

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ALISSON FERREIRA DE MELO

**INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE DEFLÚVIO, DETERMINADO POR
DIFERENTES MÉTODOS, NA DESCARGA DE PROJETO DE SISTEMAS DE
GALERIAS PLUVIAIS**

FORMIGA – MG
2018

ALISSON FERREIRA DE MELO

INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE DEFLÚVIO, DETERMINADO POR DIFERENTES
MÉTODOS, NA DESCARGA DE PROJETO DE SISTEMAS DE GALERIAS PLUVIAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Kátia Daniela Ribeiro.

FORMIGA – MG

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca UNIFOR-MG

M528 Melo, Alisson Ferreira de.
Influência do coeficiente de deflúvio, determinado por diferentes
métodos, na descarga de projeto de sistemas de galerias pluviais / Alisson
Ferreira de Melo. – 2018.
63 f.

Orientadora: Kátia Daniela Ribeiro.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –
Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga, 2018.

1. Escoamento superficial. 2. Drenagem urbana. 3. Vazão de projeto.
I. Título.

CDD 628.3

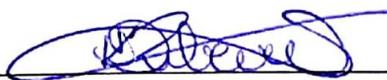
Catalogação elaborada na fonte pela bibliotecária
Regina Célia Reis Ribeiro – CRB 6-1362

Alisson Ferreira de Melo

INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE DEFLÚVIO, DETERMINADO POR DIFERENTES
MÉTODOS, NA DESCARGA DE PROJETO DE SISTEMAS DE GALERIAS PLUVIAIS

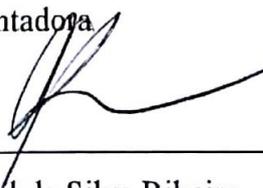
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



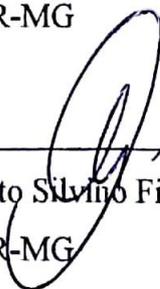
Prof.ª Dr.ª Kátia Daniela Ribeiro

Orientadora



Prof. Me. Samuel da Silva Ribeiro

UNIFOR-MG



Prof. Me. César Augusto Silvino Figueredo

UNIFOR-MG

Formiga, 30 de outubro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e me capacitar para enfrentar todos os obstáculos encontrados no decorrer da graduação e na conclusão deste trabalho. Agradeço também a Nossa Senhora Aparecida, a quem sempre recorri nos momentos difíceis e nos momentos de alegria.

Agradeço aos meus pais Simão e Eva, por compartilharem comigo todo seu amor, carinho, educação e caráter e por darem o seu melhor para que eu pudesse estudar. Também agradeço aos meus avós que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando.

Agradeço em especial à minha orientadora Dra. Kátia Daniela Ribeiro, por toda paciência, dedicação, atenção e carinho concedidos no decorrer deste trabalho e durante a vida acadêmica. Levarei sempre comigo todos seus ensinamentos a mim transmitidos. Obrigado por ser a melhor orientadora que alguém poderia ter.

Agradeço também ao Felipe, que foi meu refúgio, esteve comigo em todos os momentos me apoiando, incentivando e dando forças.

Aos colegas de Iniciação Científica Laiza e Raner, obrigado pelo auxílio e companheirismo durante todas as manhãs.

Aos colegas de trabalho da Bem Engenharia, obrigado por todo o conhecimento que compartilharam comigo.

Agradeço as amigas que conquistei ao longo deste curso e a todos os demais amigos que vivenciaram e compartilharam comigo os momentos de alegrias, tristezas, ansiedades e dificuldades durante esta jornada.

E a todos os mestres que contribuíram com a minha formação, o meu sincero obrigado!

RESUMO

Em projetos de microdrenagem pluvial urbana é fundamental calcular-se a parcela da precipitação que irá se transformar em escoamento superficial. Neste contexto, surge o coeficiente de escoamento superficial (C), que é por definição a relação entre o volume escoado e o volume total precipitado em um dado evento pluviométrico. A determinação deste coeficiente é feita comumente por tabelas disponíveis na literatura, porém diferentes autores e instituições quantificam esse coeficiente de formas distintas, o que leva a diferentes valores de C para situações similares. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência deste coeficiente na vazão de projeto de sistemas de drenagem, bem como no dimensionamento de sistemas de galerias pluviais. Para tanto determinou-se este coeficiente para um loteamento hipotético onde foram simulados diferentes cenários de ocupação do solo e então, foram calculadas as vazões de projeto em função dos diferentes valores de C encontrados na literatura. Posteriormente, utilizaram-se os diferentes valores de vazões encontrados para dimensionar trechos de galerias pluviais. Constatou-se que o coeficiente de escoamento superficial influencia diretamente na quantificação da vazão de projeto. Em função do método adotado para a determinação de C, pode-se quadruplicar a vazão de projeto e duplicar o diâmetro das galerias pluviais.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Escoamento superficial. Vazão de projeto.

ABSTRACT

In microdrainage projects, it's essential to calculate the amount of precipitation that will become surface runoff, which depends of runoff coefficient determination. Runoff coefficient represents the relation between drained volume and total precipitated volume in a given pluviometry event. Tables available in the literature usually do the determination of this coefficient, but different authors quantify it of distinct forms, resulting different values of runoff coefficient for similar situations. This study aimed at evaluating the influence of runoff coefficient on storm drains dimensioning of microdrainage systems. Runoff coefficient was determined for a hypothetical allotment where different soil occupation scenarios were simulated and then the project flows were calculated according to the different values of runoff coefficient founded in the literature. Subsequently, the different values of calculated flows were used to dimensioning storm drain sections. It was verified that runoff coefficient directly influences the quantification of project flow. It was also observed that methods adopted for runoff coefficient determination could quadruplicate the values of project flows, doubling the diameter of storm drains.

Keywords: Urban drainage. Surface runoff. Project flow.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Corte hipotético de um terreno representando o ciclo hidrológico.....	15
Figura 2 - Redistribuição das águas meteorológicas durante uma precipitação de intensidade constante.....	20
Figura 3 – Elementos constituintes da microdrenagem urbana.....	26
Gráfico 1- Vazões de projeto para as bacias hipotéticas em função dos maiores e menores valores de C, para os cenários com classe textural de solo arenoso.....	37
Gráfico 3 - Vazões de projeto para as bacias hipotéticas em função dos maiores e menores valores de C, para os cenários com classe textural de solo argiloso	38
Gráfico 4 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso exposto.....	41
Gráfico 5 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 50% gramado.....	41
Gráfico 6 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 100% gramado.....	42
Gráfico 7 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso exposto.....	43
Gráfico 8 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso 50% gramado.....	44
Gráfico 9 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso 100% gramado.....	44
Gráfico 10 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso exposto	45
Gráfico 11 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 50% gramado	46
Gráfico 12 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 100% gramado	46
Gráfico 13 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 50% concretado ou 50% asfaltado	47
Gráfico 14 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso 50% concretado ou asfaltado.....	48

Gráfico 15 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 50% concretado ou asfaltado	48
Gráfico 16 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 100% concreto	49
Gráfico 17 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltooso 100% concreto	50
Gráfico 18 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 100% concretado ou asfaltado	50

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Período de retorno em função das diferentes ocupações da área.....	19
Tabela 2 - Coeficiente de deflúvio (C) de acordo com a ocupação da área.	22
Tabela 3 - Coeficiente de deflúvio de acordo com o revestimento da superfície.....	22
Tabela 4 - Valores de C recomendados pela ASCE.	23
Tabela 5 - Valor de C para áreas rurais.	23
Tabela 6 - Valores de C adotados pela Prefeitura de São Paulo.....	24
Tabela 7 – Coeficiente de rugosidade de Manning.	28
Tabela 8 – Diâmetros comerciais de galerias adotados.....	33
Tabela 9 - Valores do coeficiente de deflúvio (C) obtidos por diferentes métodos para os cenários simulados pelas parcelas experimentais hipotéticas.....	34
Tabela 10 - Relação entre os maiores e menores valores de C determinados pelos diferentes métodos.....	36
Quadro 1 – Divisão do sistema de drenagem	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1 Hidrologia.....	14
3.2 Ciclo hidrológico	14
3.3 Bacia hidrográfica	15
3.4 Precipitação	17
3.5 escoamento superficial.....	19
3.6 Coeficiente de escoamento superficial	21
3.7 Drenagem urbana.....	25
3.8 Sistemas de microdrenagem	27
3.9 Vazão de projeto para sistemas de microdrenagem - Método Racional	29
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 Determinação do coeficiente de escoamento superficial por diferentes metodologias	30
4.2 Avaliação da influência do valor de C, determinado por diferentes métodos, na vazão de projeto de microdrenagem urbana.	31
4.3 Avaliação da influência do valor de C, determinado por diferentes métodos, no dimensionamento de trechos de galerias pluviais.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Análise do valor de C determinado por diferentes metodologias.....	34
5.2 Influência da variação dos valores de C no dimensionamento de sistemas de galerias pluviais	37
5.2.1 Influência do valor de C na vazão de projeto	37

5.2.2 Influência do valor de C no diâmetro das galerias	40
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	53
ANEXOS.....	57

1 INTRODUÇÃO

A precipitação consiste no conjunto de águas originadas do vapor atmosférico que cai sobre a superfície da Terra, sendo a principal fonte de entrada de água em bacias hidrográficas. De um volume total precipitado, parte é interceptado pela vegetação, parte se infiltra no solo e o restante se transforma em escoamento superficial (MACHADO; TORRES, 2012).

Em projetos de microdrenagem urbana, a quantificação da vazão de escoamento superficial é de extrema importância para o correto dimensionamento de estruturas hidráulicas. Nesse contexto, surge o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de deflúvio, que é por definição a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado.

O coeficiente de escoamento superficial é comumente determinado através de tabelas que o relacionam quase sempre ao tipo de cobertura superficial local. Tais tabelas mostram-se discrepantes, pois ao utilizá-las para determinar o coeficiente de deflúvio, obtém-se diferentes valores para um mesmo cenário, o que pode interferir de forma relevante no dimensionamento de projetos de microdrenagem urbana.

A subjetividade presente nas metodologias para determinação deste coeficiente traz incertezas sobre qual seria o melhor valor a ser adotado para esse parâmetro hidrológico, em termos econômicos e funcionais, na quantificação da vazão de escoamento superficial de um sistema de microdrenagem urbana.

Assim sendo, analisar a influência dos valores de coeficiente de escoamento superficial, determinados por diferentes metodologias disponíveis na literatura, sobre o dimensionamento de sistemas de microdrenagem urbana apresenta-se como de extrema importância, visando a otimização dos projetos e estabelecimento das condições que levarão a um sistema eficaz, eficiente e econômico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência do coeficiente de escoamento superficial, determinado por diferentes métodos, na descarga de projeto de sistemas de microdrenagem pluvial urbana, bem como no dimensionamento do sistema de galerias pluviais.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar o valor do coeficiente de escoamento superficial (C) para diferentes cenários de ocupação superficial, a partir de tabelas recomendadas pela literatura;
- Determinar o valor de C para diferentes cenários de ocupação superficial, a partir da equação de Schueler (1987 apud TOMAZ, 2013a);
- Confrontar os valores obtidos entre si e avaliar sua influência na estimativa da vazão de microdrenagem obtida pelo Método Racional;
- Avaliar a influência do coeficiente de deflúvio no dimensionamento do sistema de galerias pluviais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Hidrologia

A água é o elemento mais abundante no planeta Terra, é o indispensável constituinte de todas as coisas vivas e essencial para a existência humana. A hidrologia é a ciência que estuda a água, sua distribuição, circulação, suas propriedades físicas e químicas, sua interação com o meio ambiente, com os seres vivos e em particular com os seres humanos (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

“A hidrologia é uma ciência recente. Apesar de certas noções básicas terem sido conhecidas e aplicadas pelo Homem há muito tempo, como atestam os registros egípcios sobre as enchentes do Nilo datados do ano 3000 A.C.” (PINTO et al. 2008, p. 1). Para Tucci (2000a), a hidrologia tem tido uma importante evolução, em virtude das adversidades crescentes, resultado da ocupação inadequada de bacias e do acréscimo da utilização da água para diversos fins, que geram impactos na natureza.

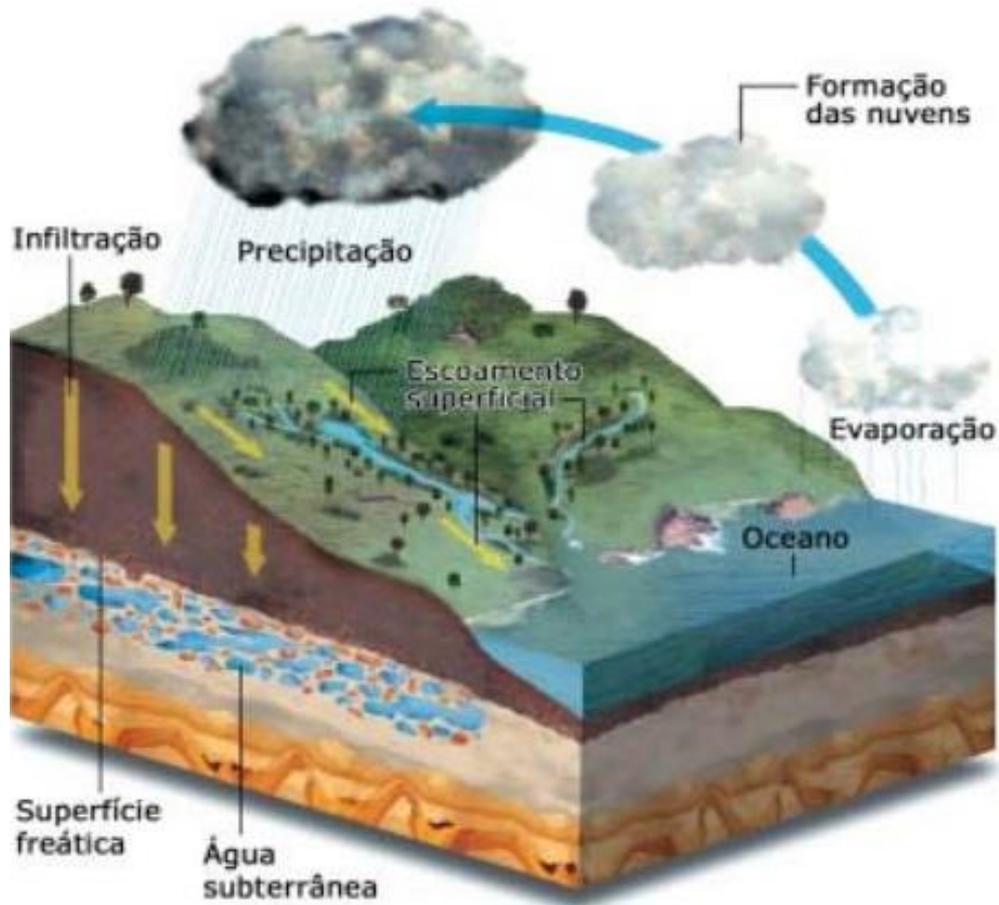
A hidrologia tem um importante papel de compreender os fenômenos hidrológicos, como as chuvas e o escoamento de rios, mesmo que pareçam ser suficientemente conhecidos devido à regularidade com que ocorrem. Basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias para atentar ao inadequado domínio do homem sobre as leis naturais e a necessidade de aprofundar seu conhecimento (PINTO et al., 2008).

3.2 Ciclo hidrológico

De acordo com Mello e Silva (2013), o ciclo hidrológico diz respeito ao movimento da água na natureza integrando seus diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso), que se percebe nos distintos ambientes do globo terrestre: atmosfera, oceanos, solos e geleiras, sendo a radiação solar a fonte de energia que torna esse ciclo possível. Collischonn e Dornelles (2015) completam que a energia do sol resulta no aquecimento do ar, do solo e da água superficial, provocando a evaporação e evapotranspiração da água do solo através das plantas.

O fenômeno do ciclo hidrológico (FIG. 1) é extremamente complexo, mas segundo Chow, Maidment e Mays (1988), geralmente ele obedece algumas etapas: a água evapora dos lagos e oceanos indo para a atmosfera até que se condense e precipite; precipitada, a água pode se infiltrar no solo, recarregando as águas subterrâneas, ou escoar superficialmente até um curso de água e fluindo para o mar e, assim, continuando o ciclo hidrológico.

Figura 1 - Corte hipotético de um terreno representando o ciclo hidrológico.



Fonte: Pinto e Pinheiro (2006).

O ciclo hidrológico só é fechado em nível global. Os valores evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, porque há movimentos contínuos, com dinâmicas diferentes, na atmosfera, e também na superfície terrestre. Da precipitação que ocorre nos continentes, por exemplo, somente parte é aí evaporada, com o restante escoando para os oceanos. À medida que se considere áreas menores de drenagem, fica mais caracterizado o ciclo hidrológico como um ciclo aberto ao nível local. (SILVEIRA, 2000, p. 35).

O ciclo da água e outros ciclos naturais agem na manutenção dos ecossistemas terrestres. O ciclo hidrológico deveria agir na recuperação e na manutenção da água, mas devido às interferências provocadas pelo ser humano, esse processo sofre interferências, afetando a qualidade da água e seu potencial de autodepuração (MIRANDA; GOMES; SILVA, 2006).

3.3 Bacia hidrográfica

Bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água, delimitada espacialmente pelos divisores de água, formada por uma rede de drenagem interligada, que recebe o

escoamento originado da precipitação em toda sua área e dirigi-lo para um único ponto de saída formado por cursos de água que confluem até resultar em um leito único denominado exutório (KARMANN, 2001; MELLO; SILVA, 2013).

Segundo Collischonn e Dornelles (2015), o formato das bacias hidrográficas (circulares ou alongadas) são importantes pois indicam seu comportamento em termos de respostas às chuvas. Em bacias com forma circular, o escoamento superficial dos afluentes tendem a chegar ao mesmo tempo no exutório, gerando uma vazão relativamente maior do que nas bacias alongadas, que possuem resposta mais lenta às chuvas devido ao seu maior comprimento. Segundo Mello e Silva (2013), o formato da bacia hidrográfica tem influência direta no tempo de transformação da chuva em escoamento superficial e no tempo de concentração da bacia.

Os limites geográficos de uma bacia hidrográfica são definidos por linhas imaginárias nos pontos de maior altitude, que as separam de bacias adjacentes e delimitam a área de captação da bacia (GRIBBIN, 2014). Além do formato e do tamanho das bacias, as condições climáticas, do solo e do tipo de cobertura também influem na caracterização das mesmas, podendo indicar informações importantes como a intensidade de chuvas a que a bacia está submetida e sua capacidade de infiltração no solo (WILKEN, 1978).

De acordo com Porto et al. (2000), é importante dispor de um critério de diferenciação das bacias hidrográficas para a escolha dos métodos e parâmetros hidrológicos mais adequados a cada tipo de bacia. As bacias urbanas possuem pequeno e médio porte. As bacias pequenas são caracterizadas por terem uma área máxima de 2,5 km² ou um tempo de concentração inferior a uma hora. Para as bacias médias, os limites são de 1000 km² e doze horas, respectivamente. Os efeitos dessa classificação referem-se à escolha do método de cálculo das vazões de cheia, em que, em bacias pequenas, é utilizado o Método Racional, pois suas variantes de adequam às características dessas bacias. Já para bacias médias, utilizam-se técnicas baseadas na teoria do hidrograma unitário, pois ele permite que haja uma variação da intensidade de precipitação sobre a área da bacia.

No dimensionamento de sistemas urbanos de drenagem de águas pluviais, a correta delimitação e caracterização hidrológica das bacias hidrográficas ou bacias de contribuição contribuirá para a maior eficiência do projeto. E, dos componentes do ciclo hidrológico, a precipitação e o escoamento superficial são os principais parâmetros ocorrentes nas bacias de contribuição que interessam ao projeto dos sistemas de drenagem urbana.

3.4 Precipitação

A precipitação é entendida como a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre de várias formas, como chuva, neve, geada, orvalho e granizo, sendo essas precipitações diferenciadas pelos estados físicos em que elas ocorrem. A precipitação em forma de chuva é o principal objeto de estudo da hidrologia pela sua capacidade de produzir escoamento (PINTO et al., 2008). “As características principais da precipitação são seu total, duração e distribuição temporal e espacial” (BERTONI; TUCCI, 2000, p. 177).

Segundo Collischonn e Dornelles (2015), a precipitação consiste na principal entrada de água em bacias hidrográficas, sendo vital para a manutenção da vida na Terra, fornecendo subsídios para o abastecimento de água e irrigação. Seu conhecimento é fundamental para o correto dimensionamento de obras hidráulicas.

O processo de formação da precipitação consiste no resfriamento de massas de ar devido a: convecções térmicas, relevo e ação frontal de massas. A ascensão das massas de ar resulta no seu resfriamento, que pode fazer com que elas cheguem ao seu ponto de saturação, fazendo com que o vapor de água se condense em torno de partículas microscópicas de sal ou poeira suspensas na atmosfera. A essas partículas é dado o nome de núcleo de condensação. Para ocorrer a precipitação, é necessário que as gotas de água que se condensaram cresçam e atinjam um peso superior às forças que as mantêm em suspensão (GARCEZ; ALVAREZ, 2009).

O conhecimento do processo de formação das chuvas se faz necessário para entender o comportamento dos diferentes tipos de chuva. As chuvas frontais ocasionadas pelo encontro de massas de ar com diferentes temperaturas apresentam baixa intensidade e longa duração, assim como as chuvas orográficas, que se formam quando o ar é forçado a transpor obstáculos do relevo (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Já as chuvas convectivas apresentam comportamento distinto, pois elas se formam pelo aquecimento de massas de ar que estão em contato direto com a superfície quente dos continentes e oceanos, sendo caracterizadas por terem uma alta intensidade e causarem impactos em pequenas bacias urbanas, podendo originar inundações e vazões críticas para o dimensionamento de obras hidráulicas (SILVA, 2015).

Para a engenharia, as chuvas frontais e orográficas interessam para o desenvolvimento de projetos de obras hidráulicas como barragens, hidrelétricas e controle de navegação. Já as chuvas convectivas interessam a obras em pequenas bacias, como dimensionamento de bueiros, cálculo de sarjetas e galerias de águas pluviais (SOUZA, 2014).

De acordo com Mello e Silva (2013), as chuvas são caracterizadas por sua intensidade, duração e frequência. A intensidade de precipitação diz respeito ao volume (altura) de água precipitada sobre uma superfície em um determinado tempo, geralmente dado em mm/h, podendo ser obtida pela Equação 1, conhecida como equação de chuvas intensas.

$$I = \frac{K \times T^a}{(t+b)^c} \quad (1)$$

Em que:

I – intensidade de precipitação (mm/h);

K, a, b, c – parâmetros de ajuste determinados para cada local;

T – tempo de retorno (anos);

t – tempo de duração da chuva (min).

Os parâmetros de ajuste da equação de chuvas intensas K, a, b e c, são determinados a partir de séries históricas de precipitações, tais parâmetros adaptam esta equação às condições pluviométricas de cada região. Para auxiliar na obtenção destes parâmetros, a Universidade Federal de Viçosa (UFV, 2006) desenvolveu o *software* PLÚVIO 2.1, capaz de determinar estes parâmetros para diversas localidades brasileiras.

A duração das chuvas corresponde ao intervalo de tempo contado desde o início até o fim da precipitação, dado em horas ou minutos. No dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, com o intuito de se obter a máxima intensidade de precipitação, a duração da chuva é considerada como o tempo de concentração da bacia, ou seja, considera-se o tempo necessário para que toda a água precipitada na bacia hidrográfica passe a contribuir na seção considerada. (TOMAZ, 2013b).

Segundo Pinto et al. (2008), frequência ou período de retorno consiste no tempo necessário para que um dado evento hidrológico possa ser igualado ou superado ao menos uma vez. A TAB. 1 mostra os valores de período de retorno em função do tipo de ocupação da área.

Tabela 1 – Período de retorno em função das diferentes ocupações da área

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Período de retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica da Companhia Ambiental de São Paulo - DAEE – CETESB (1980 apud Porto et al, 2000).

O período de retorno é o inverso da probabilidade de um determinado evento ser superado, então, conseqüentemente, ao escolhe-lo decide-se o grau de proteção conferido à população, ou o risco a que a população está exposta, mesmo após a construção da obra (PORTO et al., 2000).

3.5 Escoamento superficial

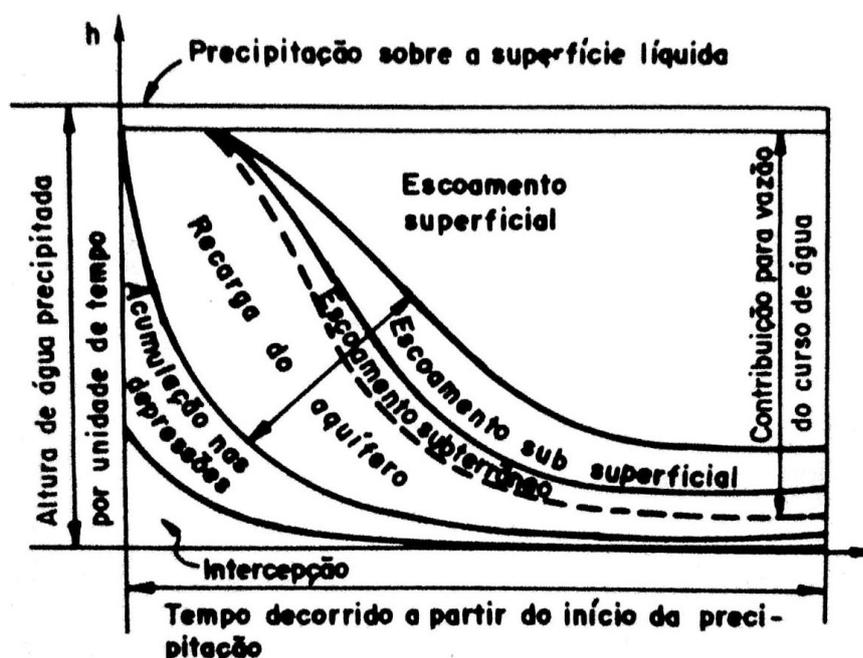
O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que aborda o conjunto de águas que se movem pela superfície da Terra. Portanto, o escoamento superficial engloba desde o excesso de precipitação, que ocorre após uma chuva intensa e se desloca pela superfície do terreno, até o escoamento dos rios, que podem ser alimentados pelas precipitações ou pela água subterrânea (VILLELA; MATTOS, 1975).

As águas que escoam superficialmente constituem uma das fases mais importantes do ciclo hidrológico com relação à engenharia, pois seu estudo está ligado ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2014).

A precipitação é a origem fundamental do escoamento superficial. Parte da água das chuvas é interceptada pela vegetação, de onde posteriormente será evaporada, parte atinge a superfície do solo, parte fica retida nas depressões do terreno e outra parte infiltra pelo perfil do solo. A parte restante da precipitação, aquela que não foi interceptada, nem evaporada, nem retida e nem infiltrada, escoam pela superfície assim que a intensidade de precipitação supera a intensidade de infiltração do solo ou se exceda a sua capacidade de armazenamento (MACHADO; TORRES, 2012).

O escoamento superficial começa algum tempo depois de iniciada a precipitação (FIG. 2) e esse atraso é correspondente à interceptação pelos vegetais, saturação do terreno e à acumulação da água nas depressões do terreno. Em bacias urbanas, onde a cobertura do solo é alterada, tornando-se mais impermeável, a interceptação e infiltração são mínimas, fazendo com que o escoamento se inicie mais rapidamente e em maior volume (GARCEZ; ALVAREZ, 2009).

Figura 2 - Redistribuição das águas meteorológicas durante uma precipitação de intensidade constante.



Fonte: Garcez e Alvarez (2009).

Existem fatores que influenciam no escoamento superficial, podendo eles serem climáticos ou fisiográficos. Dentre os fatores climáticos pode-se ressaltar a intensidade de precipitação e sua duração, pois quanto maior a intensidade, mais rapidamente o solo excede sua capacidade de infiltração e o excesso de precipitação escoará pela superfície. E quanto maior for a duração, maior a probabilidade de ocorrer escoamento para uma chuva de intensidade constante, além disso, uma precipitação que ocorra em um solo úmido devido a chuvas antecedentes, terá maior facilidade de escoar (MACHADO; TORRES, 2012).

Entre os fatores fisiográficos tem-se a área, declividade, tipo de solo e obras hidráulicas. Quanto maiores forem a área e a declividade, maior será a vazão de escoamento gerada e bacias com declividades elevadas aceleram a velocidade do escoamento e dificultam a infiltração no solo. O tipo de solo e a cobertura interferem diretamente na taxa de infiltração de água no solo

e na sua capacidade de retenção. Já as obras hidráulicas podem acelerar o escoamento, como as redes de drenagem, ou podem reduzir a vazão máxima em uma bacia (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2014).

3.6 Coeficiente de escoamento superficial

Para Villela e Mattos (1975), o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de deflúvio, ou ainda coeficiente de *runoff*, é definido como a relação entre o volume de água escoado superficialmente e o volume total de água precipitado na seção considerada, podendo se referir a uma determinada precipitação ou a todas as precipitações ocorridas em um determinado intervalo de tempo.

Segundo Pruski, Brandão e Silva (2014), o coeficiente de deflúvio é adimensional e pode ser expressado pela Equação 2.

$$C = \frac{ES}{PT} \quad (2)$$

Em que:

C - coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

ES - volume escoado superficialmente;

PT - volume total precipitado.

No entanto, devido à ausência de dados fluviográficos para a maioria das bacias e à complexidade na determinação de cada um desses volumes de escoamento, lança-se mão de processos mais simplificados como a utilização de tabelas e equação recomendados pela literatura para a determinação do coeficiente de deflúvio (GARCEZ; ALVAREZ, 2009).

Para simplificar a determinação do coeficiente de escoamento superficial, a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG, 2014a,b apud Fonseca, 2017) propôs dois métodos baseados nas TAB. 2 e 3.

Tabela 2 - Coeficiente de deflúvio (C) de acordo com a ocupação da área.

Natureza da superfície	Coeficiente “C”
Áreas centrais, densamente construídas, com ruas pavimentadas	0,70 – 0,90
Áreas adjacentes ao centro, com ruas pavimentadas	0,50 – 0,70
Áreas residenciais com casas isoladas	0,25 – 0,50
Áreas suburbanas pouco edificadas	0,10 – 0,20

Fonte: UFCG (2014a apud Fonseca, 2017).

Tabela 3 - Coeficiente de deflúvio de acordo com o revestimento da superfície.

Natureza da superfície	Coeficiente “C”
Pavimentada com concreto	0,80 a 0,95
Asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,95
Asfaltadas e má conservadas	0,70 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos rejuntados	0,75 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos não rejuntados	0,50 a 0,70
Pavimentadas com pedras irregulares e sem rejuntamento	0,40 a 0,50
Macadamizadas	0,25 a 0,60
Encascalhadas	0,15 a 0,30
Passeios públicos (calçadas)	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos livres e ajardinados	
1) solos arenosos	
$I \leq 2\%$	0,05 a 0,10
$2\% < I < 7\%$	0,10 a 0,15
$I \geq 7\%$	0,15 a 0,20
2) solos pesados	
$I \leq 2\%$	0,15 a 0,20
$2\% < I < 7\%$	0,20 a 0,25
$I \geq 7\%$	0,25 a 0,30

Fonte: UFCG (2014b apud Fonseca, 2017).

Nota: I = declividade da superfície.

Ainda sobre a obtenção do coeficiente de escoamento superficial, a Sociedade Americana de Engenheiros Civis (*American Society of Civil Engineers – ASCE*, 1992) também sugeriu uma tabela (TAB. 4), baseada na declividade e no tipo de cobertura das bacias.

Williams (1949 apud TUCCI, 2000a) propôs uma tabela (TAB. 5) para a determinação do coeficiente C em áreas rurais, que é obtido em função da combinação de valores para as distintas características da área em estudo.

Tabela 4 - Valores de C recomendados pela ASCE.

Característica da superfície	C
Pavimento	
Asfalto e concreto	0,70 – 0,95
Tijolo	0,70 – 0,85
Telhados	0,75 – 0,95
Gramados, solo arenoso	
Plano (2%)	0,05 – 0,10
Declive médio (2 a 7%)	0,10 – 0,15
Declive íngreme (>7%)	0,15 – 0,20
Gramados, solo compactado	
Plano (2%)	0,13 – 0,17
Declive médio (2 a 7%)	0,18 – 0,22
Declive íngreme (>7%)	0,25 – 0,35

Fonte: ASCE (1992).

Tabela 5 - Valor de C para áreas rurais.

Tipo de área	C'
1 Topografia	
Terreno plano, declividade de 0,2-0,6 m/km	0,30
Terreno, declividade de 3 - 4 m/km	0,20
Morros, declividade de 30 - 50 m/km	0,10
2 Solo	
Argila impermeável	0,10
Permeabilidade média	0,20
Arenoso	0,40
3 Cobertura	
Áreas cultivadas	0,10
Árvores	0,20

Fonte: Williams (1949 apud Tucci, 2000a).

O coeficiente de deflúvio é obtido a partir da Equação 3 também proposta por Williams (1949 apud TUCCI, 2000a).

$$C = 1 - (C'1 + C'2 + C'3) \quad (3)$$

Em que:

C – coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

C'1, C'2 e C'3 – são parâmetros adimensionais referentes às características de relevo, solo e cobertura da área analisada.

A Prefeitura do município de São Paulo (1999) adota uma tabela (TAB. 6) proposta por Wilken (1978) para a determinação do coeficiente C direcionada para bacias urbanas, considerando a densificação das edificações, localização e cobertura superficial dos locais estudados.

Tabela 6 - Valores de C adotados pela Prefeitura de São Paulo.

Zonas	C
Edificação muito densa:	
Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 – 0,95
Edificação não muito densa:	
Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 – 0,70
Edificações com poucas superfícies livres:	
Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 – 0,60
Edificações com muitas superfícies livres:	
Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 – 0,50
Subúrbios com alguma edificação:	
Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 – 0,25
Matas, parques e campos de esporte:	
Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 – 0,20

Fonte: Prefeitura do município de São Paulo (1999).

A obtenção do coeficiente de escoamento superficial ainda pode ser feita pela equação de Schueler (1987) (Equação 4) que é recomendada por Tomaz (2013a). Nesse método, apenas a porcentagem de área impermeável da bacia analisada é levada em consideração.

$$C=0,005+0,009\times AI \quad (4)$$

Em que:

C – coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

AI – área impermeável da bacia (%)

3.7 Drenagem urbana

O sistema de drenagem urbana diz respeito ao conjunto de infraestrutura existente em uma cidade, destinada a realizar a captação, o transporte e o lançamento final das águas pluviais que escoam superficialmente. Esse sistema é constituído por uma série de medidas preventivas que visam minimizar os riscos a que a população está exposta, diminuindo os prejuízos causados pelas cheias, visando um desenvolvimento urbano harmônico, considerando aspectos econômicos, sociais e ambientais (PINTO; PINHEIRO, 2006). O QUADRO 1 mostra a divisão de um sistema de drenagem urbana.

Quadro 1 – Divisão do sistema de drenagem urbana.

MICRODRENAGEM	MACRODRENAGEM
São estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para as galerias ou canais urbanos.	São dispositivos responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais provenientes do sistema de microdrenagem urbana.
É constituída pelas redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas-de-lobo e meios-fios e galerias.	É constituída pelos principais talwegues, fundos de vales, cursos d'água, independentes da execução de obras específicas e tampouco da localização de extensas áreas urbanizadas, por ser o escoadouro natural das águas pluviais.

Fonte: Pinto e Pinheiro (2006).

Segundo Porto et al. (2000), a microdrenagem urbana (FIG. 3) tem início nos coletores de águas pluviais das edificações e nas sarjetas que recebem a parcela superficial da água das ruas, calçadas, estacionamentos e de outras áreas impermeáveis ou permeáveis que geraram escoamento superficial.

Figura 3 – Elementos constituintes da microdrenagem urbana.



Fonte: Adaptado de Moraes (2015).

Por muito tempo, a grande preocupação da drenagem urbana era remover as águas precipitadas que escoavam superficialmente e transpô-las o mais rapidamente possível para a jusante da urbanização, com o intuito de evitar transtornos e prejuízos com inundações. Porém, não considerava os cenários futuros de ocupação das bacias nem sequer os impactos que poderia causar, traspondo toda a vazão gerada para a jusante da cidade em um curto espaço de tempo, gerando inundações nas áreas ribeirinhas e agravando a situação nas localidades a jusante (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS, 2005).

Quando uma obra de drenagem é dimensionada sem considerar as transformações que podem ocorrer na bacia, em função do processo de urbanização, ela pode se mostrar ineficiente em um curto período de tempo. Isso ocorreu em cidades brasileiras na segunda metade do século XX, que foi um período marcado por intensa urbanização. Atualmente, com a implementação de planos diretores de drenagem urbana, torna-se possível um desenvolvimento sustentável no meio urbano, utilizando-se, por exemplo, leis de ocupação do solo e fazendo o uso de reservatórios temporários para amortecimento e atenuação de vazões (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Para o controle de inundações podem ser adotadas medidas estruturais, quando envolvem obras de engenharia, e não estruturais, como ações de regulamentação. As medidas estruturais correspondem a obras que podem ser adotadas visando a prevenção dos problemas decorrentes de enchentes, porém essas medidas, além de onerosas, não representam por si só uma solução eficaz e resolvem somente problemas específicos e localizados. As medidas não estruturais correspondem a ações de regulamentação de uso e ocupação do solo, educação ambiental, sistemas de alerta e seguros. A integração harmoniosa entre medidas estruturais e

não estruturais minimizam os transtornos relacionados aos eventos pluviométricos (CANHOLI, 2005; PORTO et al., 2000).

3.8 Sistemas de microdrenagem

Os sistemas de microdrenagem urbana consistem no conjunto de elementos estruturais que tem como função captar as águas pluviais que escoam superficialmente e conduzi-las até os rios ou canais. Segundo Porto et al (2000), os elementos básicos de um sistema pluvial são as sarjetas, sarjetões, meios-fios, bocas coletoras, galerias, tubos de ligação, poços de visita, trecho de galeria, condutos forçados e estações de bombeamento, os quais são apresentados a seguir:

- Sarjetas: canais triangulares, paralelos à pista de rolamento, que coletam e transportam as águas pluviais que incidem sobre as vias públicas;
- Sarjetões: são calhas situadas em cruzamentos de vias, destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas;
- Meios-fios: elementos de pedra ou concreto, paralelos à via, e que delimitam o passeio e a sarjeta;
- Bocas coletoras: estruturas localizadas nas sarjetas para a captação das águas pluviais;
- Galerias: tubulações que recebem a água captada pelas bocas coletoras e as conduzem até os pontos de lançamento, possuindo diâmetro mínimo de 300 mm;
- Tubos de ligação: são condutos destinados ao transporte da água coletada nas bocas coletoras até as galerias pluviais;
- Poços de visita: são dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias destinados a permitir a mudança de declividade e direção, bem como a inspeção e limpeza das canalizações;
- Trecho de galeria: porções de galerias situadas entre dois poços de visita;
- Condutos forçados: tubulações que escoam fluidos com pressão diferente da atmosférica;
- Estações de bombeamento: utilizadas quando não há mais condições de o escoamento ocorrer por gravidade.

Dentre todos os componentes dos sistemas de microdrenagem urbana, as galerias são os que devem ser dimensionados com maior acuidade, pois recebem e escoam a água captada por todas as outras estruturas, podendo ocasionar transtornos se forem subdimensionadas. Além disso, as galerias são elementos subterrâneos, apresentando assim uma maior dificuldade de serem mantidas.

Segundo Carvalho (2003), as galerias podem ser dimensionadas através da associação da equação de Manning para movimento uniforme (Equação 5) com a equação da continuidade (Equação 6) representadas a seguir:

$$V = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (5)$$

$$Q = V \times A \quad (6)$$

Em que:

V – velocidade média de escoamento (m/s);

R – raio hidráulico (m);

S – declividade (m/m);

n – coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional);

Q – vazão (m³/s);

A – área da seção molhada (m²).

A velocidade de escoamento nas galerias é influenciada pelo coeficiente de rugosidade de Manning (TAB. 7), que varia de acordo com o tipo de acabamento das paredes das tubulações.

Tabela 7 – Coeficiente de rugosidade de Manning.

Natureza das paredes	n
1 – Canais de chapas com rebites embutidos, juntas perfeitas e águas limpas. Tubos de cimento e de fundição em perfeitas condições	0,011
2 - Canais de cimento muito liso de dimensões limitadas, de madeira aplainada e lixadas, em ambos os casos; trechos retilíneos compridos e curvas de grande raio e água limpa. Tubos de fundição usados	0,012
3 – Canais com reboco de cimento liso, porém com curvas de raio limitados e águas não completamente limpas; construídos com madeira lisa, mas com curvas de raio moderado	0,013
4 – Canais com reboco de cimento liso; de madeira como no número 2, porém com traçado tortuoso e curvas de pequeno raio e juntas imperfeitas	0,014
5 – Canais com paredes de cimento não completamente lisas, com curvas estreitas e águas com detritos; construídos de madeira não aplainada e chapas rebitadas	0,015
6 – Canais com reboco de cimento não muito alisado e pequenos depósitos no fundo; revestidos por madeira não aplainada; de alvenaria construída com esmero; de terra, sem vegetação	0,016
7 – Canais com reboco de cimento incompleto, juntas irregulares, andamento tortuoso e depósitos no fundo; de alvenaria revestindo taludes não bem perfilados	0,017
8 – Canais com reboco de cimento rugoso, depósitos no fundo, musgos nas paredes e traçado tortuoso	0,018

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto et al. (1998).

3.9 Vazão de projeto para sistemas de microdrenagem - Método Racional

Segundo Collischonn e Dornelles (2015), o Método Racional (Equação 7) foi criado por um engenheiro irlandês cujo propósito era o de estimar vazões máximas de bacias a partir de dados de chuva, sendo o mais simples e largamente utilizado em pequenas áreas de drenagem. O nome Método Racional surgiu para contrapor os métodos antigos que eram empíricos e não racionais.

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3,6} \quad (7)$$

Em que:

Q – vazão máxima de escoamento superficial (m³/s);

C – coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

I – intensidade de precipitação (mm/h);

A – área drenada (km²).

O Método Racional parte do princípio básico de que toda a área da bacia está submetida a uma mesma intensidade de precipitação e que a vazão máxima provocada por uma chuva de intensidade uniforme e constante ocorre quando todas as partes da bacia contribuem simultaneamente para o escoamento. Devido à impossibilidade de variação na intensidade de precipitação, esse método é recomendado apenas para bacias pequenas (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2014).

A eficácia das estruturas de um sistema de microdrenagem urbana depende da correta determinação das variáveis independentes do Método Racional. Dessas variáveis, a determinação de C é a que apresenta maior grau de subjetividade diante das propostas metodológicas existentes, o que faz com que a análise da influência dos diferentes métodos de determinação de C na estimativa da vazão de projeto de sistemas de microdrenagem seja avaliada e considerada para fins de dimensionamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Determinação do coeficiente de escoamento superficial por diferentes metodologias

O objeto de estudo foi a análise de diferentes cenários de ocupação superficial e a determinação do coeficiente de escoamento para esses cenários através de diferentes metodologias disponíveis na literatura.

Foram criados diferentes cenários hipotéticos de ocupação superficial, levando em consideração um dos principais fatores que influenciam diretamente o coeficiente de escoamento superficial, que é o tipo de cobertura superficial. Para tanto, consideraram-se parcelas experimentais hipotéticas constituídas de solos de diferentes granulometrias e com diferentes coberturas superficiais.

Os cenários foram simulados considerando três classes texturais de solos¹ (solo argiloso, siltoso e arenoso) e sete tipos de coberturas superficiais (sem cobertura superficial – solo exposto; 50% coberto por grama, 100% coberto por grama, 50% coberto por concreto, 100% coberto por concreto; 50% coberto por asfalto e 100% coberto por asfalto), totalizando 21 cenários hipotéticos.

Para cada cenário, determinaram-se os valores do coeficiente de escoamento superficial (C) utilizando-se 6 (seis) métodos distintos:

- Método 1 = Tabela proposta por UFCG (2014a apud FONSECA, 2017) para determinação de C de acordo com a ocupação da área (TAB. 1 do item 3.6);
- Método 2 = Tabela proposta por UFCG (2014b apud FONSECA, 2017) para determinação de C de acordo com o tipo de revestimento recebido pela superfície (TAB. 2 do item 3.6);
- Método 3 = Tabela contendo os valores de C recomendados por ASCE (1992) (TAB. 3 do item 3.6);
- Método 4 = Equação e tabela propostas por Williams (1949 apud TUCCI, 2000a) para determinação de C para áreas agrícolas (TAB. 4 do item 3.6);
- Método 5 = Valores de C propostos por Wilken (1978) (TAB. 5 do item 3.6);
- Método 6 = Equação de Schueler (1987 apud TOMAZ, 2013a) (equação 4 do item 3.6).

¹ Definição das classes texturais de solo segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995):

Solo arenoso: solo não coesivo formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm

Solo siltoso: formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm

Solo argiloso: solo coesivo constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm.

Para os métodos 1, 2, 3 e 5, trabalhou-se com os valores médios dos intervalos propostos nas tabelas para cada situação.

Os resultados obtidos foram confrontados entre si para verificação das discrepâncias entre os diferentes métodos de determinação de C.

4.2 Avaliação da influência do valor de C, determinado por diferentes métodos, na vazão de projeto de microdrenagem urbana.

Adotou-se um loteamento hipotético (ANEXO A), considerando-o localizado na cidade de Formiga-MG, pois era necessário estabelecer uma localidade para se determinar as condições pluviométricas a que o loteamento estava submetido. O loteamento foi dividido em bacias de contribuição conforme o ANEXO B.

Para cada bacia delimitada, a vazão de projeto foi calculada utilizando-se o Método Racional (Equação 5 do item 3.8).

Para se calcular a intensidade de precipitação foi necessário, primeiramente, calcular o tempo de concentração da bacia, que foi realizado a partir da equação de Kirpich (Equação 8), recomendada para bacias menores que 0,5 km² e declividades entre 3 e 10%.

$$t_c = 0,019 \times \frac{L^{0,770}}{S^{0,385}} \quad (8)$$

Em que:

t_c - tempo de concentração da bacia (min);

L – comprimento do talvegue principal (m);

S – declividade do talvegue principal (m/m).

A declividade e o comprimento do talvegue principal foram obtidos através da análise da planta topográfica planialtimétrica do loteamento (ANEXO A).

Após o cálculo do tempo de concentração, calculou-se a intensidade de precipitação, onde utilizou-se a equação de chuvas intensas (Equação 1 do item 3.4). Os parâmetros de ajuste da equação foram obtidos utilizando-se o *software* Plúvio 2.1 (UFV, 2006), onde, para o município de Formiga-MG, foram encontrados os valores: a = 0,191; b = 14,740; c = 0,808; K = 1320,945. O período de retorno adotado foi de 2 anos.

Para o coeficiente de escoamento superficial, foram adotados os valores determinados pelas diferentes metodologias representadas pelas TAB. 2, 3, 4, 5 e 6, e pela equação 4.

Os valores obtidos foram confrontados entre si para a verificação das discrepâncias nos valores obtidos para a vazão de projeto.

4.3 Avaliação da influência do valor de C, determinado por diferentes métodos, no dimensionamento de trechos de galerias pluviais

Para avaliar a influência do coeficiente de escoamento superficial nos sistemas de drenagem, optou-se pelo cálculo das galerias, pois estas devem ser dimensionadas com maior acuidade, uma vez que escoam toda a água captada pelas outras estruturas de drenagem e são estruturas subterrâneas, sendo assim mais difíceis de serem reparadas.

As vazões geradas pelas bacias do loteamento hipotético foram distribuídas em 45 trechos de galeria, conforme o ANEXO C.

Para o cálculo dos diâmetros das galerias, utilizou-se o método recomendado pelo Município de Toledo (2017) (Equação 9), que faz o uso da equação da continuidade (Equação 6 do item 3.8) associada à equação de Manning (Equação 5 do item 3.8), considerando $R = D/4$ (seção plena).

$$D = 1,55 \times \left(\frac{Q \cdot n}{S^2} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (9)$$

Em que:

D – diâmetro o trecho de galeria (m);

Q – vazão que escoar pelo trecho de galeria (m³/s);

n – coeficiente de rugosidade e Manning (adimensional);

S – declividade de assentamento do trecho de galeria (m/m).

Padronizou-se que as declividades de assentamento dos trechos de galeria seriam coincidentes com as declividades das ruas do loteamento hipotético. Adotaram-se tubos de concreto para todas as galerias, sendo o coeficiente de rugosidade de Manning para tubos de concreto, de acordo com a TAB. 7 do item 3.8, igual a 0,015.

Para o dimensionamento das galerias, utilizaram-se os valores de vazão calculados no item anterior, adotando-se o menor e o maior valor de C encontrados para cada um dos 21 cenários hipotéticos, a fim de verificar a influência deste coeficiente nos diâmetros das galerias.

Após o cálculo dos diâmetros, o valor encontrado foi arredondado para o diâmetro comercial mais próximo acima, sendo que o diâmetro mínimo a ser adotado deve ser de 300 mm. A TAB. 8 apresenta os diâmetros comerciais adotados, obtidos através de apuração com fabricantes de galerias de concreto para a cidade de Formiga-MG.

Tabela 8 – Diâmetros comerciais de galerias adotados.

Diâmetros em mm	Diâmetros em m
300	0,30
400	0,40
500	0,50
600	0,60
800	0,80
1000	1,00
1200	1,20
1500	1,50
2000	2,00

Fonte: O autor (2018).

Os dados obtidos foram confrontados entre si para a verificação das variações dos valores dos diâmetros obtidos em função dos valores de C adotados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise do valor de C determinado por diferentes metodologias

Observou-se que os valores encontrados através das diferentes propostas metodológicas apresentaram, para um mesmo cenário (parcela experimental), discrepâncias de um valor para outro, conforme TAB. 9.

Tabela 9 - Valores do coeficiente de deflúvio (C) obtidos por diferentes métodos para os cenários simulados pelas parcelas experimentais hipotéticas.

	solo arenoso						
	solo exposto	50% gramado	100 % gramado	50% concretado	100% concretado	50% asfaltado	100% asfaltado
Método 1	0,15	0,15	0,15	0,6	0,8	0,6	0,8
Método 2	0,125	0,125	0,125	0,5	0,875	0,475	0,825
Método 3	0,125	0,125	0,125	0,5	0,875	0,475	0,825
Método 4	0,25	0,25	0,25	-	-	-	-
Método 5	0,125	0,125	0,125	0,65	0,825	0,65	0,825
Método 6	0,1	0,1	0,1	0,5	0,95	0,5	0,95
	solo siltoso						
	solo exposto	50% gramado	100 % gramado	50% concretado	100% concretado	50% asfaltado	100% asfaltado
Método 1	0,15	0,15	0,15	0,6	0,8	0,6	0,8
Método 2	0,175	0,175	0,175	0,525	0,875	0,5	0,825
Método 3	0,2	0,2	0,2	0,54	0,875	0,515	0,825
Método 4	0,45	0,45	0,45	-	-	-	-
Método 5	0,125	0,125	0,125	0,65	0,825	0,65	0,825
Método 6	0,12	0,12	0,12	0,5	0,95	0,5	0,95
	solo argiloso						
	solo exposto	50% gramado	100 % gramado	50% concretado	100% concretado	50% asfaltado	100% asfaltado
Método 1	0,15	0,15	0,15	0,6	0,8	0,6	0,8
Método 2	0,225	0,225	0,225	0,55	0,875	0,525	0,825
Método 3	0,24	0,24	0,24	0,56	0,875	0,535	0,825
Método 4	0,55	0,55	0,55	-	-	-	-
Método 5	0,125	0,125	0,125	0,65	0,825	0,65	0,825
Método 6	0,14	0,14	0,14	0,5	0,95	0,5	0,95

Fonte: O autor (2018).

De acordo com Tucci (2000b), para cada 10% de aumento da área impermeável ocorre cerca de 100% de aumento no coeficiente de escoamento e no volume de escoamento superficial. Todavia, esse comportamento não pode ser verificado nas simulações feitas nesse trabalho. Observa-se que os cenários simulados induzem a diferentes graus de impermeabilização do solo, logo, permitem inferir sobre o grau de urbanização. Tomando-se como exemplo os resultados obtidos pelo Método 6 aplicado a áreas com solos argilosos, quando a área está 50% impermeabilizada, o valor de C foi de 0,5 e, quando a área está totalmente impermeabilizada, o valor de C foi de 0,95. Para um incremento de 50% de área impermeável, o valor de C aumentou em 90%, não corroborando com os dados observados por Tucci (2000b).

Targa et al. (2012) compararam os valores do coeficiente de escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Igarapé Tucunduba, em Belém/PA, nos anos de 1972 e 2006, e os valores variaram na ordem de 0,30 a 0,73, denotando uma resposta da urbanização, ou seja, a urbanização promoveu o acréscimo de, aproximadamente, 150% no valor de C para o período analisado. Considerando os cenários relativos ao solo exposto ou gramado como isento de urbanização e os cenários de 50% ou 100% concretados ou asfaltados como representativos de áreas urbanizadas, verifica-se que, em média, a urbanização acarretou um acréscimo de, aproximadamente, 400% nos valores de C, mostrando que, conforme Pacheco et al. (2017), quanto mais urbanizada a área, mais impermeabilizada ela é e, conseqüentemente, maior o deflúvio superficial direto ocasionado na área analisada.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Navarro (2013) que, analisando o avanço do processo de urbanização na microbacia hidrográfica do córrego da Cachoeirinha, observou significativo efeito da urbanização sobre o coeficiente de escoamento superficial da microbacia. Navarro (2013) ainda ressaltou a importância da aplicação de projeção futura para os usos e ocupação dos solos na microbacia, pois estes influenciam no processo de adensamento urbano e, conseqüentemente, sobre o incremento das vazões (cheia e máxima) de deflúvio superficial direto.

No dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, para a estimativa da vazão de projeto, faz-se necessária a aplicação de um modelo que transforme a precipitação em vazão. Dentre os vários modelos existentes, o mais utilizado é o Método Racional, que estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio) (TOMAZ, 2013a). Reis (2017) relata que a determinação do coeficiente de escoamento superficial é de fundamental importância no Método Racional, porém, sua determinação está sujeita a incertezas e imprecisões, confirmando os resultados da TAB. 9.

Pruski, Brandão e Silva (2014) reafirmam a grande subjetividade dos valores de C adotados no Método Racional. Os autores relatam que tais coeficientes são obtidos de valores tabelados em função do tipo de cobertura do solo da bacia hidrográfica, o qual se tem dificuldade de encontrar valores compatíveis com as condições de solos brasileiros, além de desconsiderar a influência de muitos componentes do ciclo hidrológico no processo de formação do escoamento superficial, como por exemplo, a interceptação pela cobertura vegetal, o armazenamento superficial, a infiltração, o perfil de precipitação, a rede drenagem e outros. Esse alto grau de subjetividade e incerteza na determinação do coeficiente C pode vir a influir de maneira relevante no dimensionamento dos projetos de drenagem urbana, conforme será verificado posteriormente nesse trabalho.

A TAB. 10 apresenta a relação entre o maior e o menor valor de C encontrado pelos diferentes métodos, para cada cenário analisado.

Tabela 10 - Relação entre os maiores e menores valores de C determinados pelos diferentes métodos.

Solo	Cobertura superficial da parcela experimental						
	solo exposto	50% gramado	100 % gramado	50% concretado	100% concretado	50% asfaltado	100% asfaltado
arenoso	2,5	2,5	2,5	1,3	1,2	1,4	1,2
siltoso	3,8	3,8	3,8	1,3	1,2	1,3	1,2
argiloso	4,4	4,4	4,4	1,3	1,2	1,3	1,2

Fonte: O autor (2018)

Em função do método adotado, o maior valor de C obtido pode ser até 4 (quatro) vezes maior que o menor valor possível de ser utilizado; isso implica na possibilidade de, para um mesmo projeto de drenagem urbana, aumentar-se a vazão de projeto e, conseqüentemente, as dimensões das estruturas de drenagem, como será analisado e discutido posteriormente. Esses resultados corroboram com Nunes et al. (2017), que realizaram a determinação do coeficiente de deflúvio por meio de diferentes tabelas propostas pela literatura e também verificaram o alto grau de incerteza nas determinações.

O coeficiente de escoamento superficial é um importante parâmetro para a estimativa das vazões máximas de escoamento superficial utilizadas no dimensionamento de sistemas de drenagem urbana. A falta de padronização na determinação desse coeficiente causa uma grande lacuna no dimensionamento correto dos mesmos, pois fica a critério do projetista escolher o método de determinação que julgar mais adequado.

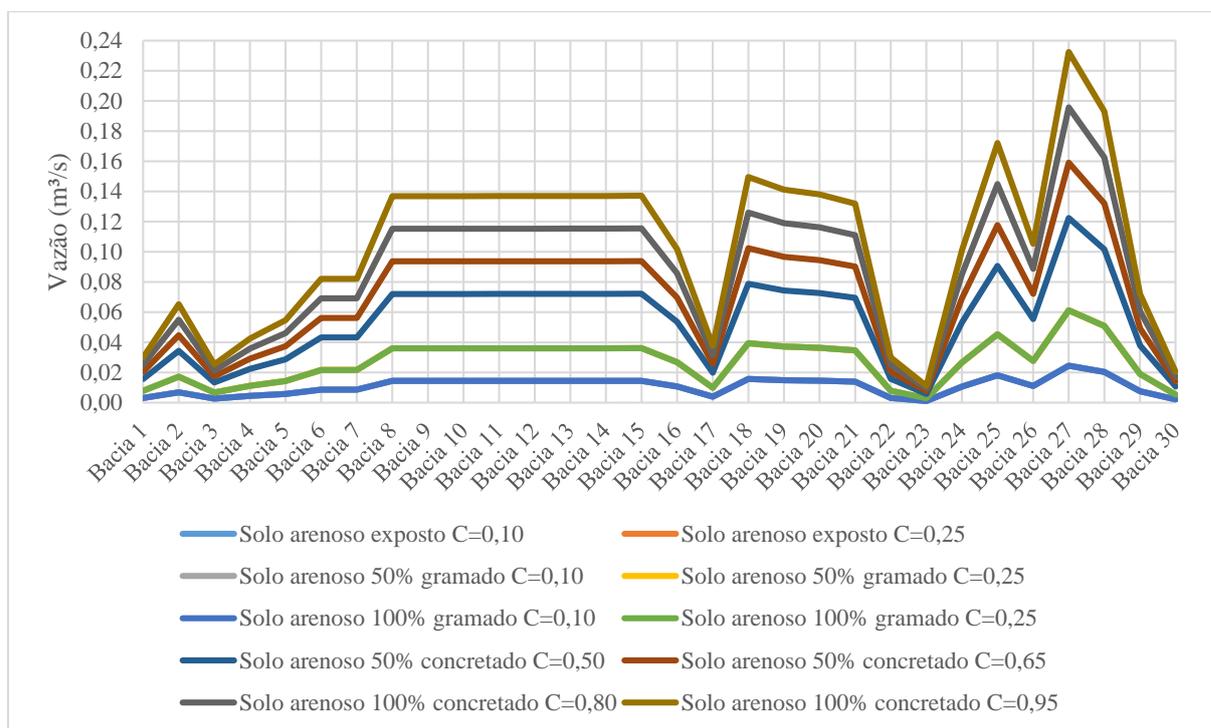
Assim, torna-se necessária uma padronização, uma vez que não se dispõe de uma normalização específica que estabeleça critérios de adoção para o coeficiente de deflúvio. Uma vez que a vazão máxima de escoamento é influenciada por esse parâmetro, conseqüentemente, o custo da obra de drenagem urbana também é.

5.2 Influência da variação dos valores de C no dimensionamento de sistemas de galerias pluviais

5.2.1 Influência do valor de C na vazão de projeto

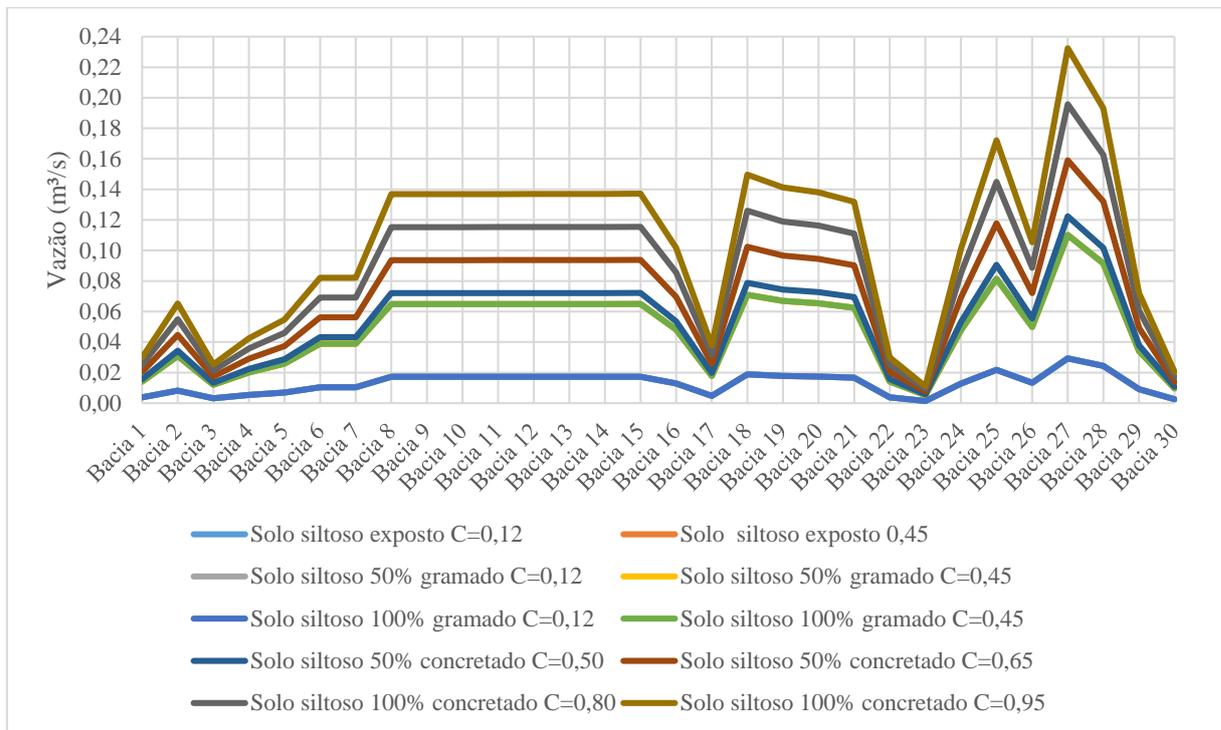
Os GRAF. 1, 2 e 3 apresentam as vazões de projeto para as bacias do loteamento hipotético, obtidas em função dos diferentes valores de C.

Gráfico 1- Vazões de projeto para as bacias hipotéticas em função dos maiores e menores valores de C, para os cenários com classe textural de solo arenoso.



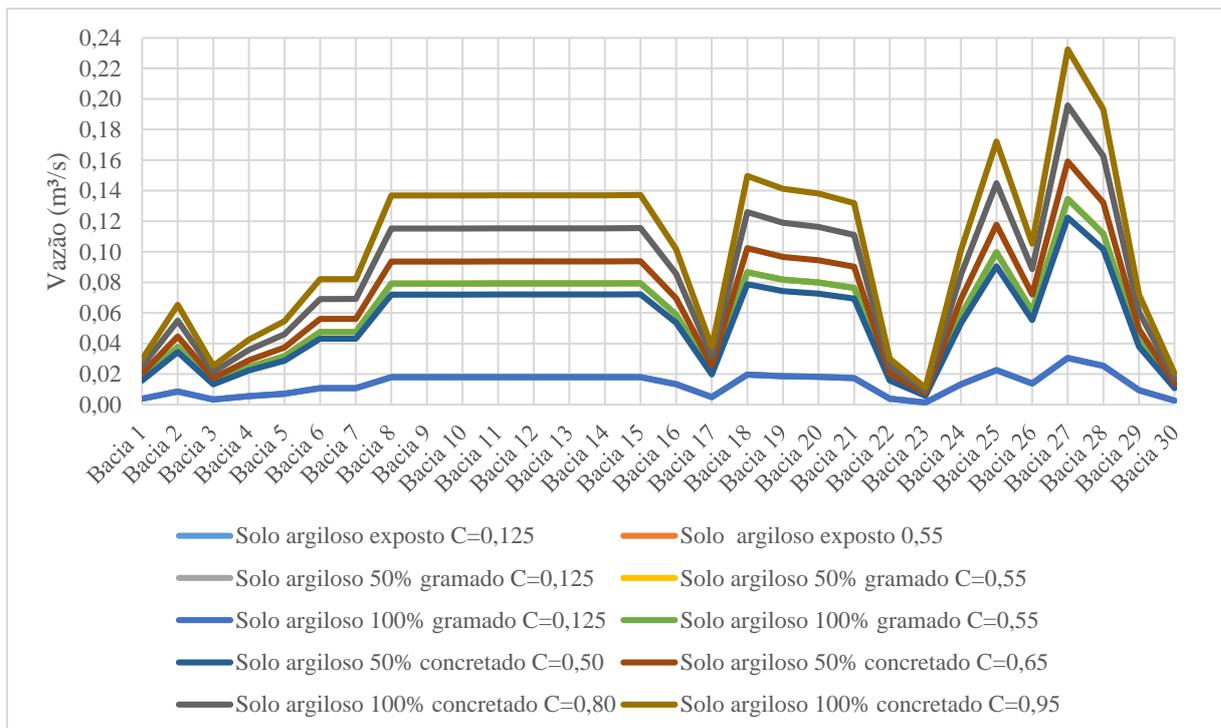
Fonte: O autor (2018).

Gráfico 2 - Vazões de projeto para as bacias hipotéticas em função dos maiores e menores valores de C, para os cenários com classe textural de solo siltoso.



Fonte: O autor (2018).

Gráfico 3 - Vazões de projeto para as bacias hipotéticas em função dos maiores e menores valores de C, para os cenários com classe textural de solo argiloso.



Fonte: O autor (2018).

Observa-se, para uma mesma bacia, independentemente da classe textural de solo e do tipo da cobertura superficial, que a vazão de projeto foi diretamente proporcional ao valor de C, o que se justifica, segundo Garotti e Barbassa (2010), pelo fato de o Método Racional, utilizado nesse trabalho para estimativa da vazão de projeto de microdrenagem, caracteriza-se pela simplicidade dos mecanismos numéricos de quantificação utilizados, onde todos os processos hidrológicos para transformação da precipitação em vazão são englobados em apenas um coeficiente, o coeficiente de escoamento superficial.

As bacias de 8 a 15 apresentaram vazão constante, pois as mesmas possuem áreas e declividades iguais, enquanto as demais bacias, por terem diferentes áreas e declividades, apresentaram variações nos valores de vazão.

Analisando a vazão gerada para cada cobertura, verificou-se que, para os cenários com solo exposto, 50% gramado e 100% gramado, a vazão foi a mesma devido ao fato de o valor de C também ser igual para estas coberturas, dentro da mesma classe textural de solo. Desta forma, as linhas correspondentes a estas coberturas se sobrepuseram nos gráficos. Nota-se também, para estas mesmas coberturas, as maiores divergências encontradas para o valor de C. Para os cenários com solo arenoso, o valor de C variou 2,5 vezes, dentre os maiores e menores valores possíveis de serem utilizados, o que implica no incremento também de 2,5 vezes na vazão de projeto. Já nos cenários com solo siltoso, a relação entre o maior e menor valor de C e o incremento na vazão foram de 3,8 vezes. E nos cenários com solo arenoso a discrepância foi ainda maior, chegando à relação entre os maiores e menores valores de C a 4,4 vezes, fazendo com que a vazão de projeto quadriplique.

Já para os cenários com solo 100% concretado e 100% asfaltado, considerados como urbanizados, os valores máximos e mínimos de C foram os mesmos, independente da classe textural do solo, apresentando uma variação de 20% na vazão de projeto de acordo com o método adotado. Tal fato se repetiu para as coberturas com solo 50% concretado e 50% asfaltado, porém a variação da vazão foi de 30%, com exceção do solo arenoso que apresentou variação de 40% para a cobertura 50% asfaltada.

Para as coberturas com solo 100% concretado e 100% asfaltado, ambos os métodos consideram que o valor de C varia de 0,8 a 0,95, corroborando com a variação de 20% na quantificação da vazão de projeto, percentual ainda discrepante, porém com uma menor margem do que o apresentado para os demais cenários, em especial aos cenários com solo arenoso que apresentaram variação de até 340% na vazão de projeto.

Para as coberturas permeáveis, representadas pelo solo exposto e gramado, as vazões calculadas com o C extraído do Método 6 foram as menores encontradas, enquanto os valores de C do método 4 geraram os maiores valores de vazão para estas coberturas.

Já para os cenários impermeáveis, que simulam a ocupação urbana com superfície 100% concretada ou 100% asfaltada os valores de C do Método 6 implicaram nos maiores valores de vazão.

O Método 6, representado pela equação de Schueler, mostrou-se subjetivo, uma vez que pode gerar os maiores ou menores valores de vazão, a depender do cenário analisado. Este método calcula o valor de C apenas em função do percentual de área impermeável das bacias, não levando em consideração outros fatores que influenciam no escoamento superficial, como a declividade e o tipo da cobertura superficial. Além disso, este método não estabelece um critério para definir em quais situações uma área é considerada permeável ou não, sobretudo quando se trata de solos predominantemente expostos ou com vegetação, para os quais não existe um consenso quanto ao seu grau de permeabilidade.

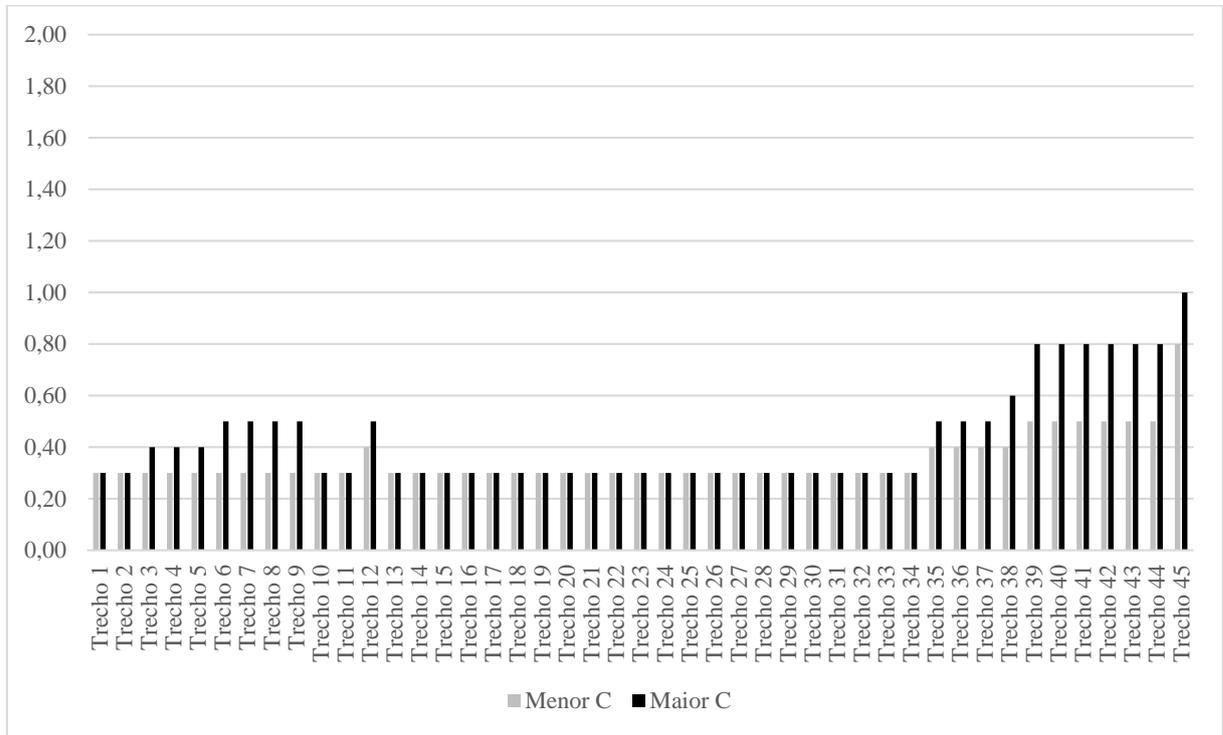
Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) realizaram ensaios de infiltração com chuvas simuladas em uma parcela com solo exposto compactado e observaram que 66% do total precipitado tornou-se escoamento superficial, originando um valor de C de 0,66 para solos expostos, valor este fora do intervalo encontrado nos métodos citados para a determinação de C. Dessa forma, as propostas existentes na literatura para determinação de C podem induzir a valores de vazão não coincidentes com o comportamento real das bacias, minorando as vazões de projeto quando se tratar de cenários cobertos com vegetação ou sem cobertura superficial.

Analisando o maior e o menor valor de C encontrado, independente do cenário, percebe-se que este variou de 0,1 a 0,95; representando uma variação de 9,5 vezes, implicando em vazões de projeto de até 9,5 vezes maior, mostrando que este coeficiente influi diretamente na vazão de projeto de sistemas de drenagem pluvial. Sendo assim é de extrema importância a correta determinação deste coeficiente para o bom funcionamento das redes de drenagem pluvial.

5.2.2 Influência do valor de C no diâmetro das galerias

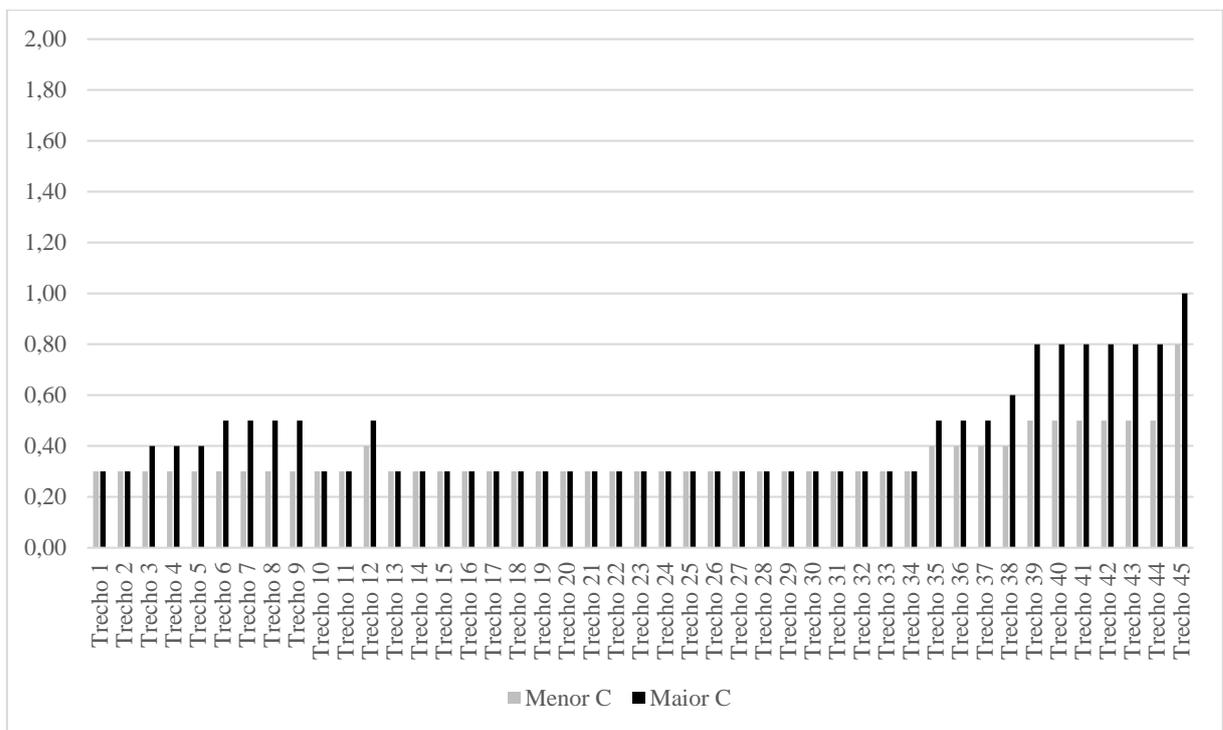
Os GRAF. 4, 5 e 6 mostram os diâmetros comerciais para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso sem cobertura (solo exposto), 50% gramado e 100% gramado, em função dos diferentes valores de C obtidos.

Gráfico 4 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso exposto.



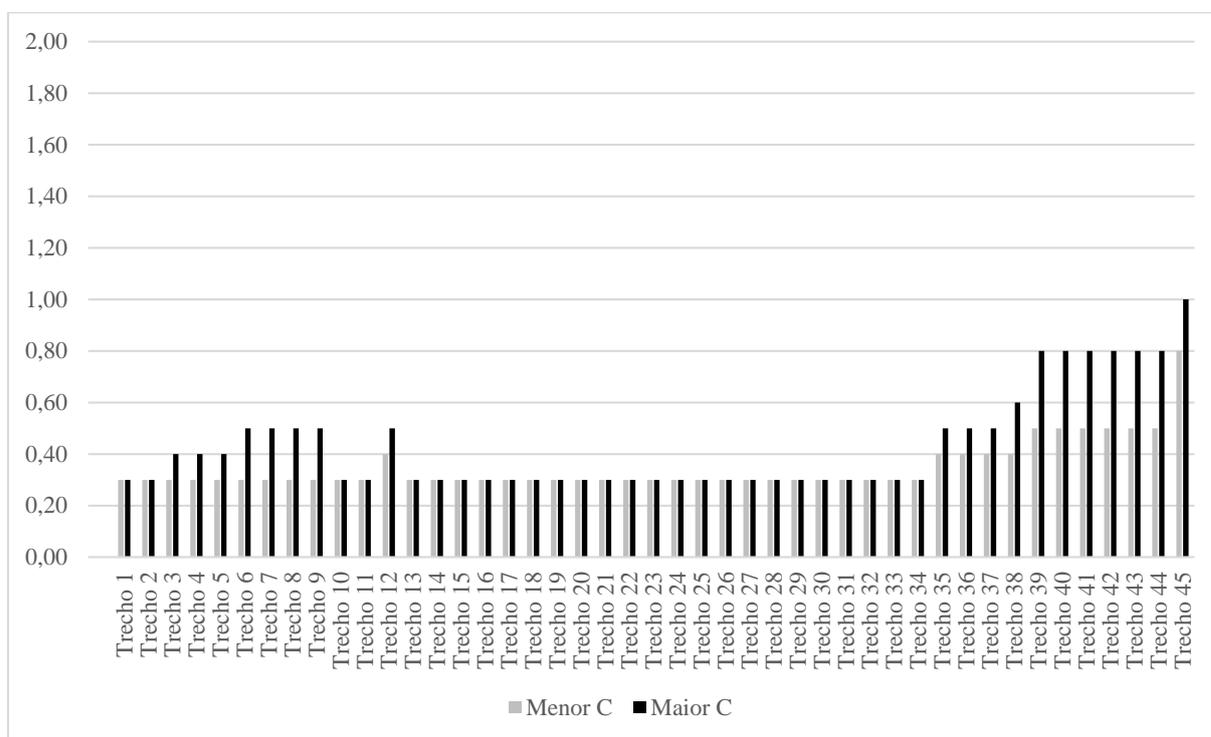
Fonte: O autor (2018).

Gráfico 5 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 50% gramado.



Fonte: O autor (2018).

Gráfico 6 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 100% gramado.



Fonte: O autor (2018).

Para solos arenosos, observou-se que não houve variação entre os diâmetros em função das diferentes coberturas (solo exposto, 50% gramado e 100% gramado). Tal fato ocorre pois os valores de C foram os mesmos para estes cenários, levando aos mesmos valores de vazão e, consequentemente, diâmetros de galerias iguais.

Verificou-se, para os trechos iniciais e intermediários das galerias, que não houveram variações no diâmetro em função dos diferentes valores de C, pois esses trechos escoam uma menor vazão e consequentemente necessitam de diâmetros inferiores ao mínimo recomendado para trechos de galeria (300 mm). Sendo assim, o diâmetro adotado para estes trechos sempre foi considerado como igual ao mínimo recomendável.

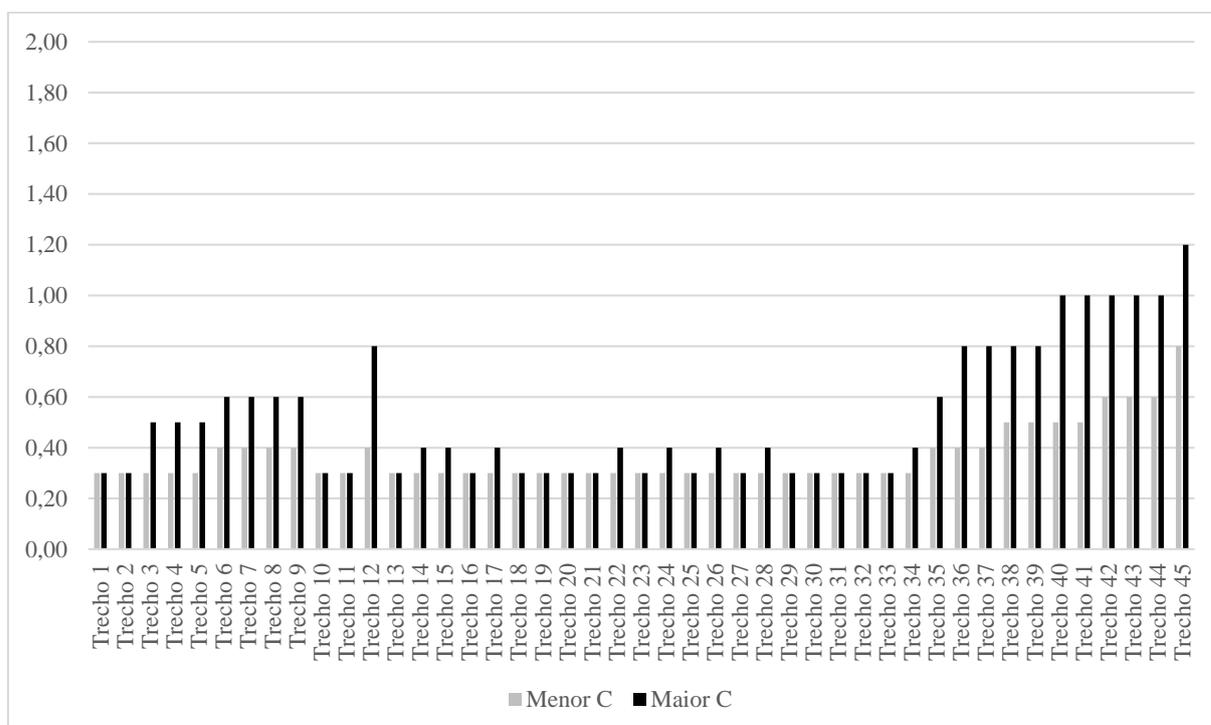
Já para os trechos finais, que escoam uma maior vazão, os diâmetros calculados em função dos maiores e menores valores de C disponíveis originaram estruturas com diferentes diâmetros, para as três coberturas citadas, em solo arenoso. Sobretudo, os trechos de 06 a 09 e de 39 a 44 foram os que apresentaram a maior variação em seus diâmetros. Para estes cenários, um valor de C 2,5 vezes maior gera galerias com diâmetros de até 66% maior.

Os GRAF. 7, 8 e 9 mostram os diâmetros comerciais para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso com solo exposto, 50% gramado e 100% gramado, em função dos diferentes valores de C obtidos.

Para o solo siltoso sem cobertura (solo exposto), 50% gramado e 100% gramado, observa-se novamente que não houveram variações no diâmetro das galerias para o mesmo tipo de solo. Verifica-se também que os trechos iniciais de galerias continuam sem serem influenciados pelos diferentes valores de C, entretanto observa-se que os trechos de galeria intermediários começaram a apresentar variações entre os diâmetros calculados pelos diferentes valores de C.

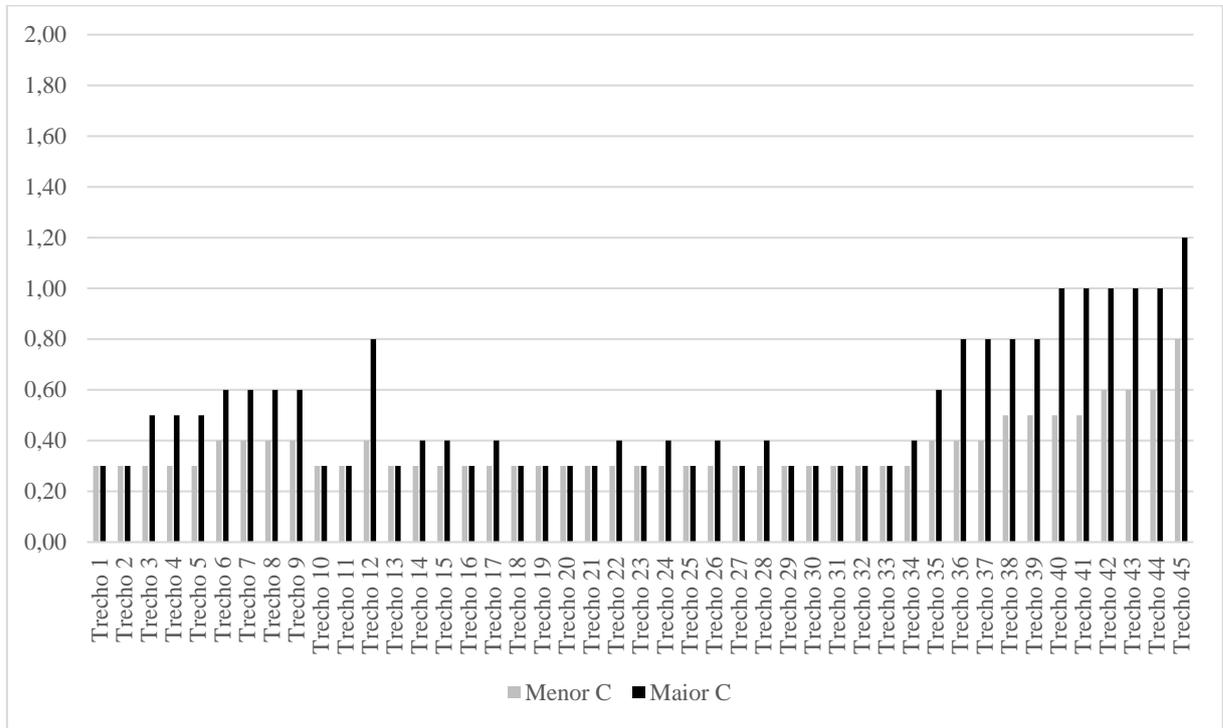
A menor variação dos diâmetros encontrados foi para os trechos intermediários, havendo uma oscilação de pelo menos 33%. Nos trechos finais das galerias, observa-se uma variação ainda maior que a encontrada no solo arenoso. Nos trechos 12, 36, 37, 40 e 41 a variação entre os diâmetros calculados pelos maiores e menores valores de C chegou a ser de 100%, enquanto o valor de C oscilou 3,8 vezes.

Gráfico 7 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso exposto.



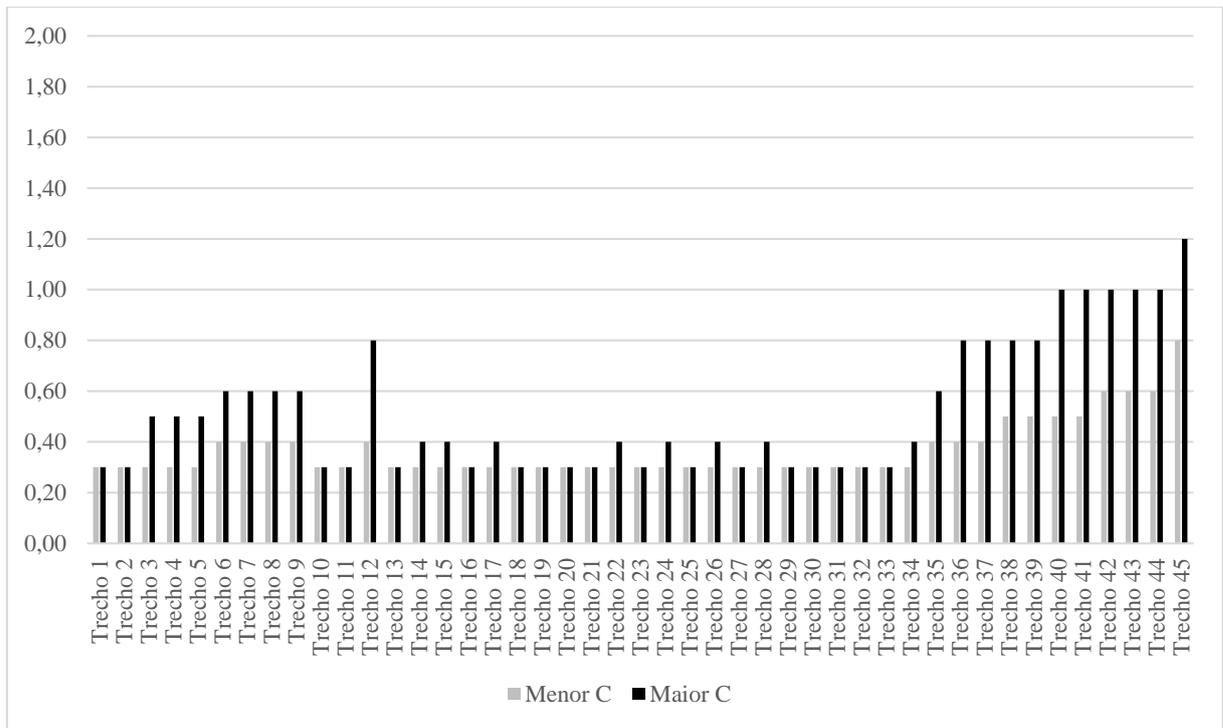
Fonte: O autor (2018).

Gráfico 8 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso 50% gramado.



Fonte: O autor (2018).

Gráfico 9 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C, obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso 100% gramado.



Fonte: O autor (2018).

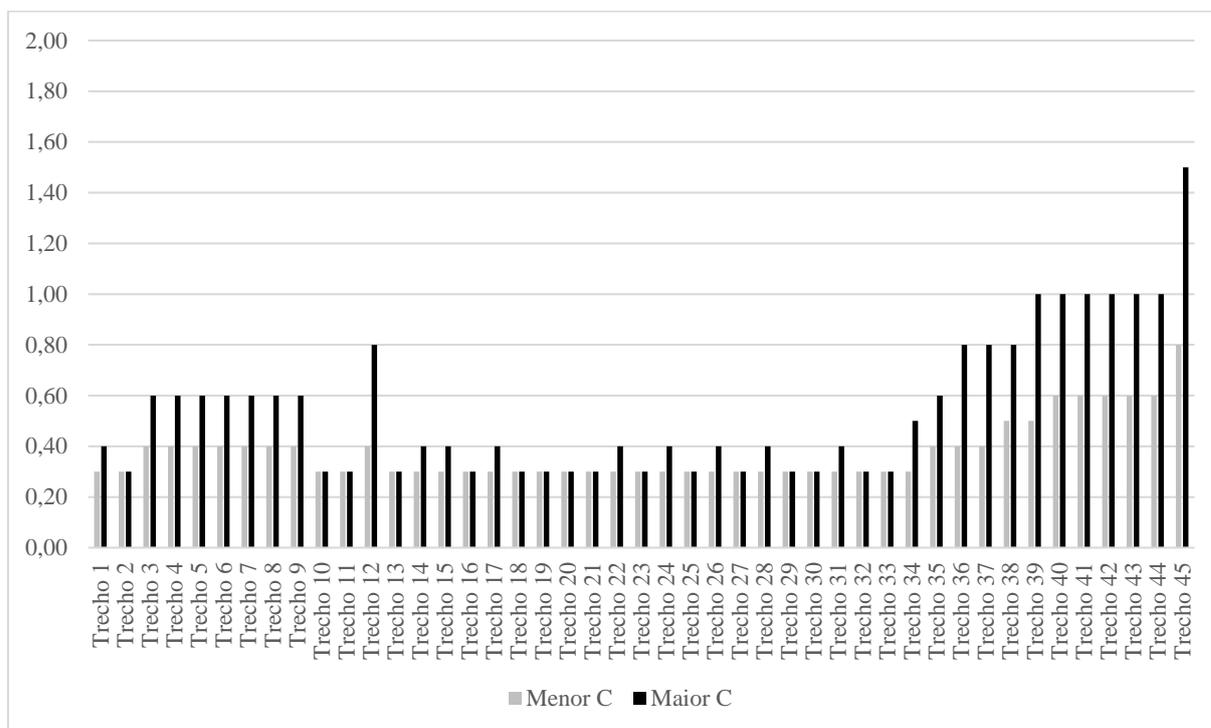
Já os GRAF. 10, 11 e 12 mostram os diâmetros comerciais para os trechos de galerias, para o solo argiloso sem cobertura (solo exposto), 50% gramado e 100% gramado, em função dos diferentes valores de C obtidos.

Observa-se para os cenários com solo argiloso, sem cobertura superficial (solo exposto), 50% gramado e 100% gramado, que também não houveram variações nos diâmetros em função das diferentes coberturas superficiais. Verificou-se comportamento similar ao observado para estas mesmas coberturas em solo siltoso, onde as oscilações nos diâmetros das galerias surgiram apenas nos trechos intermediários e finais, que escoam uma maior vazão.

Para estes cenários, as maiores variações nos diâmetros das galerias foram encontradas nos trechos 12, 36, 37 e 39, sendo essa variação de 100%, para uma oscilação de 4,4 vezes no valor de C.

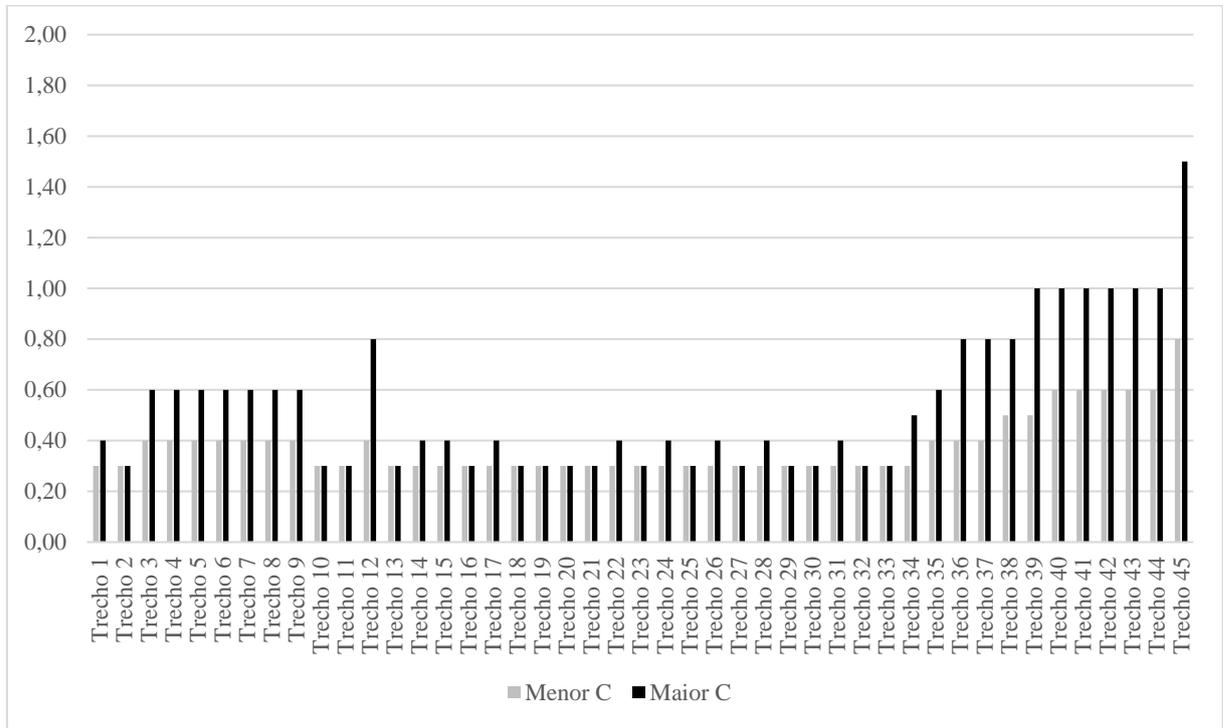
Analisando-se as três coberturas, para os três tipos de solo citados, percebe-se que as galerias dimensionadas para os cenários com solo arenoso geraram diâmetros inferiores aos calculados para os demais solos. Percebe-se também que a presença de vegetação nos cenários, representada pelos solos gramados, não implicou na variação da vazão nas bacias e tampouco no diâmetro dos trechos de galeria.

Gráfico 10 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso exposto.



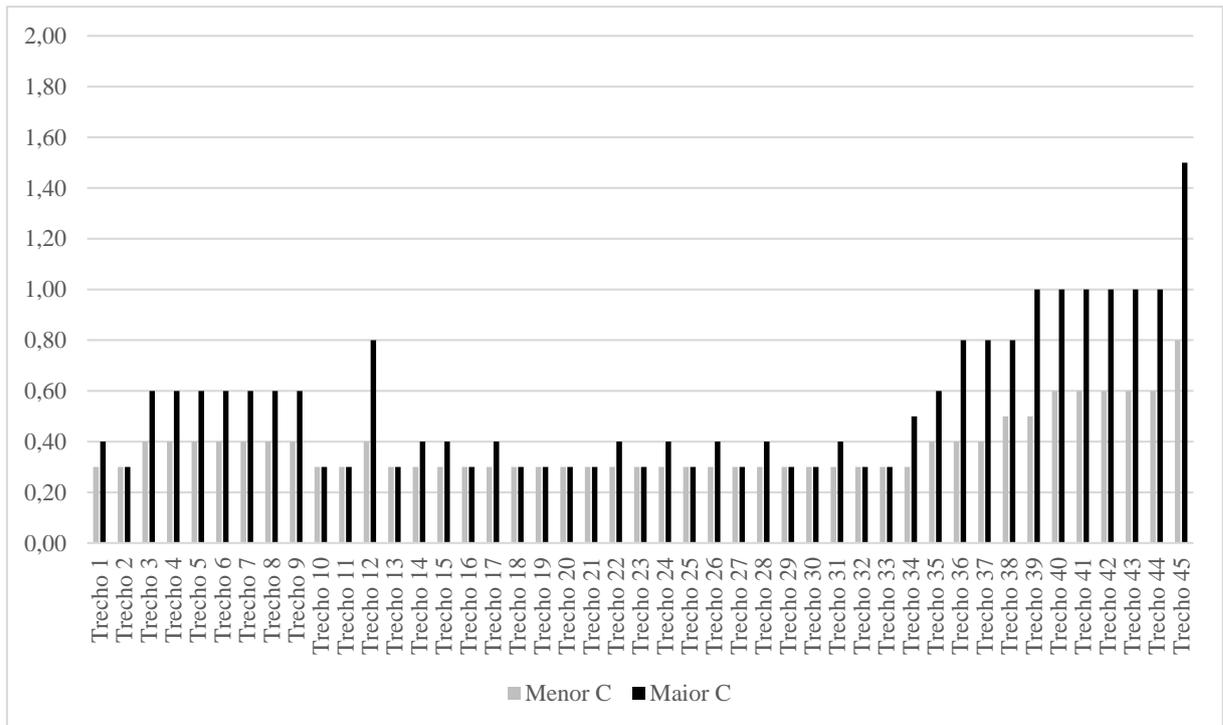
Fonte: O autor (2018).

Gráfico 11 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 50% gramado.



Fonte: O autor (2018).

Gráfico 12 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 100% gramado.



Fonte: O autor (2018).

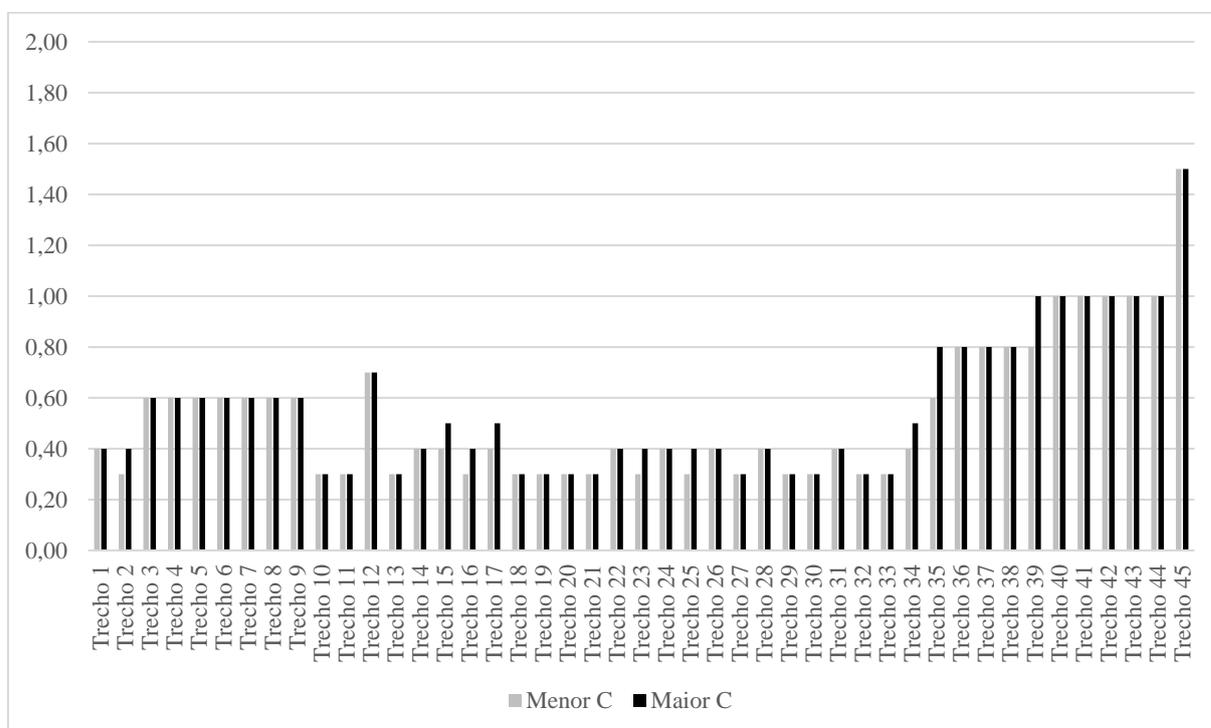
Os GRAF. 13, 14 e 15 mostram os valores de diâmetros comerciais para as coberturas 50% concretada e 50% asfaltada, para os solos arenoso, siltoso e argiloso respectivamente. Como os valores de C para estas coberturas foram os mesmos, ou muito próximos, os diâmetros obtidos para as coberturas concretadas e asfaltadas foram apresentadas como se as mesmas compusessem uma parcela experimental única.

Verifica-se que a classe textural de solo e a cobertura superficial não influenciou o dimensionamento da rede de galerias pluviais, apresentando diferenças nos valores de diâmetros para trechos específicos, sendo os mesmos para ambos os cenários.

Estes cenários, diferente dos citados anteriormente, apresentaram variações nos diâmetros em função do valor de C nos trechos iniciais e intermediários de galerias. As oscilações observadas foram menores que as encontradas pelas coberturas compostas por grama e solo exposto, e isso ocorre devido à menor variação no valor de C.

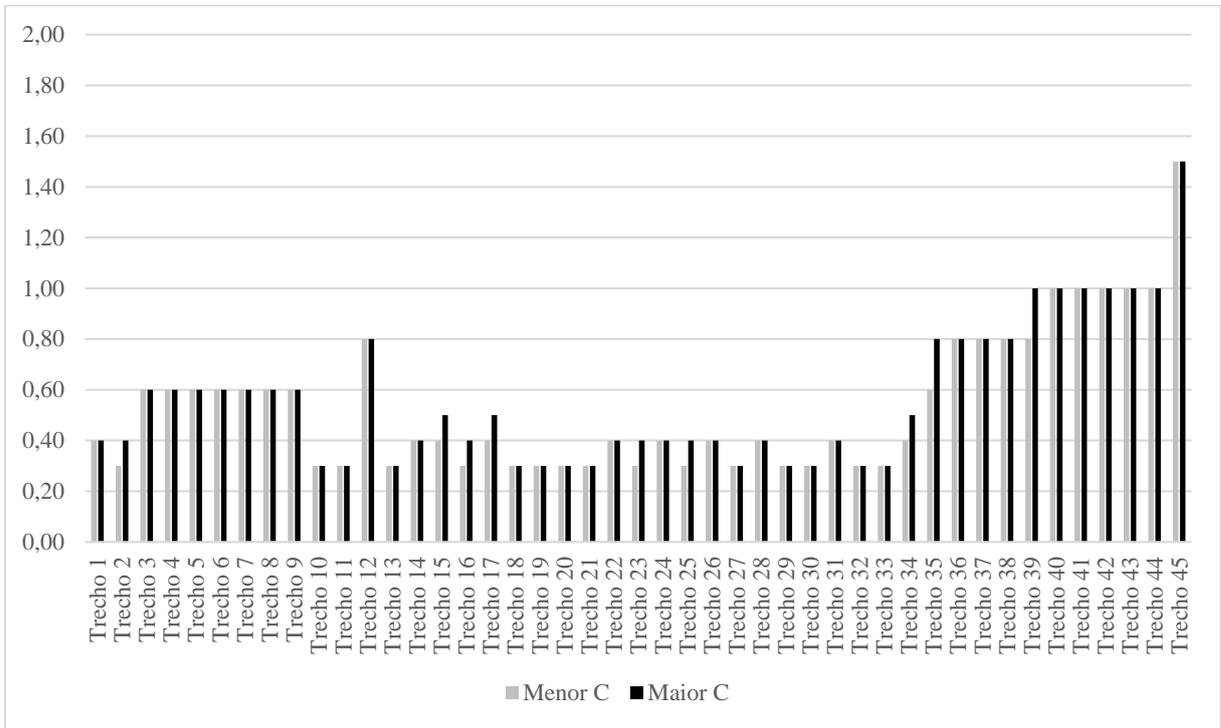
As maiores diferenças encontradas foram para os trechos 2, 16, 23, 25 e 25, onde se tem uma variação de 1,3 vezes no valor de C gerando galerias 33% maiores.

Gráfico 13 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 50% concretado ou 50% asfaltado.



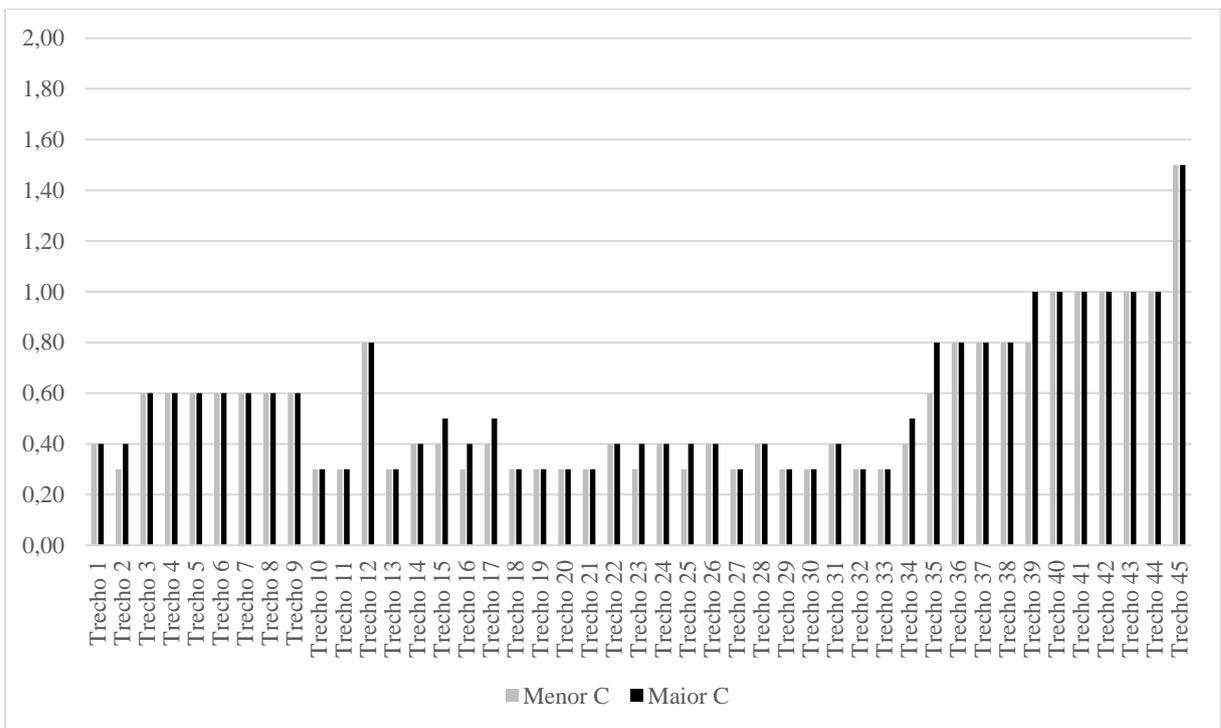
Fonte: O autor (2018).

Gráfico 14 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso 50% concretado ou asfaltado



Fonte: O autor (2018).

Gráfico 15 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 50% concretado ou asfaltado



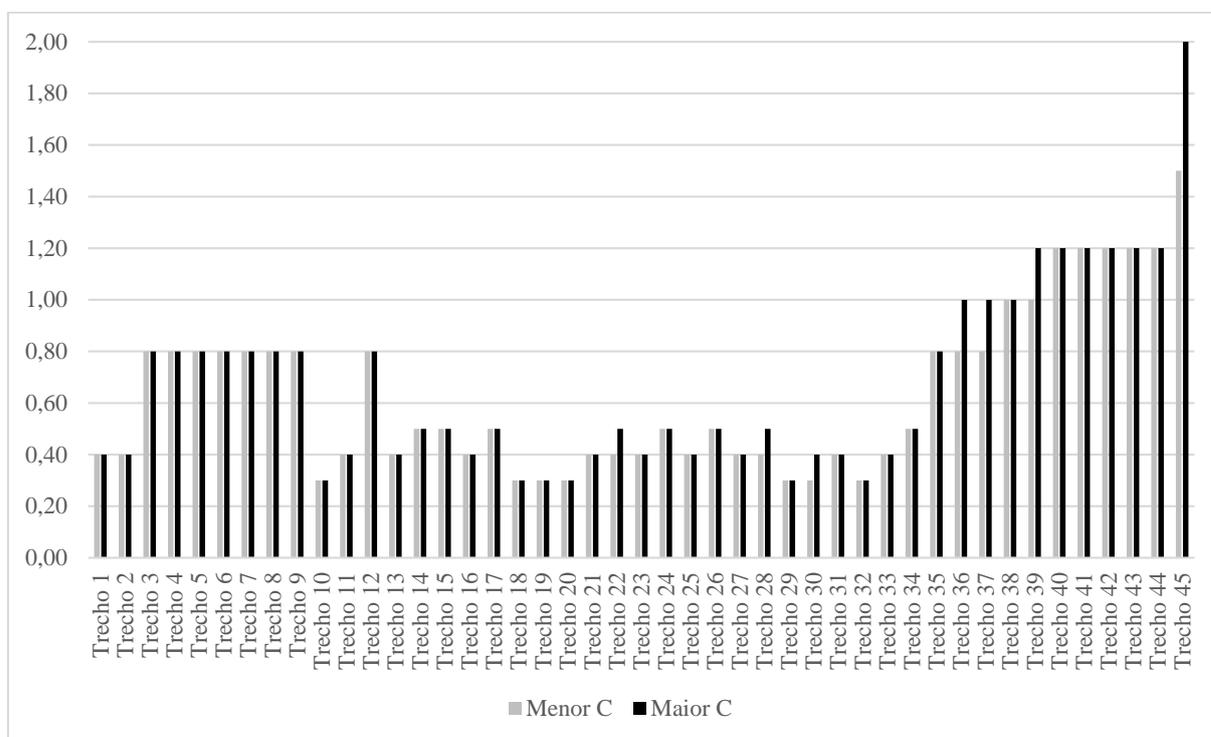
Fonte: O autor (2018).

Os GRAF. 16, 17 e 18 mostram os valores de diâmetros comerciais para as coberturas 100% concretada ou 100% asfaltada, para os solos arenoso, siltoso e argiloso respectivamente. Como os valores de C para estas coberturas também foram os mesmos, ou muito próximos, seus diâmetros estão representados no mesmo gráfico para cada classe textural de solo.

Nota-se que as coberturas 100% asfaltadas ou concretadas foram as que geraram os maiores diâmetros dentre todos os cenários analisados, pois seus valores de C correspondentes foram os maiores encontrados e, por consequência, as maiores vazões geradas são também para estes cenários. Não houve variação nos diâmetros em função do tipo de solo, como já observado para outras coberturas.

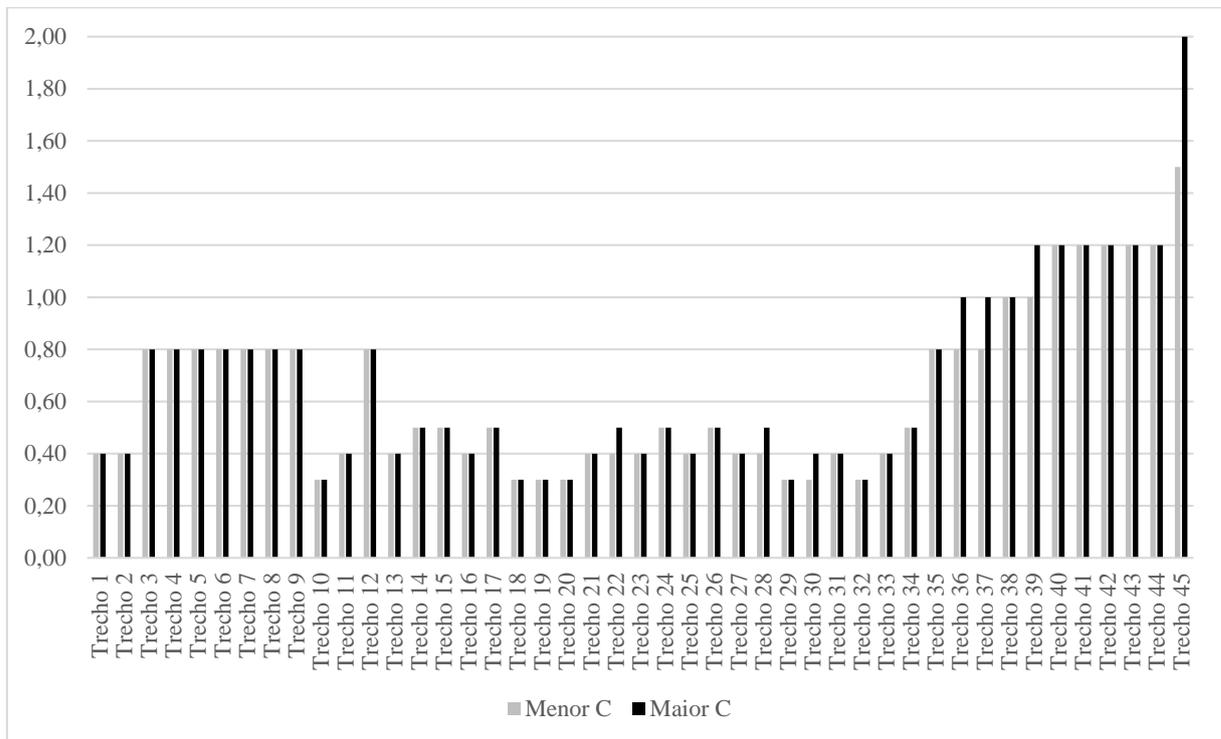
Observa-se que os diâmetros calculados para os cenários 100% concretados ou asfaltados foram os que apresentaram a menor discrepância em relação aos demais cenários. Isto aconteceu devido aos valores de C encontrados na literatura serem os mesmos para estes cenários. Além disto, a menor relação entre o maior e o menor valores de C encontrados, foram para estas coberturas. A variação de C foi de 1,2 vezes, o que implicou em diâmetros de galerias 33% maiores para os piores casos.

Gráfico 16 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo arenoso 100% concretado ou asfaltado.



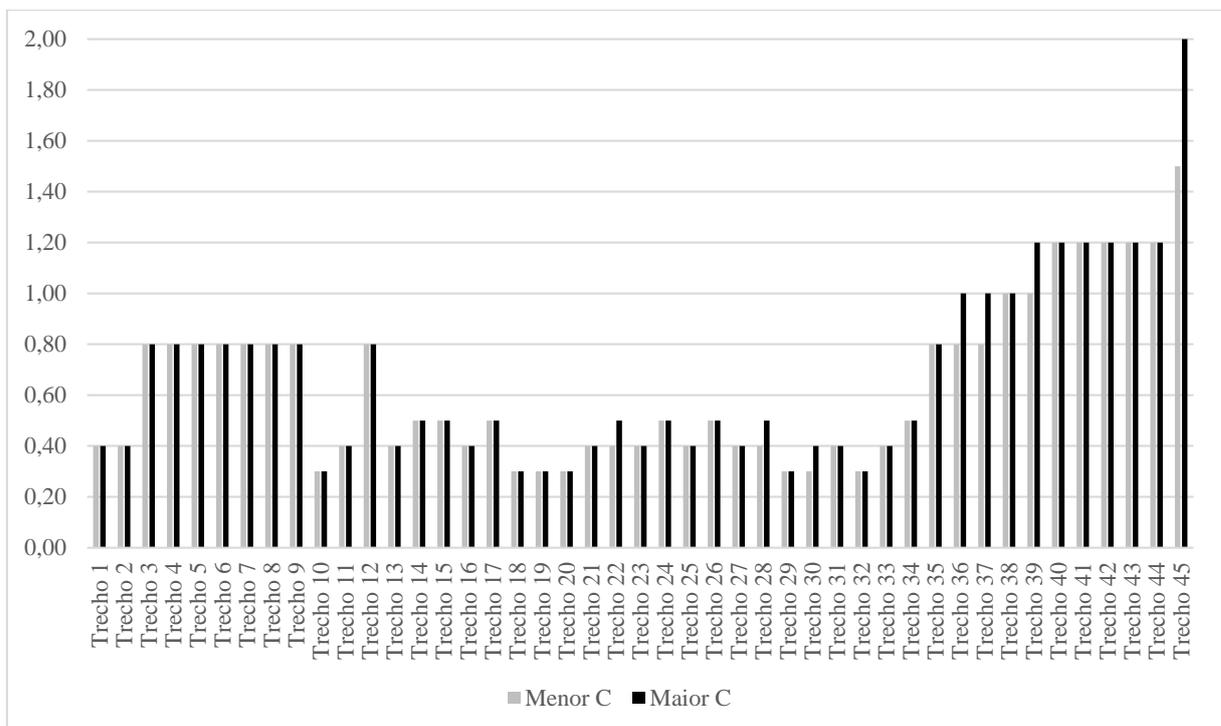
Fonte: O autor (2018).

Gráfico 17 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo siltoso 100% concretado ou asfaltado.



Fonte: O autor (2018).

Gráfico 18 - Diâmetros comerciais em função dos valores de C obtidos para os 45 trechos da rede de galerias, para o solo argiloso 100% concretado ou asfaltado.



Fonte: O autor (2018).

Em geral, nota-se um consenso entre os autores quanto a considerar que, em cenários impermeáveis como concreto e asfalto, de 80 a 95% do volume total precipitado irá contribuir com a vazão de escoamento. Dessa forma, o uso das tabelas existentes na literatura para a determinação de C para estes cenários mostra-se com baixo grau de subjetividade.

Todavia, as determinações de C para os cenários com solo exposto ou gramado mostrou-se altamente subjetiva, uma vez que em função do método adotado, pode quadruplicar-se as vazões de projeto e duplicar-se o diâmetro das galerias, ou no pior caso, reduzir pela metade a dimensão das galerias, causando prejuízos de ordem econômica ou funcional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação do coeficiente de deflúvio através de tabelas existentes na literatura, para cenários hipotéticos, mostrou-se com alto grau de incerteza, de modo que, em função do método adotado, pode haver variações de até quatro vezes no valor deste coeficiente.

Diante dos resultados obtidos, constatou-se que este coeficiente influencia diretamente na quantificação da vazão de projeto e no dimensionamento das galerias de sistemas de microdrenagem pluvial urbana. Para as situações que mais apresentaram divergências, os diferentes valores de C quadruplicaram a vazão de projeto, dando origem a estruturas de drenagem até duas vezes maiores.

Esta discrepância observada na quantificação da vazão de projeto e no cálculo do diâmetro das galerias pode implicar em sistemas de drenagem insuficientes, caso sejam dimensionados utilizando-se menores valores de C, ocasionando enchentes e alagamentos. Pode ocorrer também o superdimensionamento destes sistemas, onerando o custo da implantação dos sistemas de drenagem, causando prejuízos, uma vez que se pode estar duplicando o diâmetro das galerias e conseqüentemente aumentando seu custo.

Espera-se que trabalhos futuros possam estabelecer novas metodologias para a determinação do coeficiente de deflúvio e até mesmo uma padronização para a determinação deste coeficiente, diminuindo a subjetividade presente nas tabelas existentes na literatura para essa determinação, assegurando assim a eficiência dos sistemas de drenagem e a segurança da população em dias chuvosos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE. **Design and Construction of sanitary and storm sewers**. New York: ASCE, 1992.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da influência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, jul/set. 2000. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/avaliacao-da-eficiencia-dos-pavimentos-na-reducao-de-escoamento-superficial.pdf>>. Acesso em: 01 out 2018.
- AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Blucher, 1998. 680 p.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. cap. 5, p. 177-241.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.
- CARVALHO, J. A. **Obras hidráulicas**. Lavras: UFLA, 2003.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: ABRH, 2015. 336 p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DA COMPANHIA AMBIENTAL DE SÃO PAULO - DAEE/CETESB. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1980.
- FONSECA, L. V. **Desenvolvimento de ferramenta computacional para determinação de parâmetros hidrológicos aplicados à microdrenagem urbana**. Formiga: UNIFOR-MG, 2017. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil).
- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 291 p.
- GAROTTI, Leonardo Monteiro; BARBASSA, Ademir Paceli. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.15, n.1, p.19-28, Mar. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000100003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 24 out. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522010000100003>.

GRIBBIN, J. B. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4 ed. São Paulo, Cengage Learning, 2014. 519 p.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W. (Org.). **Decifrando a terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001. cap. 7, p. 113-138.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução a hidrogeografia**. São Paulo: Cengage: Learning, 2012. 178 p.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MIRANDA, A. C.; GOMES, H. P.; SILVA, M. O. **Recursos Hídricos: a gestão das águas, a preservação da vida**. São Paulo: All Print, 2006. 111 p.

MORAES, A. P. **Procedimentos técnicos de dimensionamento da microdrenagem do município de Santo André**. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Poços de Caldas, 2015. Disponível em: <http://www.trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/99/118/t118t4e1a2015.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2018.

MUNICÍPIO DE TOLEDO. **Manual de drenagem urbana**. Toledo, 2017. 37 p. Disponível em: <http://www.toledo.pr.gov.br/sites/default/files/manual_de_drenagem_urbana_-_volume_i.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018.

NAVARRO, E. C. **Influência da urbanização na vazão máxima da microbacia hidrográfica do Córrego da Cachoeirinha, Lençóis Paulista, SP**. Botucatu: UNESP, 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0956.pdf>>. Acesso em 26 mar. 2018.

NUNES, L. M. et al. Comparação entre diferentes propostas de determinação do coeficiente de deflúvio. In: XIII Mostra Integrada de Pesquisa e Extensão, 2017, Formiga. **Resumos**. Formiga: UNIFOR-MG, 2017.

PACHECO, S. F. et al. Evolução do coeficiente de escoamento superficial do campus de Ananindeua da Universidade Federal do Pará. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 9, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11280/209209209731>>. Acesso em 24 out. 2018.

PINTO, L. H.; PINHEIRO, S. A. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006. 30 p. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Bluger. 2008. 278 p.

PORTO, R. L. et al. Drenagem urbana. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. cap. 21, p. 805-847.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos**. São Paulo: Superintendência de projetos e de obras, 1999.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. Escoamento superficial. 2 ed. Viçosa: UFV, 2014. 87 p.

REIS, F. **Método Racional**. 2017. Disponível em: <<http://www.hidromundo.com.br/metodo-racional/>>. Acesso em: 25 set. 2018.

SCHUELER, T. **Controlling urban runoff**. Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987. 210 p.

SILVA, L. P. **Hidrologia**: engenharia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 330 p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2 ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. cap. 2, p. 35-51.

SOUZA, J. C. B. **A influência do método de escolha do parâmetro “C” na determinação de equações de chuvas intensas**. 2014. 231 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/10810>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

TARGA, M. S. et al. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 7, n.2, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>

TOMAZ, P. **Método Racional**. Curso de manejo de águas pluviais, 2013a. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf> Acesso em: 01 abr. 2018.

_____. **Tempo de concentração**. Curso de manejo de águas pluviais, 2013b. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculos_hidrolicos/capitulo04.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2018.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, jan/mar. 2000b. Disponível em: <<http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/01/coeficiente-de-escoamento-e-vazao-maxima-de-bacias-urbanas.pdf>>. Acesso em 08 set. 2018.

_____. Hidrologia: ciência e aplicação. In: _____. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000a. p. 25-33.

_____. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 5-12, jul./dez. 1997. Disponível em: <https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/56/db01fdcd78c5843f024709a1bf2b7bdb_6f0118d184384e38afda2b400a5d6458.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG. **Deflúvio superficial direto**. 2014. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren03.html>>. Acesso em: 21 mai. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. Software Plúvio 2.1. 2006. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 19 abr. 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS. **Plano diretor de drenagem urbana**: manual de drenagem urbana, 2005. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manualdedrenagem.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2018.

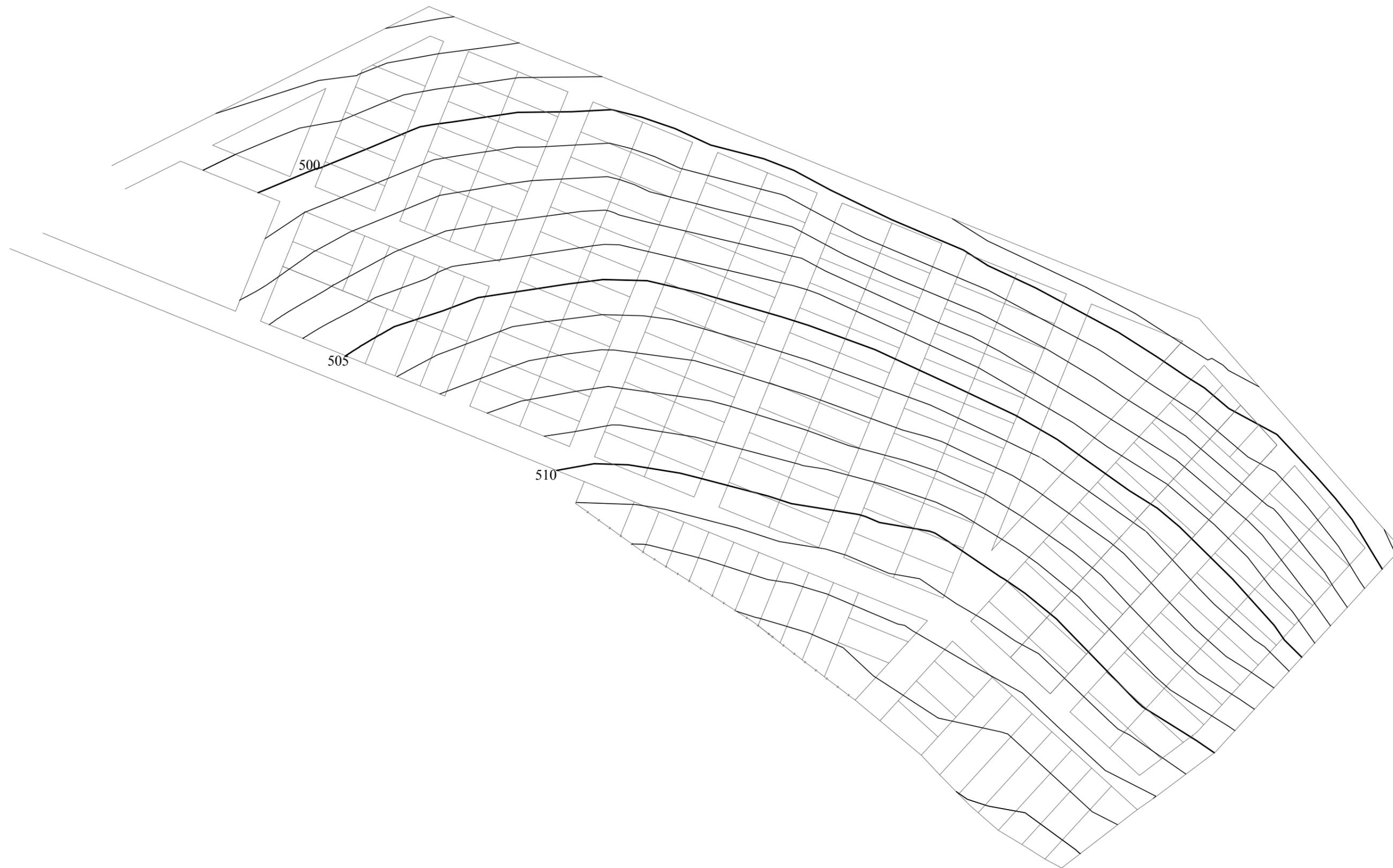
VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 478 p.

ANEXOS

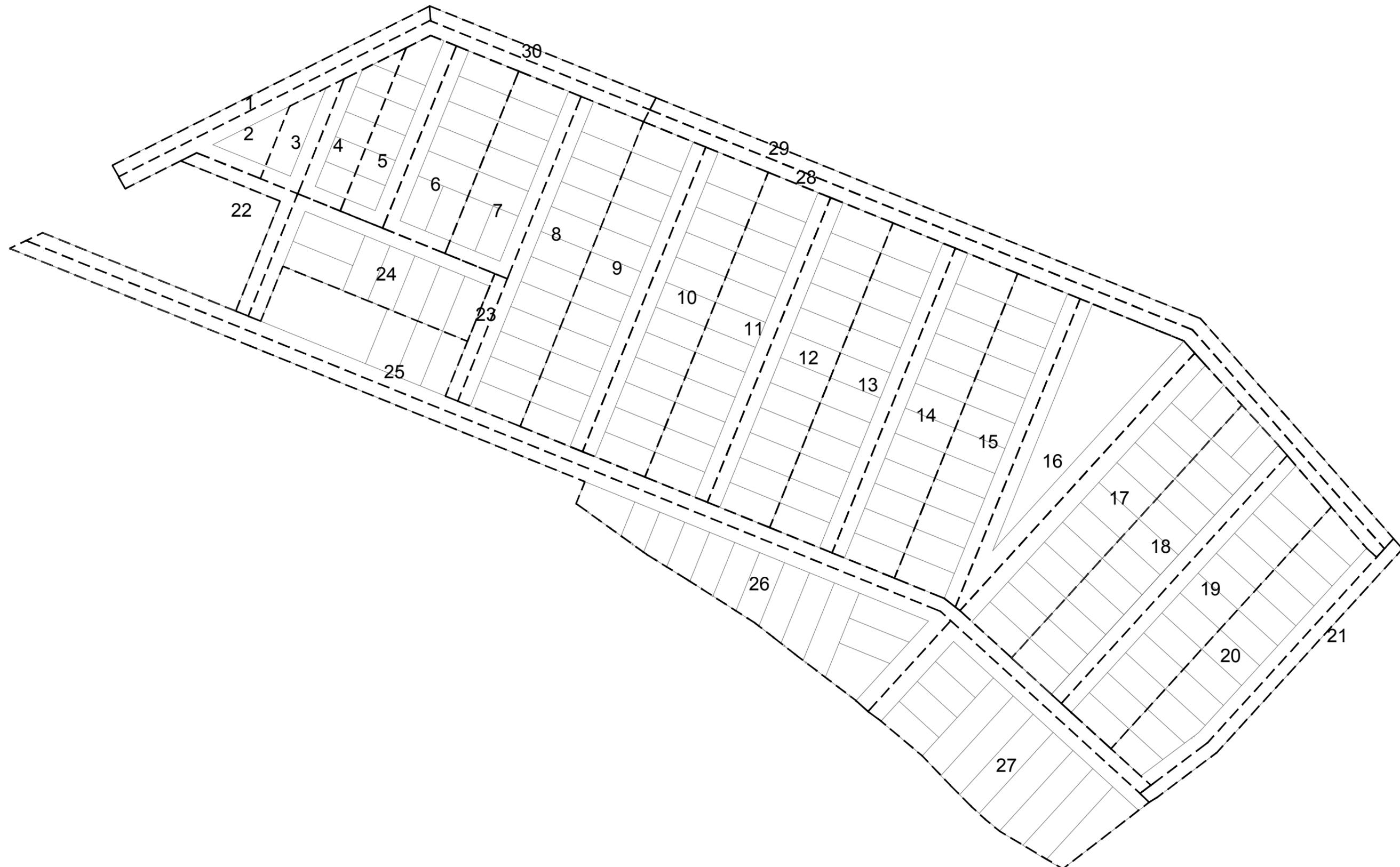
ANEXO A - Planta planialtimétrica do loteamento hipotético	58
ANEXO B – Divisão das bacias do loteamento hipotético	60
ANEXO C – Trechos de galeria	62

ANEXO A - Planta planialtimétrica do loteamento hipotético



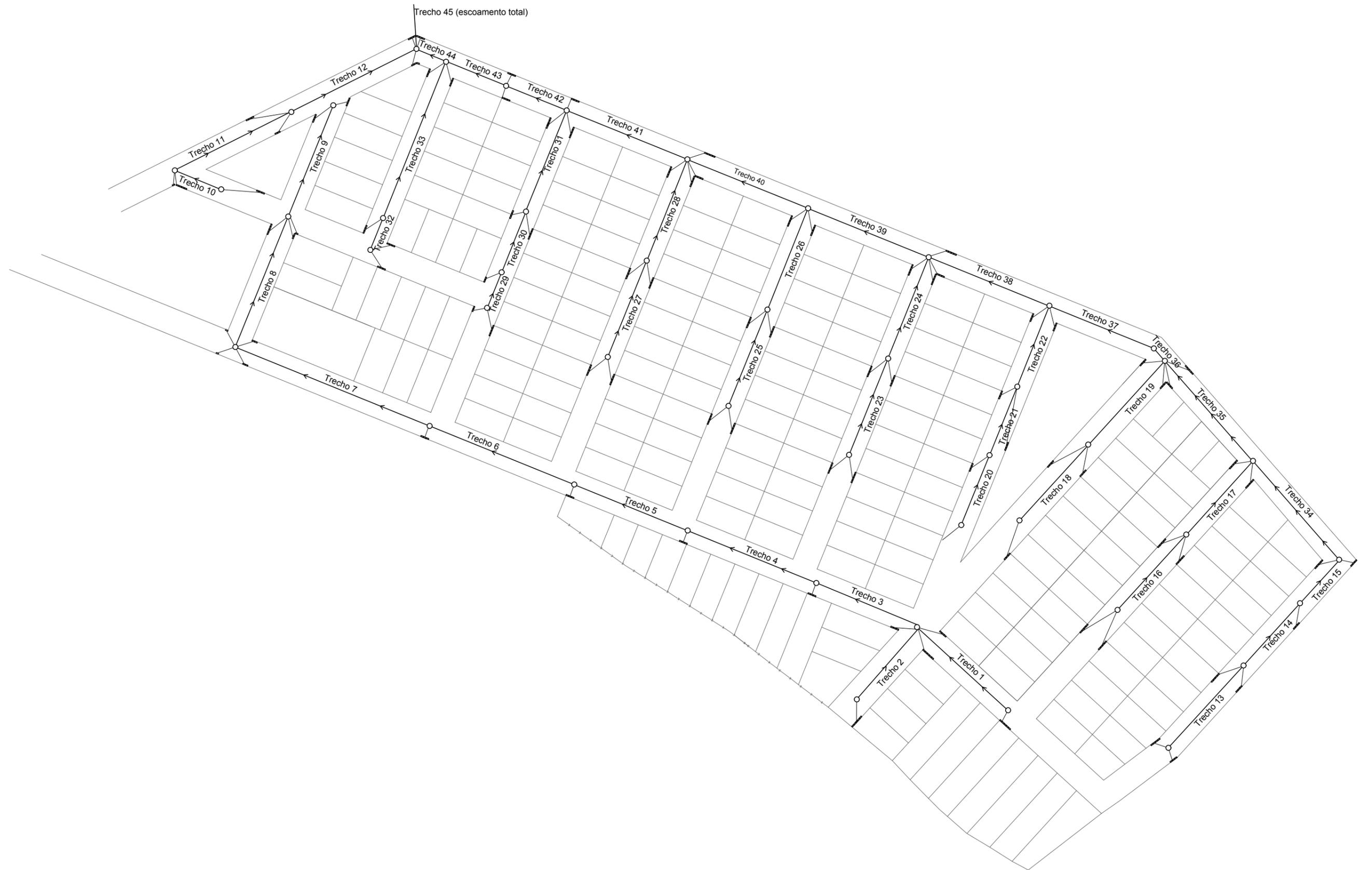
TÍTULO:	INFLUÊNCIA DO COFICIENTE DE DEFLÚVIO, DETERMINADO POR DIFERENTES MÉTODOS, NA DESCARGA DE PROJETO DE SISTEMAS DE GALERIAS PLUVIAIS	
ALUNO:	ALISSON FERREIRA DE MELO	
ORIENTADORA:	DR ^a . KÁTIA DANIELA RIBEIRO	ESCALA: 1/1400

ANEXO B – Divisão das bacias do loteamento hipotético



TÍTULO:	INFLUÊNCIA DO COFICIENTE DE DEFLÚVIO, DETERMINADO POR DIFERENTES MÉTODOS, NA DESCARGA DE PROJETO DE SISTEMAS DE GALERIAS PLUVIAIS	
ALUNO:	ALISSON FERREIRA DE MELO	
ORIENTADORA:	DR ^ª . KÁTIA DANIELA RIBEIRO	ESCALA: 1/1400

ANEXO C – Trechos de galeria



TÍTULO:	INFLUÊNCIA DO COEFICIENTE DE DEFLÚVIO, DETERMINADO POR DIFERENTES MÉTODOS, NA DESCARGA DE PROJETO DE SISTEMAS DE GALERIAS PLUVIAIS	
ALUNO:	ALISSON FERREIRA DE MELO	
ORIENTADORA:	DR ^a . KÁTIA DANIELA RIBEIRO	ESCALA: 1/1400