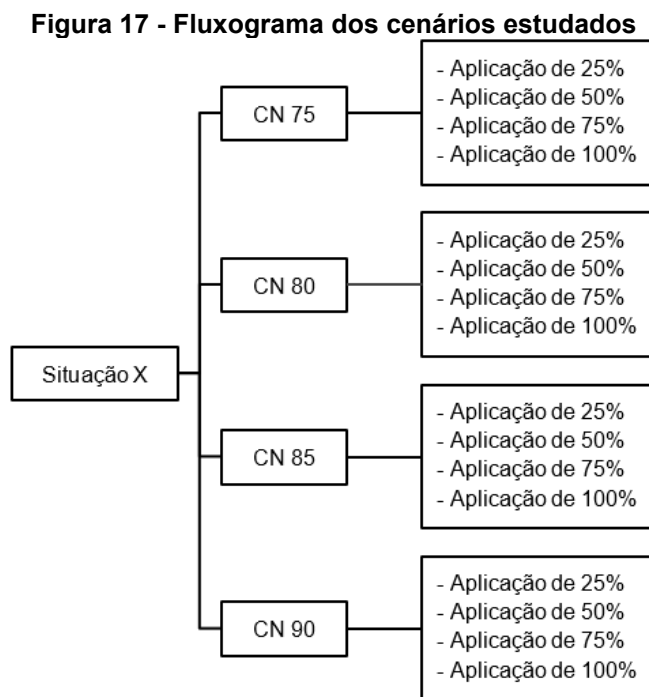
- a. Condição atual da região;
- b. Implementação de coberturas verdes;
- c. Implementação de pavimentos permeáveis;
- d. Implementação dos dois dispositivos simultaneamente.

Tendo em consideração que uma situação ideal de aplicação dos mesmos em 100% das áreas de coberturas e pavimentos, nem sempre é viável, os dispositivos foram avaliados considerando implementações de 25%, 50%, 75% e 100% da área disponível para cada uma das situações de coeficiente CN citadas anteriormente. Isso resultou, por exemplo, no estudo da utilização de coberturas verdes como solução, com um valor de CN igual a 75, analisado para as áreas de implantação de 25%, 50%, 75% e 100% da área total, em sequência a mesma análise é feita para os valores de coeficientes CN de 80, 85 e 90. Posteriormente, aplicou-se a mesma metodologia para o estudo do uso de pavimentos permeáveis e do uso simultâneo dos dois dispositivos.

A fim de facilitar a compreensão dos cenários estudados, foram utilizadas as seguintes nomenclaturas, em relação ao condomínio:

- Situação 01: condição inicial do condomínio Vista Cilla;
- Situação 02: implementação de coberturas verdes no condomínio Vista Cilla;
- Situação 03: implementação de pavimentos permeáveis no condomínio Vista Cilla;
- Situação 04: implementação de coberturas verdes e pavimentos permeáveis no condomínio Vista Cilla;

A Figura 17 apresenta o fluxograma do estudo dos cenários apresentados, considerando a situação em estudo, o coeficiente CN considerado e sua porcentagem de aplicação.



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Para todos os cenários, o valor do coeficiente CN atribuído na simulação foi determinado a partir da Equação 8, que apresenta um cálculo de coeficiente ponderado para cada situação de bacia. Os valores obtidos são apresentados nas Tabela 7, 7, 8 e 9.

$$CN = \frac{\sum_i^n CN_i \times A_i}{\sum_i^n A_i} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

CN : coeficiente da bacia com áreas heterogêneas;

CN_i : coeficiente da área homogênea i ;

A_i : área da região homogênea i .

Tabela 7 – Área impermeável e coeficiente CN para a Situação 01

Situação 01 – Condição Inicial	
CN Ponderado	% Área Impermeável
87,18	71,53%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 8 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 02

<i>Situação 02 – Cobertura Verde</i>			
CN Dispositivo	Área de Implantação	CN Ponderado	% Área Impermeável
75	25%	86,32	67,79%
	50%	85,46	64,05%
	75%	84,60	60,32%
	100%	83,74	56,58%
80	25%	86,51	67,79%
	50%	85,84	64,05%
	75%	85,16	60,32%
	100%	84,49	56,58%
85	25%	86,69	67,79%
	50%	86,21	64,05%
	75%	85,72	60,32%
	100%	85,24	56,58%
90	25%	86,88	67,79%
	50%	86,58	64,05%
	75%	86,28	60,32%
	100%	85,98	56,58%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 9 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 03
(continua)

<i>Situação 03 - Pavimento Permeável</i>			
CN Dispositivo	Área de Implantação	CN Ponderado	% Área Impermeável
75	25%	84,29	58,98%
	50%	81,41	46,43%
	75%	78,52	33,88%
	100%	75,63	21,33%
80	25%	84,92	58,98%
	50%	82,66	46,43%
	75%	80,40	33,88%
	100%	78,14	21,33%
85	25%	85,55	58,98%
	50%	83,92	46,43%
	75%	82,29	33,88%
	100%	80,65	21,33%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

**Tabela 8 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 03
(conclusão)**

90	25%	86,18	58,98%
	50%	85,17	46,43%
	75%	84,17	33,88%
	100%	83,16	21,33%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 10 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 04

<i>Situação 04 - Telhado Verde e Pavimento Permeável</i>			
CN Dispositivo	Área de Implantação	CN Ponderado	% Área Impermeável
75	25%	83,43	55,24%
	50%	79,69	38,95%
	75%	75,94	22,67%
	100%	72,20	6,38%
80	25%	84,25	55,24%
	50%	81,32	38,95%
	75%	78,39	22,67%
	100%	75,45	6,38%
85	25%	85,06	55,24%
	50%	82,95	38,95%
	75%	80,83	22,67%
	100%	78,71	6,38%
90	25%	85,88	55,24%
	50%	84,57	38,95%
	75%	83,27	22,67%
	100%	81,97	6,38%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Em sequência, foi analisado a implementação dos dispositivos em relação à bacia, considerando três cenários:

- a. Condição atual da bacia, com a implementação dos dois dispositivos simultaneamente na área do condomínio;
- b. Bacia hipoteticamente urbanizada em 50% de sua área, com a implementação dos dispositivos em 25%, 50%, 75% e 100% da área urbanizada;

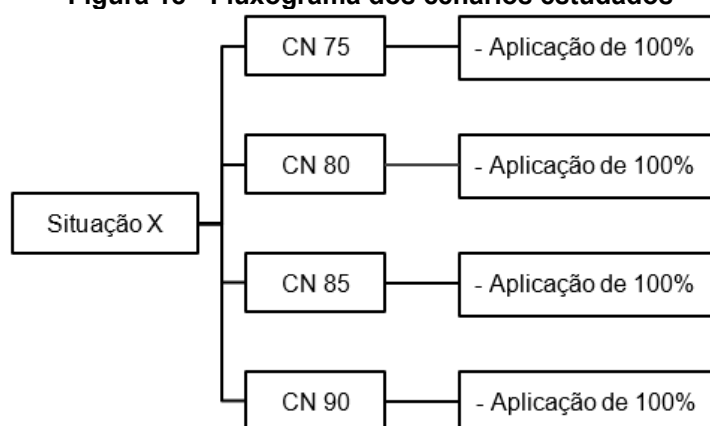
- c. Bacia hipoteticamente urbanizada em 100% de sua área, com a implementação dos dispositivos em 25%, 50%, 75% e 100% da área urbanizada.

As simulações para esses casos foram denominadas da seguinte forma:

- Situação 05: bacia em sua condição inicial, sem implementação de nenhum dispositivo;
- Situação 06: bacia em sua condição atual com implementação simultânea dos dispositivos apenas na área do condomínio, considerando 100% de aplicação;
- Situação 07: bacia com 50% de sua área urbanizada, desconsiderando as regiões de vegetação nativa, como condição inicial. Os dispositivos serão implementados simultaneamente em 25%, 50%, 75% e 100% da área urbanizada, considerando que as coberturas verdes são aplicadas em 60% da área urbanizada e os pavimentos permeáveis nos outros 40%.
- Situação 08: bacia com 100% de sua área urbanizada, desconsiderando as regiões de vegetação nativa, como condição inicial. Os dispositivos serão implementados simultaneamente em 25%, 50%, 75% e 100% da área urbanizada, considerando que as coberturas verdes são aplicadas em 60% da área urbanizada e os pavimentos permeáveis nos outros 40%.

A Figura 18 apresenta o fluxograma do estudo realizado para a situação 6, considerando seu coeficiente CN e sua porcentagem única de aplicação. Já as situações 7 e 8 seguem o fluxograma apresentado anteriormente, na Figura 17.

Figura 18 - Fluxograma dos cenários estudados



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Os valores de CN atribuídos nas simulações também foram calculados a partir da Equação 8 e estão apresentados nas Tabelas 10, 11, 12 e 13.

Tabela 11 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 05

<i>Situação 05 - Condição atual da bacia</i>	
CN Ponderado	% Área Impermeável
76,31	3,10%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 12 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 06

<i>Situação 06 - Bacia com implementação no condomínio</i>		
CN Dispositivo	CN Ponderado	% Área Impermeável
75	76,22	0,04%
80	76,24	0,04%
85	76,26	0,04%
90	76,28	0,04%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 13 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 07
(continua)

<i>Situação 07 - Bacia 50% urbanizada</i>			
CN Dispositivo	Área de Implantação	CN Ponderado	% Área Impermeável
Inicial	-	83,61	38,84%
75	25%	81,47	29,53%
	50%	76,32	20,22%
	75%	77,18	10,91%
	100%	75,04	1,59%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

**Tabela 12 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 07
(conclusão)**

Situação 07 - Bacia 50% urbanizada			
CN Dispositivo	Área de Implantação	CN Dispositivo	% Área Impermeável
80	25%	81,93	29,53%
	50%	80,25	20,22%
	75%	78,58	10,91%
	100%	76,90	1,59%
85	25%	82,40	29,53%
	50%	81,19	20,22%
	75%	79,98	10,91%
	100%	78,76	1,59%
90	25%	82,86	29,53%
	50%	82,12	20,22%
	75%	81,37	10,91%
	100%	80,63	1,59%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 14 - Área impermeável e CN ponderado para a Situação 08

Situação 08 - Bacia 100% urbanizada			
CN Dispositivo	Área de Implantação	CN Ponderado	% Área Impermeável
Inicial	-	90,86	74,51%
75	25%	86,58	55,88%
	50%	82,29	37,25%
	75%	78,01	18,63%
	100%	73,73	0,00%
80	25%	87,51	55,88%
	50%	84,16	37,25%
	75%	80,80	18,63%
	100%	77,45	0,00%
85	25%	88,44	55,88%
	50%	86,02	37,25%
	75%	83,60	18,63%
	100%	81,18	0,00%
90	25%	89,37	55,88%
	50%	87,88	37,25%
	75%	86,36	18,63%
	100%	84,90	0,00%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

5.5 Modelagem chuva-vazão

Com a caracterização de todas as variáveis e definição dos parâmetros necessários para o desenvolvimento do trabalho, iniciou-se a modelagem chuva-vazão utilizando o *Software* IPHS1.

Os dados de entrada inseridos no IPHS1 são: número de intervalos de tempo desejados no hidrograma; número de intervalos de tempo com chuva e o tamanho do intervalo de tempo, onde o número de intervalos de tempo desejados deve ser maior que o número de intervalos com chuva. Em seguida a rede de drenagem é construída com um ponto de passagem e a inserção de uma sub-bacia. A sub-bacia foi configurada para operar com a transformação chuva-vazão seguindo o modelo do SCS, onde a separação do escoamento ocorre seguindo o modelo da Curva Número e sua propagação pela aproximação do hidrograma triangular.

Vale ressaltar que, para as simulações em relação ao condomínio, adotou-se 90 intervalos de tempo no hidrograma e um tempo de concentração igual a 1 minuto, uma vez que não é possível realizar os cálculos para a bacia do condomínio. Já para as simulações a nível de bacia adotou-se 150 intervalos de tempo no hidrograma e o tempo de concentração com valor igual ao calculado na seção 5.2

As situações apresentadas neste capítulo estão resumidas no Quadro 12.

Quadro 12 - Resumo dos cenários estudados

(continua)

Situação	Descrição	CN do Dispositivo	Área Implementada
1	Condição Inicial do condomínio Vista Cilla.	-	0%
2	Implementação de coberturas verdes no condomínio Vista Cilla.	70, 80, 85 e 90	25%, 50%, 75% e 100%
3	Implementação de pavimentos permeáveis no condomínio Vista Cilla.	70, 80, 85 e 90	25%, 50%, 75% e 100%
4	Implementação de coberturas verdes e pavimentos permeáveis no Vista Cilla.	70, 80, 85 e 90	25%, 50%, 75% e 100%
5	Condição inicial da bacia.	-	0%
6	Bacia com implementação dos dispositivos em 100% da área do condomínio.	70, 80, 85 e 90	100%

Quadro 12 - Resumo dos cenários estudados

(conclusão)

Situação	Descrição	CN do Dispositivo	Área Implementada
7	Bacia com 50% de sua área impermeabilizada e implementação simultânea dos dispositivos.	Inicial 70, 80, 85 e 90	0% 25%, 50%, 75% e 100%
8	Bacia com 100% de sua área impermeabilizada e implementação simultânea dos dispositivos.	Inicial 70, 80, 85 e 90	0% 25%, 50%, 75% e 100%

FONTE: Elaborado pela autora (2021)

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesse capítulo estão apresentados os resultados obtidos através da aplicação da modelagem descrita no capítulo anterior, para todos os cenários hipotéticos estudados. Os resultados estão divididos entre as simulações em relação ao condomínio e em relação a bacia, para fins de comparação.

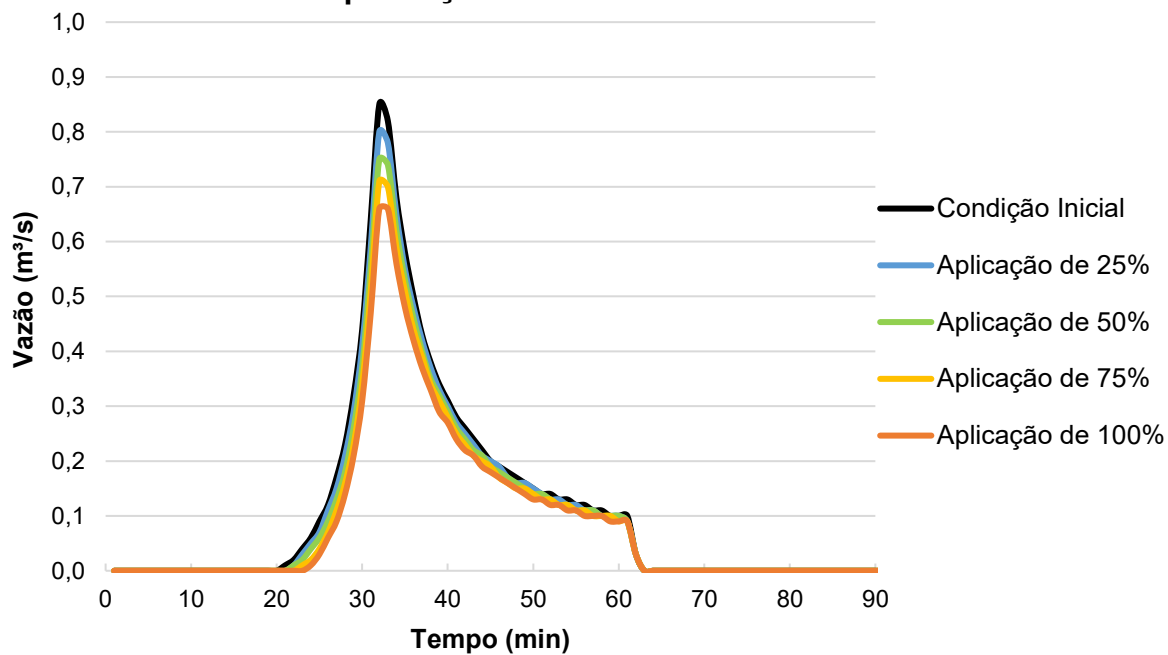
6.1 Simulação em relação ao condomínio

Nesta seção são apresentados os resultados à nível de condomínio. Para cada uma das quatro situações foram analisados os dados de vazão de pico do escoamento superficial, o volume escoado superficialmente, o coeficiente de escoamento e o tempo de pico.

6.1.1 Vazão de pico

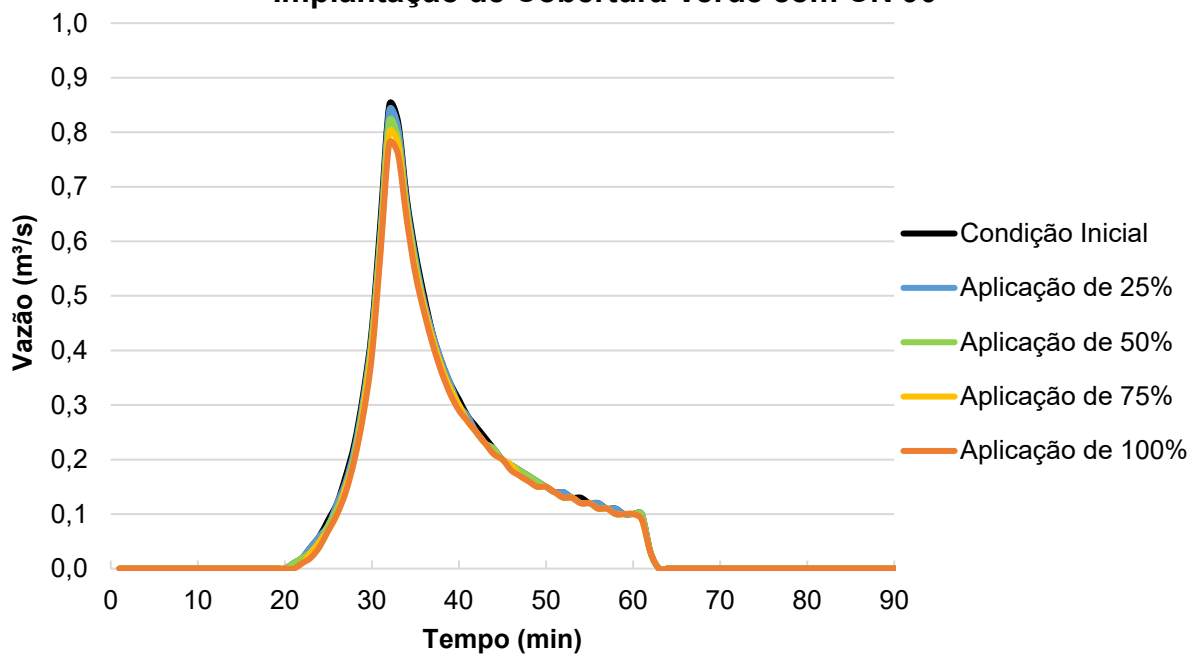
A vazão de pico é a maior vazão gerada pela chuva de projeto, identificada graficamente pelo pico do hidrograma resultante. Todos os dados obtidos para a vazão de pico são analisados em comparação com a condição inicial do condomínio estudado. Em sequência, são apresentados os resultados para os valores de coeficiente CN mais extremos, 75 e 90, os demais hidrogramas se encontram no apêndice A.

**Figura 19 - Hidrograma resultante para a Situação 02 com CN 75
Implantação de Telhado Verde com CN 75**



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

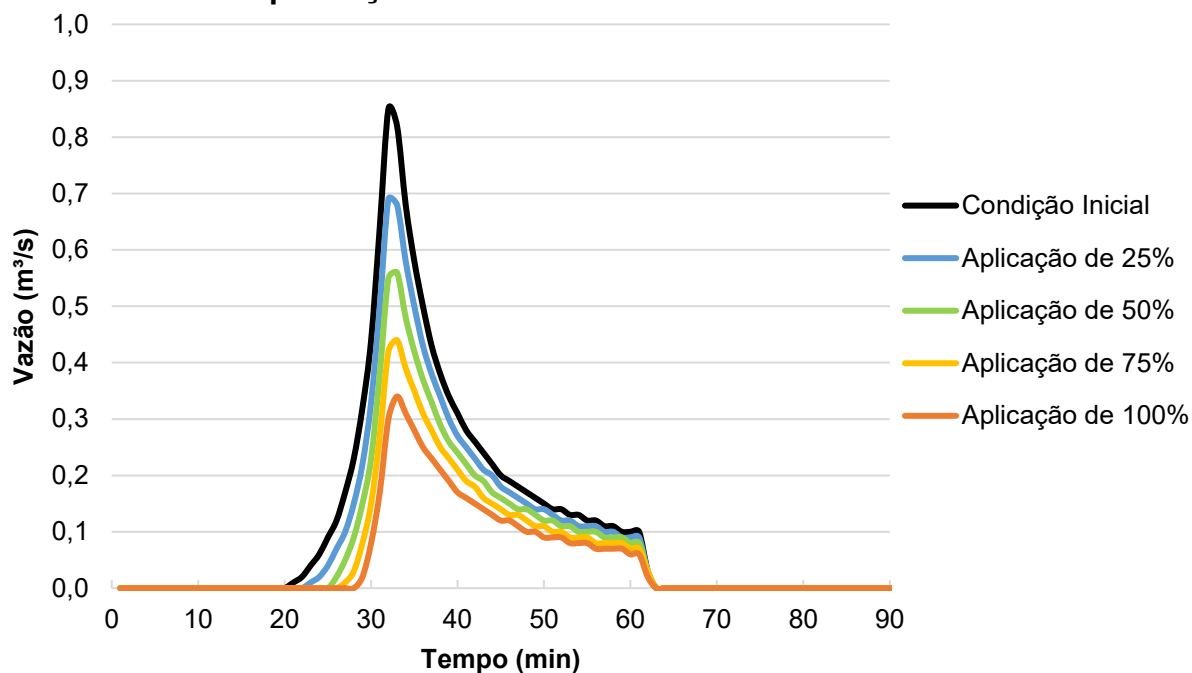
**Figura 20 - Hidrograma resultante para a Situação 02 com CN 90
Implantação de Cobertura Verde com CN 90**



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 21 - Hidrograma resultante da Situação 03 com CN 75

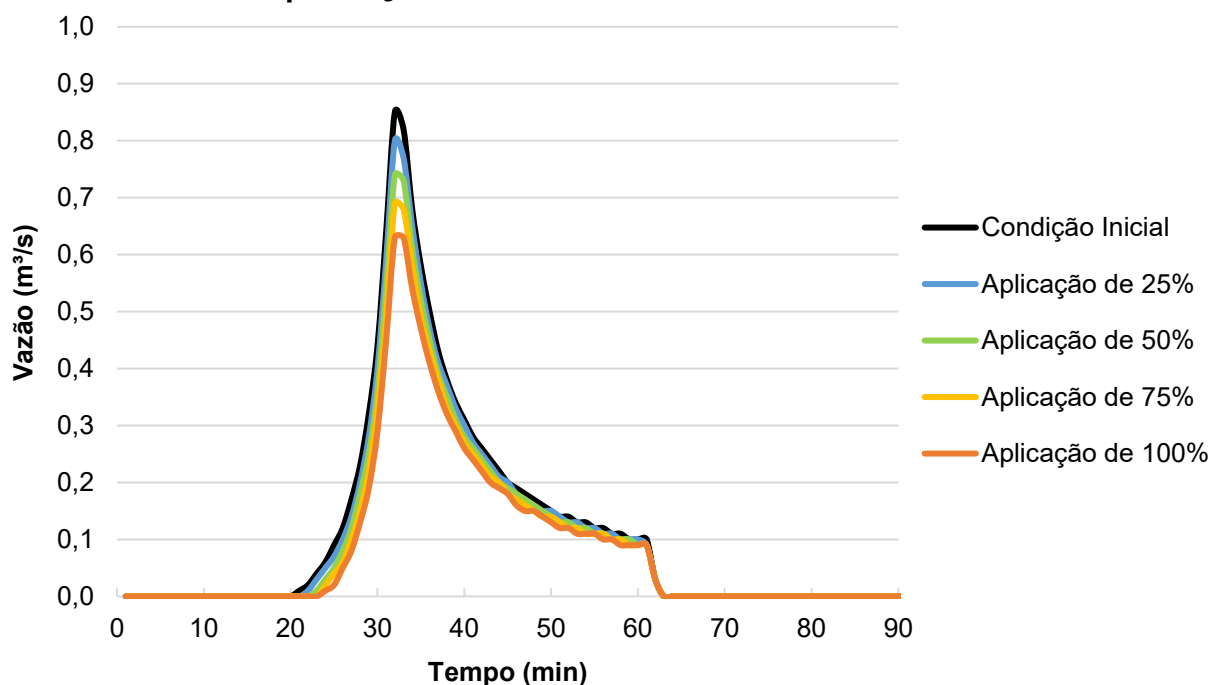
Implantação de Pavimento Permeável com CN 75



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 22 - Hidrograma resultante para a Situação 03 com CN 90

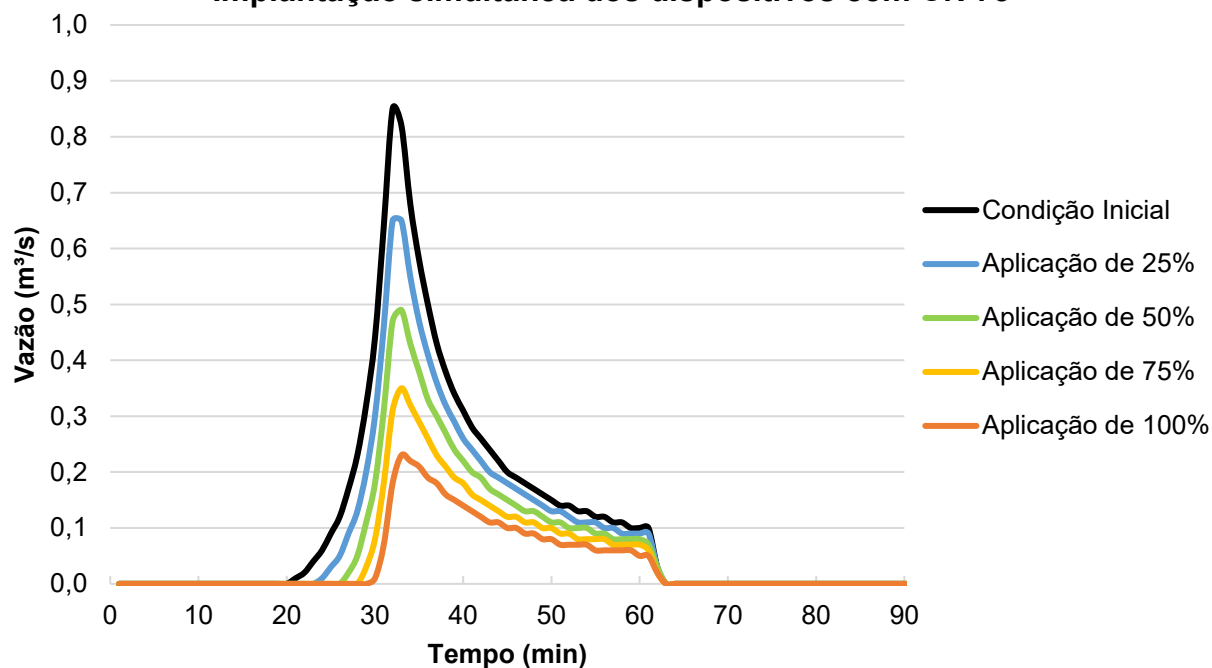
Implantação de Pavimento Permeável com CN 90



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 23 - Hidrograma resultante para a Situação 04 com CN 75

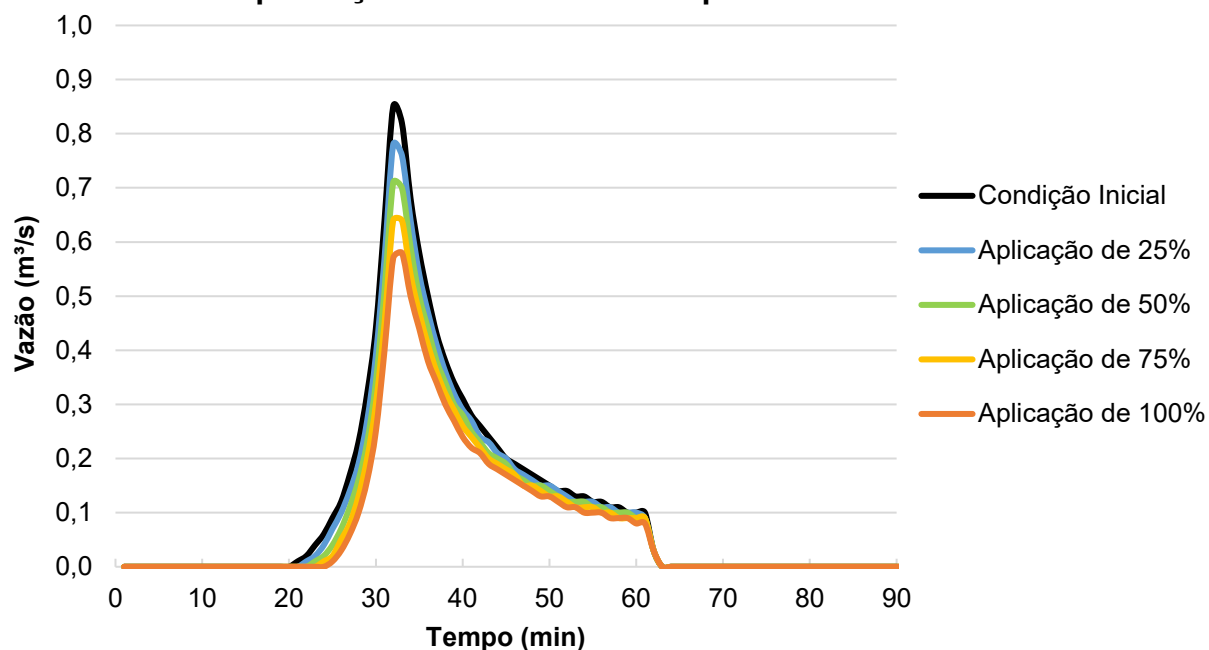
Implantação simultânea dos dispositivos com CN 75



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 24 - Hidrograma resultante para a Situação 04 com CN 90

Implantação simultânea dos dispositivos com CN 90



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Comparando os resultados mais expressivos, dispositivos com CN 75 e aplicação de 100%, com a condição inicial, tem-se que a vazão de pico diminuiu 22,4%

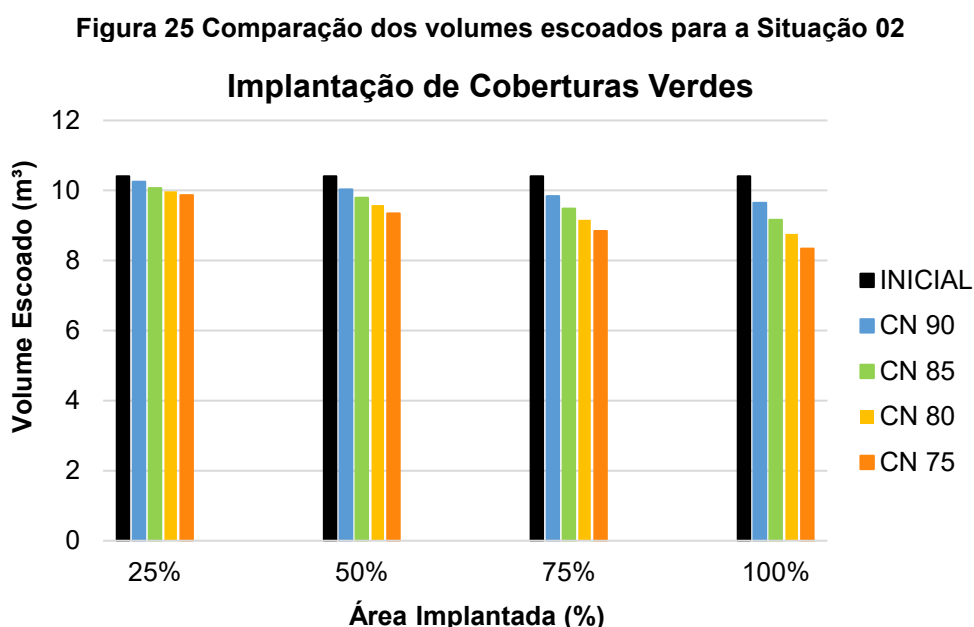
com a utilização de coberturas verdes, 60,0% com o uso de pavimentos permeáveis e 72,9% com a utilização simultânea dos dispositivos.

Quando se considera um CN 90, a utilização de coberturas verdes reduziu 8,2% a vazão de pico, os pavimentos permeáveis 25,9% e a interação dos dispositivos 31,8%.

Pode-se verificar também que, mesmo com porcentagens de aplicação menores, a utilização dos dispositivos isoladamente ou em conjunto reduz a vazão de pico. Os hidrogramas para aplicação de apenas pavimento permeável se mostram mais expressivos do que os de aplicação apenas de coberturas verdes devido ao fato da área de aplicação dos pavimentos é consideravelmente superior à de coberturas verdes, e não a sua eficiência como dispositivo de controle.

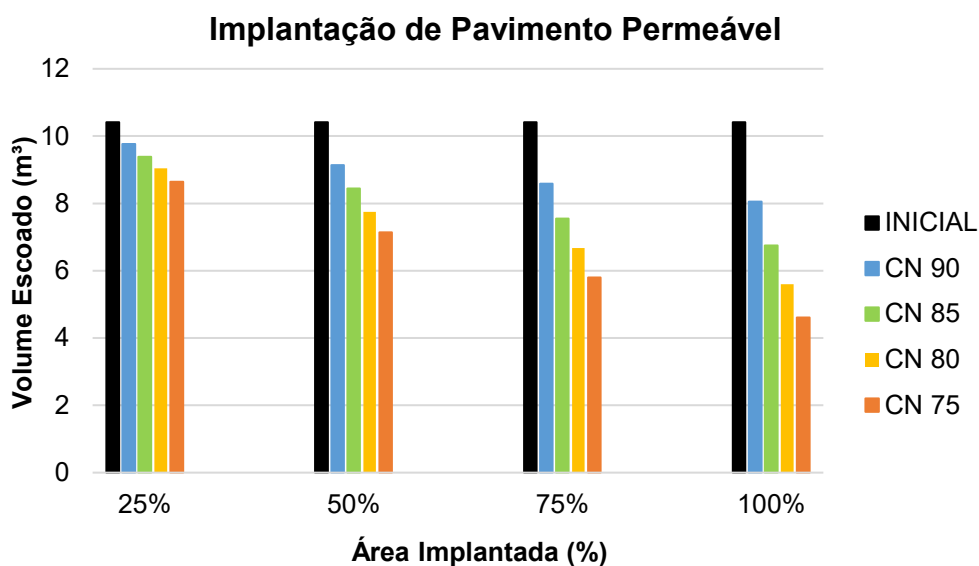
6.1.2 Volume escoado

O volume escoado foi determinado a partir da área abaixo do hidrograma resultante de cada situação. Em seguida, são apresentados volumes escoados em comparação com a condição inicial.



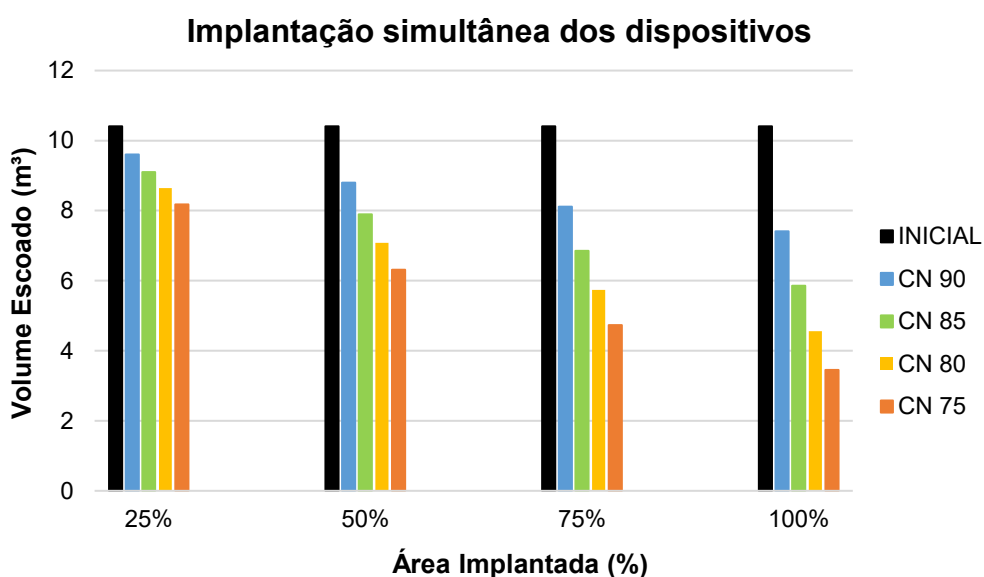
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 26 - Comparação dos volumes escoados para a Situação 03



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 27 - Comparação dos volumes escoados para a Situação 04



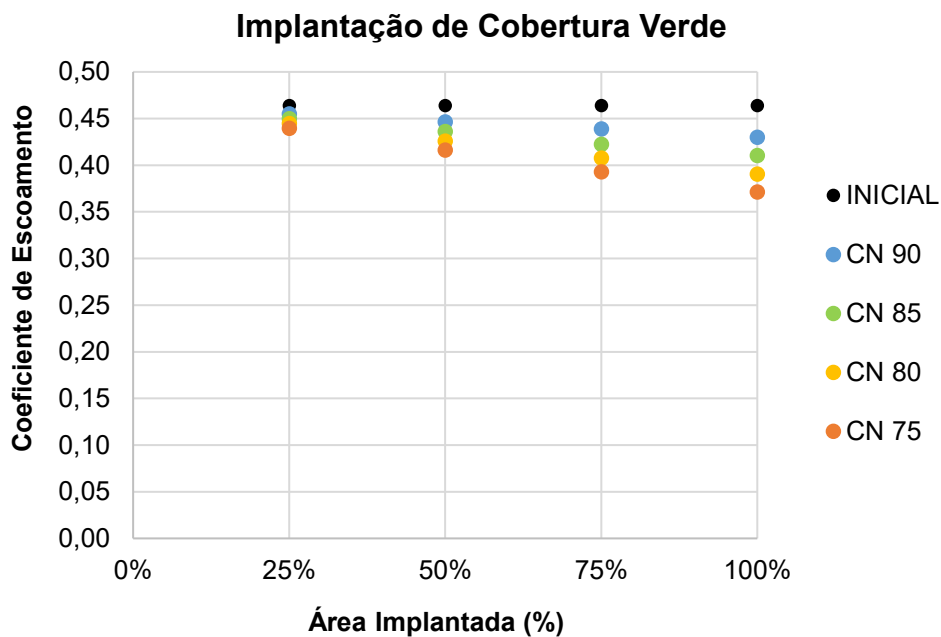
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

O volume escoado diminuiu de forma acentuada com a utilização dos dispositivos, principalmente com a implementação simultânea dos mesmos, podendo reduzir em 66,9% considerando um CN 75 e 28,8% considerando um CN 90.

6.1.3 Coeficiente de escoamento

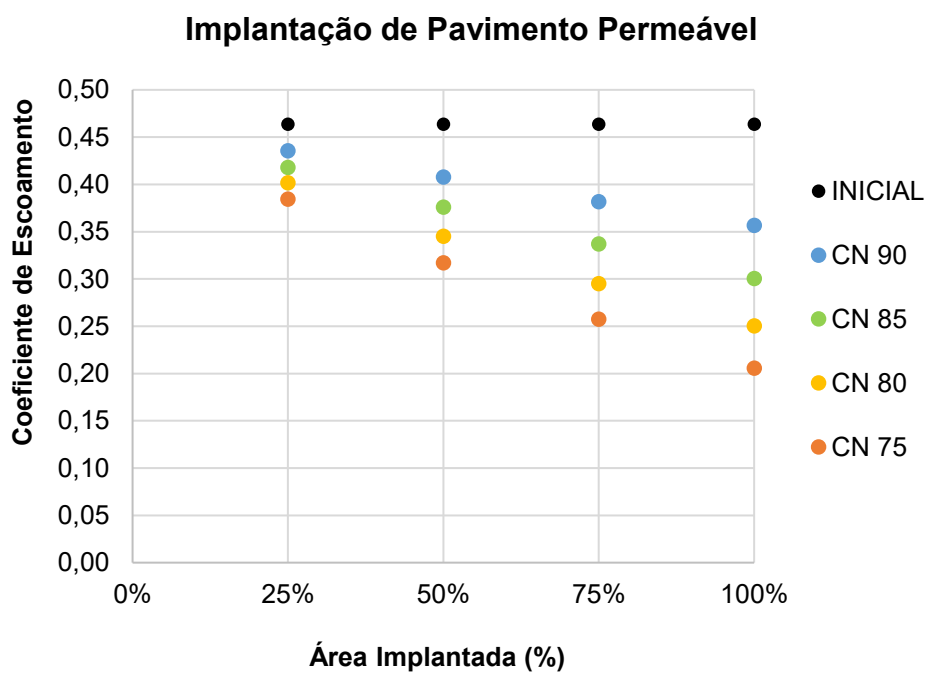
O coeficiente de escoamento é calculado pela razão entre a precipitação escoada e a precipitação total na bacia, sendo apresentados nos quadros abaixo.

Figura 28 - Coeficiente de escoamento para a Situação 02



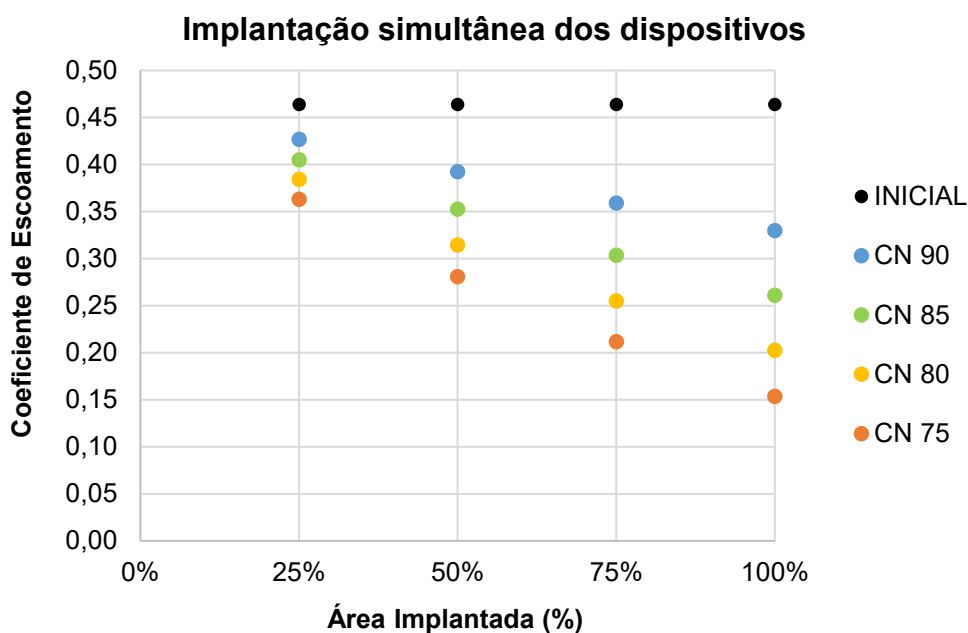
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 29 - Coeficiente de escoamento pra a Situação 03



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 30 - Coeficiente de escoamento para a Situação 04



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Em situações ideais, onde o coeficiente considerado tem um valor de 75 e os dispositivos são implantando em 100% da área, o uso de coberturas verdes reduz em 19,6% o coeficiente de escoamento, o uso de pavimentos permeáveis levou a redução em 54,3% e o uso simultâneo reduziu o coeficiente em 67,4%.

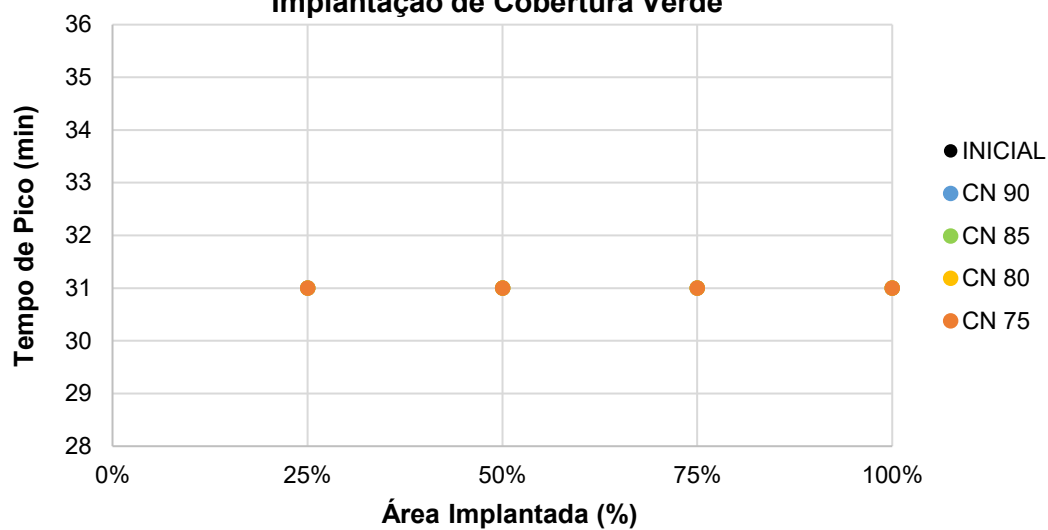
Já para um CN 90 a redução do coeficiente de escoamento com a aplicação de coberturas verdes é de 6,5%, aplicação de pavimentos permeáveis é de 21,7% e a aplicação simultânea dos dispositivos reduz 28,3%. A diferença nos resultados de coberturas verdes e pavimentos permeáveis se dá pelo mesmo motivo descrito na seção anterior.

6.1.4 Tempo de pico

O tempo de pico é o tempo decorrido até que a vazão escoada atinja seu pico e é determinado graficamente. Para esse parâmetro, a aplicação de coberturas verdes não se mostrou tão expressiva quanto os pavimentos permeáveis, mantendo o tempo de pico do hidrograma inalterado em todas as simulações da Situação 02.

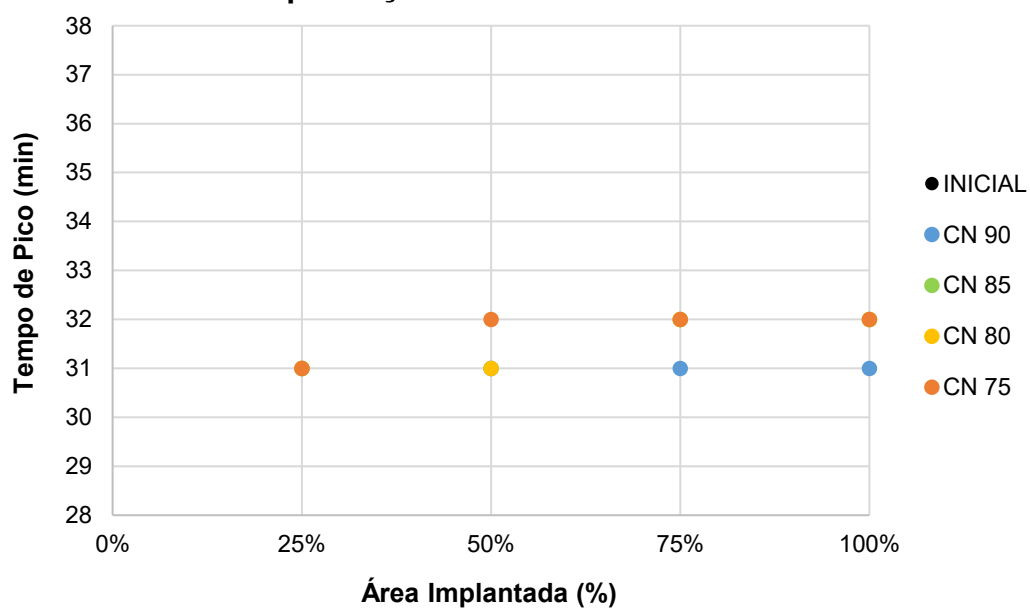
Os resultados obtidos podem ser verificados nas Figuras 31, 32 e 33. Através das Figuras 32 e 33 observa-se que a implantação apenas dos pavimentos permeáveis e a implantação simultânea dos dispositivos conseguiram atrasar em apenas 1 minuto o tempo de pico do hidrograma.

**Figura 31 - Tempo de pico para a Situação 02
Implantação de Cobertura Verde**

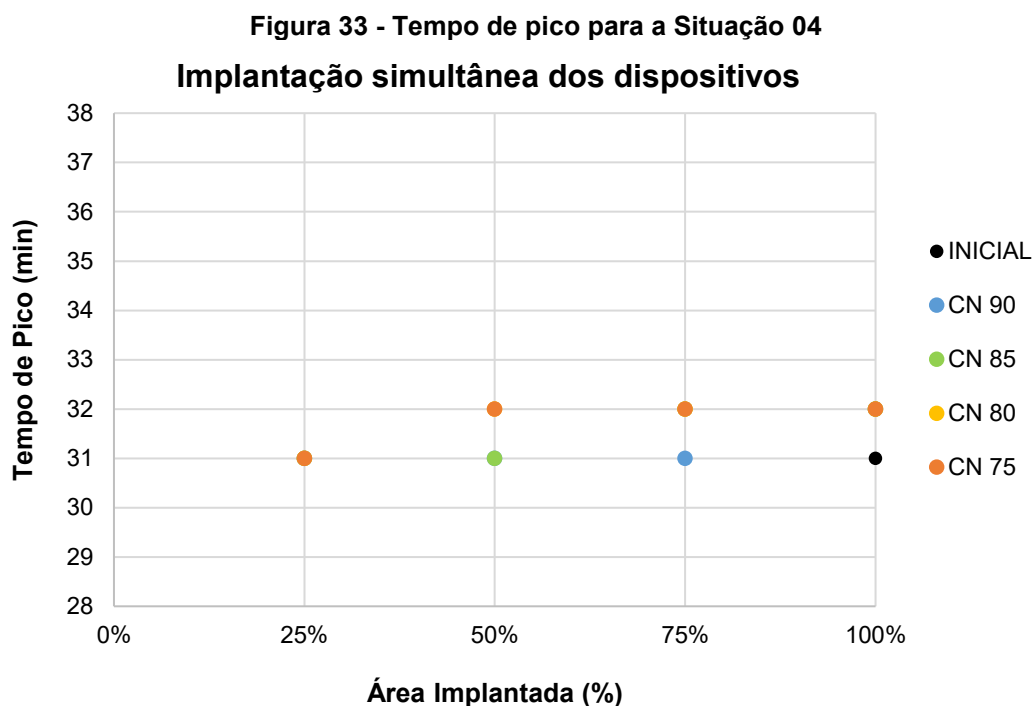


FONTE: Elaborado pela autora (2021)

**Figura 32 - Tempo de pico para a Situação 03
Implantação de Pavimento Permeável**



FONTE: Elaborado pela autora (2021)



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Os demais dados de tempo de pico, assim como os de vazão de pico, volume escoado e coeficiente de escoamento, para os valores de coeficiente CN não apresentados se encontram no Apêndice C.

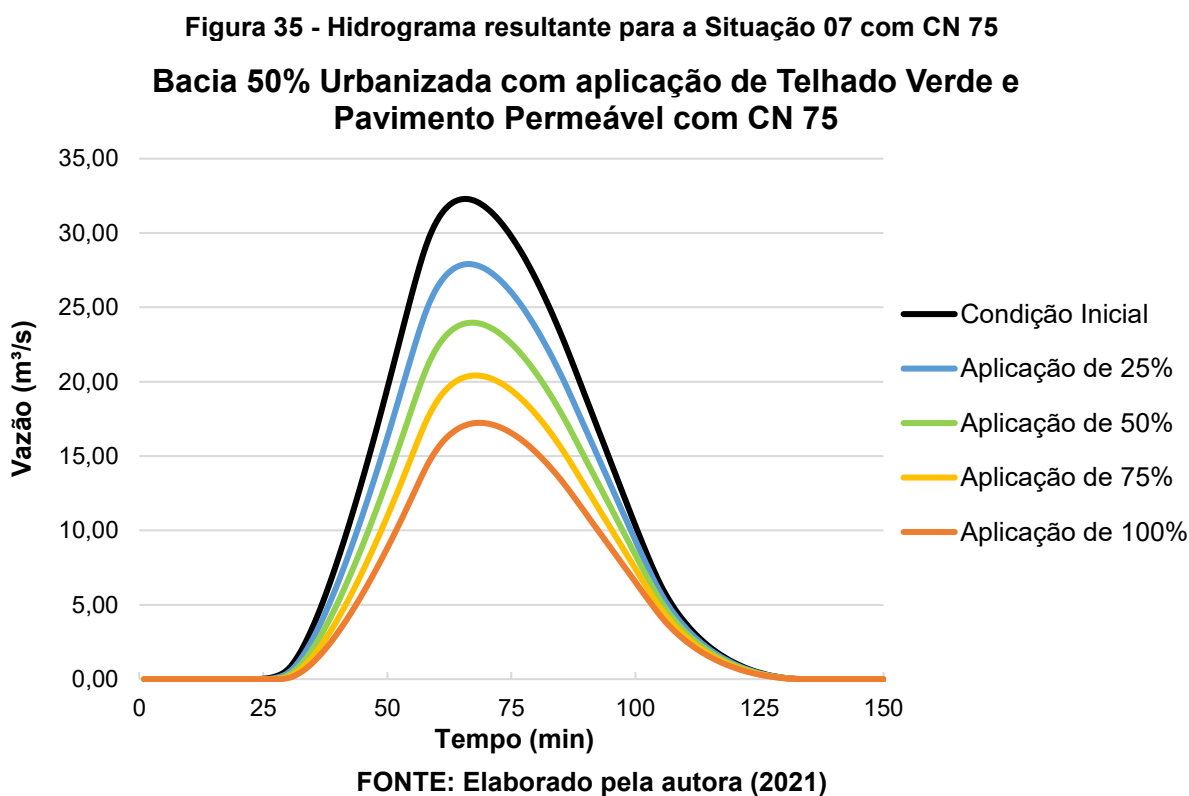
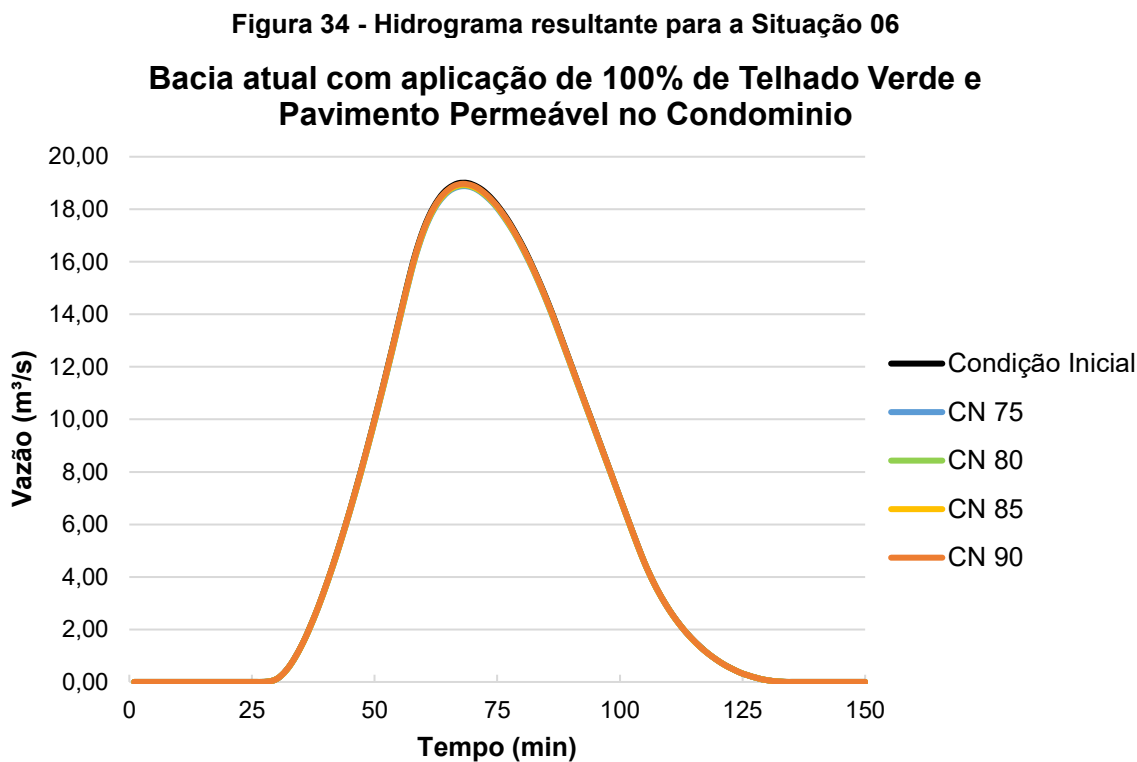
6.2 Simulação em relação à bacia

Nesta seção são apresentados os resultados para as quatro situações estudadas em relação à bacia, onde é analisado dados de vazão de pico do escoamento superficial, o volume escoado superficialmente, o coeficiente de escoamento e o tempo de pico.

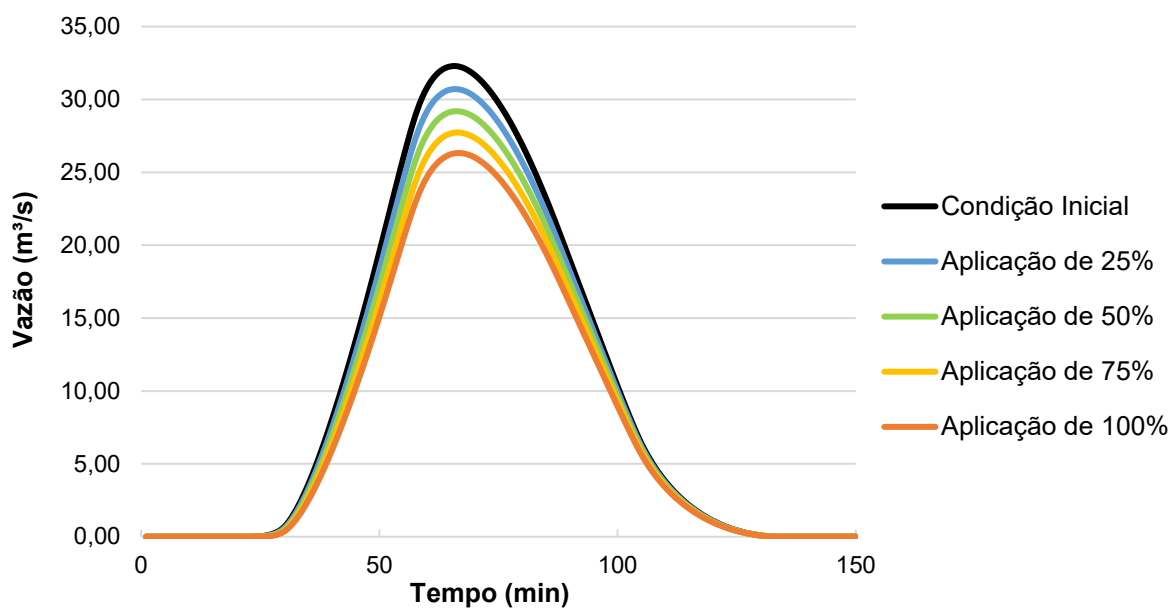
6.2.1 Vazão de pico

Os hidrogramas resultantes estão apresentados abaixo, sendo o hidrograma resultante da Situação 6 apresentado na Figura 34, os hidrogramas da Situação 7 com valores mais extremos de coeficiente, CN 75 e 90, estão apresentados na Figura 35 e 36, e os da Situação 8, para os mesmos valores de coeficientes, nas Figuras 37 e 38. Os hidrogramas resultantes para os demais valores de coeficientes CN encontram-se no apêndice B.

A Situação 6, apesar de reduzir a vazão de pico, não apresentou resultados tão significantes quanto as demais situações, devido ao fato que a área do condomínio é muito pequena se comparada a área da bacia.

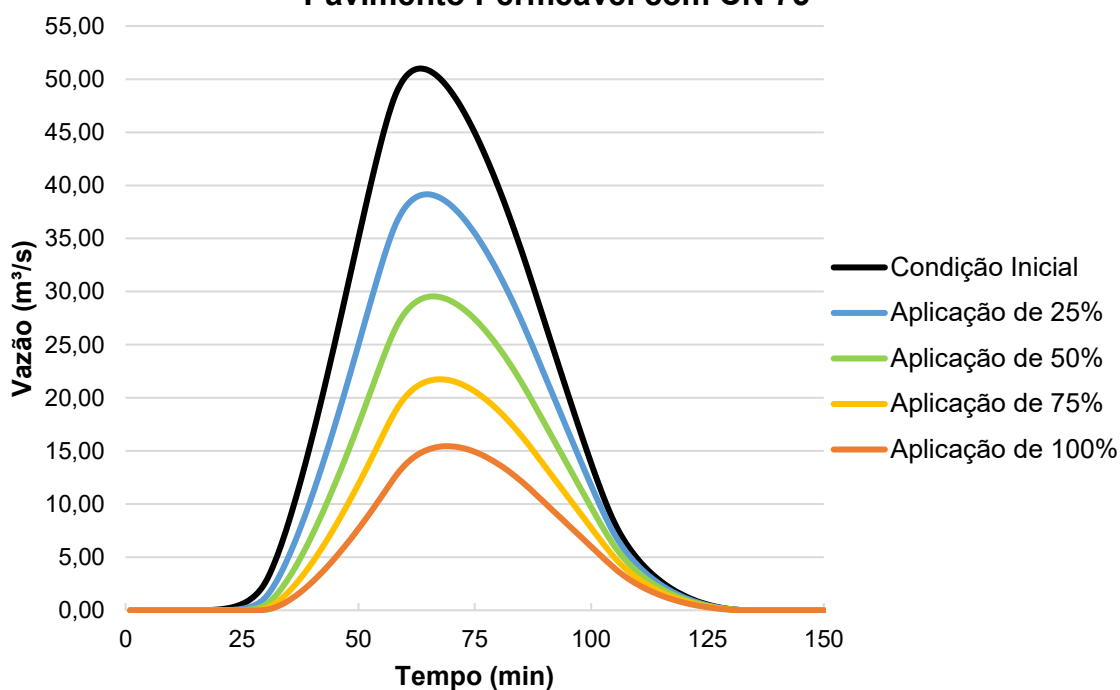


**Figura 36 - Hidrograma resultante para a Situação 07 com CN 90
Bacia 50% Urbanizada com aplicação de Telhado Verde e
Pavimento Permeável com CN 90**



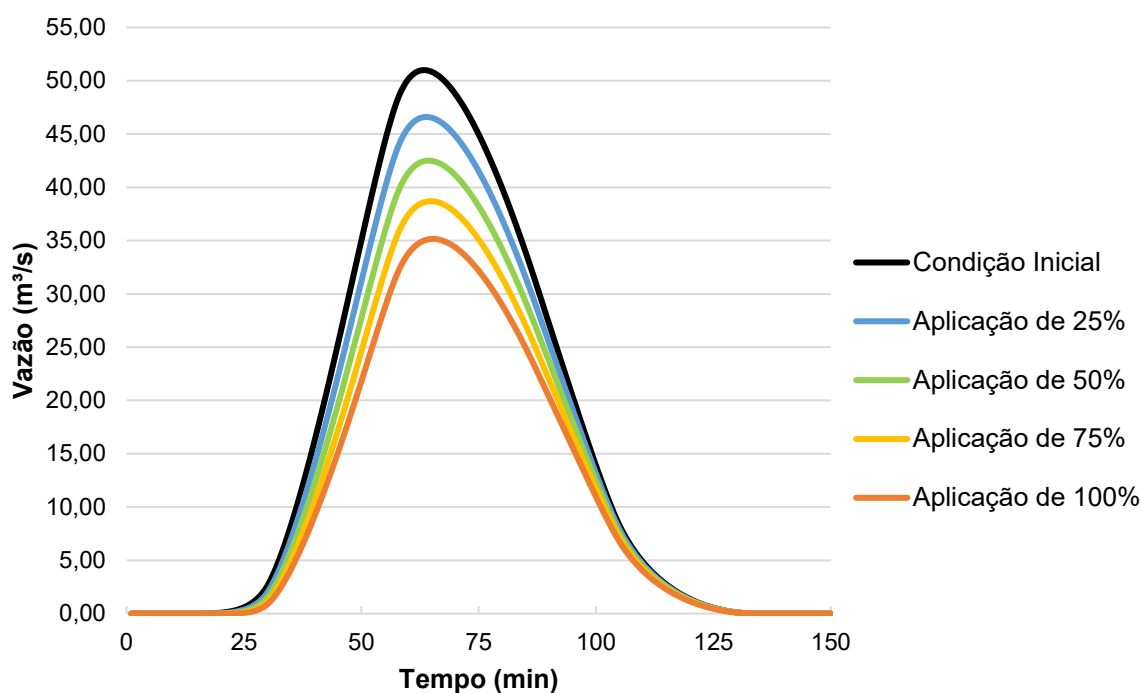
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

**Figura 37 - Hidrograma resultante para a Situação 08 com CN 75
Bacia 100% Urbanizada com aplicação de Telhado Verde e
Pavimento Permeável com CN 75**



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 38 - Hidrograma resultante para a Situação 08 com CN 90
Bacia 100% Urbanizada com aplicação de Telhado Verde e
Pavimento Permeável com CN 90



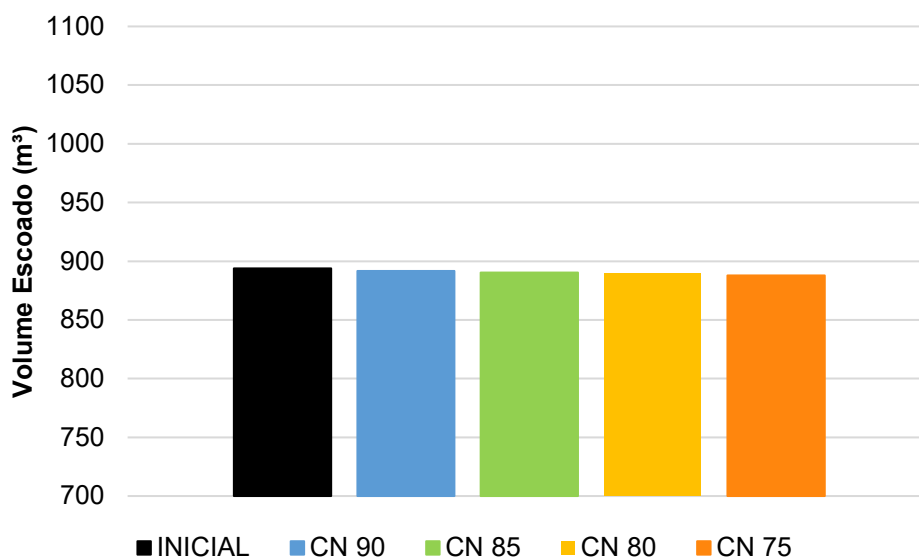
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Pode-se verificar que quanto maior for a área de implementação dos dispositivos, maior é o impacto na redução da vazão de pico. Quando a bacia é considerada 50% urbanizada a vazão de pico chega a ser reduzida em até 46,7% e quando é considerada inteira urbanizada essa redução chega a 69,7%.

6.2.2 Volume escoado

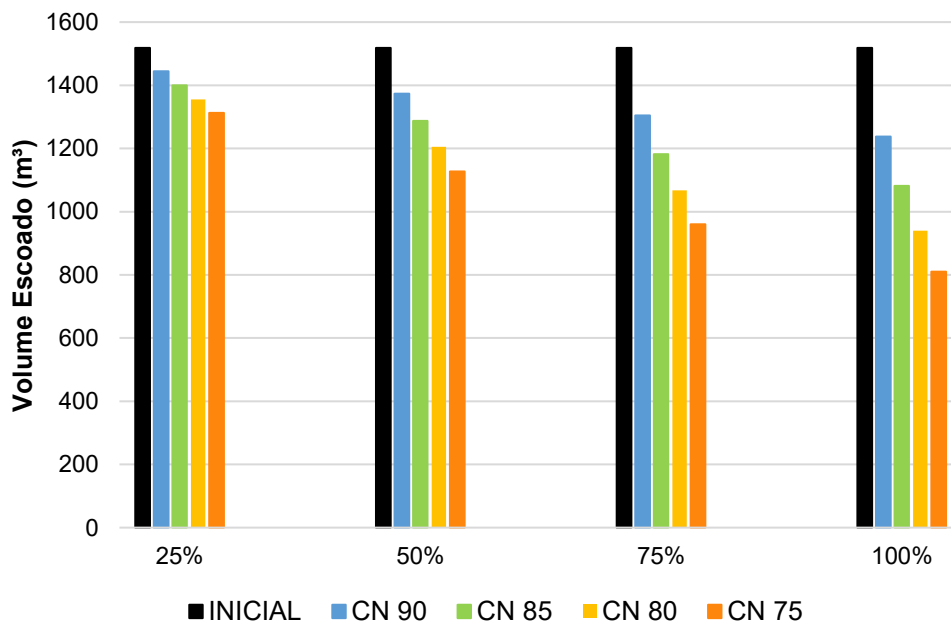
O volume escoado é calculado da mesma forma que foi apresentada no item 6.1.2, sendo apresentado na Figura 39 para a Situação 6, na Figura 40 para a Situação 7 e na Figura 41 para a Situação 8.

**Figura 39 - Volume escoado para a Situação 06
Bacia atual com aplicação simultânea dos
dispositivos no Condomínio**



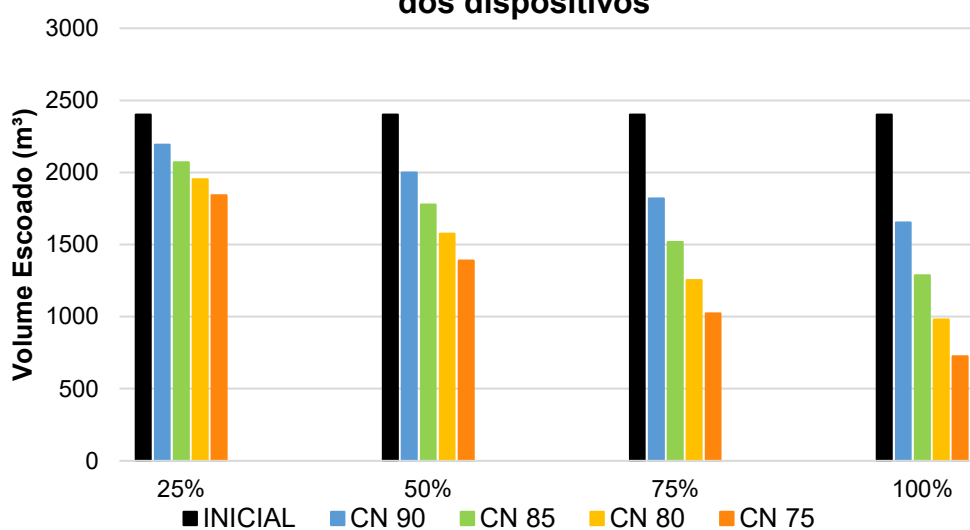
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

**Figura 40 – Comparação dos volumes escoados para a Situação 07
Bacia 50% urbanizada com aplicação simultânea
dos dispositivos**



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

**Figura 41 – Comparação dos volumes escoados para a Situação 08
Bacia 100% urbanizada com aplicação simultânea
dos dispositivos**



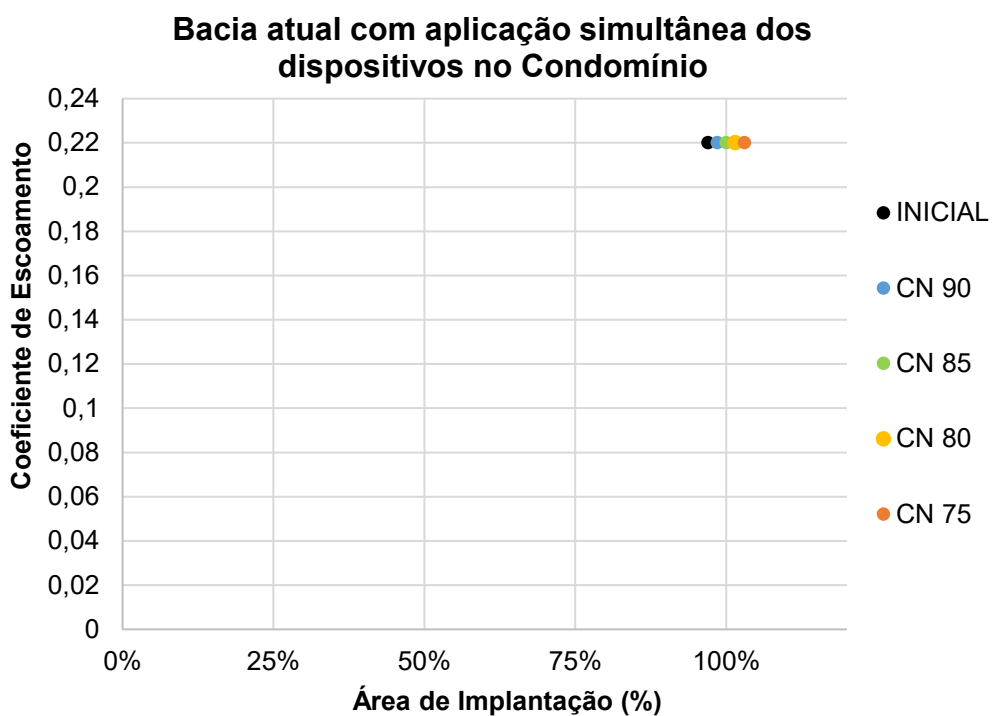
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Verifica-se que quanto maior for a área urbanizada da bacia maior é o volume escoado na condição inicial, mas o impacto da implantação simultânea dos dispositivos no volume escoado também é maior. Na Situação 6, o impacto é mínimo, não atingindo 1% de redução. Já na Situação 7 ocorre uma redução de até 46,7% e na Situação 8 uma redução de 69,8% no volume escoado.

6.2.3 Coeficiente de escoamento

Os coeficientes de escoamento para as simulações à nível de bacia estão apresentados nas Figuras 42, 43 e 44 e também foram determinados pela razão entre a precipitação escoada e a precipitação total na bacia.

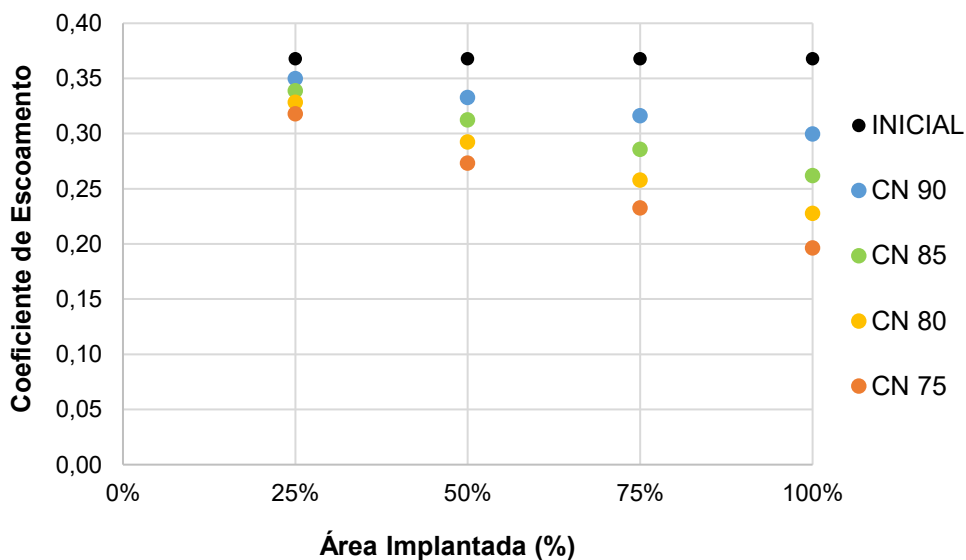
Figura 42 - Coeficiente de escoamento para a Situação 06



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

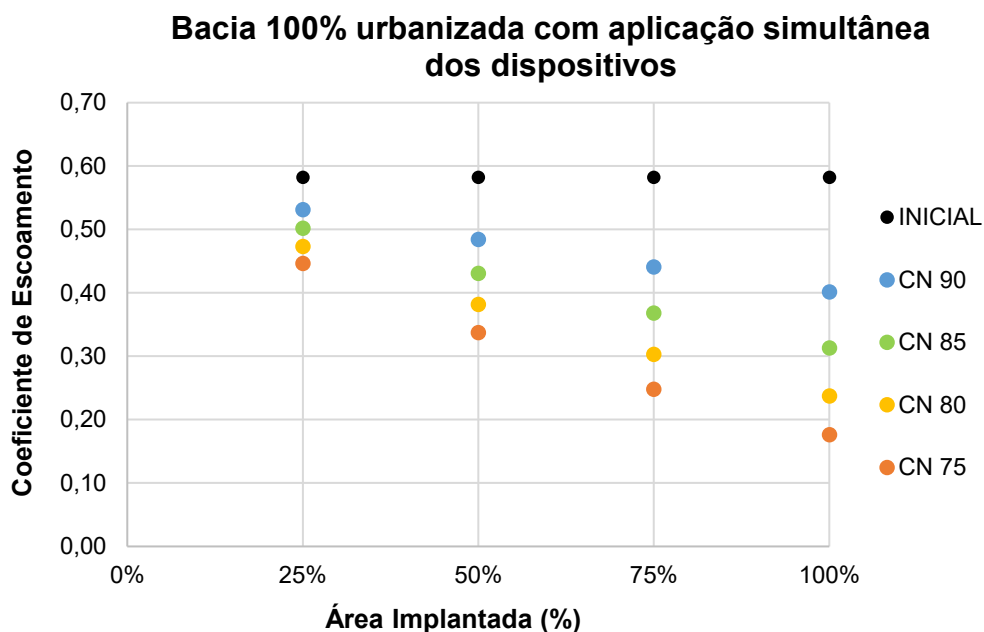
Figura 43 – Comparação dos coeficientes de escoamento para a Situação 07

Bacia 50% urbanizada com aplicação simultânea dos dispositivos



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 44 - Coeficiente de escoamento para a Situação 08



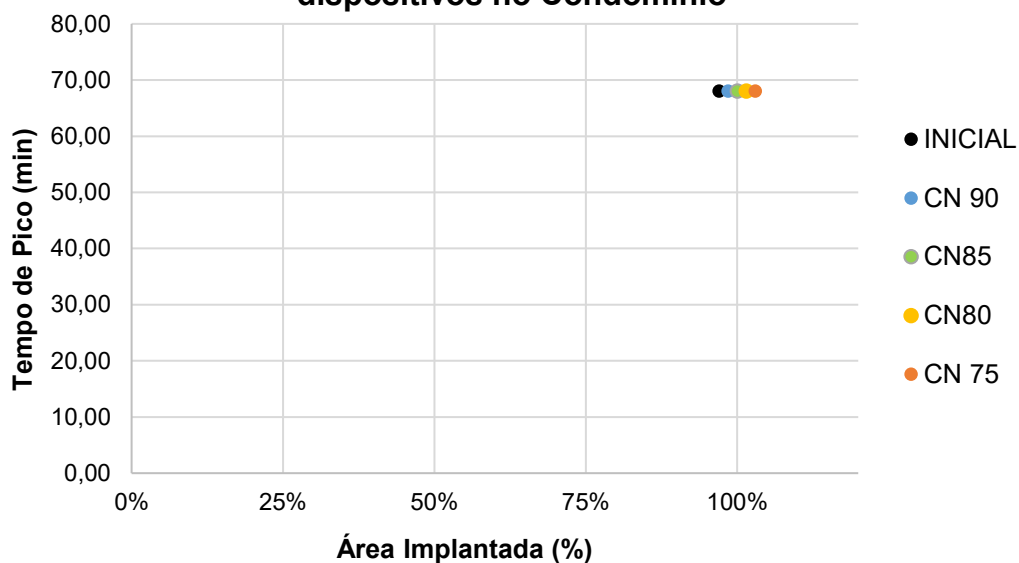
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Quando a implantação dos dispositivos ocorre apenas na área do condomínio, Situação 06, não há diferença no coeficiente escoado. Mas quando a área de implantação dos dispositivos aumenta para 50% ou 100% da área bacia, Situações 7 e 8 respectivamente, a redução do coeficiente de escoamento é significativa, chegando a reduzir 69,8%.

6.2.4 Tempo de pico

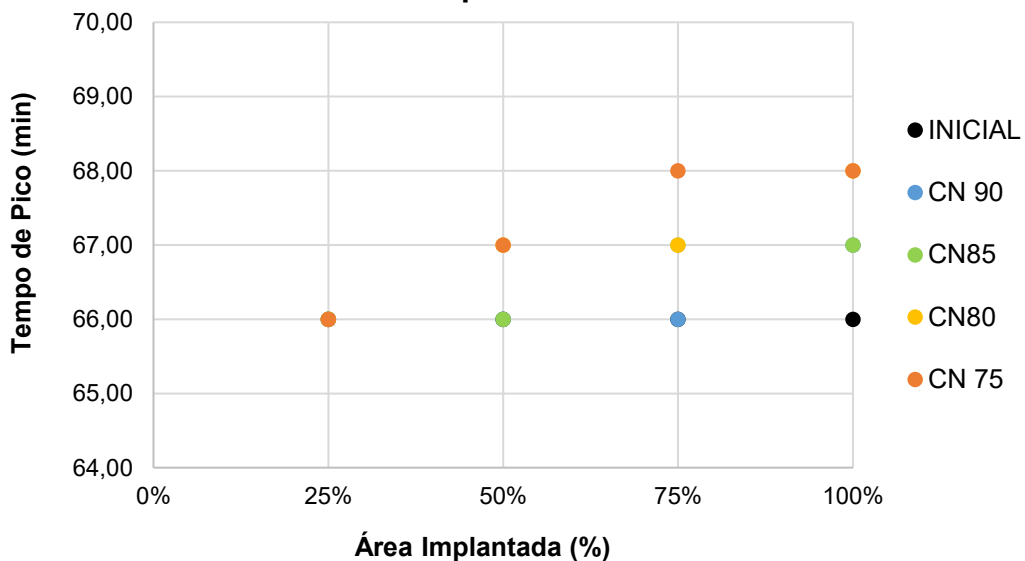
Para o tempo de pico é realizada a mesma análise feita na seção anterior, onde os melhores resultados são encontrados à medida que a área de implantação dos dispositivos aumenta, mesmo com a mudança de cenário em relação a urbanização. O tempo de pico para a Situação 6 é apresentado na Figura 45, para a Situação 7 na Figura 46 e para a Situação 8 na Figura 47.

Figura 45 - Tempo de pico para a Situação 06
Bacia atual com aplicação simultânea dos dispositivos no Condomínio



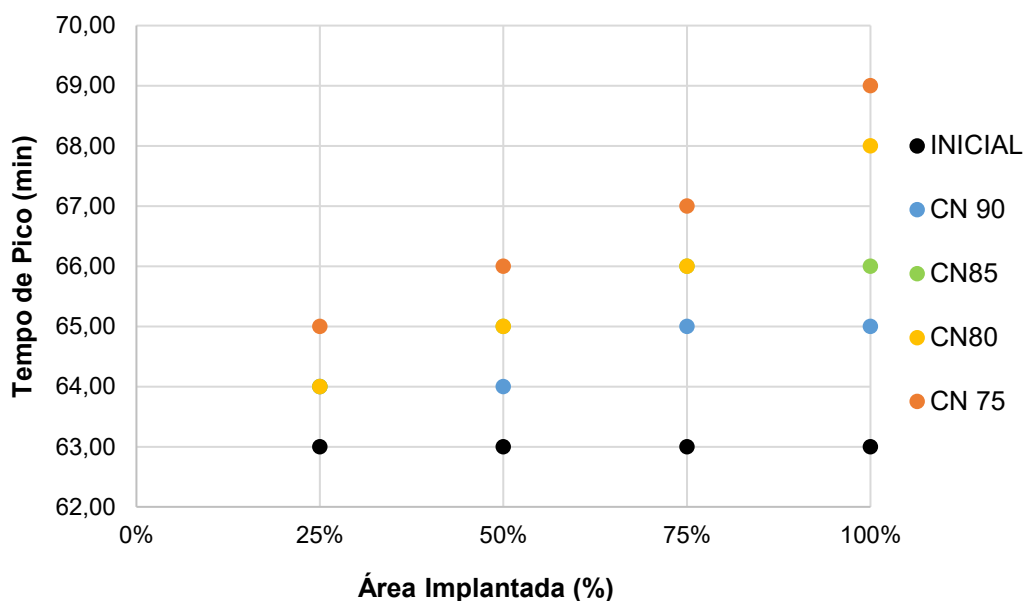
FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 46 - Tempo de pico para a Situação 07
Bacia 50% urbanizada com aplicação simultânea dos dispositivos



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Figura 47 - Tempo de pico para a Situação 08
Bacia 100% urbanizada com aplicação simultânea dos dispositivos



FONTE: Elaborado pela autora (2021)

Os resultados para a Situação 7 e para a Situação 8 são similares, chegando em um tempo de pico de 68 e 69 minutos, respectivamente. Na Situação 7 ocorre um atraso de 2 minutos e na Situação 8 um atraso de 6 minutos. Já na Situação 5 não ocorre alterações no tempo de pico.

Os demais dados dos parâmetros analisados para os valores de coeficiente CN não apresentados se encontram no Apêndice D.

6.3 Discussão dos resultados

Ao comparar os resultados obtidos nesta pesquisa com os obtidos por Rathke (2012) para um Shopping do município de Porto Alegre, tem-se que de fato a utilização de coberturas verdes e pavimentos permeáveis reduzem as taxas de escoamento superficial gerado pelas precipitações. Em seu trabalho, Rathke (2012) concluiu que, para as condições ideais de utilização, a vazão de pico e o volume escoado superficialmente reduzem em torno de 15% de seus valores iniciais. Quando comparados, os resultados podem apresentar certa diferença, em termos de porcentagem, devido a esta pesquisa ser direcionada para uma área residencial e a

realizada por Rathke (2012) ser para uma área comercial, apresentando uma grande diferença principalmente nas áreas compostas por vegetação.

Para o caso de implementação de pavimentos permeáveis isoladamente, Storck (2017) avaliou os impactos nas vazões de pico de um condomínio residencial, no município de Curitiba, caso os pavimentos convencionais de asfalto e concreto fossem substituídos por pavimentos permeáveis, fazendo uso do método racional. Sua pesquisa resultou na redução de 11% da vazão de pico no caso mais desfavorável e 94% no caso de implementação de pavimentos recém-construídos. Comparando com os resultados obtidos nesta pesquisa observa-se grande semelhança, uma vez que, o dispositivo recém-instalado apresenta resultados mais satisfatórios do que os dispositivos com idade próxima ao final de sua vida útil, apesar de esses ainda reduzirem os valores dos parâmetros estudados.

Já para a implementação de coberturas verdes isoladamente, pode-se comparar esta pesquisa com a desenvolvida por Korzenieski (2016), onde foi proposto o uso de coberturas verdes em um loteamento do município de Pelotas com o objetivo de simular seu impacto no escoamento superficial gerado. Além de comparar a vazão de pico com a utilização ou não do dispositivo, Korzenieski (2016) compara os resultados para diferentes espessuras e inclinações. Através do método racional, Korzenieski (2016) conclui que as coberturas verdes com inclinação de 15° e espessura de 20 cm apresentaram redução de 26,56% da vazão de pico e as com inclinação superior a 15° e espessura de 12cm redução de 18,75%.

Ainda sobre coberturas verdes, Minetto *et al.* (2017) avaliaram a eficiência de coberturas verdes na redução do escoamento pluvial e da vazão de pico em uma bacia hidrográfica urbana através da modelagem hidrológica, utilizando um modelo chuva-vazão chamado HUS-TVM. Após as simulações de diferentes cenários de eventos de chuva e implementação do dispositivo, Minetto *et al.* (2017) concluíram que a implementação total das coberturas verdes reduz em torno de 30% do volume escoado e 34% da vazão de pico.

No geral, percebe-se que, ao analisar os resultados para o condomínio, tanto a implementação isolada dos dispositivos como sua implementação simultânea geram benefícios para a redução do escoamento superficial que deságua na rede de drenagem. Quando essa análise é feita para a bacia, a implementação dos dispositivos apenas na área do condomínio não tem grande impacto nos resultados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi avaliar e quantificar a contribuição da implementação de coberturas verdes e pavimentos permeáveis para redução do escoamento superficial em áreas urbanas. Essa análise foi desenvolvida para dois contextos, primeiramente para a área de um condomínio residencial e, posteriormente, para a totalidade da área da bacia hidrográfica na qual o condomínio está inserido. Para o condomínio, considerou-se diferentes percentuais de implementação das medidas e condições dos dispositivos. Observou-se que os dispositivos mais novos, e com manutenção periódica, apresentaram resultados mais satisfatórios que os mais velhos e sem manutenção, contribuindo mais com a redução da vazão de pico, especialmente com a aplicação em maiores áreas.

Ainda para a análise em relação ao condomínio, verificou-se que, mesmo as piores condições de aplicação e manutenção dos dispositivos, apresentaram redução nas taxas de escoamento superficial. Em termos de eficiência, não se pode concluir qual dos dispositivos é melhor, pois foram considerados os mesmos coeficientes CN para as coberturas verdes e os pavimentos permeáveis e, portanto, os resultados encontrados estão relacionados com a área de aplicação dos dispositivos.

Quando se compara a aplicação de coberturas verdes com a de pavimentos permeáveis, de maneira isolada no condomínio, verifica-se que os pavimentos permeáveis causaram impactos mais significativos no hidrograma resultante. Isso ocorreu, principalmente, devido a área de aplicação dos pavimentos representar 50,20% da área total do condomínio, enquanto a área de aplicação de coberturas verdes representa apenas 14,95%. Notou-se, também, que os melhores resultados ocorreram quando ambos os dispositivos são implementados de maneira simultânea, apresentando maior impacto na redução do escoamento superficial, já que a área de aplicação das medidas de controle é ainda maior.

Já para as simulações na bacia, o objetivo era quantificar o impacto da implementação dos dispositivos no condomínio para o hidrograma da bacia hidrográfica onde esse está inserido. Foi verificado que, ao aplicar os dispositivos somente no condomínio, a mudança no hidrograma resultante não foi significativa. Isso se deu, pois a área do condomínio representa menos que 1% da área da bacia. Nesse ínterim, é importante destacar a importância de ações de planejamento e gestão de recursos hídricos desenvolvidas para a bacia como um todo, e não apenas

em situações isoladas, o que reforça, também, a importância dos planos diretores de drenagem urbana.

A partir disso, dois cenários hipotéticos foram avaliados, um onde a bacia tem 50% de sua área urbanizada e outro com 100% de sua área urbanizada. Esses cenários são possíveis, pois a bacia está localizada em uma região de alto crescimento do município, e a urbanização completa dessa área pode representar a condição futura da bacia. Com isso, simulou-se que os dispositivos seriam implementados em toda a área urbanizada da bacia, gerando, nesse caso, resultados significativos na redução da vazão de pico.

O primeiro ponto observado é que quanto mais urbanizada a bacia se encontra, maior é a sua vazão de pico e o seu volume escoado. A aplicação das medidas de controle, em todos os casos que consideram essa urbanização da bacia, apresentaram uma contribuição positiva para a redução da quantidade de água que é escoado para os sistemas de drenagem.

Conclui-se, de uma maneira geral, que medidas de controle aplicadas apenas em um lote apresentam resultados significativos apenas quando o hidrograma do lote é analisado. Quando a análise acontece em relação à bacia, a redução da vazão de pico se torna irrelevante. Portanto, em grandes bacias, não é indicada a aplicação destes dispositivos em áreas isoladas, sendo fundamental o planejamento de modo mais amplo. Cabe ao plano diretor do município incluir medidas de controle no planejamento urbano, para que a redução do escoamento superficial da bacia ocorra de maneira efetiva, a curto ou longo prazo.

Sugere-se, para trabalhos futuros, avaliar o impacto causado no lençol freático da região, quando há a implementação de pavimentos permeáveis e o impacto que a redução do escoamento superficial causa nos corpos hídricos onde o sistema de drenagem deságua. Outra sugestão é avaliar a possibilidade do reuso das águas absorvidas pelas coberturas verdes, quantificando a água absorvida pela cobertura vegetal e a parcela que pode ser armazenada.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Hidroweb**: Sistemas nacional de informações sobre recursos hídricos. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas?codigoEstacao=2551000>. Acesso em: 10 set. 2021.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Práticas mecânicas de conservação de água e solo**. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/62>. Acesso em: 16 ago. 2021.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. DE O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2011.
- BAR, B. V.; TAVARES, S. F. Estado da arte do comportamento hidrológico de telhados verdes no Brasil : uma revisão sistemática. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 8, p. 257–271, dez. 2017.
- BARROS, E. N. DE S.; BOAVENTURA, S. M. Estudo experimental do desempenho de pavimentos permeáveis como alternativa de redução do escoamento superficial em áreas urbanas. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 300–313, jul/dez. 2020.
- BEMFICA, D. DA C.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 5–16, out/dez. 2000.
- BUFFON, F. T. **Aproveitamento de água pluviais**: efeito sobre o sistema de drenagem urbana. 2010. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- CAMPANA, N. A. **Impacto da urbanização nas cheias urbanas**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali- quantitativo do escoamento superficial urbano**. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2011.
- CASTRO, A. S. et al. Avaliação da evolução do comportamento quantitativo de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 1, p. 263–273, jan/mar. 2013.
- CASTRO, A. S.; GOLDEFUM, J. A. Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano. **Revista Atitude - Faculdade Dom Bosco de**

Porto Alegre, Porto Alegre, v. 7, p. 1–6, jan/jun. 2010.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: 2015.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COSTA, J. DA; COSTA, A.; POLETO, C. Telhado Verde : redução e retardo do escoamento superficial. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 50–56, 2012.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 19–31, out/dez. 1998.

DIAS, F. S. D.; ANTUNES, P. T. DA S. C. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem no Estado do Paraná**. 2 ed. Curitiba: Gráfica Vicentina Editora Ltda, 2003.

FERRARI, C. **Curso de planejamento municipal integrado: Urbanismo**. São Paulo: 1977.

FILHO, A. G. DE A.; SZÉLIGA, M. R.; SZESZ, J. R. S. Utilização de micro-reservatórios de retenção para atenuação de inundações em bacias urbanas. **Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, v. 6, n. 1, p. 47–68, 2000.

FILHO, A. R.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

FILHO, J. E. A. et al. Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 28, n. 2, p. 257–272, mai/ago. 2016.

HARTWIG, M. Migração campo cidade: trajetórias de vida, trabalho e escolarização de jovens trabalhadores. *In*: I SEMINÁRIO INTERNACIONAL E I FÓRUM DE EDUCAÇÃO DO CAMPO DA REGIÃO SUL DO RS: CAMPO E CIDADE EM BUSCA DE CAMINHOS COMUNS, 2012, Pelotas. **Anais [...]** Pelotas: UFSC, 2012. p. 1–16.

HENEINE, M. C. A. DE S. **Cobertura Verde**. 2008. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: 2012.

IMADA, R. G. **Práticas de microdrenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial urbano**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Topodata**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 27 out. 2021.

KORZENIESKI, C. DO P. **Avaliação da influência do uso de telhados verdes no escoamento superficial em um loteamento de Pelotas-RS**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

LIMA, G. C. DE O. **Avaliação do desempenho de telhados verdes: capacidade de retenção hídrica e qualidade da água escoada**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MAUS, V. W.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas. *In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE*, 2014, Santa Maria. **Anais [...]** Santa Maria: UNIFRA, 2014. p. 1–8.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: 2015.

MINETTO, B. et al. Eficiência dos telhados verdes na redução do escoamento pluvial em uma bacia hidrográfica urbana. *In: XI ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS*, 2017, Belo Horizonte. **Anais [...]** Belo Horizonte: UFSM, 2017.

OHNUMA, A. A. J.; MARQUES, M.; SILVA, L. P. DA. Efeitos globais da temperatura e da precipitação em telhados verdes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, p. 234–251, jan/jul. 2017.

OLIVEIRA, E. W. N. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PEREIRA, L. C.; NETO, F. L. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14508/1/documentos43.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2021.

PIMENTEL, L. **Hidrologia: Engenharia e Meio Ambiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: 2015.

POMPÊO, C. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15–23, jan/mar. 2000.

PORTELA, F.; VERSENTINI, J. W. **Êxodo Rural e Urbanização**. 17. ed. São Paulo: 1998.

PREFEITURA DE GUARAPUAVA. **Plano Diretor do Município de Guarapuava:**

Caderno de Leis. Guarapuava, 2016. Disponível em: <http://www.concidade.com.br/concidade/download/dadoshistoricos/CADERNO%20DE%20DIAGNOSTICO%20E%20DIRETRIZES%20PLANO%20DIRETOR%202006.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2021.

PRESTES CONSTRUTORA. **Imagem aérea renderizada do condomínio Vista Cilla**. Disponível em: <https://www.prestes.com/imoveis/vista-cidade-dos-lagos/>. Acesso em: 31 out. 2021.

RATHKE, T. A. **Medidas de controle pluvial no lote : pavimentos permeáveis e telhados verdes**. 2012. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RIGHI, D. P. et al. Cobertura Verde: Um uso sustentável na construção civil. **Revista Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 29-36, set. 2016.

STORCK, F. R. **Avaliação da influência de pavimentos permeáveis no amortecimento de vazões de escoamento de águas pluviais em um condomínio em Curitiba (PR)**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. **Aspectos Climáticos de Guarapuava**. Guarapuava: Editora Unicentro, 2003.

TOLENTINO, R. A. **Análise da Geração de Escoamento Superficial de um Condomínio Residencial no Distrito Federal**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília - UniCEUB, Brasília, 2018.

TONELLO, K. C. **Álise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. Dissertação (*Magister Scientiae*) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TOSCAN NETO, Ângelo. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61–68, jan/mar. 2000.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: 2003.

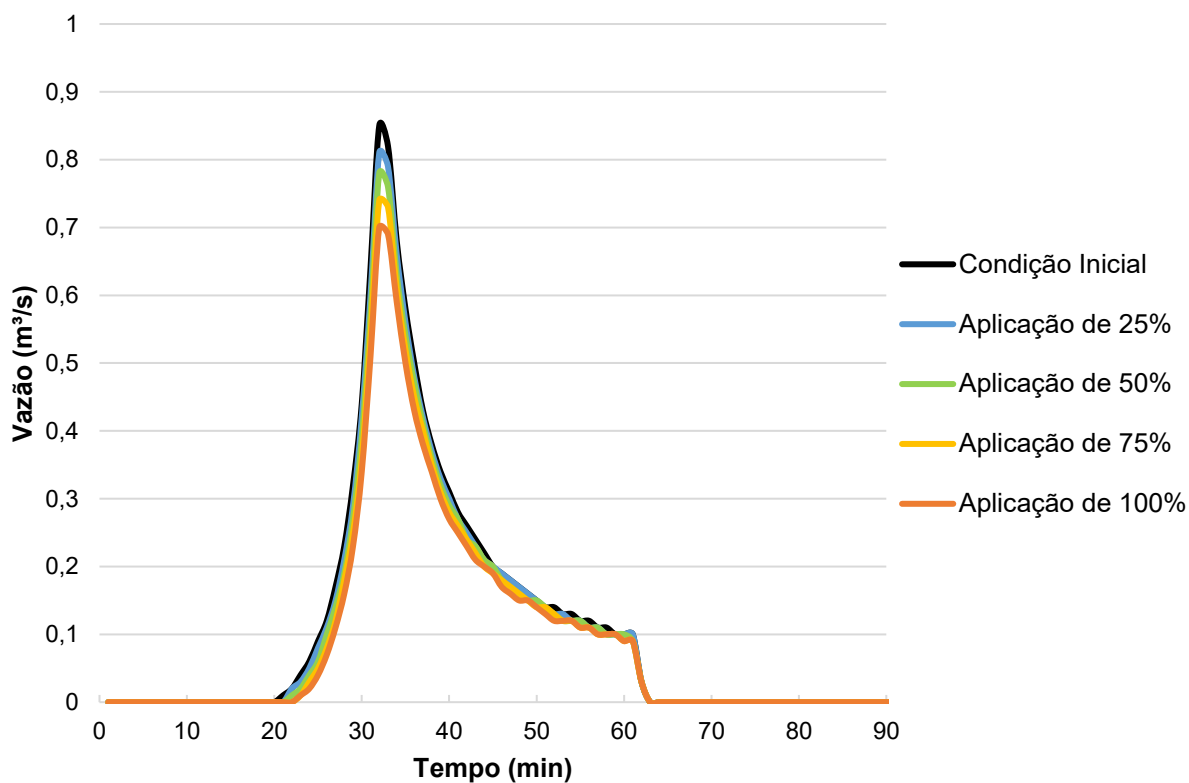
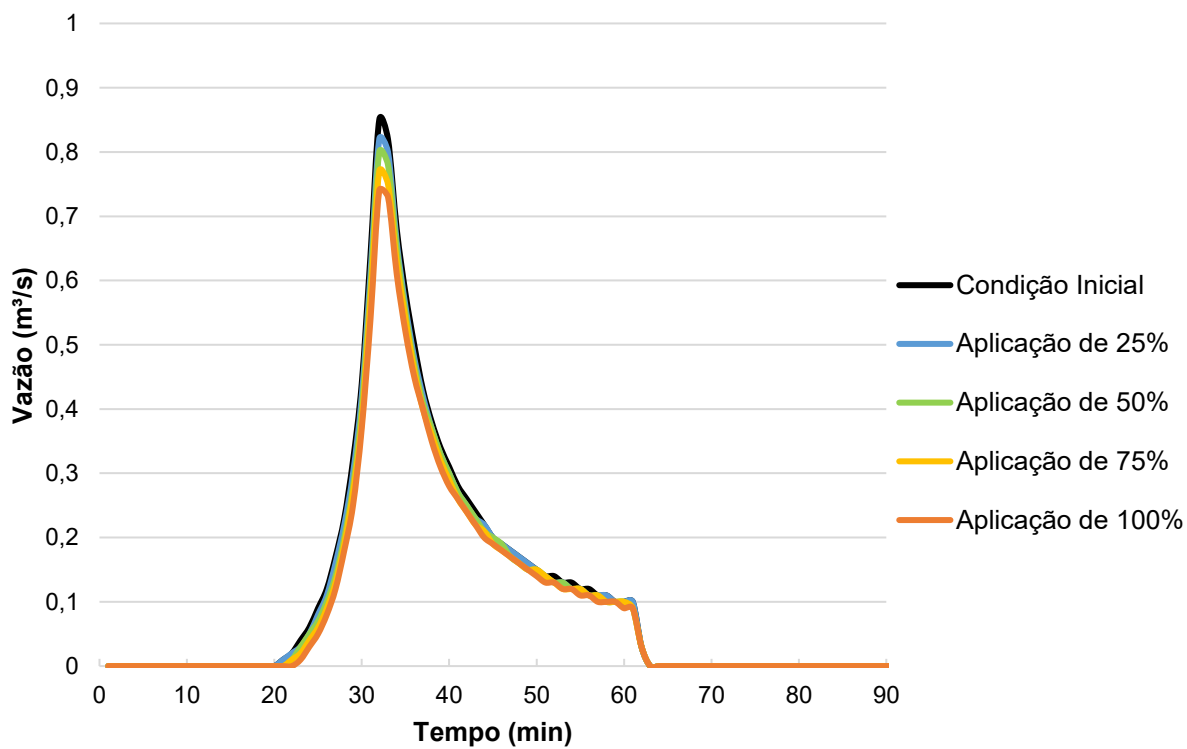
UNITED NATION. **World Urbanization Prospects 2018**. New York: 2019.

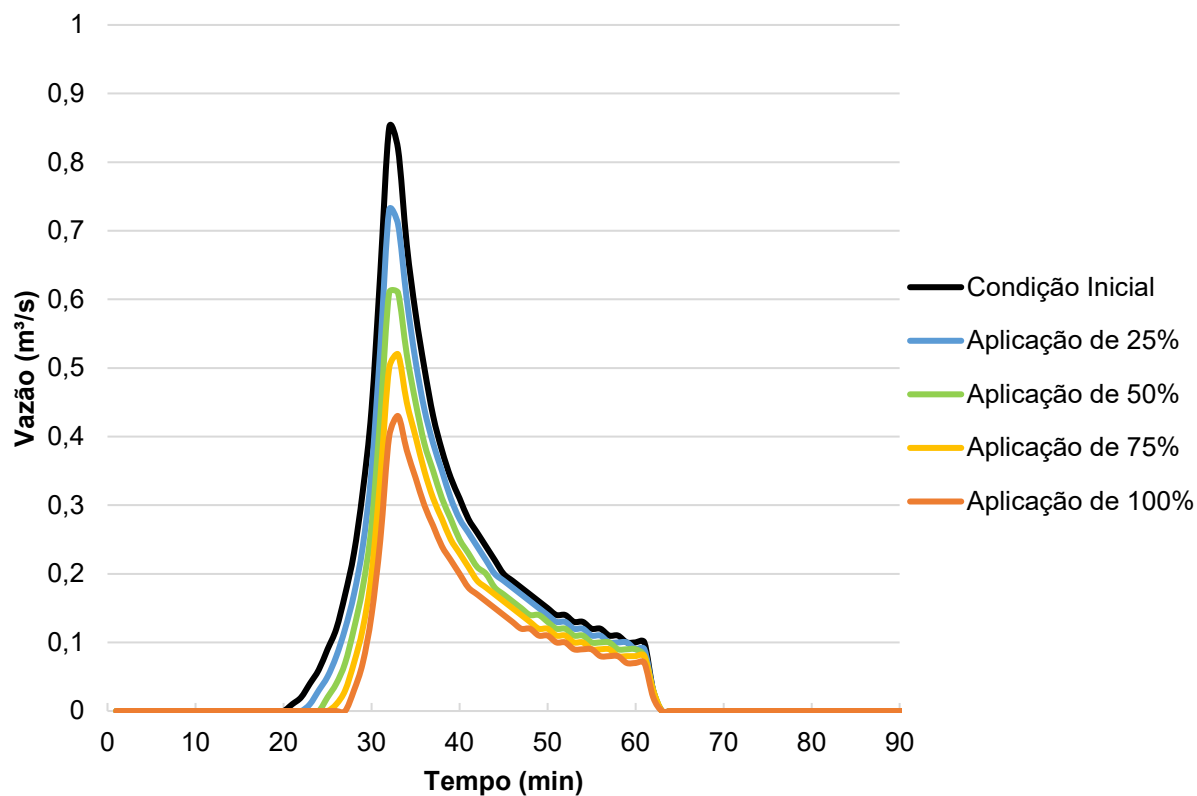
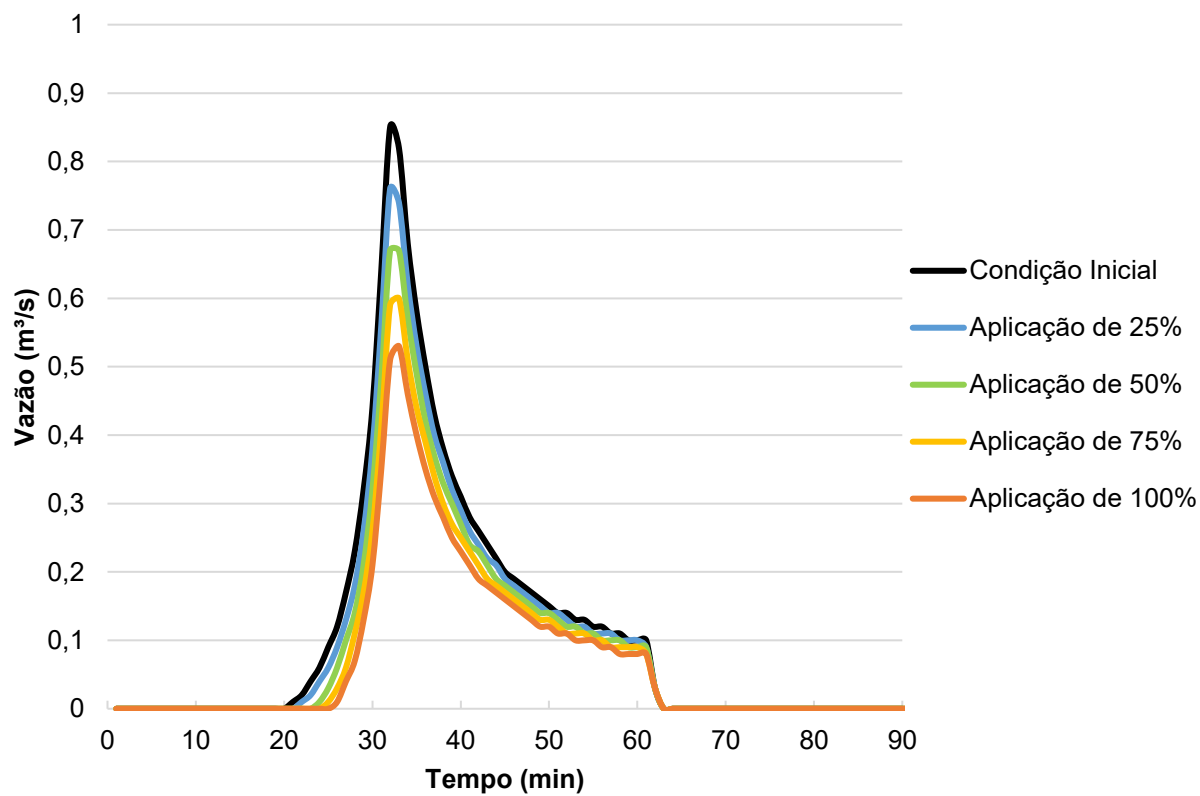
VICENTINI, T. A. **Análise do efeito da urbanização nas cheias urbanas**

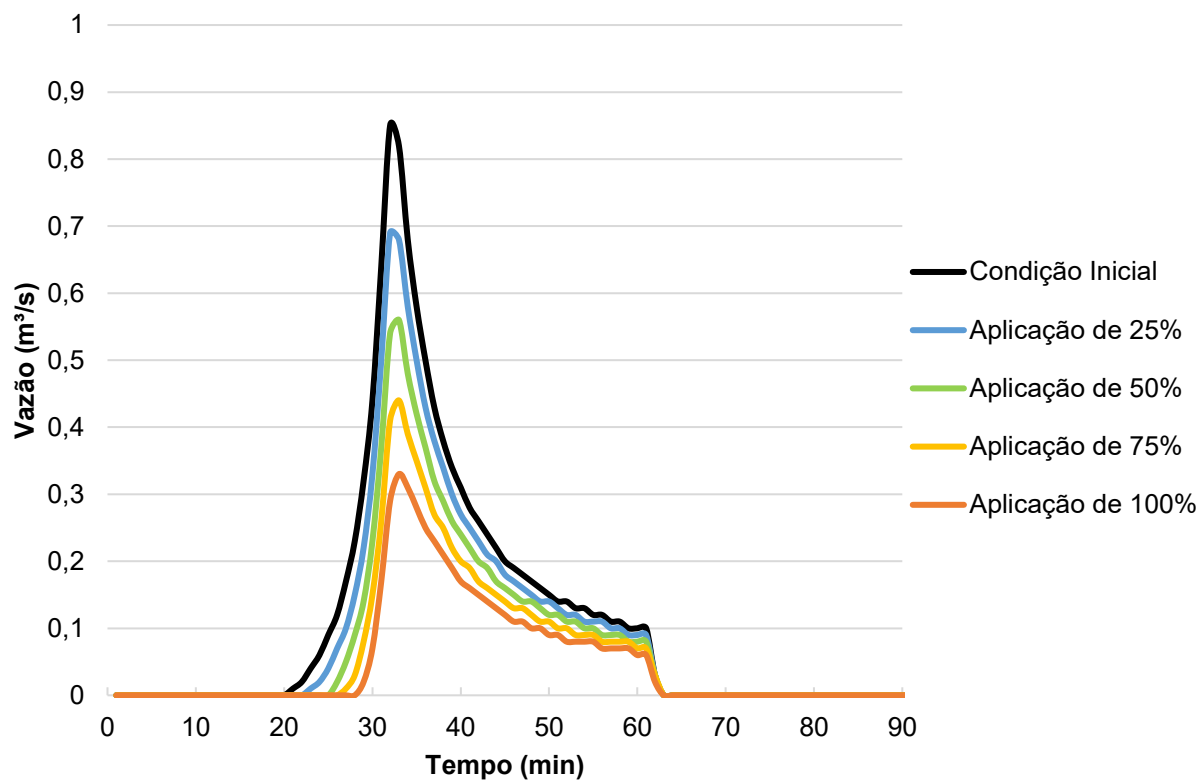
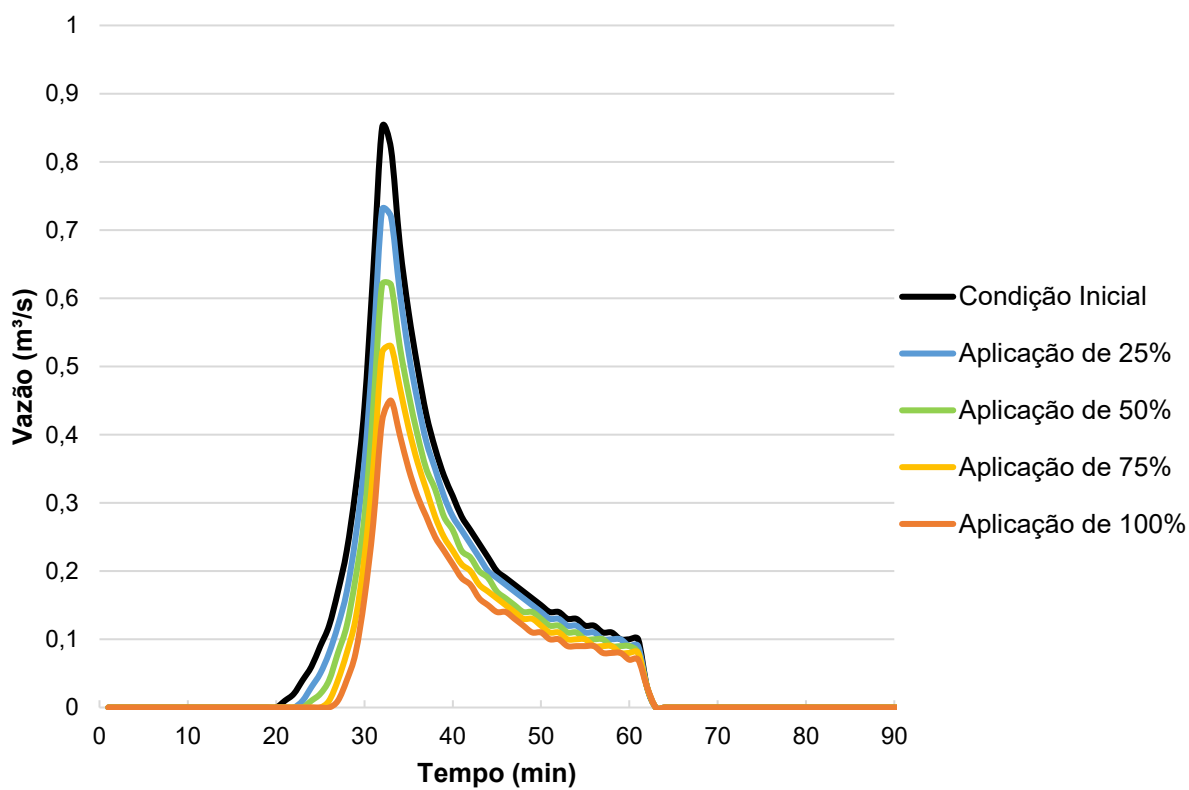
monitoramento de bacias experimentais. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000.

VIRGILIIS, A. L. C. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009.

**APÊNDICE A - HIDROGRAMAS RESULTANTES DAS DEMAIS SITUAÇÕES EM
RELAÇÃO AO CONDOMÍNIO
(Elaborado pela autora)**

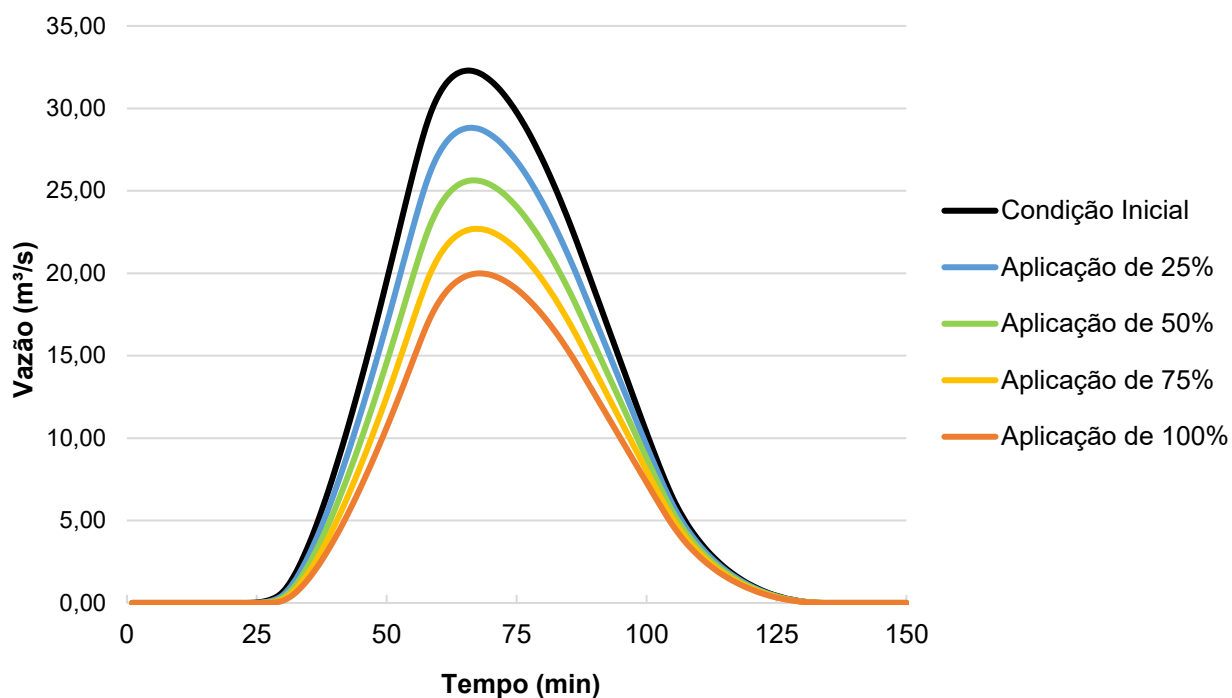
Situação 02: Implantação de Coberturas Verdes com CN 80**Situação 02: Implantação de Coberturas Verdes com CN 85**

Situação 03: Implantação de Pavimento Permeável com CN 80**Situação 03: Implantação de Pavimento Permeável com CN 85**

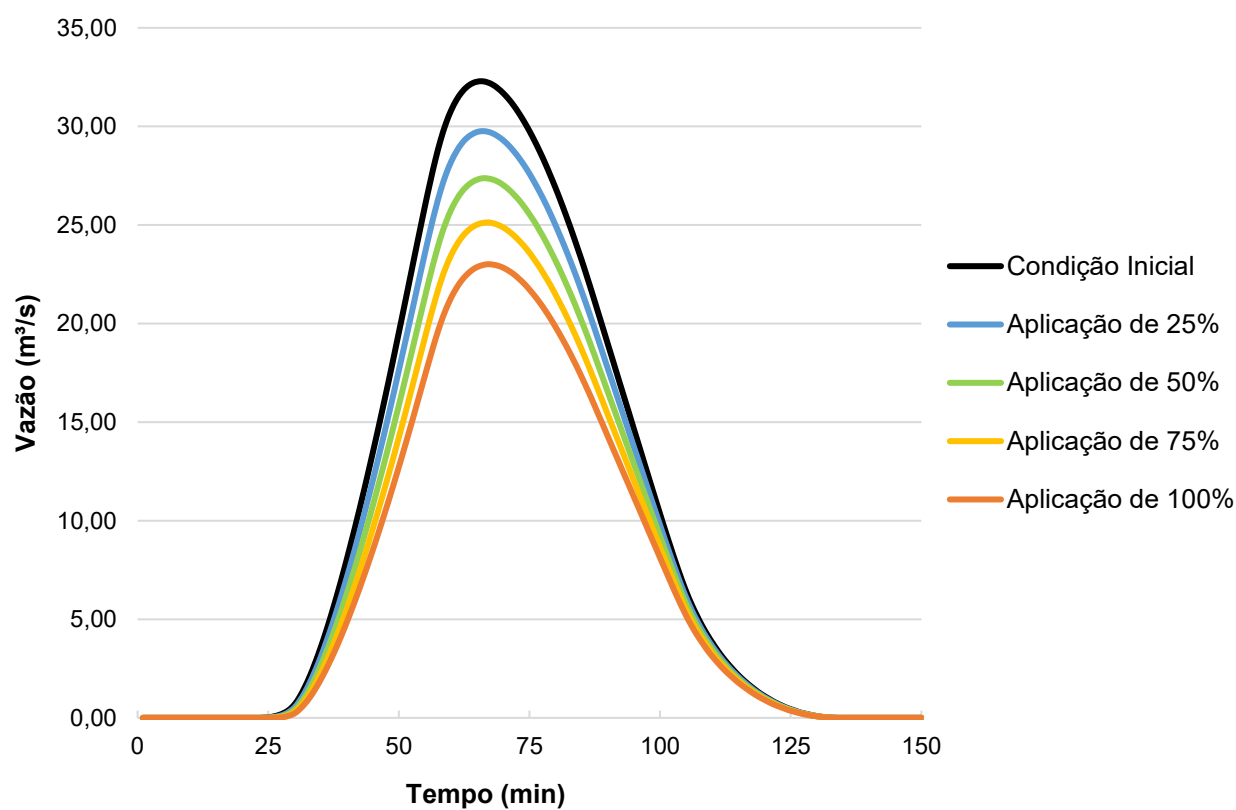
Situação 04: Implantação simultânea com CN 80**Situação 04: Implantação simultânea com CN 85**

**APÊNDICE B - HIDROGRAMAS RESULTANTES DAS DEMAIS SITUAÇÕES EM
RELAÇÃO À BACIA
(Elaborado pela autora)**

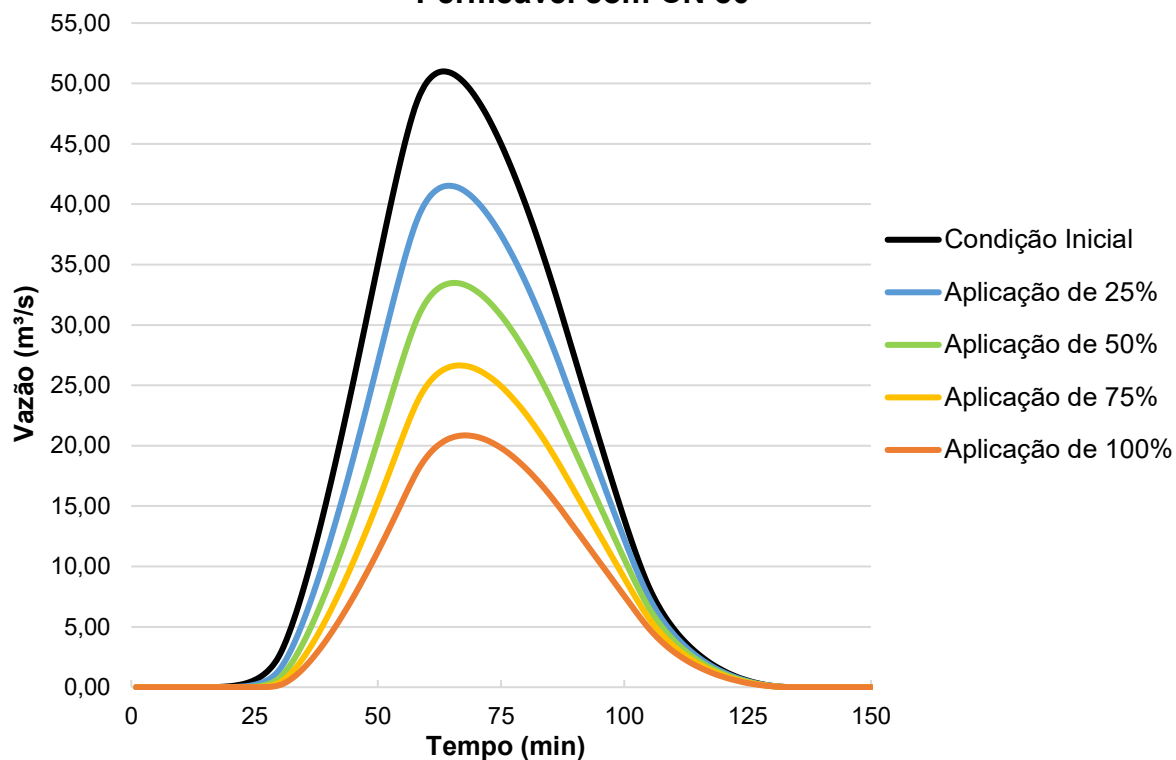
Situação 7: Implantação de Telhado Verde e Pavimento Permeável com CN 80



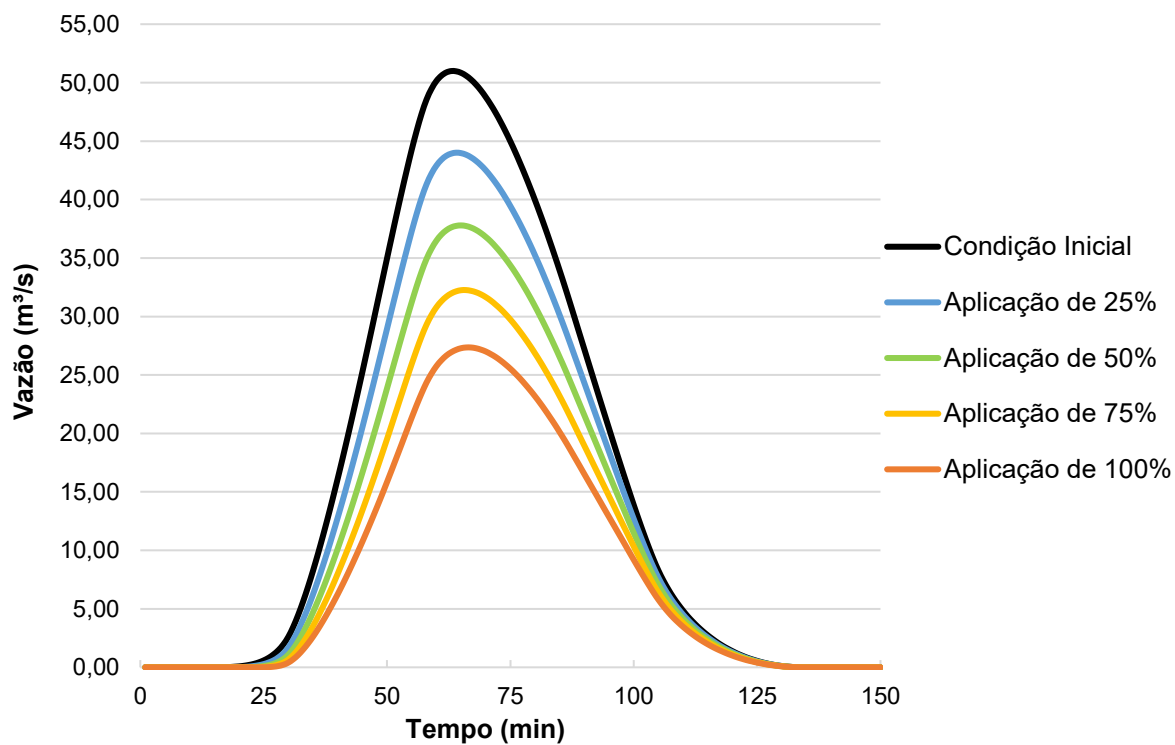
Situação 7: Implantação de Telhado Verde e Pavimento Permeável com CN 85



Situação 8: Implantação de Telhado Verde e Pavimento Permeável com CN 80



Situação 8: Implantação de Telhado Verde e Pavimento Permeável com CN 85



**APÊNDICE C - RESUMO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS EM RELAÇÃO AO
CONDOMÍNIO
(Elaborado pela autora)**

Resumo dos resultados para a Situação 02 – Aplicação de Cobertura Verde					
Coefficiente CN	Área Implantada	Vazão de Pico (m³/s)	Volume Escoado (m³)	Coefficiente de Escoamento	Tempo de Pico (min)
CN 75	25%	0,80	9,87	0,44	31
	50%	0,75	9,35	0,42	31
	75%	0,71	8,84	0,39	31
	100%	0,66	8,34	0,37	31
CN 80	25%	0,81	9,98	0,44	31
	50%	0,78	9,58	0,43	31
	75%	0,74	9,16	0,41	31
	100%	0,70	8,76	0,39	31
CN 85	25%	0,82	10,07	0,45	31
	50%	0,80	9,79	0,44	31
	75%	0,77	9,48	0,42	31
	100%	0,74	9,16	0,41	31
CN 90	25%	0,84	10,25	0,45	31
	50%	0,82	10,03	0,45	31
	75%	0,80	9,84	0,44	31
	100%	0,78	9,65	0,43	31

Resumo dos resultados para a Situação 03 – Aplicação de Pavimento Permeável					
Coefficiente CN	Área Implantada	Vazão de Pico (m³/s)	Volume Escoado (m³)	Coefficiente de Escoamento	Tempo de Pico (min)
CN 75	25%	0,69	8,64	0,38	31
	50%	0,56	7,14	0,32	32
	75%	0,44	5,80	0,26	32
	100%	0,34	4,61	0,21	32
CN 80	25%	0,73	9,04	0,40	31
	50%	0,61	7,75	0,35	31
	75%	0,52	6,67	0,30	32
	100%	0,43	5,60	0,25	32
CN 85	25%	0,76	9,39	0,42	31
	50%	0,67	8,44	0,38	31
	75%	0,60	7,55	0,34	32
	100%	0,53	6,75	0,30	32
CN 90	25%	0,80	9,77	0,44	31
	50%	0,74	9,14	0,41	31
	75%	0,69	8,59	0,38	31
	100%	0,63	8,05	0,36	31

Resumo dos resultados para a Situação 04 - Implantação simultânea dos dispositivos					
Coeficiente CN	Área Implantada	Vazão de Pico (m³/s)	Volume Escoado (m³)	Coeficiente de Escoamento	Tempo de Pico (min)
CN 75	25%	0,65	8,18	0,36	31
	50%	0,49	6,31	0,28	32
	75%	0,35	4,73	0,21	32
	100%	0,23	3,45	0,15	32
CN 80	25%	0,69	8,64	0,38	31
	50%	0,56	7,08	0,31	32
	75%	0,44	5,74	0,25	32
	100%	0,33	4,56	0,20	32
CN 85	25%	0,73	9,10	0,40	31
	50%	0,62	7,89	0,35	31
	75%	0,53	6,85	0,30	32
	100%	0,45	5,86	0,26	32
CN 90	25%	0,78	9,60	0,43	31
	50%	0,71	8,80	0,39	31
	75%	0,64	8,11	0,36	31
	100%	0,58	7,41	0,33	32

**APÊNDICE D - RESUMO DOS RESULTADOS ENCONTRADOS EM RELAÇÃO À
BACIA
(Elaborado pela autora)**

Resumo dos resultados para a Situação 06 - Bacia atual com aplicação simultânea dos dispositivos no Condomínio					
Coeficiente CN	Área Implantada	Vazão de Pico (m³/s)	Volume Escoado (m³)	Coeficiente de Escoamento	Tempo de Pico (min)
INICIAL	0%	19,01	894,02	0,22	68,00
CN 75	100%	18,88	887,80	0,22	68,00
CN 80	100%	18,91	889,17	0,22	68,00
CN 85	100%	18,94	890,47	0,22	68,00
CN 90	100%	18,97	891,83	0,22	68,00

Resumo dos resultados para a Situação 07 - Bacia 50% urbanizada com aplicação simultânea dos dispositivos					
Coeficiente CN	Área Implantada	Vazão de Pico (m³/s)	Volume Escoado (m³)	Coeficiente de Escoamento	Tempo de Pico (min)
INICIAL	0%	32,29	1518,7	0,37	66
CN 75	25%	27,91	1312,77	0,32	66
	50%	23,97	1127,48	0,27	67
	75%	20,42	960,40	0,23	68
	100%	17,23	810,09	0,20	68
CN 80	25%	28,82	1355,67	0,33	66
	50%	25,63	1205,72	0,29	67
	75%	22,69	1067,32	0,26	67
	100%	19,99	939,88	0,23	68
CN 85	25%	29,76	1399,62	0,34	66
	50%	27,37	1287,51	0,31	66
	75%	25,13	1181,80	0,29	67
	100%	23,01	1082,08	0,26	67
CN 90	25%	30,71	1444,50	0,35	66
	50%	29,19	1373,19	0,33	66
	75%	27,73	1304,30	0,32	66
	100%	26,32	1237,98	0,30	67

Resumo dos resultados para a Situação 08 - Bacia 100% urbanizada com aplicação simultânea dos dispositivos					
Coefficiente CN	Área Implantada	Vazão de Pico (m³/s)	Volume Escoado (m³)	Coefficiente de Escoamento	Tempo de Pico (min)
INICIAL	0%	50,99	2400,57	0,58	63
CN 75	25%	39,16	1841,58	0,45	65
	50%	29,55	1389,76	0,34	66
	75%	21,74	1022,90	0,25	67
	100%	15,45	725,50	0,18	69
CN 80	25%	41,52	1953,19	0,47	64
	50%	33,47	1574,67	0,38	65
	75%	26,64	1253,39	0,30	66
	100%	20,85	980,49	0,24	68
CN 85	25%	44,01	2069,93	0,50	64
	50%	37,79	1777,21	0,43	65
	75%	32,26	1517,42	0,37	66
	100%	27,35	1286,69	0,31	66
CN 90	25%	46,60	2192,34	0,53	64
	50%	42,50	1999,17	0,48	64
	75%	38,70	1820,02	0,44	65
	100%	35,16	1653,47	0,40	65