



**BRENO MARCHI BOCARDI
MARCELLA APARECIDA SIFUENTES GOMES**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE
PAVIMENTO SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL
DIRETO ESTIMADO EM UM LOTEAMENTO NO
MUNICÍPIO DE BAMBUI – MG.**

**LAVRAS-MG
2021**

**BRENO MARCHI BOCARDI
MARCELLA APARECIDA SIFUENTES GOMES**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTO
SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO ESTIMADO EM UM
LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE BAMBUI – MG.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

**BRENO MARCHI BOCARDI
MARCELLA APARECIDA SIFUENTES GOMES**

**EFEITO DO USO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E PERMEÁVEL SOBRE
ESCOAMENTO SUPERFICIAL GERADO PELAS CHUVAS EM UM
LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE BAMBUÍ – MG**

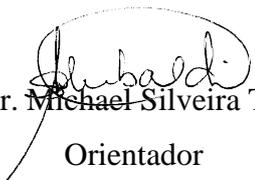
**EFFECT OF ASPHALTIC AND PERMEABLE PAVING USE ON THE
RAINFALL RUNOFF AT AN ALLOTMENT IN BAMBUI CITY – MG.**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 08 de junho de 2021.

MSc. Marina Neves Merlo - DRH/UFLA

MSc. Mateus Alexandre da Silva - DRH/UFLA


Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Breno

Primeiramente aos meus pais, Elaine e João, por desde sempre ter me dado a base para poder atingir meus objetivos e às minhas irmãs, Brenda e Bruna pelo apoio ao longo de todos esses anos. Aos meus amigos de infância, que seguem sendo minha segunda família, e às novas amizades que fiz durante a graduação, em especial à Flávia, Marcella, Vitor e Vinicius, por terem sido meus companheiros nos momentos bons e suporte nos momentos difíceis. Por fim, à Rafaella, pelo companheirismo em todos os momentos.

Marcella

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem Ele nada é possível. Aos meus pais, Márcia e Wellington, por me apoiarem e não medirem esforços para que eu pudesse realizar meus sonhos. Ao meu irmão, Gabriel, pelo companheirismo. Aos meus amigos, por tornarem a caminhada um pouco mais leve, compartilhando os bons momentos, oferecendo apoio nos momentos difíceis, e por não me deixarem desistir quando parecia mais fácil que continuar. Ao Breno, pela amizade e parceria na realização desse trabalho.

RESUMO

Um dos maiores problemas da urbanização e do seu impacto causado sobre o ciclo hidrológico está relacionado à impermeabilização do solo. Dito isso, têm-se que são relevantes estudos que abordam alternativas de ocupação do espaço físico que busquem amenizar esse impacto. Assim, o presente trabalho avaliou comportamento de dois tipos de pavimentos, sendo eles o asfáltico e o em blocos tipo paralelepípedo, em um loteamento situado no município de Bambuí-MG, a fim de analisar o escoamento superficial direto gerado por cada um e qual o impacto causado no dimensionamento hidrológico e hidráulico na drenagem de águas pluviais em função dos pavimentos escolhidos. O loteamento foi dividido em 136 subáreas, no entanto o estudo foi feito para um trecho específico, para o qual é destinado a maior parte do escoamento superficial direto gerado no loteamento, totalizando 46 áreas. Para a estimativa do escoamento superficial direto utilizou-se do Método Racional, muito comum para cálculos de drenagem urbana, seja a microdrenagem ou a macrodrenagem. A diferença dos pavimentos se dá pelo coeficiente de *runoff*, que difere para cada tipo de pavimento. Cada subárea foi analisada em função dos diferentes escoamentos gerados e as sarjetas e bocas de lobo dimensionadas para que toda a vazão prevista fosse drenada sem que houvesse problemas de extravasamento. Os resultados mostram a diferença nos cálculos para cada coeficiente de escoamento superficial calculado, no entanto essa diferença não é tão expressiva no dimensionamento. Dessa forma, para que alternativas diferentes do asfalto sejam consideradas, torna-se necessário que sejam estudados pavimentos que apresentem maior taxa de permeabilidade.

Palavras-chave: Hidráulica Urbana; Hidrologia Urbana; Microdrenagem; Método Racional; Saneamento.

ABSTRACT

One of the biggest problems of urbanization and its impact on the hydrological cycle is related to impervious soil. There are relevant studies that address alternatives for the occupation of physical space that seek to mitigate this impact. Thus, this study evaluated the behavior of two types of pavements, asphaltic and in parallelepiped blocks, in an allotment located in Bambuí City, MG, to analyze the direct surface runoff generated by each one and what the impact caused in the hydrological and hydraulic design in the drainage of rainwater depending on the chosen pavements. The allotment was divided into 136 sub-areas, however the study was carried out for a specific stretch, to which most of the direct runoff generated in the allotment is destined, totaling 46 areas. To estimate direct runoff, the Rational Method was used, which is quite common for urban drainage calculations, either micro or macrodrainage. The difference between pavements is given by the runoff coefficient, which differs for each type of pavement. Each sub-area was analyzed as a function of the different flows generated and the gutters and vertical spillways were designed so that the entire predicted flow was drained without overflowing problems. The results show the difference in the calculations for each calculated runoff coefficient; however, this difference is not so expressive in the design. Thus, for alternatives other than asphalt to be considered, it is necessary to study pavements with a higher permeability rate.

Keywords: Urban Hydraulics; Urban Hydrology; Microdrainage; Rational Method; Sanitation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1. Ciclo hidrológico	9
2.2. Impactos da urbanização sobre a dinâmica do ciclo hidrológico	11
2.3. Sistemas de drenagem pluvial e estruturas constituintes	12
2.4. Variáveis hidrológicas para dimensionamento do sistema de drenagem urbana	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Dimensionamento hidrológico	20
3.2. Dimensionamento hidráulico	22
3.2.1. Sarjetas	22
3.2.2. Bocas de lobo	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5. CONCLUSÃO	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1. INTRODUÇÃO

A expansão dos centros urbanos tem gerado grandes alterações nas etapas do ciclo hidrológico, principalmente nas que impactam diretamente a drenagem superficial. A ocupação destes locais é caracterizada por uma elevada taxa de impermeabilização do solo, devido ao aumento das áreas destinadas ao tráfego de veículos e pessoas, áreas residenciais, comerciais e industriais. A falta de planejamento durante esse processo pode acarretar diversos problemas de drenagem urbana e, conseqüentemente, saneamento, como o aumento das enchentes e possíveis inundações e deterioração da qualidade das águas superficiais.

Nesse sentido, tem-se que a pavimentação representa uma das principais parcelas da impermeabilização do solo. No Brasil, assim como na maioria dos países, é corrente a utilização do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) ou concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), comumente denominado asfalto, e de pavimentos rígidos como materiais principais constituintes da estrutura. Porém, há outros materiais que proporcionam uma performance semelhante quanto à resistência mecânica e ainda oferecem índices de permeabilidade que influenciam menos no ciclo hidrológico, diminuindo assim o escoamento superficial. Já existem diversos estudos sobre pavimentos permeáveis e a evolução destes é essencial para a introdução desses materiais no mercado.

Com isso, neste trabalho buscou-se avaliar o impacto sobre o escoamento superficial da implementação de um pavimento que possibilita uma maior infiltração, os blocos do tipo paralelepípedo, em um loteamento que se encontra em uma região elevada da cidade de Bambuí – MG, em contraste à pavimentação asfáltica, com intuito de amenizar o deflúvio gerado pela precipitação e melhorar a qualidade do sistema de drenagem. Como objetivos específicos, pode-se delinear:

- Calcular diferentes coeficientes *runoff* em função do tipo de pavimento avaliado;
- Verificar o impacto do tipo de pavimentação sobre o escoamento superficial gerado;
- Analisar possíveis diferenças no dimensionamento de dispositivos hidráulicos componentes da rede de drenagem urbana, em função das diferentes vazões de escoamento superficial.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

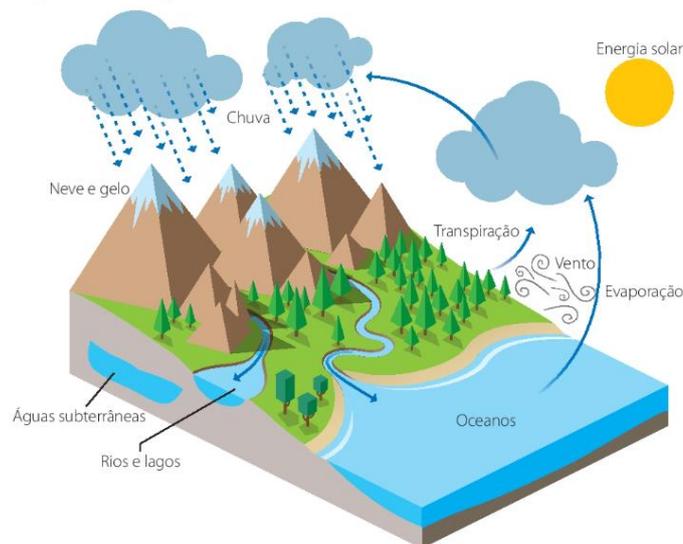
2.1. Ciclo Hidrológico

A água está presente na Terra em três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. Os estados sólido e líquido cobrem cerca de 71% da superfície terrestre, sendo os corpos sólidos encontrados em forma de geleiras próximas aos polos e em topos de montanhas com elevada altitude e os líquidos nos oceanos que compõem 97,4% da água líquida do planeta, lagos e rios. A parcela gasosa constitui cerca de 4% do volume total da atmosfera, havendo variações de acordo com a posição geográfica do local em análise. Toda essa água é armazenada em três reservatórios principais: os continentes, os oceanos e a atmosfera. O ciclo hidrológico nada mais é do que a circulação contínua de água entre esses reservatórios, com a alternância de seus estados (CAMARGO, 2005).

Portanto, o ciclo hidrológico consiste em uma sucessão de eventos que levam a água de um estado inicial a passar por transformações, até que retorne a este mesmo ponto de partida. Os principais estimuladores desse processo são a energia térmica proveniente da incidência solar, responsável pela evaporação, a força dos ventos, que promove o deslocamento das massas de ar oceânicas para os continentes e o campo gravitacional, responsável pelos fenômenos de precipitação, infiltração e deslocamento dos corpos hídricos (OLIVEIRA, 2016).

Pode-se então dividir o ciclo hidrológico nas seguintes etapas, que estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1: Etapas do ciclo hidrológico.



Fonte: Oliveira (2016).

A evaporação consiste na passagem da água na forma líquida, presente em superfícies ou corpos d'água, para o estado gasoso, devido à absorção de energia térmica presente na radiação solar ou a outros fatores como temperatura do ar, pressão de vapor e vento. Assim como na evaporação, na transpiração vegetal também ocorre a passagem da água no estado líquido para o estado gasoso. Porém, nesse caso, o agente estimulador é a ação fisiológica dos vegetais, que, por sua vez, é dependente de fatores como o teor de umidade do solo, potencial hídrico e padrões meteorológicos e regulada pelos estômatos e cutículas das plantas. O processo ocorre por difusão de vapor, que está diretamente ligada à tensão do vapor de água. Juntos, esses processos formam a evapotranspiração (MIRANDA, OLIVEIRA, SILVA, 2010).

A água presente na atmosfera, proveniente dos processos de evapotranspiração, se condensa formando nuvens, que por sua vez se precipitam na forma de chuva, neve e granizo, retornando à superfície. As chuvas são produto da ascensão de massas de ar quente associadas à formação de nuvens. O ar quente e úmido que ascende, passa por um resfriamento, provocado pela alteração da temperatura da atmosfera, à medida que se aumenta a altitude, fazendo-o atingir seu ponto de saturação. Desse modo a atmosfera perde sua capacidade de conter a umidade, ocorrendo a condensação do vapor em forma de gotículas de água (nuvens). Para que ocorra a precipitação, é necessário ainda que essas gotículas cresçam através de núcleos de condensação e atinjam um peso que supere as forças de sustentação. As chuvas podem ser classificadas em convectivas, orográficas e frontais, no que diz respeito à origem das mesmas (MIRANDA, OLIVEIRA, SILVA, 2010).

A água proveniente das chuvas é responsável por reabastecer os lençóis freáticos através da infiltração, que é o processo de infiltração da água nas camadas do solo, através de vazios e sob ação do campo gravitacional, até atingir um aquífero. Esse processo depende da umidade e do tipo do solo analisado, da ocupação da superfície e da topografia e é de extrema importância no ciclo hidrológico, pois influencia diretamente o escoamento superficial e consequentemente a erosão hídrica (OLIVEIRA, 2016).

A água proveniente da precipitação que atinge o solo e não passa pelo processo de infiltração, é escoada. Segundo o Ministério do Meio Ambiente e a Agência Nacional de Águas, esse processo pode ser dividido em dois tipos: escoamento subterrâneo e escoamento superficial. No primeiro caso, a água é absorvida ou escoada lentamente pelo solo. Este processo, juntamente com a infiltração, contribui para a formação de aquíferos e nascentes. Já o escoamento superficial direto, que ocorre em solos saturados ou em solos com má drenagem, contribui para a formação de córregos e rios e é um dos agentes causadores de inundações e deslizamentos de terra (OLIVEIRA, 2016).

2.2. Impactos da urbanização sobre a dinâmica do ciclo hidrológico

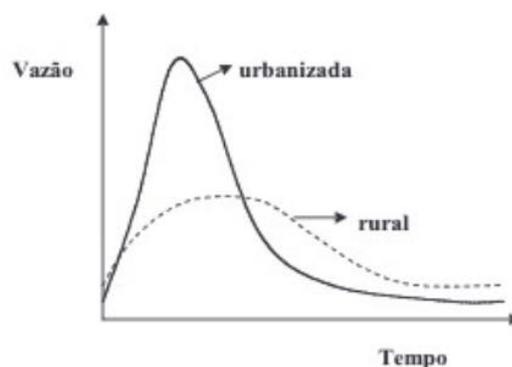
Com o acelerado e crescente número da população urbana, observa-se que a urbanização avança com uma infraestrutura inadequada e desorganizada. Esse processo acarreta graves consequências sobre os recursos hídricos e desconsiderar esses aspectos pode gerar transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente. No Brasil, esse desenvolvimento tem sido um agravante para o aumento no número de inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água superficial (TUCCI, 2008).

De acordo com Mota (2003, apud SANTOS JÚNIOR; SANTOS, 2013) para cada tipo de intervenção do homem na natureza, há uma resposta diferente sobre o ciclo hidrológico. A urbanização causa alterações nesse ciclo que geram problemas para a sociedade e para o meio ambiente. Algumas dessas alterações são:

- Aumentada precipitação devido às atividades humanas que produzem uma maior quantidade de núcleos de condensação;
- Comprometimento da infiltração da água pela impermeabilização e compactação do solo;
- Aumentada quantidade de escoamento superficial e conseqüentemente aumento da ocorrência de enchentes.

O aumento das vazões máximas devido ao efeito da urbanização é apresentado na Figura 2.

Figura 2: Hidrograma de uma bacia rural e depois de urbanizada.



Fonte: TUCCI, 2008.

Ainda segundo Mota (2008, apud SANTOS JÚNIOR; SANTOS, 2013) devido às necessidades do uso e ocupação do solo, pode ser necessário que haja a impermeabilização de determinadas áreas, causando assim, uma alteração no comportamento superficial da água e reduzindo parte da água que infiltra no perfil do solo.

As fases de escoamento superficial direto e de infiltração presentes no ciclo hidrológico são modificadas no ambiente urbano principalmente pela pavimentação asfáltica, construção de obras de arte e obras de drenagem e saneamento (FRITZEN; BINDA, 2011).

É importante que haja planejamento para o uso e ocupação do solo e para águas urbanas com o objetivo de minimizar complicações, gerando riscos à saúde e à vida humana (FRITZEN; BINDA, 2011).

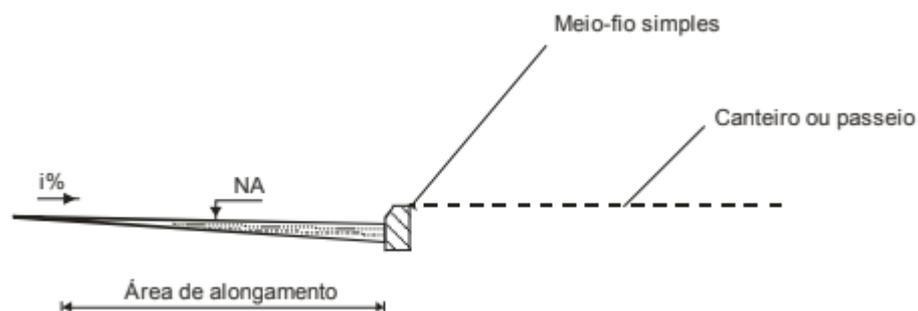
2.3. Sistemas de drenagem pluvial e estruturas constituintes

As obras de drenagem pluvial são responsáveis por minimizar os efeitos causados pelo aumento do escoamento superficial direto nos centros urbanos. Esses sistemas podem ser divididos, quanto à sua dimensão, em micro e macrodrenagem (ALMEIDA, 2020).

São considerados elementos de microdrenagem aqueles formados por galerias tubulares com diâmetro igual ou superior a 0,30m e inferior a 1,20m, além das galerias celulares com área de seção transversal inferior a 1m² (BRASIL, 2003). São eles as sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias. As sarjetas são canais de seção triangular situados nas faixas periféricas da via juntamente com o meio-fio. As bocas de lobo são elementos instalados em pontos estratégicos das sarjetas para conduzir as águas pluviais para as galerias.

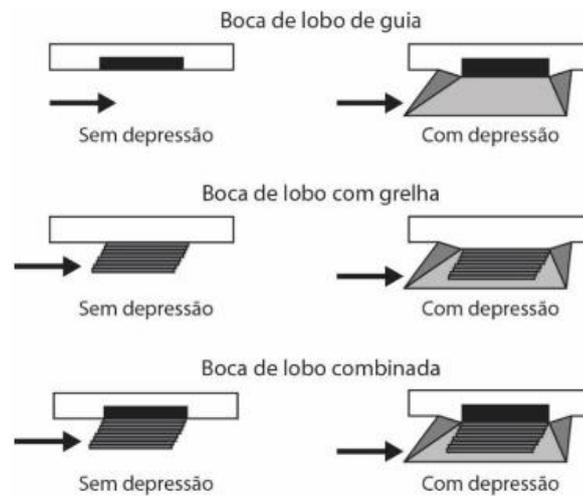
Os poços de visita são conexões que permitem o acesso para inspeção, manutenção e desobstrução da tubulação. Por fim, as galerias são as tubulações responsáveis por drenar a água proveniente das bocas de lobo (SANTOS, 2016). Esses elementos se encontram ilustrados nas Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3: Esquema representativo de sarjeta.



Fonte: Brasil (2006).

Figura 4: Tipos de bocas de lobo.



Fonte: Almeida (2020).

Figura 5: Construção de galeria pluvial



Fonte: dos autores.

Já a macrodrenagem é responsável pela melhoria das condições de escoamento final das águas e por evitar problemas de erosão e enchentes. A vazão advinda das bacias de contribuição é transportada por canais e condutos, podendo estes serem naturais ou artificiais. Para evitar a sobrecarga desses elementos, pode-se fazer uso de reservatórios que, através do

balanço entre os volumes de entrada e saída, funcionam como uma espécie de amortecedor (ALMEIDA, 2020).

De acordo com o autor supracitado, o dimensionamento desse sistema deve ser precedido de um estudo hidrológico minucioso, levando em consideração fatores como a vazão de projeto e ocupação futura da bacia, sendo recomendado um tempo de retorno de 100 anos. Além disso, outros fatores como topografia e tipo de solo influenciam diretamente nas disposições construtivas de canais, como a forma da seção e declividade longitudinal. Portanto, as obras constituintes do sistema de macrodrenagem são, basicamente: ampliação da seção de cursos naturais e a construção de canais artificiais e estruturas auxiliares, como os reservatórios, estações de bombeamento e travessias

2.4. Variáveis hidrológicas para dimensionamento do sistema de drenagem urbana

Período de retorno (T) é o tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. Tal parâmetro é considerado fundamental para a avaliação e desenvolvimento de sistemas hídricos como canais, bueiros, reservatórios, vertedores, galerias de águas pluviais, entre outros. Uma obra é projetada para uma determinada vazão com um período de retorno em anos e esses valores determinam a eficácia das obras hidráulicas sob efeitos extremos (TUCCI, 1993).

Devido às peculiaridades de cada local, a definição do período de retorno torna-se uma escolha difícil, baseada em critérios políticos, sociais e econômicos. Portanto, para estabelecer o período de retorno é recomendado seja considerado o custo da obra e os riscos envolvidos em caso de sua ineficiência, pois algumas falhas podem acarretar perdas de vidas humanas e danos materiais (TOMAZ, 2002).

É comum que algumas instituições fixem os períodos de retorno para diversos tipos de obra. Algumas sugestões de períodos de retorno adotados no Brasil podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1: Períodos de retorno para diversas ocupações de área.

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	T(anos)
	Residencial	2
	Comercial	5
Microdrenagem	Áreas com 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: TOMAZ, 2002.

Considerado um evento, de tempo de retorno T, o risco hidrológico é definido como a probabilidade de que esse evento seja igualado ou superado pelo menos uma vez, em um período de N anos (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Ainda segundo os mesmos autores, geralmente, o evento corresponde à cheia para a qual foi projetada a estrutura hidráulica, enquanto o período de N anos corresponde à sua vida útil, sendo assim, o risco hidrológico indica qual a probabilidade de falha de uma obra, pelo menos uma vez durante a sua vida útil. A partir disso, considera-se que para uma obra projetada para um período de retorno T existe 1/T de probabilidade de falhar.

Para obras com o risco hidrológico fixado em função das consequências de sua falha para a população e ambiente, pode-se usar a Equação 1 para determinar para qual tempo de retorno deve ser calculada a cheia de projeto.

$$R = 100 \times \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T} \right)^N \right] \quad (1)$$

Em que:

R: Risco hidrológico, em porcentagem;

T: Período de retorno, em anos; e

N: Vida útil da obra, em anos.

Assim, a Tabela 2 apresenta valores de Risco, relacionando valores de T e N.

Tabela 2: Risco em % para diferentes valores de T e N.

T (anos)	Vida útil da obra N (anos)				
	2	5	25	50	100
2	75	97	99,9	99,9	99,9
5	36	67	99,6	99,9	99,9
10	19	41	93	99	99,9
25	8	18	64	87	98
50	4	10	40	64	87
100	2	5	22	39	63
500	0,4	1	5	9	18

Fonte: PORTO, 1993 apud SILVA, 2017.

Já o tempo de concentração é definido como sendo o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o ponto (seção) analisado, ou seja, o tempo que a água precipitada no ponto mais distante da bacia leva para se deslocar até a seção analisada. (PAZ, 2004)

O tempo de concentração pode ser determinado a partir de fórmulas empíricas, relacionado com aspectos físicos da bacia, como declividade, comprimento do curso d'água principal, diferença de cotas entre os pontos, entre outras. Por esse motivo pode haver imprecisões e incertezas significativas que se relacionam com o tipo de escoamento que cada fórmula representa, por isso devem ser aplicadas de acordo com a situação para a qual foi determinada (TUCCI, 1993).

A precipitação pode ser qualquer forma de água oriunda da atmosfera que atinge a superfície da terra, sendo a chuva a forma mais importante para a hidrologia, em razão da sua capacidade de gerar escoamento. A bacia hidrográfica recebe água através da precipitação e a partir dela, pode-se estimar a disponibilidade hídrica da bacia e a avaliar a ocorrência de enchentes nos rios, assim como a necessidade de irrigação, abastecimento público, etc. (PAZ, 2004).

Ainda de acordo com Paz (2004) uma precipitação é caracterizada pela duração, lâmina precipitada, intensidade e tempo de retorno. A lâmina precipitada (P) representa a espessura da lâmina de água que recobriria toda a região caso não houvesse infiltração, evaporação nem escoamento para fora dessa região. A duração (t) representa o período

durante o qual ocorreu a precipitação. A intensidade (i) é a relação entre a lâmina de água precipitada e a duração da precipitação.

Para os estudos de drenagem urbana e de previsão de enchentes é muito importante o conhecimento das precipitações máximas, pois são eventos extremos e críticos para determinada área. Além disso, por serem dados mais acessíveis que dados de vazão, é possível estimar a vazão de enchente na bacia com base nos dados de P (PAZ, 2004).

A precipitação máxima deve ser caracterizada pela intensidade, duração e frequência ou tempo de retorno, pois cada valor associado a uma dessas grandezas representa uma situação distinta. A partir de cada um desses dados é possível ter uma ideia do quão seguro ou vulnerável está cada projeto (PAZ, 2004).

Para caracterizar a precipitação máxima em uma área podem ser usadas curvas intensidade-duração-frequência (IDF) que são definidas a partir de dados de pluviógrafos ou por métodos estatísticos, como a desagregação de chuvas (BIELENKI JR, 2016).

De acordo com o Manual de Drenagem Urbana (2017), a partir da curva IDF da região é possível encontrar a intensidade da chuva para cada duração e período de retorno. A maioria dos métodos que estabelecem chuvas de projeto em todo o mundo baseia-se na curva IDF (Equação 2).

$$i = \frac{k \times T^a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

Em que:

K , a , b , c : coeficientes ajustados para cada região;

i : intensidade da precipitação, em mm/h; e

t : tempo de duração da chuva, em minutos.

Por fim, a vazão é a principal grandeza que caracteriza o escoamento e representa o volume escoado por unidade de tempo (CARVALHO; SILVA, 2006). Segundo Paz (2004) a vazão permite saber a resposta da bacia hidrográfica a determinadas precipitações, sendo um dos maiores interesses da hidrologia estimar a transformação chuva-vazão.

A mudança de ocupação do solo, principalmente como a impermeabilização e desmatamento causam alterações no meio ambiente e, conseqüentemente, na vazão resultante. Por isso, ter conhecimento da vazão é importante para que seja possível estimar impactos, prever enchentes e contribuir para a execução de obras hidráulicas (TUCCI, 1993).

Uma das formas de realizar a transformação chuva-vazão é através de equações empíricas que estimam a vazão, sendo o método racional (Equação 3) e do hidrograma unitário os mais usados, principalmente em projetos de drenagem urbana. O método racional é amplamente empregado para a determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas (<2km²) (PAZ, 2004).

$$Q = 0,278 \times C \times i \times A \quad (3)$$

Em que:

Q: vazão de escoamento superficial direto, em m³/s;

A: área da bacia hidrográfica, em km²; e

C: coeficiente de escoamento superficial, adimensional.

Em termos de projeto, analisando situações críticas, é importante que o tempo de duração da chuva seja suficiente para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial direto gerado. Por esse motivo, para o uso do método racional, considera-se que o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia, respeitando o valor mínimo sugerido pelo Manual de Drenagem Urbana do estado do Paraná (2017), que é de 10 minutos.

O coeficiente de escoamento (C) representa a relação entre o volume de escoamento superficial direto gerado na superfície e o volume da precipitação (PORTO et al.,1999). Pode ser determinado com base em estimativas teóricas e depende das características do solo, da cobertura e declividade, por exemplo, identificando as características do terreno em gerar escoamento superficial direto (PAZ, 2004). Os valores para as superfícies urbanas podem ser selecionados por meio do apresentado nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Coeficiente de escoamento superficial direto "C" para superfícies urbanas.

Tipo de Superfície	Intervalo	Recomendado
Concreto, asfalto e telhado	0,90 – 0,95	0,95
Paralelepípedo	0,58 – 0,81	0,70
Bloquetes	0,70 – 0,89	0,78
Concreto e asfalto poroso	0,02 – 0,05	0,03
Solo compactado	0,59 – 0,79	0,66
Matas, parques e campos de esporte	0,05 – 0,20	0,10
Gramma solo arenoso	0,08 – 0,18	0,10
Gramma solo argiloso	0,15 – 0,30	0,20

Fonte: Manual de drenagem urbana, 2017.

Tabela 4: Valores do coeficiente de escoamento superficial direto "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 menos 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 esportes: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 – 0,20

Fonte: Wilken (1978) apud Diretrizes de projeto para estudo hidrológico – Método Racional.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O objeto de estudo desse trabalho é um loteamento situado na cidade de Bambuí – MG. O Loteamento (Anexo 1) conta com 18 quadras, distribuídas em 11 ruas, totalizando uma área de aproximadamente 25,97ha, com 6,49ha representados pelas ruas e 18,63ha pelas quadras, além de 0,85ha que representa uma quadra do loteamento, destinada a um parque municipal.

3.1. Dimensionamento hidrológico

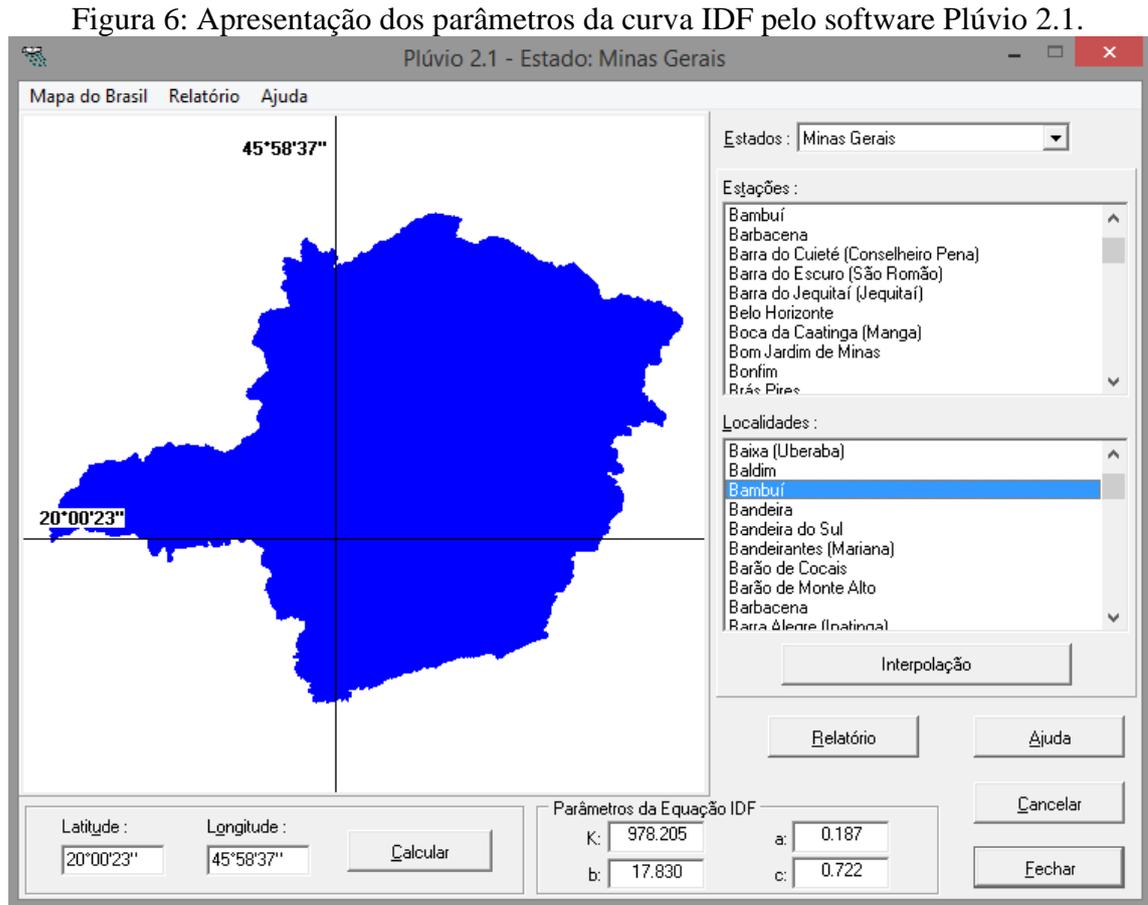
As curvas de nível do loteamento foram geradas com o auxílio dos softwares Google Earth, Earth Explorer e AutoCAD. Após delimitar a área do loteamento no Google Earth, ela foi vinculada ao site Earth Explorer, o qual é capaz de fornecer os dados de elevação da bacia e adicioná-las ao Google Earth.

A partir da sobreposição da imagem gerada no Google Earth (Anexo 2) e da planta do loteamento feita no AutoCAD foi possível desenhar as curvas de nível e, posteriormente, definir e calcular as áreas de contribuição de cada sub bacia, bem como o sentido de escoamento de cada uma, representadas nos anexos 3 e 4.

De acordo com o sentido do escoamento determinado a partir das curvas de nível foi escolhido um trecho principal (46 subáreas), representado no anexo 5, que recebe a maior parte do escoamento superficial gerado na área do loteamento. O período de retorno utilizado foi definido como aquele de áreas residenciais com tráfego moderado, conforme mostrado na Tabela 1.

Por se tratar de áreas com extensões muito pequenas, ao aplicar métodos empíricos para a definição do tempo de retorno, são encontrados valores inferiores ao mínimo estabelecido. Sendo assim, o tempo de concentração foi definido como sendo 10 minutos para todas as áreas de contribuição.

A intensidade de precipitação foi determinada pela Equação 2, para a região de Bambuí-MG. Os coeficientes k , a , b e c foram encontrados através do software Plúvio 2.1 (UFV, 2017) e foram: $k = 978,205$; $a = 0,187$; $b = 17,830$ e $c = 0,722$.



Fonte: Software Pluvio 2.1 (2017)

A partir do tempo de retorno determinado previamente pela Tabela 1, com o modelo IDF pôde-se determinar as máximas intensidades da precipitação (i) para cada duração (t).

Foi usado um único valor de C que é estimado de acordo com as características da bacia conforme as Tabelas 3 e 4. Como a ocupação da bacia é diversificada, dificultando na escolha de um único valor de C , foi feita a média ponderada de todos os valores referentes a cada subárea como na Equação 5.

$$C = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n (C_i \times A_i) \quad (5)$$

Em que:

C_i : coeficiente de escoamento superficial de cada ocupação identificada;

A_i : área da bacia de cada ocupação identificada; e

n : quantidade de tipos de ocupação

Para calcular a média de C, o loteamento foi dividido em 3 áreas sendo elas o parque, as ruas e os lotes. Para os lotes foi considerada uma taxa de permeabilidade mínima de 30%, de acordo com o plano diretor da cidade e para a área das ruas foram analisados dois casos: o primeiro com o uso de pavimentação asfáltica ($C = 0,95$) e o segundo com o uso de blocos tipo paralelepípedo ($C = 0,6$).

A vazão foi estimada por meio do Método Racional (Equação 3), considerando que a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Após o cálculo da vazão para todas as áreas, foram selecionadas as que contribuem diretamente para o trecho escolhido.

3.2. Dimensionamento hidráulico

Para efeito de comparação do impacto de diferenças obtidas no dimensionamento hidrológico sobre o dimensionamento hidráulico, em função dos diferentes pavimentos estudados, foram buscadas soluções padronizadas para compor a rede de drenagem, verificando elas atenderiam ou não os cenários simulados. No dimensionamento dos elementos de microdrenagem (sarjetas e bocas de lobo) considerou-se o método racional para cálculo da vazão de projeto.

3.2.1. Sarjetas

Para o cálculo da capacidade das sarjetas, utilizou-se a Equação 6.

$$Q_s = 0,375 \times \left(\frac{Z}{n}\right) \times \sqrt{i} \times \sqrt[3]{y^8} \quad (6)$$

Em que:

Qs: Vazão escoada da sarjeta (m^3/s);

z: Inverso da declividade transversal;

n: Coeficiente de rugosidade de Manning;

i: Declividade longitudinal (m/m);

y: Altura máxima da lâmina d'água (m).

Adotou-se uma altura máxima da lâmina d'água de 10 cm, considerando altura padrão do meio fio de 15 cm, declividade transversal de 20%, declividade longitudinal igual a declividade da via e coeficiente de rugosidade do concreto ($n = 0,013$) com base na Tabela 5.

Tabela5: Coeficientes de rugosidade de Manning

Superfície do Canal	n
Vidro, PVC, polietileno de alta densidade	0,010
Aço liso, metais	0,012
Concreto	0,013

Fonte: Houghtalen; Hwang; Akan (2012).

Para o cálculo da área da seção transversal da sarjeta, utilizou-se a Equação 7.

$$A = \frac{l \times y}{2} \quad (7)$$

Em que:

A: Área da seção transversal da sarjeta (m²);

l: Largura da sarjeta (m);

Adotou-se uma largura padrão de 50 cm para todas as sarjetas. Por fim, calculou-se a velocidade de escoamento, por meio da Equação 8, sendo 0,75 m/s e 4 m/s as velocidades mínima e máxima, respectivamente.

$$v = \frac{Qs}{A} \quad (8)$$

Onde:

v: Velocidade de escoamento (m/s);

3.2.2. Bocas de lobo

Para o cálculo da capacidade de engolimento das bocas de lobo, utilizou-se a Equação 9.

$$Q_{bl} = 1,71 \times l \times y^{\frac{3}{2}} \quad (9)$$

Onde:

Q_{bl}: Vazão (m³/s); e

l: Comprimento de abertura (m);

Adotou-se um comprimento de abertura padrão de 70 cm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como foi usando um único valor de t_c para todas as áreas de contribuição, foi determinado apenas um valor de intensidade para toda a região, que corresponde a 100,875 mm/h. Já os valores de C calculados considerando a média ponderada em função do uso e ocupação das parcelas do solo foi de 0,81 considerando o pavimento asfáltico e de 0,71 considerando paralelepípedo. Para a área do Parque foi usado 0,2, independente do pavimento analisado.

A Tabela 4, que apresenta o coeficiente de acordo com concentração de edificações na área, sugere valores inferiores que os encontrados pela média. Isso indica a importância de se ter valores de C para a superfície, como na Tabela 3, para que o escoamento não seja subestimado.

Os valores de vazão que contribuem para o escoamento do trecho escolhido foram calculados e podem ser vistos na Tabela 6, bem como a diferença de vazão em cada área, levando em consideração o uso de ambos os pavimentos analisados.

Tabela 6: Vazões de escoamento superficial em cada subárea analisada, considerando o pavimento asfáltico e de blocos tipo paralelepípedo (Continua).

Sub Bacia	Atotal (m ²)	Escoamento Superficial		Diferença (l/s)
		direto (m ³ /s)		
		A	P	
4	1743,360	0,03938	0,03495	4,42238
5	618,700	0,01397	0,01240	1,56946
6	593,050	0,01339	0,01189	1,50439
7	2358,230	0,05326	0,04728	5,98212
15	1737,930	0,03925	0,03484	4,40861
16	1569,350	0,03545	0,03146	3,98097
17	1420,750	0,03209	0,02849	3,60402
18	2470,590	0,05580	0,04953	6,26715
25	2033,740	0,04593	0,04078	5,15899
26	2646,700	0,05978	0,05306	6,71389
34	2272,720	0,05133	0,04557	5,76521
35	1275,290	0,02880	0,02557	3,23503
36	1647,580	0,03721	0,03303	4,17942

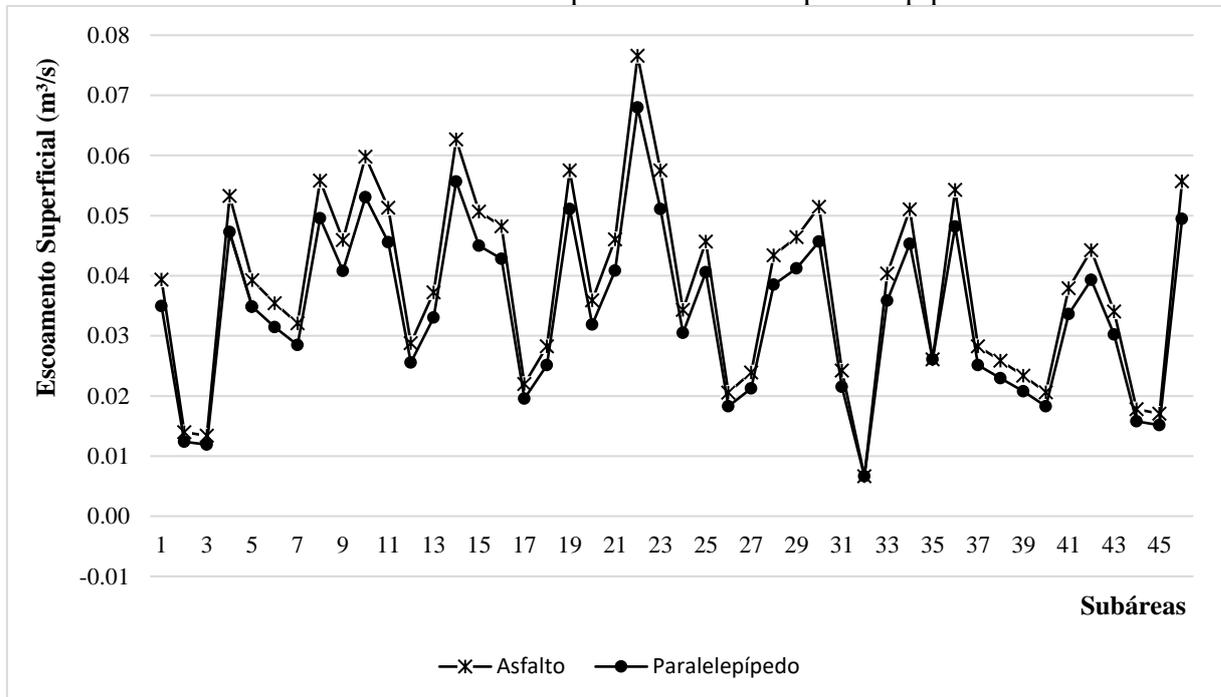
Sub Bacia	Atotal (m ²)	Escoamento Superficial		Diferença (l/s)
		direto (m ³ /s)		
		A	P	
37	2774,950	0,06267	0,05564	7,03922
44	2243,710	0,05068	0,04498	5,69162
53	2135,020	0,04822	0,04281	5,41591
54	974,930	0,02202	0,01955	2,47311
55	1252,400	0,02829	0,02511	3,17696
61	2547,810	0,05754	0,05108	6,46303
62	1590,380	0,03592	0,03189	4,03432
63	2037,760	0,04602	0,04086	5,16919
64	3390,550	0,07658	0,06798	8,60081
65	1716,870	0,03878	0,03442	4,35519
66	2264,940	0,05116	0,04541	5,74548
70	2547,810	0,05754	0,05108	6,46303
71	1520,280	0,03434	0,03048	3,85650
72	2023,260	0,04570	0,04056	5,13241
73	910,370	0,02056	0,01825	2,30934
74	1059,580	0,02393	0,02124	2,68784
75	1921,980	0,04341	0,03853	4,87549
79	1963,540	0,04435	0,03937	4,98091
86	2055,580	0,04643	0,04121	5,21439
94	2279,160	0,05148	0,04570	5,78155
95	1072,670	0,02423	0,02151	2,72104
96	1185,100	0,00665	0,00665	0,00000
105	1786,980	0,04036	0,03583	4,53303
106	2258,730	0,05102	0,04529	5,72972
107	4648,690	0,02607	0,02607	0,00000
108	2402,440	0,05426	0,04817	6,09427
115	1252,310	0,02828	0,02511	3,17674
116	1145,250	0,02587	0,02296	2,90516
117	1034,940	0,02338	0,02075	2,62533
118	911,730	0,02059	0,01828	2,31279

Sub Bacia	Atotal (m ²)	Escoamento Superficial		
		direto (m ³ /s)		Diferença (l/s)
		A	P	
119	1678,180	0,03790	0,03365	4,25704
120	1959,380	0,04425	0,03928	4,97036
121	1508,450	0,03407	0,03024	3,82649
122	787,480	0,01779	0,01579	1,99760
123	754,130	0,01703	0,01512	1,91300
124	2466,900	0,05572	0,04946	6,25779

A – Pavimento asfáltico; P – pavimento em blocos tipo paralelepípedo; Atotal – área da sub bacia.

Percebeu-se que, como o esperado, em nenhuma área a vazão nos blocos de paralelepípedo supera a vazão no pavimento asfáltico, como podemos observar no Gráfico 1.

Gráfico 1: Escoamento superficial asfalto x paralelepípedo



Sem considerar nenhum elemento hidráulico, foi estimada uma diferença de vazão de 209,578 l/s no final do trecho analisado, que representa uma diferença de aproximadamente 11% entre os pavimentos. Na comparação feita por Tucci (2000), foi encontrada uma

diferença de 37% entre o escoamento superficial direto gerado por blocos de paralelepípedo e concreto ($C=0,95$, mesmo sugerido para o asfalto). Sem considerar o uso e ocupação do solo essa diferença tende a ser maior, uma vez que o coeficiente não é ponderado.

As áreas não pavimentadas são as mesmas para os dois casos, sendo assim, quando a média dos coeficientes é feita, o valor do coeficiente médio para o pavimento asfáltico tende a diminuir, enquanto para o paralelepípedo tende a aumentar, diminuindo a diferença entre os dois.

Para o cálculo da capacidade das sarjetas (Tabela 7) adotou-se a Equação 6. Após o cálculo foi feita uma comparação com a vazão prevista resultante em cada sarjeta, para que fosse possível verificar se a capacidade da mesma era suficiente.

Tabela 7: Verificação da capacidade de escoamento das sarjetas em função das vazões de escoamento superficial afluyente para cada tipo de pavimento estudado (Continua).

Sarjeta	Declividade (m/m)	Vazão Prevista (m ³ /s)		Capacidade (m ³ /s)	Atende	
		A	P		A	P
4	0,03720	0,03938	0,03495	0,05993	SIM	SIM
5	0,05439	0,01397	0,01240	0,07247	SIM	SIM
6	0,05439	0,01339	0,01189	0,07247	SIM	SIM
7	0,02326	0,05326	0,04728	0,04739	NÃO	SIM
15	0,03720	0,03925	0,03484	0,05993	SIM	SIM
16	0,02743	0,03545	0,03146	0,05146	SIM	SIM
17	0,02743	0,03209	0,02849	0,05146	SIM	SIM
18	0,02326	0,05580	0,04953	0,04739	NÃO	NÃO
25	0,06106	0,04593	0,04078	0,07678	SIM	SIM
26	0,03133	0,05978	0,05306	0,05500	NÃO	SIM
34	0,06106	0,05133	0,04557	0,07678	SIM	SIM
35	0,01426	0,02880	0,02557	0,03711	SIM	SIM
36	0,01426	0,03721	0,03303	0,03711	NÃO	SIM
37	0,03133	0,06267	0,05564	0,05500	NÃO	NÃO
44	0,04316	0,05068	0,04498	0,06456	SIM	SIM
53	0,04316	0,04822	0,04281	0,06456	SIM	SIM
54	0,03865	0,02202	0,01955	0,06109	SIM	SIM
55	0,03865	0,02829	0,02511	0,06109	SIM	SIM
61	0,00565	0,05754	0,05108	0,02335	NÃO	NÃO
62	0,01912	0,03592	0,03189	0,04297	SIM	SIM
63	0,01223	0,04602	0,04086	0,03437	NÃO	NÃO
64	0,01209	0,07658	0,06798	0,03416	NÃO	NÃO
70	0,00565	0,05754	0,05108	0,02335	NÃO	NÃO
71	0,01912	0,03434	0,03048	0,04297	SIM	SIM
72	0,01223	0,04570	0,04056	0,03437	NÃO	NÃO

Sarjeta	Declividade (m/m)	Vazão Prevista (m ³ /s)		Capacidade (m ³ /s)	Atende	
		A	P		A	P
73	0,04268	0,02056	0,01825	0,06420	SIM	SIM
74	0,04268	0,02393	0,02124	0,06420	SIM	SIM
75	0,01209	0,04341	0,03853	0,03416	NÃO	NÃO
86	0,04778	0,04643	0,04121	0,06793	SIM	SIM
94	0,04651	0,05148	0,04570	0,06702	SIM	SIM
95	0,05798	0,02423	0,02151	0,07482	SIM	SIM
96	0,05798	0,00665	0,00665	0,07482	SIM	SIM
105	0,04643	0,04036	0,03583	0,06695	SIM	SIM
106	0,04262	0,05102	0,04529	0,06415	SIM	SIM
107	0,02941	0,02607	0,02607	0,05329	SIM	SIM
108	0,02215	0,05426	0,04817	0,04625	NÃO	NÃO
115	0,05661	0,02828	0,02511	0,07394	SIM	SIM
116	0,01951	0,02587	0,02296	0,04340	SIM	SIM
117	0,03045	0,02338	0,02075	0,05422	SIM	SIM
118	0,03045	0,02059	0,01828	0,05422	SIM	SIM
119	0,01672	0,03790	0,03365	0,04018	SIM	SIM
120	0,06426	0,04425	0,03928	0,07877	SIM	SIM
121	0,00770	0,03407	0,03024	0,02726	NÃO	NÃO
122	0,03139	0,01779	0,01579	0,05506	SIM	SIM
123	0,03139	0,01703	0,01512	0,05506	SIM	SIM
124	0,02215	0,05572	0,04946	0,04625	NÃO	NÃO

Para algumas sarjetas observou-se que a capacidade da sarjeta era inferior a vazão prevista, exigindo assim um redimensionamento. Analisando o uso do pavimento asfáltico foi necessário redimensionar 14 áreas, sendo elas 7, 18, 26, 36, 37, 61, 63, 64, 70, 72, 75, 108, 121 e 124 (Anexo 6). A estratégia usada, foi inserir bocas de lobo na metade do comprimento da sarjeta, reduzindo a vazão pela metade, mantendo a declividade, a fim de diminuir a vazão em cada uma delas. Para as áreas 61, 64 e 70, esta estratégia não foi suficiente. Por esse motivo, para essas áreas, o comprimento foi dividido em 3, reduzindo a vazão em 1/3, como pode ser verificado na Tabela 8.

Tabela 8: Redimensionamento das sarjetas para pavimento asfáltico

Sarjeta	Capacidade (m ³ /s)	Nova Vazão (m ³ /s)	Atende
7, 7A	0,04738	0,02663	SIM
18, 18A	0,04738	0,02790	SIM
26, 26A	0,05499	0,02988	SIM
36, 36A	0,03710	0,01860	SIM
37, 37A	0,05499	0,03133	SIM
61, 61A, 61B	0,02334	0,01918	SIM
63, 63A	0,03436	0,02301	SIM
64, 64A, 64B	0,03416	0,02552	SIM
70, 70A, 70B	0,02334	0,01918	SIM
72, 72A	0,03436	0,02284	SIM
75, 75A	0,03416	0,02170	SIM
108, 108A	0,04624	0,02713	SIM
121, 121A	0,02726	0,01703	SIM
124, 124A	0,04624	0,02785	SIM

Analisando o uso do paralelepípedo foi necessário redimensionar 11 áreas, adotando a mesma estratégia que nas anteriores, sendo elas 18, 37, 61, 63, 64, 70, 72, 75, 108, 121 e 124 (Anexo 7). Também não foi suficiente inserir as bocas de lobo na metade da sarjeta para as áreas 64 e 70, sendo assim, o comprimento foi dividido por 3 e a vazão reduzida em 1/3, como pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9: Redimensionamento das sarjetas para paralelepípedo (Continua).

Sarjeta	Capacidade (m ³ /s)	Nova Vazão (m ³ /s)	Atende
18, 18A	0,04739	0,02477	SIM
37, 37A	0,05500	0,02782	SIM
61, 61A	0,02335	0,01703	SIM
63, 63A	0,03437	0,02043	SIM
64, 64A, 64B	0,03416	0,03399	SIM
70, 70A, 70B	0,02335	0,01703	SIM
72, 72A	0,03437	0,02028	SIM
75, 75A	0,03416	0,01927	SIM

Sarjeta	Capacidade (m ³ /s)	Nova Vazão (m ³ /s)	Atende
108, 108A	0,04625	0,02408	SIM
121, 121A	0,02726	0,01512	SIM
124, 124A	0,04625	0,02473	SIM

Após ajustar todas as sarjetas foi calculada a lâmina de água resultante no final de cada uma, a largura que a lâmina representa, a área transversal e a velocidade do escoamento, para o pavimento asfáltico (Tabela 10) e para o paralelepípedo (Tabela 11).

Tabela 10: Cálculo da lâmina (y0), largura (L), área transversal (A transversal) e velocidade das sarjetas (V) para pavimento asfáltico (Continua).

Sarjeta	y0 (m)	L (cm)	A transversal (m ²)	V(m/s)
4	0,08543	0,42713	0,01824	2,15824
5	0,05394	0,26971	0,00727	1,92092
6	0,05309	0,26547	0,00705	1,90069
7, 7A	0,08057	0,40283	0,01623	1,64116
15	0,08533	0,42663	0,01820	2,15656
16	0,08695	0,43476	0,01890	1,87526
17	0,08377	0,41884	0,01754	1,82920
18, 18A	0,08198	0,40992	0,01680	1,66037
25	0,08248	0,41238	0,01701	2,70109
26, 26A	0,07956	0,39779	0,01582	1,88890
34	0,08598	0,42992	0,01848	2,77717
35	0,09094	0,45469	0,02067	1,39324
36, 36A	0,07719	0,38596	0,01490	1,24904
37, 37A	0,08098	0,40491	0,01640	1,91137
44	0,09132	0,45661	0,02085	2,43062
53	0,08964	0,44818	0,02009	2,40064
54	0,06821	0,34103	0,01163	1,89330
55	0,07492	0,37461	0,01403	2,01564
61, 61A, 61B	0,09289	0,46447	0,02157	0,88915
62	0,09350	0,46751	0,02186	1,64343
63, 63A	0,08604	0,43019	0,01851	1,24349
64, 64A, 64B	0,08965	0,44824	0,02009	1,27045
70, 70A, 70B	0,09289	0,46447	0,02157	0,88915
71	0,09194	0,45968	0,02113	1,62501
72, 72A	0,08581	0,42904	0,01841	1,24127
73	0,06525	0,32625	0,01064	1,93182
74	0,06907	0,34535	0,01193	2,00653
75, 75A	0,08436	0,42180	0,01779	1,21997
86	0,08670	0,43351	0,01879	2,47046
94	0,09058	0,45291	0,02051	2,50953

Sarjeta	y0 (m)	L (cm)	A transversal (m ²)	V(m/s)
95	0,06552	0,32758	0,01073	2,25765
96	0,04034	0,20169	0,00407	1,63393
105	0,08271	0,41356	0,01710	2,35980
106	0,09177	0,45884	0,02105	2,42318
107	0,07649	0,38243	0,01463	1,78270
108, 108A	0,08187	0,40936	0,01676	1,61904
115	0,06974	0,34872	0,01216	2,32589
116	0,08236	0,41180	0,01696	1,52536
117	0,07294	0,36470	0,01330	1,75748
118	0,06955	0,34777	0,01209	1,70266
119	0,09784	0,48920	0,02393	1,58382
120	0,08056	0,40278	0,01622	2,72780
121, 121A	0,08383	0,41916	0,01757	0,96958
122	0,06546	0,32730	0,01071	1,66028
123	0,06441	0,32203	0,01037	1,64242
124, 124A	0,08269	0,41344	0,01709	1,62979

Tabela 11: Cálculo da lâmina (y0), largura (L), área transversal (A transversal) e velocidade das sarjetas (V) para o pavimento tipo paralelepípedo (Continua).

Sarjeta	y0 (m)	L (cm)	A transversal (m ²)	V(m/s)
4	0,08169	0,40847	0,01668	2,09491
5	0,05159	0,25793	0,00665	1,86455
6	0,05077	0,25387	0,00644	1,84492
7	0,09992	0,49958	0,02496	1,89441
15	0,08160	0,40799	0,01665	2,09327
16	0,08315	0,41576	0,01729	1,82023
17	0,08011	0,40054	0,01604	1,77552
18, 18A	0,07840	0,39201	0,01537	1,61165
25	0,07887	0,39436	0,01555	2,62183
26	0,09867	0,49333	0,02434	2,18037
34	0,08223	0,41114	0,01690	2,69567
35	0,08696	0,43482	0,01891	1,35235
36	0,09573	0,47866	0,02291	1,44178
37, 37A	0,07744	0,38722	0,01499	1,85529
44	0,08733	0,43666	0,01907	2,35930
53	0,08572	0,42860	0,01837	2,33019
54	0,06523	0,32613	0,01064	1,83774
55	0,07165	0,35825	0,01283	1,95649
61, 61A	0,08883	0,44417	0,01973	0,86306
62	0,08942	0,44709	0,01999	1,59520
63, 63A	0,08228	0,41139	0,01692	1,20700
64, 64A, 64B	0,09981	0,49905	0,02491	1,36472

Sarjeta	y0 (m)	L (cm)	A transversal (m ²)	V(m/s)
70, 70A, 70B	0,08883	0,44417	0,01973	0,86306
71	0,08792	0,43959	0,01932	1,57732
72, 72A	0,08206	0,41029	0,01683	1,20484
73	0,06240	0,31199	0,00973	1,87513
74	0,06605	0,33026	0,01091	1,94765
75, 75A	0,08067	0,40337	0,01627	1,18417
86	0,08291	0,41457	0,01719	2,39796
94	0,08662	0,43312	0,01876	2,43589
95	0,06265	0,31327	0,00981	2,19140
96	0,04034	0,20169	0,00407	1,63393
105	0,07910	0,39549	0,01564	2,29056
106	0,08776	0,43879	0,01925	2,35208
107	0,07649	0,38243	0,01463	1,78270
108, 108A	0,07829	0,39147	0,01532	1,57153
115	0,06670	0,33349	0,01112	2,25764
116	0,07876	0,39381	0,01551	1,48059
117	0,06975	0,34876	0,01216	1,70591
118	0,06651	0,33257	0,01106	1,65270
119	0,09357	0,46783	0,02189	1,53734
120	0,07704	0,38519	0,01484	2,64776
121, 121A	0,08017	0,40084	0,01607	0,94113
122	0,06260	0,31300	0,00980	1,61156
123	0,06159	0,30796	0,00948	1,59422
124, 124A	0,07908	0,39538	0,01563	1,58197

Pôde ser verificado que após o ajuste das vazões, os valores de y não excederam o limite de 10 centímetros, bem como a largura não excede o valor de 50 centímetros. As velocidades também se encontram dentro dos valores limites.

A capacidade de engolimento das bocas de lobo foi calculada com base na Equação 9, para a altura máxima da lâmina e considerando uma largura padrão de 70 centímetros, resultando em 0,03782 m³/s. Contudo, para algumas áreas a vazão prevista superou a capacidade de engolimento das bocas de lobo, sendo assim, adotou-se nesses pontos bocas de lobo duplas, dobrando a capacidade que passa a ser 0,07570 m³/s, drenando toda a vazão prevista.

Assim, no pavimento asfáltico adotou-se bocas de lobo duplas em 12 áreas, sendo elas a 4, 15, 25, 34, 44, 53, 86, 94, 105, 106, 119 e 120, enquanto no paralelepípedo foram 10 áreas, sendo elas a 7, 25, 26, 34, 44, 53, 86, 94, 106 e 120.

De acordo com os valores encontrados, nota-se que há diferença na vazão em relação aos cálculos hidrológicos e hidráulicos, sendo que, para o dimensionamento hidráulico a diferença entre os dois pavimentos não é tão expressiva. Enquanto para o pavimento asfáltico foi necessário dispor 75 bocas de lobo, para os blocos de paralelepípedo foram necessários 69.

O dimensionamento final para o pavimento asfáltico encontra-se no anexo 6 e para o paralelepípedo no anexo 7.

5. CONCLUSÃO

Foi possível calcular os diferentes coeficientes de *runoff* para os pavimentos propostos no presente trabalho, além de comparar tais valores com outros sugeridos na literatura. A partir dessa diferença pode-se também calcular o impacto de cada pavimento sobre o escoamento superficial direto gerado.

Para a mesma intensidade de chuva, considerando o uso do pavimento asfáltico, o escoamento superficial direto gerado é maior do que para o uso dos blocos de paralelepípedo, no entanto, para que os blocos de paralelepípedo sejam considerados como uma alternativa seria interessante que houvesse uma diferença mais expressiva ou que incluísse outros fatores, como custo, mão de obra e manutenção, por exemplo.

Além desses fatores é também necessário que a resistência mecânica do pavimento seja verificada em relação ao tráfego demandado. Sendo assim, tornam-se necessários mais estudos sobre tecnologias e aplicações de pavimentos alternativos, que contribuam para a mitigação dos efeitos da impermeabilização do solo sobre o ciclo hidrológico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, Jean Carlos B. Drenagem Urbana [recurso eletrônico] / Jean Carlos B Almeida. Curitiba: Contentus, 2020.

Brasil. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Drenagem de Rodovias – 2ª ed. – Rio de Janeiro 2006.

Brasil. DIRETRIZES DE PROJETO PARA ESTUDOS HIDROLÓGICOS - MÉTODO RACIONAL. São Paulo, (1999).

Brasil. MANUAL DE DRENAGEM URBANA Volume I. I, (2017).

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. A questão da drenagem urbana no Brasil: elementos para formulação de uma política nacional de drenagem urbana. Brasília: Ministério das cidades, Texto Para Discussão, 2003.

Camargo, A.P. A água no solo para agricultura. O Agrônomo. Campinas. São Paulo. V. 57 (1). p. 10-11p. 2005.

DE ARAÚJO, Paulo Roberto; TUCCI, Carlos EM; GOLDENFUM, Joel A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. Braz. J. WaterResour, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.

DE MIRANDA, Ricardo Augusto Calheiro; DE OLIVEIRA, Marcus Vinícius Siqueira; DA SILVA, Danielle Ferreira. Ciclo hidrográfico planetário: abordagens e conceitos. Geo Uerj, v. 1, n. 21, p. 109-119, 2010.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente. Revista eletrônica Ateliê Geográfico, v.5, n. 3, p. 239-254, dez. 2011.

HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, N. H. C; AKAN, A. O. Engenharia hidráulica. 4.ed. São Paulo: Pearson, 2012.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. Hidrologia estatística. CPRM, 2007. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/454>>. Acesso em: 17 Mar. 2021.

Oliveira, Diego Barreto de. Hidrologia I . 1ª Edição., São Paulo. São Paulo (SP). Editora Casa de Ideias, 2016.

PAZ, Adriano Rolim da. Hidrologia aplicada. 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/123456789/689>>. Acesso em: 17 mar. 2021.

PORTO, Rubem La Laina; ZAHED FILHO, Kamel; MARCELLINI, Susko Silvana. Escola Politécnica da USP Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHD 307-Hidrologia Aplicada. São Paulo, 1999.

SANTOS JÚNIOR, Valdevino José dos; SANTOS, Carolina Oliveira. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. Estação Científica (UNIFAP), [S.l.], v. 3, n. 1, p. 19-30, out. 2014. ISSN 2179-1902. Disponível em: <<https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao/article/view/734>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SANTOS, D.C. Saneamento para a gestão integrada das águas urbanas. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SILVA, Thiago Henrique Almeida. Concepção e dimensionamento de sistema de drenagem urbana em zona comercial do município de Lagoa da Prata - MG. Orientador: Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi. 2017. 59. TCC (Graduação) – Engenharia Civil, Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2017.

TOMAZ, Plínio. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. São Paulo: Navegar, p. 452, 2002.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Estudos Avançados, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 10 dez. 2020.