



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CAMPUS BALSAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

JADSON RODRIGUES DO NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NA DRENAGEM URBANA DAS
ZONAS ZR P, ZR CJ E ZLR DA CIDADE DE BALSAS, MARANHÃO**

BALSAS-MA

2019

JADSON RODRIGUES DO NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NA DRENAGEM URBANA DAS
ZONAS ZR P, ZR CJ E ZLR DA CIDADE DE BALSAS, MARANHÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Leandro Gomes Domingos

BALSAS-MA

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Rodrigues do Nascimento, Jadson.

INFLUÊNCIA DA PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA NA DRENAGEM URBANA
DAS ZONAS ZR P, ZR CJ E ZLR DA CIDADE DE BALSAS, MARANHÃO

/ Jadson Rodrigues do Nascimento. - 2019.

66 p.

Orientador(a): Me. Leandro Gomes Domingos.

Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do
Maranhão, Balsas/MA, 2019.

1. Método racional. 2. Ocupação do solo. 3.
Pavimentação asfáltica. 4. Vazão máxima de escoamento. I.
Gomes Domingos, Me. Leandro. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por sempre guiar meus passos para o caminho da felicidade e todos os dias me dá a oportunidade de ser alguém melhor;

A minha mãe, Maria de Fatima Arrais por sempre me incentivar a continuar buscando meus sonhos, apoiando minhas decisões, me cobrando ou incentivando no dia-a-dia para que eu concretize todos os meus objetivos;

A meu pai, Edmilson Maranhão do Nascimento por ser um exemplo de pai e de vida para mim, desde suas atitudes até suas grandes ações, pois sempre esteve ao meu lado e sei que sempre confiou em mim nesta caminhada;

Aos meus padrinhos José do Egito e Valcineide Arrais que em todos os momentos da minha vida e de minha graduação sempre estiveram do meu lado me apoiando e confiando em mim;

A minha namorada, Laís Bandeira que em meio a tantas dificuldades sempre soube me entender e me motivar;

Ao professor Me. Leandro Gomes Domingos por todos os ensinamentos repassados, todas as sugestões, e por sempre está disposto e focado no seu compromisso como orientador deste trabalho;

Ao grupo de docentes do Curso de Engenharia Civil, que sempre mostraram comprometimento em repassar o máximo de informações e experiências para seus alunos;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero muito obrigado.

RESUMO

Com o grande aumento populacional no decorrer dos anos, e a conseqüente ocupação do solo, muitas das vezes de maneira desordenada, o ciclo hidrológico natural foi alterado. O principal motivo do descontrole do ciclo hidrológico foi ocasionado pela urbanização das cidades sem um devido planejamento, onde se impermeabilizaram grandes áreas com a construção de residências, praças e revestimento das vias públicas. Essas ações provocaram alguns problemas, como, por exemplo: enchentes, deslizamentos, erosões, proliferação de doenças de veiculação hídrica, aumento do escoamento superficial, aumento das vazões máximas. A cidade de Balsas/MA está presente neste cenário, tendo em vista que a mesma teve sua ocupação das áreas mais baixas para as áreas mais altas. Dessa maneira, estudar o uso e ocupação do solo da cidade é de suma importância para que se possa identificar áreas vulneráveis aos problemas oriundos da ocupação desordenada do solo e apresentar possíveis soluções. Sendo assim, escolheu-se uma microbacia que possui considerável ocupação populacional do município e que futuramente haverá aumento da impermeabilização de suas vias públicas. Nesse contexto, calculou-se diferentes intensidades de chuva sobre a microbacia e, através do método racional, identificou-se as vazões máximas de escoamento oriunda dos lotes e vias públicas. Para melhor identificação da influência da pavimentação asfáltica, analisou-se as vazões máximas para o atual cenário da microbacia e para um cenário futuro em que todas as vias em piçarra fossem pavimentadas com revestimento asfáltico. Foram identificados três pontos de controle de vazão dentro da microbacia para que se avaliasse o comportamento das vazões máximas de escoamento. Os resultados indicaram que a pavimentação asfáltica das vias em piçarra ocasionou o aumento das vazões máximas de escoamento em aproximadamente 30%, o que levará maiores alagamentos nos três pontos de controle de vazão na incidência de determinadas precipitações.

Palavras-chave: Ocupação do solo; Pavimentação asfáltica; Método racional; Vazão máxima de escoamento.

ABSTRACT

With the great population increase over the years, and its soil occupation consequences, many times without planning, the natural hydrological cycle was changed. The main reason for the lack of control of the hydrological cycle was caused by the cities urbanization without proper planning, where large areas turned impermeable by residences and squares construction, and road pavements. These actions caused some problems, such as: floods, landslides, erosions, waterborne diseases proliferation, runoff and maximum flows increased. The city of Balsas / MA is present in this scenario, considering that it had its occupation from the lower areas to the higher ones. Thus, studying the city land use is highly important in order to identify vulnerable areas to problems caused by soil disordered occupation and to present possible solutions. Therefore, a micro-basin was chose due to its considerable population occupation in the city and that in the future there will be an increase in the waterproofing of its public roads. In this context, different rain intensities were calculated on the micro-basin, and based on the rational methods, the maximum flow rates from the lots of land and public roads were identified. In order to better identify the influence of asphalt pavement, it was analyzed the maximum flows for the current micro-basin scenario and for a future scenario in which all gravel streets were paved with asphalt. Three flow control points were identified within the micro-basin to evaluate the maximum outflow flows behavior. Consequently, the asphalt paving of the gravel streets may cause increase of approximately 30% in the maximum outflows, which will result in flooding of the three flow control points in the incidence of certain precipitations.

Keywords: Soil occupation; Asphalt paving; Rational method; Maximum flow rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Erosões na Rua 07 da Zona Residencial Potosí após alguns eventos de precipitação.....	13
Figura 2: Lâmina d'água na Avenida Jorge Cury da Zona Residencial Potosí após um evento de precipitação.	14
Figura 3: Ciclo hidrológico de um evento de precipitação.	16
Figura 4: Problemas de Macrodrenagem.	21
Figura 5: Regiões hidrográficas do Brasil.....	23
Figura 6: Mapa de localização de Balsas/MA.....	29
Figura 7: Temperaturas máximas e mínimas médias em Balsas/MA.....	29
Figura 8: Chuva mensal média em Balsas/MA.....	30
Figura 9: Delimitação das Zonas ZRP, ZRCJ e ZLR segundo a Lei 1.396 de 2018..	31
Figura 10: Ponto de alagamento na Rua 03 da Zona Residencial Cajueiro.....	33
Figura 11: Ponto de alagamento na Avenida Juscelino Kubitschek da Zona Residencial Potosí.....	34
Figura 12: Ponto de alagamento na Rua Presidente João Figueredo da Zona Residencial Potosí.....	34
Figura 13: Fluxograma dos passos utilizados	38
Figura 14: Delimitação da microbacia estudada dentro do município de Balsas-MA.	39
Figura 15: Delimitação das Zonas ZR P, ZR CJ e ZLR dentro da microbacia estudada.....	40
Figura 16: Lotes e vias públicas dentro da microbacia.....	41
Figura 17: Canteiro central na Avenida Brasil da zona ZRP	41
Figura 18: Caracterização dos tipos de pavimentos das vias dentro da microbacia.	42
Figura 19: Rua Silva Jardim da zona ZRP com revestimento em bloquete	43
Figura 20: Rua 03 da zona ZRCJ com revestimento asfáltico.....	43
Figura 21: Avenida JK da zona ZRP com revestimento em piçarra	44
Figura 22: Localização dos pontos de controle de vazão.....	45
Figura 23: Seções dos pontos de controle de vazão.....	46
Figura 24: Bueiro celular de concreto localizado na Avenida Brasil da zona ZR P. ...	47
Figura 25: Córrego a montante do ponto de controle de vazão 1.	47

Figura 26: Bueiros tubulares de concreto na BR-230 das zonas ZR P e ZR CJ.	48
Figura 27: Córrego a montante do ponto de controle de vazão 2.	48
Figura 28: Bueiro celular de concreto na Avenida Coronel Fonseca das zonas ZR CJ e ZLR.	49
Figura 29: Córrego a montante do ponto de controle de vazão 3.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais medidas estruturais.....	18
Quadro 2: Coeficientes de runoff para rodovias.....	26
Quadro 3: Coeficiente de runoff em função da urbanização.....	26
Quadro 4: Coeficiente de runoff em relação aos diferentes tipos de superfícies da bacia.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Áreas de cobertura por tipo de pavimentação dentro da microbacia.....	42
Tabela 2: Ocupação do solo da microbacia em função dos pontos de controle de vazão.....	50
Tabela 2: Intensidade máxima média da microbacia em mm/h.....	52
Tabela 4: Vazões máximas de escoamento nos pontos de controle de vazão para o cenário atual da microbacia.....	53
Tabela 5: Ocupação do solo da microbacia em função dos pontos de controle de vazão para o cenário futuro.....	53
Tabela 6: Vazões máximas de escoamento nos pontos de controle de vazão para o cenário futuro da microbacia.....	55
Tabela 7: Lâmina d'água sobre os pontos de controle de vazão no cenário atual da microbacia.....	58
Tabela 8: Lâmina d'água sobre os pontos de controle de vazão no cenário futuro da microbacia.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	11
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	11
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.2	Justificativa.....	11
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Drenagem urbana	15
2.2	Bacia hidrográfica	22
2.3	Escoamento superficial	24
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Características do local	28
3.2	Materiais e métodos	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Delimitação da microbacia	39
4.2	Tipo de pavimento das vias da microbacia.....	42
4.3	Pontos de controle	45
4.4	Relação precipitação x escoamento superficial	51
4.4.1	CENÁRIO ATUAL DA MICROBACIA	51
4.4.2	CENÁRIO FUTURO DA MICROBACIA.....	53
4.5	Avaliação dos pontos de controle de vazão para o cenário atual e futuro da microbacia	55
4.6	Medidas mitigadoras	60
5	CONCLUSÃO.....	61
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de o homem buscar seu espaço para construir suas residências ou para implantar suas empresas, ocasionou para o Brasil no final do século XX um grande crescimento populacional. Este crescimento, principalmente das grandes metrópoles, ocorreu de maneira desordenada e fez com que a população ocupasse áreas de risco, áreas estas que podem ter alguns problemas de enchentes e erosão.

Dessa maneira, com o aumento da população, o problema do uso e ocupação do solo foi evoluindo com o passar do tempo. Dentre esses problemas destaca-se o de má gestão das águas pluviais, pela ausência de drenagem urbana, que ocasiona o surgimento de enchentes, deslizamentos e veiculação de doenças hídricas, por exemplo.

Como dito anteriormente, o uso do solo de maneira incorreta agravou e acarretou novos problemas de drenagem urbana, necessitando que o ser humano intervisse na construção de barreiras físicas ou na conscientização popular para que se diminuíssem os efeitos indesejados do uso incorreto da ocupação do solo.

Dentre as medidas físicas, também chamadas de medidas estruturais, se destacam a implantação de sistemas como galerias, sarjetas, meio fio, bocas de lobo, entre outros dispositivos. Assim, Tucci (2005), pela complexidade dos serviços, dividiu o sistema de medidas estruturais em sistemas de microdrenagem e macrodrenagem, que são, respectivamente, os sistemas que administram uma determinada região e os que administram os rios ou lagos que cortam determinado local.

A conscientização popular, também denominada de medidas não estruturais, para Tucci (2005), é outro fator que pode influenciar na drenagem urbana, uma vez que são realizadas atividades com o intuito de aumentar o índice de infiltração do solo, evitando assim problemas causados pelo excesso de escoamento superficial das águas pluviais. Isto se dá geralmente pelo incentivo a políticas públicas e a implantação de um plano diretor de drenagem urbana, por exemplo.

Sendo assim, estudar e quantificar a influência do uso e ocupação do solo na drenagem urbana do município de Balsas/MA é uma forma de evitar os problemas ora apresentados.

O trabalho está dividido em cinco partes, ordenadas da seguinte forma: a primeira parte do trabalho consiste na Fundamentação Teórica, onde é apresentado

todo o conteúdo teórico, a fim de colher informações e conhecimentos para a realização do trabalho apresentado; em seguida, é apresentado a Metodologia, onde são detalhadas todas as fases realizadas na elaboração deste trabalho; a terceira parte apresenta os resultados e discussão, que compreende na apresentação de todos os dados obtidos em diferentes pontos da área de estudo, bem como apresentação de possíveis soluções; a quarta parte contém as considerações finais deste trabalho; por fim, consiste as sugestões para trabalhos futuros.

1.1 Objetivos

Nesta seção estão dispostos os objetivos do atual trabalho.

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da pavimentação asfáltica na drenagem urbana das Zonas ZR P, ZR CJ e ZLR, da cidade de Balsas/MA.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear a microbacia contemplada pelas zonas ZR P, ZR CJ e ZLR;
- Fazer o levantamento dos diferentes tipos de pavimentos na região estudada;
- Verificar a relação entre a precipitação de chuva e o aumento do escoamento superficial ocasionado pela alteração da pavimentação na microbacia estudada;
- Identificar pontos de controle de vazão, para que seja possível avaliar os eventos de inundação na situação atual e com a alteração da pavimentação dentro da microbacia estudada nestes pontos;
- Propor medidas mitigadoras.

1.2 Justificativa

Assim como grande parte das cidades brasileiras, o município de Balsas/MA teve um crescimento desordenado partindo dos pontos de jusante para montante, ou seja, a urbanização se iniciou nos pontos baixos, próximos ao Rio das Balsas, para

posteriormente ocupar as áreas mais elevadas. Em outras palavras, o crescimento populacional se desenvolveu das margens do Rio das Balsas, cujo tipo de ocupação se caracteriza como a ocupação inversa do solo, o que ocasiona o grande aumento das áreas de impermeabilização devido tanto às construções de residências quanto à pavimentação asfáltica de ruas e avenidas. A redução da permeabilidade do solo das áreas mais elevadas interfere diretamente na velocidade de escoamento das águas pluviais, podendo gerar problemas de inundação nas áreas mais baixas da cidade, que não são capazes de drenar grande volume de chuva em pouco tempo.

O grande crescimento populacional do município nas últimas décadas fez com que a grande maioria das pessoas ocupasse áreas que não possuem infraestrutura básica, como: água encanada; sistema de coleta e tratamento de esgoto; sistema de drenagem urbana; vias pavimentadas; e entre outros. Dessa maneira, as infraestruturas básicas para a qualidade de vida humana não acompanharam o grande aumento populacional. Contudo, o grande anseio dos moradores destas regiões é pela implantação de medidas estruturais que sejam capazes de solucionar problemas de erosões, enchentes e capazes de controlar o aumento do escoamento superficial.

. Dentre estas medidas estruturais está o grande anseio pela implantação de vias pavimentadas, juntamente com um sistema de drenagem urbana eficiente, que reduziriam grande parte dos problemas ora apresentados e ofertariam uma melhor qualidade de vida para toda a população do município.

Tendo em vista estes e outros problemas, atualmente a implantação de novos bairros na cidade é realizada após a construção de redes de drenagem pluvial e a devida pavimentação das ruas, evitando assim os problemas ora citados e aumentando a qualidade de vida dos moradores. Este é o caso do mais novo bairro da cidade o bairro Cidade Nova e de todos os condomínios que vem sendo implementados.

Além das áreas as margens dos rios que cruzam a cidade, outras zonas apresentam problemas de drenagem urbana e escoamento superficial, que constantemente afetam a população ali residente. A Figura 1 e 2 representam alguns dos problemas encontrados pelos moradores destas áreas após alguns minutos de chuva, sendo eles o grande número de erosões e aumento da lâmina d'água sobre as vias, respectivamente.

Desta maneira, o presente trabalho se faz necessário para quantificar a vazão máxima de escoamento da microbacia contemplada pelas zonas ZRP, ZR CJ e ZLR da cidade de Balsas, para que se possam apresentar possíveis soluções e, com isso, evitar o agravamento de problemas de erosões, desmoronamentos e alagamentos. A escolha desta área para estudo em relação a outros pontos da cidade se deu pelo aumento repentino das pavimentações asfálticas sem rede de drenagem profunda, existindo apenas drenagem superficial, o que pode configurar o agravamento do estado final das vias que cortam estas zonas.

Além disso, o presente trabalho é de suma importância para que se possa conhecer o crescimento das áreas impermeabilizadas, o quanto estas áreas irão influenciar no escoamento superficial e, conseqüentemente, os possíveis problemas que poderão surgir nas áreas mais baixas que irão receber as águas pluviais. E, desta forma, avaliar as melhores soluções para a região estudada.

Figura 1: Erosões na Rua 07 da Zona Residencial Potosí após alguns eventos de precipitação.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Lâmina d'água na Avenida Jorge Cury da Zona Residencial Potosí após um evento de precipitação.



Fonte: Autoria própria.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Nesta seção estão dispostos todos os estudos bibliográficos do atual trabalho.

2.1 Drenagem urbana

A população mundial no início do século XX passou a migrar da zona rural para os grandes centros. Dessa maneira, a projeção populacional é de que no ano de 2050 aproximadamente 70% da população mundial estará localizada nas zonas urbanas (TUCCI, 2012). Trazendo para a realidade do Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), o último censo de 2010 apontou que aproximadamente 85 % da população brasileira residem em áreas urbanas.

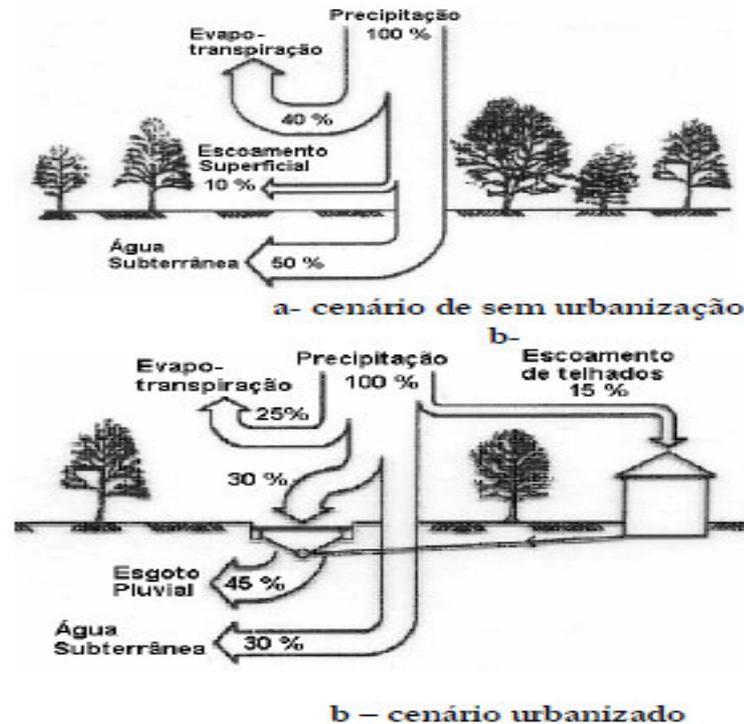
Com isto, segundo Benini e Mendiondo (2014), as consequências da grande ocupação do solo nas grandes cidades podem agravar alguns fatores como o descontrole do ciclo hidrológico das regiões. Entende-se como ciclo hidrológico o percurso natural das águas entre a atmosfera e o solo, destacando-se os eventos de precipitação, evaporação e condensação para que o ciclo seja contínuo. Contudo, o descontrole do ciclo hidrológico se dá pela urbanização das cidades sem o seu devido planejamento, podendo ocasionar problemas como deslizamentos, enchentes e proliferação de doenças de veiculação hídrica (MARTINS et al., 2010).

Similarmente, para Tucci (2012), o avanço da urbanização e, conseqüentemente, a ocupação do solo de maneira desordenada causam uma série de problemas. Dentre eles vale destacar: aumento das vazões máximas; aumento da frequência de inundações; aumento do escoamento superficial; aumento da quantidade de resíduos sólidos e redução da qualidade da água pluvial.

Tucci (2005) explica que o volume de água do escoamento superficial aumentou gradativamente com o aumento da urbanização, onde a água que antigamente era infiltrada no solo ou ficava retida nas plantas passou a ser escoada por superfícies impermeáveis que necessitam de um maior número de sistemas de drenagem e pontos de infiltração muito maiores em relação ao período em que a região não era urbanizada. Os principais pontos de impermeabilização do solo destacados pelo autor são as vias pavimentadas, os telhados das residências, pátios de estacionamentos e entre outras áreas impermeáveis. A Figura 3 retrata o ciclo hidrológico de um evento de precipitação no cenário sem urbanização e no cenário

urbanizado, onde se percebe que o escoamento superficial aumenta em 35 % com a urbanização e reduz-se o índice de infiltração do solo em 20 %.

Figura 3: Ciclo hidrológico de um evento de precipitação.



Fonte: (OECD, 1986 apud TUCC, 2005).

Santos et al. (2017) afirmam que a ocupação do solo urbano de maneira desordenada pode agravar ou criar problemas ambientais, sendo os problemas principais: a) o aumento da vazão nos sistemas de drenagem urbana ocasionadas pela impermeabilização do solo; b) perda da cobertura vegetal, ocasionados pelas grandes áreas de impermeabilização que diminuem a infiltração do solo e aumentam a velocidade de escoamento superficial; c) redução significativa dos recursos hídricos da bacia estudada; d) Aumento da quantidade de resíduos sólidos e com isto o transporte destes para os corpos hídricos e para os aparelhos do sistema de drenagem; e, e) ocupação de áreas de risco.

Tucci (2008) estabelece que os impactos nas áreas urbanas são divididos em dois tipos, sendo eles as inundações de áreas ribeirinhas e as inundações em razão da urbanização. As inundações de áreas ribeirinhas são ocasionadas pela urbanização das calhas secundárias dos rios e geralmente decorrem de um evento de precipitação elevado. Já as inundações em razão da urbanização são as

inundações oriundas do incorreto uso do solo aumentando as áreas de impermeabilização, ocupação de lagoas naturais e obstruções do escoamento.

Righetto, Moreira e Sales (2009) realçam que para se solucionar os problemas de drenagem urbana é necessário estabelecer um conjunto de ações. Entre elas a elaboração de um plano diretor de drenagem urbana, benfeitorias nos sistemas de distribuição de água, esgoto, pavimentações e outros.

Tucci (1998) evidencia a importância do plano de drenagem urbana para que seja projetado da melhor maneira possível, para isto ele deve conter três requisitos mínimos, sendo eles: O planejamento da distribuição das águas no espaço e no tempo em função do crescimento populacional, sem deixar de levar em consideração os fatores sociais, econômicos e ambientais; Evitar o crescimento populacional em áreas de riscos de inundações; e o convívio nas áreas de baixo risco com as enchentes.

Dessa maneira, segundo Righetto, Moreira e Sales (2009), o plano diretor de drenagem urbana deve diferenciar as ações estruturais e não estruturais. Neste contexto todas as medidas estruturais são obras de engenharia que devem ser previamente estabelecidas através do conhecimento das áreas de aplicação, volume de cheias e conhecimento dos riscos. Assim as ações estruturais serão aquelas que se referem a obras de captação, transporte e armazenamento das águas pluviais.

Ainda, Tucci (2005) classificou as ações estruturais em dois tipos, sendo elas:

- Medidas extensivas: são medidas ligadas diretamente na cobertura do solo agindo diretamente sobre a bacia no intuito de minimizar a relação entre as precipitações e as vazões ocasionadas por elas. As medidas extensivas se dão pela cobertura vegetal e pelo controle da erosão do solo. A cobertura vegetal de uma região influi diretamente na capacidade de absorção de água e na diminuição da velocidade do escoamento superficial, assim em áreas onde ocorrem eventos de inundação o aumento da cobertura vegetal pode ser uma medida de correção. Já o controle de erosões no solo pode agravar ainda mais o cenário das inundações pois os eventos de erosão trazem consigo o transporte de partículas que são prejudiciais a vida humana, o controle de erosão é feito pelo reflorestamento das áreas de risco ou através de manejos agrícolas para o controle de margens ameaçadas.

- Medidas intensivas: todas as medidas que agem nos rios são denominadas medidas intensivas, e eles podem ser de três tipos: construção de polders, que aumenta a capacidade de descarga dos rios; Retardamento do escoamento, através da construção de reservatórios para amortecimento das vazões; e construção de desvios do escoamento.

O Quadro 1 apresenta as principais medidas estruturais juntamente com suas vantagens, desvantagens, locais de aplicação e dividindo-as em medidas intensivas e extensivas.

Quadro 1: Principais medidas estruturais.

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

Fonte: Simons et al. (1998 apud TUCCI, 2005, pág. 57).

Em contrapartida as ações não estruturais são aquelas que se referem ao incentivo a políticas públicas, conscientização popular, manutenção dos elementos

estruturais e a fiscalização do uso e ocupação do solo (RIGHETTO; MOREIRA; SALES, 2009).

Para Tucci (2005), as medidas não estruturais mais utilizadas, e que podem reduzir os custos em casos de enchentes, são:

- **Previsão e alerta de inundações:** esta medida tem o intuito de antecipar os eventos de enchentes através de uma série de fatores que levam em consideração a intensidade da precipitação, as áreas mais vulneráveis, coleta e transmissão de dados. O presente sistema funciona com a recepção de dados através de satélites ou radares, processamento e previsão do risco de enchentes através dos dados recebidos, alerta a população e aos órgãos públicos das áreas sobre o risco e pôr fim a remoção da população.
- **Zoneamento de áreas de risco:** a medida de zoneamento de áreas de risco é realizada pela criação de mapas de risco sobre toda a região estudada, para isto é necessário que sejam feitos estudos a fim de identificar os principais pontos propícios a eventos de enchentes. Os mapas de zoneamento podem ser de dois tipos: os mapas de planejamento, que são os mapas que definem as áreas propícias a inundações em intervalos de tempo definidos; e os mapas de alerta, que são mapas cravados em cada esquina da região de risco com cotas estabelecidas, com o aumento do nível da água a população irá perceber o risco de inundação com a aproximação da água ao nível estabelecido no mapa.
- **Construções contra enchentes:** as construções contra enchentes consistem na série de medidas que podem ser adotadas em casas e edifícios que foram construídos em áreas de risco, dentre as principais medidas se destacam: elevação do nível das estruturas, utilização de materiais resistentes à água, instalação de sistemas de vedação, instalação de contenções no entorno da edificação, reconstrução das edificações para outras áreas, e entre outros.
- **Seguros de inundações:** o sistema de seguro é um método de precaução sobre os eventos de inundação, neste sistema o proprietário do imóvel irá pagar valores para assegurar-los em casos de inundações. O destaque negativo deste método é que geralmente apenas

proprietários de classe média e alta pode pagá-lo, além disto muitos dos seguros cobram valores mais elevados em áreas de risco onde geralmente se situa a população da classe baixa.

Para que não se tenham problemas nos sistemas de drenagem urbana, Tucci (2005) ressalta a importância de definir alguns tipos de medidas de controle, caracterizando-os em três tipos, sendo eles as medidas distribuídas, os sistemas de microdrenagem e os sistemas de macrodrenagem. Tucci (2005) especifica as medidas distribuídas como as medidas de controle aplicadas sobre os lotes, terrenos, praças e condomínios; As medidas de controle na microdrenagem como as que agem em função do hidrograma de uma região, ou seja, a junção de vários condomínios; e as medidas de controle na macrodrenagem que modificam os principais riachos urbanos.

Tucci (2005) afirma que as seguintes medidas são as mais utilizadas para medidas de controle distribuídas: complementação de áreas de infiltração; instalação de sistemas de captação de águas pluviais nos telhados; e criação sistemas de armazenamento em reservatórios. Tais medidas após implantadas poderão aumentar o controle de enchentes dos sistemas e aumentar a eficiência dos sistemas de drenagem, porém a implantação destes sistemas é de difícil execução pelo alto custo no momento da execução e posteriormente na fase de manutenção.

Em relação às medidas de microdrenagem, Tucci (2005) estabelece elas consistem na captação e transporte das vazões pluviais de uma região até um riacho ou córrego através de coletores. Tavares et al. (2016) apontam que os dispositivos mais utilizados no sistema de microdrenagem são as bocas de lobo, meio fios, sarjetas, corpo de bueiros, e entre outros.

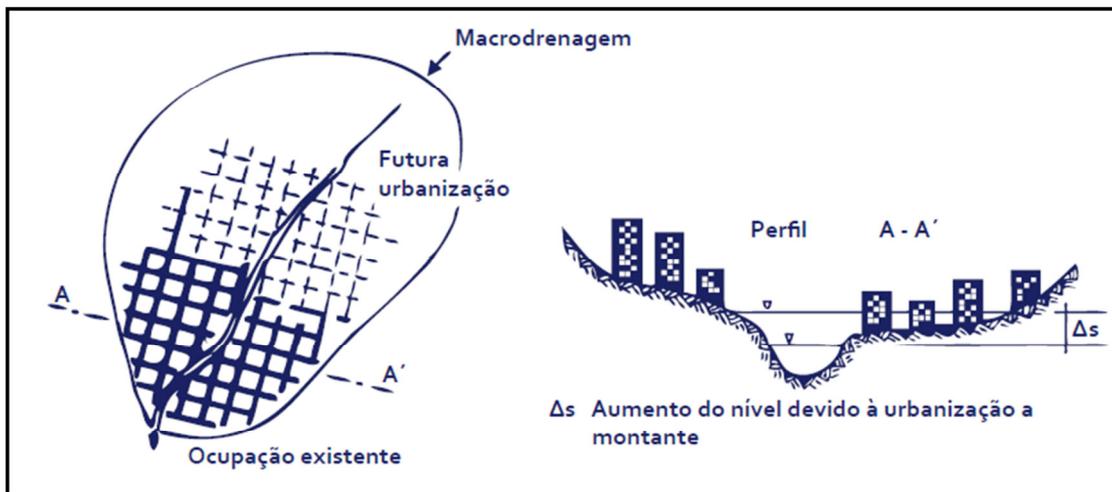
Em contrapartida os sistemas de macrodrenagem são constituídos pelos eixos principais de escoamento ou por canais projetados, podendo ser abertos ou fechados, onde suportam grandes vazões com tempo de retorno aproximado de 10 a 100 anos (TAVARES et al., 2016).

Tavares et al. (2016) ainda completam que o perfeito funcionamento entre as três medidas de controle resultará uma grande melhoria no sistema de drenagem da região, além de aumentar o índice de infiltrações, controle do escoamento superficial, e pôr fim a diminuição das áreas inundadas. Porém, Tucci (2012) alerta sobre as consequências da falta de planejamento e de manutenções dos três

sistemas, onde uma falha no processo de planejamento do uso e ocupação do solo em determinada região resultará em projetos cada vez mais complexos e conseqüentemente obras mais onerosas.

Tucci (2012) afirma que praticamente todas as cidades de médio e grande porte do Brasil sofrem com problemas de macrodrenagem e isso se dá devido a ocupação do solo de jusante para a montante, pela falta de planejamento e fiscalização por parte da gestão pública do país. A Figura 4 mostra a projeção da urbanização de áreas a montante de forma desordenada e sem planejamento.

Figura 4: Problemas de Macrodrenagem.



Fonte: Tucci (2012).

Em consequência disso, Righetto, Moreira e Sales (2009) reforçam que um sistema de drenagem urbana bem projetado e executado obedecendo ao plano diretor de drenagem urbana da região, resultará em benefícios econômicos e sociais como a utilização de terrenos inaproveitados, melhores fluxos de tráfego durante eventos de precipitação, redução de custos em manutenções de vias, redução da proliferação de doenças de veiculação hídrica, e entre outros benefícios.

Em grande parte dos eventos do aumento da ocorrência de inundações são provocados pela urbanização e impermeabilização de antigas áreas que eram alagáveis. Dessa maneira as águas pluviais das vazões de cheia se destinarão a outros pontos. Nestes casos o armazenamento destas águas é quase impossível de ser realizado na sua origem necessitando, então, que se realizem processos de amortecimento das ondas de cheia com a regularização das vazões (TAVARES et al., 2016)

Trazendo para a realidade brasileira, Tucci e Collischonn (1998) afirmam que no Brasil o uso desordenado do solo juntamente com o desenvolvimento urbano são as principais causas das inundações, da produção de sedimentos e da deterioração da qualidade da água. Muitos destes acontecimentos se dão pelo aumento das áreas impermeabilizadas com a urbanização das cidades.

Em termos de inundação, Tucci (2012) classifica-as em duas classes. A primeira são as inundações na bacia hidrográfica ocasionadas por eventos isolados de precipitações gerando águas pluviais que não são drenadas. A segunda são as inundações devido à urbanização que tem origem no aumento da velocidade de escoamento e da impermeabilização do solo agravando a quantidade de água que chega simultaneamente nos sistemas de drenagem urbana.

Para Tavares et al. (2016) os processos acima citados recebem denominação de obras de sistematização que tem o intuito de reter grande parte das vazões de cheia, preservando as condições naturais da bacia e garantindo a quantidade de escoamento com a sua capacidade máxima por evento de precipitação. Estas obras podem ser executadas com concreto armado ou apenas com movimentações de terra e, na prática, estes reservatórios irão reter o volume que excede a capacidade máxima dos sistemas de drenagem existentes no local. Após a onda de cheia tais volumes serão gradativamente reincorporados para o sistema pluvial.

2.2 Bacia hidrográfica

Para Teodoro et al. (2007), uma bacia hidrográfica é uma determinada região em que ocorre um escoamento superficial que se direciona para um ponto mais baixo, chamado de exutório. Os autores completam que as microbacias ou sub-bacias são definições distintas que variam conforme o autor e complementam definindo tais espaços como regiões menores situadas dentro da bacia hidrográfica da região estudada, em que a junção de todo escoamento superficial a jusante das microbacias chega ao exutório da bacia hidrografia geral. Dessa maneira, os referidos autores afirmam que as bacias hidrográficas são áreas, geralmente expressas em km², que recebem um volume de água nos eventos de precipitação e o transportam até o exutório. A diferença entre o volume de entrada e saída da bacia está relacionada com os volumes que são infiltrados no solo ou que são evaporados.

Segundo o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) (2003), todas as bacias hidrográficas brasileiras estão caracterizadas em regiões. Através da Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003, o CNRH dividiu o Brasil em 12 regiões hidrográficas. As regiões hidrográficas se limitam até as margens geográficas do Brasil (Figura 5).

Figura 5: Regiões hidrográficas do Brasil



Fonte: CNRH (2003).

Lorandi e Cançado (2002) afirmam que para se gerenciar uma bacia hidrográfica ou uma microbacia é necessário que se defina os seus limites geográficos, esta delimitação deve seguir o seguinte parâmetro: a delimitação de uma microbacia deve partir do exutório sendo traçado uma linha de forma que a mesma não cruze nenhum curso d'água e sempre obedecendo as cotas topográficas do terreno em questão, até que ela chegue novamente no ponto de início. Dessa maneira o comportamento das microbacias vai variar de acordo com suas características de relevo, vegetação, clima, área, ocupação do solo, escoamento superficial, e entre outros fatores.

Ainda segundo Lorandi e Cançado (2002) em qualquer época do ano o uso correto do solo das microbacias vai definir como a sociedade vai se comportar, pois para eles o uso indevido ou irresponsável do solo irá delimitar quais serão os avanços tecnológicos ou sociais de determinada área.

2.3 Escoamento superficial

Entende-se por escoamento superficial o movimento das águas sobre a superfície de determinada bacia, águas estas que estão diretamente ligadas com os eventos de precipitação, que são os responsáveis pela entrada dos volumes de água na bacia (TUCCI, 2000).

Tucci (2000) afirma que existem alguns fatores que influenciam diretamente no escoamento superficial de uma bacia, sendo eles:

- Tipo de solo, afeta na capacidade de infiltração no solo e na capacidade de retenção de água na superfície do solo;
- Topografia, influi diretamente na velocidade de escoamento das águas sobre a superfície do solo podendo impedir a infiltração ou ocasionar o seu acúmulo;
- Obras de drenagem urbana, influenciam no volume de água precipitado, pois com um amplo sistema de drenagem permite um rápido escoamento superficial possibilitando um maior volume de água sobre a bacia.

Franco (2004) afirma que quantificar o escoamento superficial em campo exige muito tempo e grandes valores econômicos e, por isso, atualmente vem crescendo número de modelos matemáticos para estimar estas vazões. Segundo Silva et al. (2009), os métodos matemáticos que mais se destacam é o Método Racional e o Método do Número da Curva.

Franco (2004) explica que o método racional é baseado na hipótese de que parte de um evento de precipitação, que incide sobre toda a área de uma bacia, se transforma em escoamento superficial. Todavia, considera-se que a intensidade da chuva é constante e possui distribuição uniforme e tempo de controle igual ao tempo de concentração da bacia.

De acordo com Tucci (2000), o método racional foi elaborado para quantificar as vazões máximas em pequenas bacias urbanas, levando em consideração os

pontos impermeáveis que ocasionam o coeficiente de escoamento próximo de um. Porém, o método não leva em consideração alguns parâmetros, como: a umidade anterior do solo, distribuição da chuva na bacia e o tempo para perdas iniciais.

Segundo Franco (2004), o método racional só deve ser aplicado em bacias de pequenas áreas, entretanto vários autores afirmam valores máximos de utilização do método, como: Tucci (2000) apud Franco (2004) considera valor máximo de 2 km², Linsley e Franzini (1964) apud Franco (2004) recomendam áreas menores que 5 km², Porto (2003) apud Franco (2004) aceita valores até 3 km², Osman Akan (1993) apud Franco (2004) aceitam valores máximos de até 13 km². Dessa forma, Franco (2004) recomenda que o método seja utilizado em bacias menores que 5 km².

Para a quantificação da vazão máxima de escoamento, utilizou-se a equação do método racional, que leva em consideração o coeficiente de escoamento ou runoff; a intensidade máxima média de precipitação (mm/h) e a área da microbacia (ha);

Lima et al. (2006) apresentam a equação do método racional para a vazão máxima de escoamento, como:

$$Q = \frac{C * I * A}{360} \quad (1)$$

Onde:

Q – Vazão máxima de escoamento (m³/s);

C – Coeficiente de escoamento ou runoff;

I – Intensidade máxima média de precipitação (mm/h);

A – Área da microbacia (ha);

Para Tucci (2000), o coeficiente de escoamento é dado como a relação entre o volume total do escoamento superficial e o volume precipitado, de tal forma que com o aumento da precipitação as perdas iniciais são atendidas e a capacidade de infiltração diminui ocasionando o aumento do escoamento superficial. Brasil (2006), através do manual de drenagem de rodovias, apresenta os valores do coeficiente de escoamento mais utilizados em rodovias (Quadro 2).

Quadro 2: Coeficientes de runoff para rodovias

CARACTERÍSTICAS DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO
Revestimento de concreto de cimento portland	0,70-0,90
Revestimento betuminoso	0,80-0,85
Revestimento primário	0,40-0,60
Solos sem revestimento com baixa permeabilidade	0,40-0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10-0,30
Taludes gramados	0,50-0,70
Prados e campinas	0,10-0,40
Áreas florestais	0,10-0,25
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15-0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10-0,30

Fonte: Brasil (2006).

Da mesma maneira, Garotti e Barbassa (2010) ressaltam que o coeficiente de escoamento para bacias urbanas é variável em função de alguns fatores que compõem a bacia, sendo eles: o tipo, cobertura e permeabilidade do solo; taxa de ocupação; tempo de concentração; e entre outros. Tendo em vista esses e outros fatores os autores apresentam os quadros 3 e 4, que exibem os valores do coeficiente de escoamento em função da urbanização e em relação aos diferentes tipos de superfícies presente nas bacias respectivamente.

Quadro 3: Coeficiente de runoff em função da urbanização

Zonas	Valores de C
De edificação muito densa: partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas;	0,70 a 0,95
De edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas;	0,60 a 0,70
De edificação com pouca superfície livre: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas;	0,50 a 0,60
De edificação com muitas superfícies livres: partes residenciais tipo cidade-jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas;	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação: partes de arredores com pequena densidade de construções;	0,10 a 0,25
De matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Wilken (1978 apud GAROTTI; BARBASSA, 2010, p. 21).

Quadro 4: Coeficiente de runoff em relação aos diferentes tipos de superfícies da bacia

Telhados perfeitos sem fuga;	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas em bom estado;	0,85 a 0,90
Pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas;	0,70 a 0,85
Para superfícies anteriores sem as juntas tomadas;	0,50 a 0,70
Pavimentação de blocos inferiores sem as juntas tomadas;	0,40 a 0,50
Estradas macadamizadas;	0,25 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulho;	0,15 a 0,30
Superfícies não-revestidas, pátios de estradas de ferro e terrenos descampados, parques, jardins, dependendo da declividade;	0,10 a 0,30
Do solo na natureza e do subsolo.	0,01 a 0,20

Fonte: Villela e Mattos (1980 apud GAROTTI; BARBASSA, 2010, p. 21).

Assim como o coeficiente de escoamento, a intensidade máxima média é medida em função da região da bacia de estudo. Porém, nesse caso, levam-se em consideração as curvas de Intensidade Duração e Frequência (IDF). Garcia et al. (2011) afirma que quantificar as curvas de IDF não é tarefa fácil, pois para tal necessita-se de uma grande disponibilidade de estações e maiores tempos de observações. Os autores completam, que para bacias menores o trabalho torna-se mais difícil, pois exigem dados das precipitações em períodos menores que a um dia.

Segundo Targa et al. (2012) para a utilização de todos os dados obtidos, através das curvas de IDF da região estudada, necessita-se aplica-los nas equações de chuvas. Villela e Mattos (1975) apresentam abaixo, a equação de chuvas mais utilizada para a obtenção dos dados da intensidade máxima média:

$$Im = \frac{K * (TR)^a}{(t * b)^c} \quad (2)$$

Onde:

Im – Intensidade máxima média de precipitação (mm/h);

TR – Período de retorno (anos);

t – Tempo de precipitação (minutos);

K, a, b, c – Parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

3 METODOLOGIA

Nesta seção estão dispostos todas as características da região estudada e os materiais e métodos que foram empregados para a realização do presente trabalho.

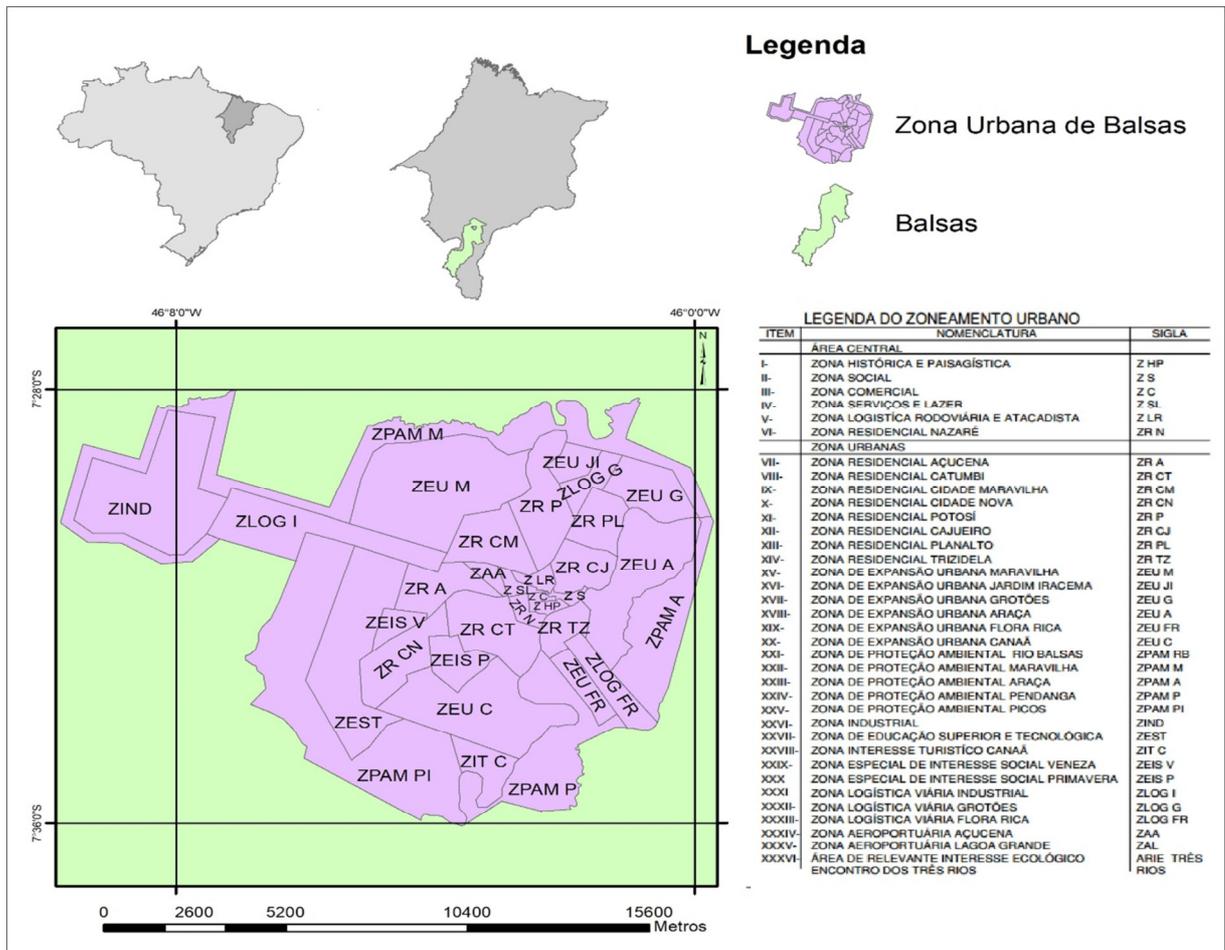
3.1 Características do local

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a cidade de Balsas iniciou-se como um porto de vendas as margens do rio das Balsas, onde os grandes fazendeiros se deslocavam para acesso as fazendas do município de Riachão. Após a chegada de Antônio Ferreira Jacobina, que tempos depois se tornou líder do até então povoado, o porto começou a ganhar moradores e expandir os territórios do povoado além das margens do Rio das Balsas. Posteriormente, o povoado tornou-se a Vila de Santo Antônio de Balsas, em seguida, pela Lei estadual nº 775 de 22/03/1918, foi denominada Cidade de Santo Antônio de Balsas e só em 30/12/1943, através do decreto-lei nº 820, passou a se chamar Balsas.

Balsas fica situada no sul do estado do Maranhão (Figura 6) e, segundo Weather Spark (2019), durante todo o ano o clima é quente com temperaturas médias máximas e mínimas acima de 36° C e abaixo de 31° C, respectivamente, conforme mostrado na Figura 7.

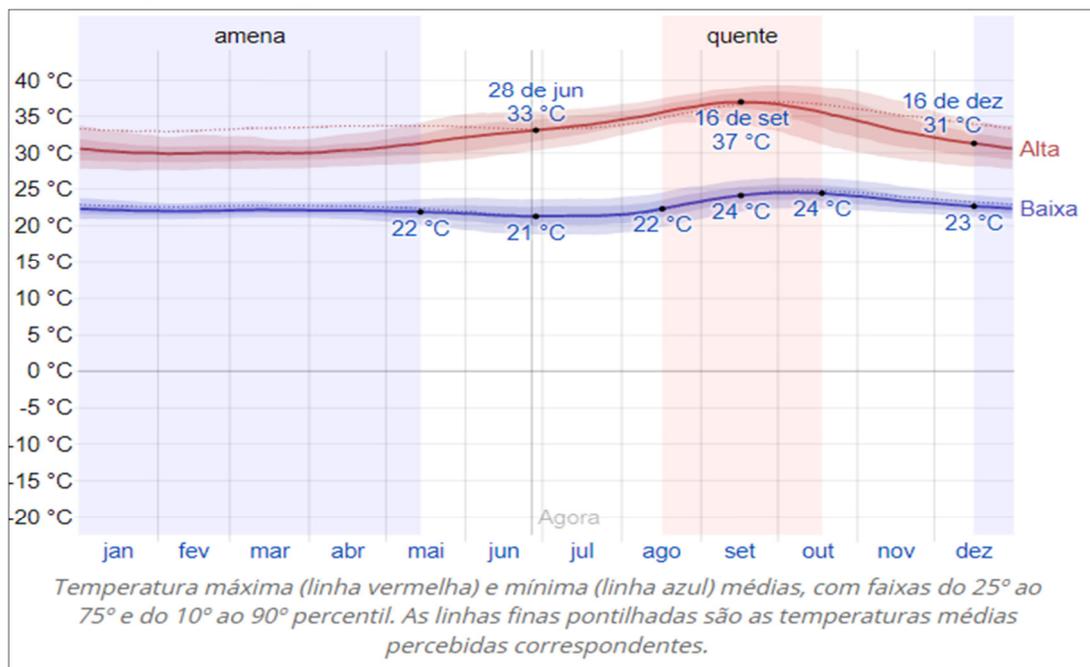
O período chuvoso do município perdura por oito meses que vão de setembro a junho, a estação seca representa os outros quatro meses com menor probabilidade de um evento de precipitação no mês de julho. Na figura 8, logo abaixo, pode-se observar que o mês mais chuvoso é o de janeiro, com acumulação total média de 183 mm, e o menos chuvoso o de julho, com acumulação média de 2 mm.

Figura 6: Mapa de localização de Balsas/MA



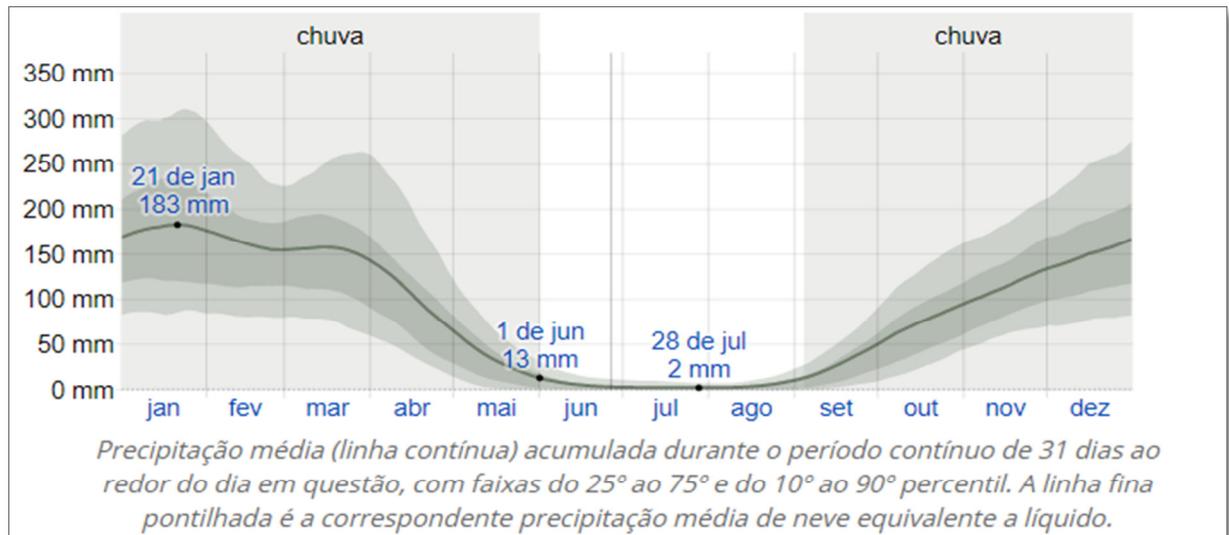
Fonte: adaptado de IBGE (2015) e Balsas (2018).

Figura 7: Temperaturas máximas e mínimas médias em Balsas/MA



Fonte: Weather Spark (2019).

Figura 8: Chuva mensal média em Balsas/MA



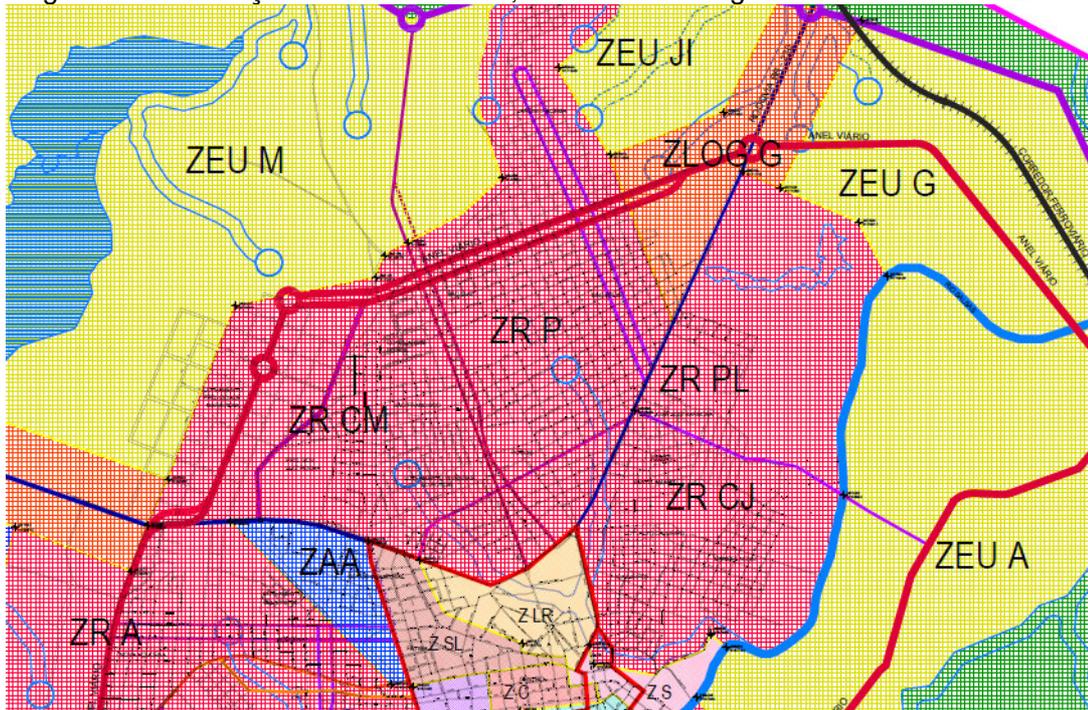
Fonte: Weather Spark (2019).

Segundo o IBGE (2017), a economia balsense é movida pelo comércio das indústrias de grãos, pois a mesma é cercada de grandes fazendas produtoras de milho, soja, milheto, arroz e entre outros grãos. Segundo Pereira et al. (2018), Balsas está inserida na região conhecida como Matopiba, que é uma região composta por 336 municípios dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que é de onde se origina o nome. Os estados que compõem o Matopiba estão predominantemente no bioma cerrado e se desenvolvem pela grande produtividade da agricultura. Ainda segundo os autores, 41,3 % da economia da cidade de Balsas se baseia na agropecuária.

Além disso, a cidade possui uma área territorial de aproximadamente 13.141,757 km² (IBGE, 2017), população estimada em 93.826 pessoas (IBGE, 2018) e produto interno bruto per capita de R\$ 25.591,91 (IBGE, 2016).

Segundo Balsas (2018), através do plano diretor da cidade de Balsas/MA, conforme a Lei 1.396 de 2018 que dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo do município de Balsas/Maranhão e trata de outras providências, a cidade é dividida em 36 zonas (Figura 6), dentre estas zonas estão contidas zonas residenciais, zonas comerciais, zona de serviço e lazer, e zonas de expansão (BALSAS, 2018). As zonas que abrangem a área de estudo são a Zona Logística, Rodoviária e Atacadista (ZLR), Zona Residencial Potosí (ZRP) e Zona Residencial Cajueiro (ZR CJ). A Figura 9 apresenta os limites entre as Zonas ZLR, ZR CJ e ZR P.

Figura 9: Delimitação das Zonas ZRP, ZRCJ e ZLR segundo a Lei 1.396 de 2018



Fonte: Balsas (2018).

A Zona Logística, Rodoviária e Atacadista (ZLR) é uma zona predominantemente comercial, e teve sua expansão por estar as margens da BR – 230 e pela construção do terminal rodoviário da cidade. Antes da divisão da cidade em zonas, a Zona Logística, Rodoviária e Atacadista fazia parte do bairro Centro. O comércio de automóveis e oficinas mecânicas são os principais fins lucrativos da zona, tais empreendimentos foram construídos pelos proprietários. A ZLR é uma das zonas mais movimentadas da cidade, tanto pela chegada e saída de moradores em detrimento do terminal rodoviário, quanto pelos grandes comércios que nela possuem, pois nesta zona estão localizadas as principais vias arteriais da cidade que fazem a ligação das zonas residenciais com o centro da cidade.

A Zona Residencial Potosí (ZRP) tem seus limites geográficos com a Zona Residencial Cajueiro e com a Zona Logística, Rodoviária e Atacadista. A ZRP é constituída por residências de classe média a baixa, sendo ela densamente povoada. A expansão da zona iniciou-se com o surgimento dos grandes comércios da ZLR e a necessidade de estar próximos a eles. Todas as residências da zona foram financiadas pelos próprios moradores, tendo em vista que nenhum programa habitacional foi aplicado na zona. Antes da divisão do município em zonas a ZRP

era constituída pelos bairros Potosí, São Félix, São Luís, Jardim Iracema e partes dos bairros São Francisco e Vivendas do Potosí.

Com a implantação das zonas no município de Balsas, unificou-se o bairro Cajueiro com partes do bairro Conjunto Planalto e criou a Zona Residencial Cajueiro (ZR CJ). A ZR CJ é ocupada predominantemente de residências de classe média a alta e por alguns centros comerciais. Sua ocupação foi realizada pelos grandes fazendeiros que chegaram a cidade e construíram suas residências nesta zona. Além disso, a zona também possui alguns centros comerciais, muitos deles construídos por estarem localizados ao lado da BR – 230, dentre eles a existência de grandes oficinas mecânicas e escritórios no ramo do agronegócio

3.2 Materiais e métodos

O trabalho iniciou-se por uma fase de levantamento de estudos e coletas de dados, a fim de captar o máximo de informações possíveis a respeito do uso e ocupação do solo, precipitações e topografia da cidade de Balsas. Junto a Secretaria Municipal de Infraestrutura da cidade de Balsas/MA foram obtidos um levantamento topográfico e uma imagem de satélite que cobriam toda a área de estudo. O levantamento topográfico obtido estava em meio digital, na extensão dwg e indica curvas de nível em toda a zona urbana do município, as curvas de nível foram locadas com espaçamento de cinco metros. A imagem utilizada foi captada pelo do Satélite Pleiades no ano de 2016, com resolução de 50 cm e estava na extensão tif.

Com a imagem de satélite e os dados topográficos, foi possível, com auxílio do software AutoCad, delimitar a área de uma microbacia, pela observação das cotas topográficas, onde ocorrem constantes alagamentos. Há várias formas de se delimitar uma bacia ou microbacia de uma região como, por exemplo, por observação visual ou com auxílio de softwares específicos. Neste caso, optou-se por observação visual. Há outras microbacias menores no município, mas o trabalho focou apenas em uma delas tendo em vista que a quantidade de problemas de drenagem urbana nesse local. Então, nessa microbacia foram mapeados os tipos de pavimentação existentes nas ruas. Todos esses passos foram realizados no software Autocad 2013.

Do mesmo modo em que foram mapeados os limites da microbacia, determinou-se três pontos de controle de vazão dentro da microbacia estudada.

Esses pontos servirão, como o próprio nome diz, como controle para avaliar as possíveis mudanças no escoamento superficial com a adoção de pavimentação asfáltica na região acima desses pontos, ou seja, na região de montante. Esses locais foram escolhidos porque toda a vazão a montante passa pelos mesmos, além de serem pontos de constantes alagamentos no período chuvoso. A escolha dos pontos de controle também se caracterizou pelo fato de que estas seções de controle podem ser medidas, o que torna viável o estudo e concepção das consequências da alteração dos tipos de pavimentos das vias a montante. Esses pontos de controle foram visitados durante o período de 12 de Março a 20 de maio de 2019 e, durante essas visitas, foram feitos tanto levantamentos fotográficos quanto levantamento das dimensões das seções transversais. As fotos foram tiradas com celular e as medias das seções dos pontos de controle foram tiradas com fita métrica. Durante essas visitas de campo também foram fotografados locais onde geralmente há alagamentos como mostrado nas Figuras 10, 11 e 12.

Posteriormente, o mapeamento dos limites dos diferentes tipos de pavimentos das vias inseridas dentro da microbacia foram realizados no Autocad. Todavia, utilizou-se o software ArcGIS Desktop 10.3 para quantificar metricamente todas as áreas dos diferentes tipos de pavimento.

O software ArcGIS Desktop 10.3 é um programa de geoprocessamento, desenvolvido pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), que possui várias ferramentas para manipulação de dados geográficos, tais como a obtenção de áreas de mapeamento de uma forma mais otimizada quando comparado com o software Autocad.

Figura 10: Ponto de alagamento na Rua 03 da Zona Residencial Cajueiro.



Fonte: Autoria própria.

Figura 11: Ponto de alagamento na Avenida Juscelino Kubitschek da Zona Residencial Potosí.



Fonte: Autoria própria.

Figura 12: Ponto de alagamento na Rua Presidente João Figueredo da Zona Residencial Potosí.



Fonte: Autoria própria.

Segundo o que foi apresentado por Garroti e Barbassa (2010), após a obtenção de todos os dados de entrada da equação 1 calculou-se as vazões máximas de escoamento para a microbacia em dois cenários, aplicando a mesma

intensidade média máxima. O primeiro cenário é o atual estado da microbacia, onde caracterizou-se cada tipo de ocupação das áreas de influência e conheceu-se suas respectivas vazões. O segundo cenário calculado baseou-se em um possível estado futuro da microbacia, onde todas as vias em piçarra fossem pavimentadas sem um devido sistema de drenagem urbana, assim como vem acontecendo em algumas áreas da cidade de Balsas.

Como os dados de chuva iriam ser usados para a composição das curvas de Intensidade Duração e Frequência (IDF) e suas respectivas equações, preferiu-se utilizar as informações de Campos et al. (2015), que obteve os parâmetros da Equação 2 para todos os municípios do Maranhão. Para Balsas, os autores acharam os coeficientes para dez estações meteorológicas existentes no município. Dentre essas, escolheu-se a que está mais próxima da microbacia estudada. Sendo assim, os coeficientes utilizados no trabalho estão indicados na Equação 3. Tais parâmetros foram utilizados valores de 931,11; 0,231; 10 e 0,742 para k, a, b e c respectivamente para a equação abaixo, conforme Campos et al. (2015).

$$Im = \frac{9311,11 * (TR)^{0,231}}{(t * 10)^{0,742}} \quad (3)$$

Posteriormente, calcularam-se as intensidades máximas médias de precipitação para a microbacia estudada através da equação acima. As intensidades calculadas têm como variável a duração da precipitação e o tempo de retorno das mesmas. Logo abaixo estão listados a duração e o tempo de retorno calculados para a execução do presente trabalho:

- Chuva de cinco minutos com tempo de retorno de dois anos;
- Chuva de sete minutos com tempo de retorno de cinco anos;
- Chuva de dez minutos com tempo de retorno de 15 anos;
- Chuva de 15 minutos com tempo de retorno de 50 anos;
- Chuva de 20 minutos com tempo de retorno de 150 anos.

A escolha da duração e dos tempos de retornos apresentados acima, baseou-se nos dados da CNRH, para que os mesmos estivessem apropriados com os eventos de precipitação que já ocorreram efetivamente no município.

O cálculo da vazão máxima de escoamento iniciou-se com o levantamento de todas as variáveis de intensidade, ocupação do solo das áreas de influência e do coeficiente de runoff para os diferentes tipos de cobertura do solo da microbacia. Dessa maneira foi possível identificar a vazão máxima de escoamento segundo Equação 1.

As áreas de influência foram calculadas e divididas segundo sua ocupação do solo: lotes, vias pavimentadas, vias em piçarra, vias em bloquete ou canteiros centrais. Utilizou-se novamente o software ArcGis Desktop para o levantamento das áreas de cada ocupação do solo.

Após a identificação das cinco intensidades, definiu-se através dos quadros 3 e 4 os valores do coeficiente de runoff do cenário atual para os lotes, para as vias pavimentadas, para as vias em piçarra e para as vias em bloquete, assim como proposto por Garroti e Barbassa (2010). As vias em piçarra, bloquete e pavimento apresentaram valores únicos para as três áreas de contribuição dos pontos de controle de vazão, iguais a 0,30, 0,85 e 0,90 respectivamente. Contudo, o coeficiente de runoff é variável para os lotes das três áreas, pois o mesmo leva em consideração as áreas livres e o tipo de cobertura das vias que cruzam a área em questão. Dessa forma, os coeficientes de runoff utilizados para os lotes foram de 0,50, 0,70 e 0,95 para as áreas dos pontos de controle de vazão 1, 2 e 3 respectivamente.

Assim como no cenário atual da microbacia, os coeficientes de escoamento das vias em piçarra, bloquete e pavimento apresentaram valores únicos para as três áreas de contribuição dos pontos de controle de vazão, iguais a 0,30, 0,85 e 0,90 respectivamente para o cenário futuro. Todos os coeficientes de runoff foram retirados dos quadros 3 e 4. No entanto, o coeficiente de runoff dos lotes alterou-se com a proposição de todas as vias pavimentadas, onde as áreas livres tornam – se menores com a execução da pavimentação e os respectivos passeios públicos e calçadas. Dessa forma as áreas de contribuição dos lotes dos pontos de controle de vazão 1 e 2 apresentaram coeficiente de runoff de 0,70 e a área de contribuição dos lotes do ponto de controle de vazão 3 obteve coeficiente de runoff igual a 0,95.

Com os valores das vazões máximas de escoamento calculou-se a altura da lâmina d'água sobre os três pontos de controle de vazão através da Equação de Manning (Equação 4).

$$Q = A * Rh^{\frac{2}{3}} * \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão máxima de escoamento (m³/s);

A = área da seção (m²);

Rh = Raio hidráulico (m);

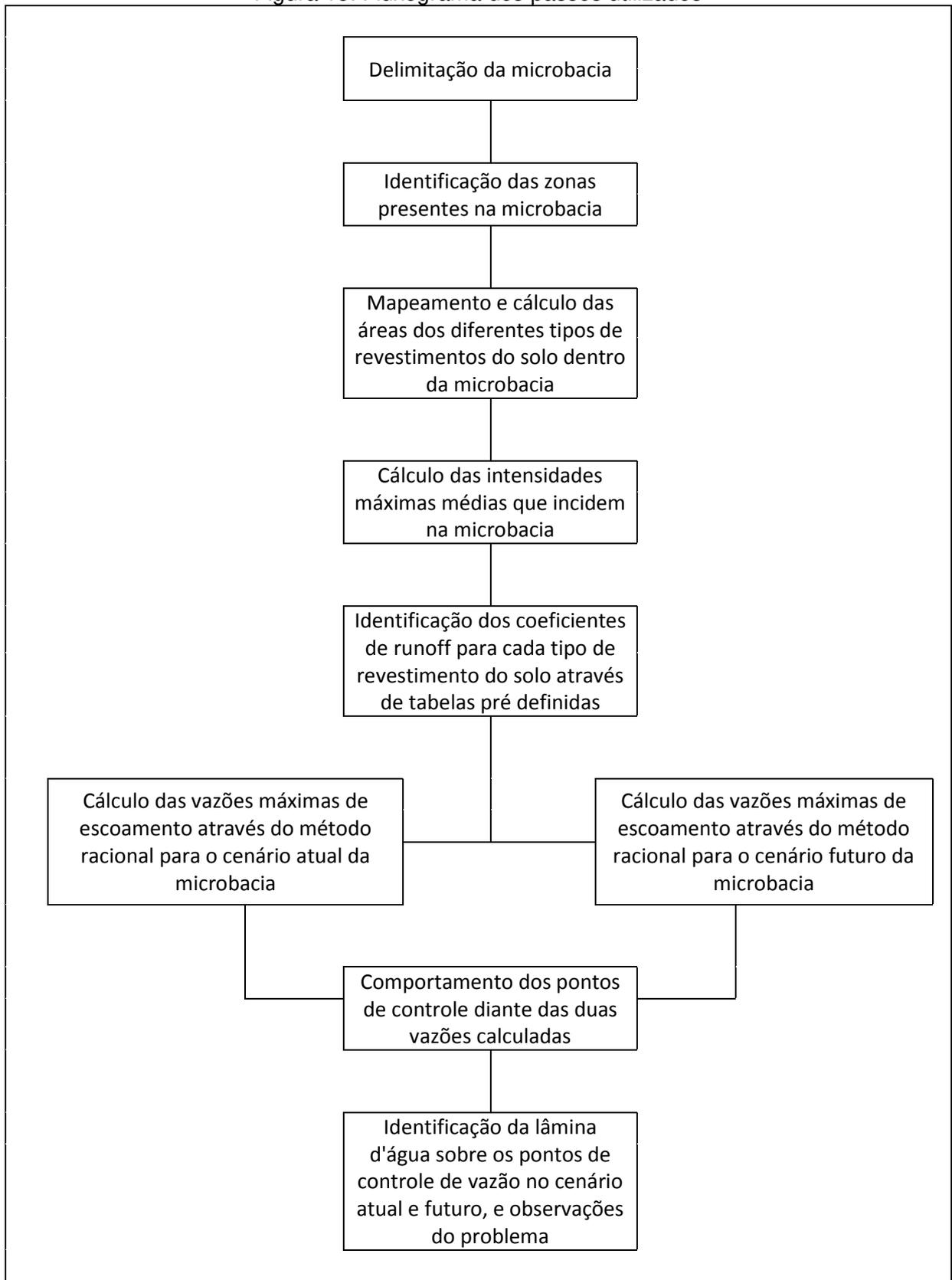
n = rugosidade da parede do tubo.

I = inclinação do canal.

Para a variável “n” da equação acima se adotou o valor de 0,011 sugerido por Porto (2006) para os casos de canal retangular e trapezoidal revestidos por concreto. Os valores das inclinações das três seções de controle foram obtidos em loco, obtendo valor de 1 %, com a utilização de uma trena de 50 metros e a fixação de uma referência de nível para obtenção das cotas de entrada e saída das seções de controle.

A Figura 13 mostra todos os passos realizados para a obtenção dos resultados finais deste trabalho, partindo da identificação da microbacia, cálculo das áreas dos diferentes tipos de revestimento do solo, cálculo das intensidades máximas médias que incidem sobre a microbacia estudada, identificação dos coeficientes de runoff, cálculo das vazões máximas de escoamento e a avaliação destas em função dos três pontos de controle de vazão.

Figura 13: Fluxograma dos passos utilizados



Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção estão dispostos todos os resultados obtidos durante a realização do presente trabalho.

4.1 Delimitação da microbacia

Utilizando a imagem de satélite e os dados topográficos obtidos, foi possível delimitar a área de contribuição da microbacia que fica situada na área de estudo. A Figura 14 representa a microbacia dentro da cidade. Após a delimitação, percebeu-se então que a microbacia abrange três zonas, Sendo elas: A Zona Logística, Rodoviária e Atacadista (ZLR); a Zona Residencial Potosí (ZRP) e a Zona Residencial Cajueiro (ZR CJ). A Figura 15 mostra os limites das três zonas dentro da microbacia estudada.

Figura 14: Delimitação da microbacia estudada dentro do município de Balsas-MA.



Fonte: Autoria própria.

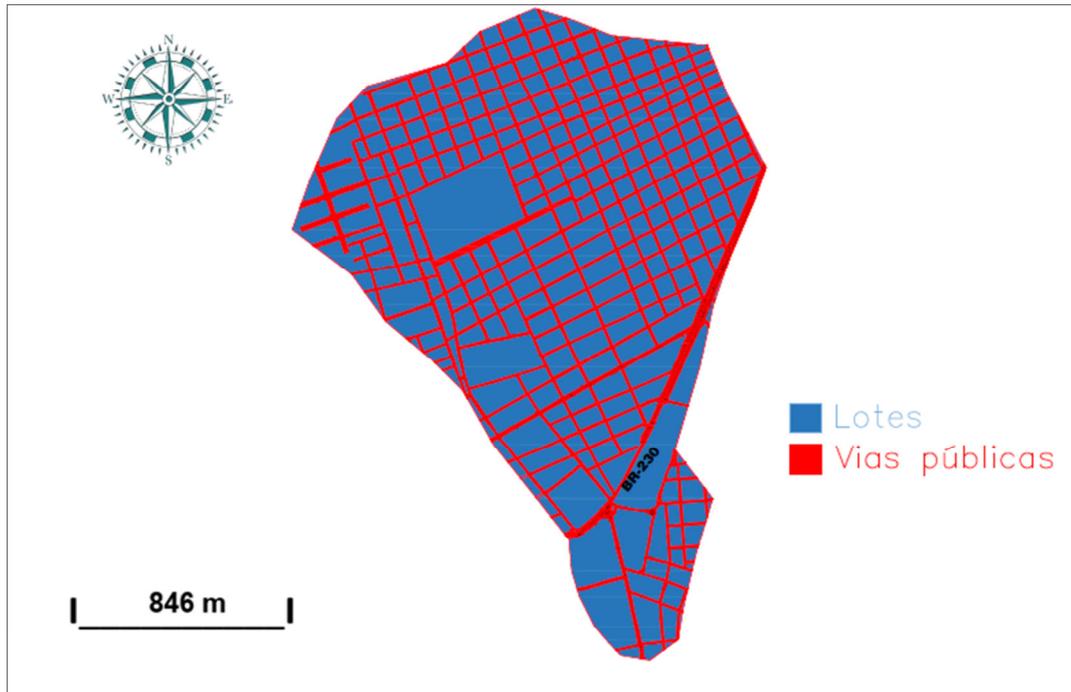
Figura 15: Delimitação das Zonas ZR P, ZR CJ e ZLR dentro da microbacia estudada.



Fonte: Autoria própria.

A microbacia estudada possui 3,45 km² que representa 2,80 % da área urbana total do município. Desta área, a Zona Logística, Rodoviária e Atacadista (ZLR) representa 3,62 %, a Zona Residencial Potosí (ZRP) representa 83,97 % e a Zona Residencial Cajueiro (ZR CJ) representa 12,41 %. Em termos de uso e ocupação do solo a área da microbacia dividiu-se em três grupos: lotes, vias públicas e canteiros centrais, em termos de percentagem em relação a microbacia estudada é de 81,40%, 17,96 % e 0,64 % respectivamente. A Figura 16 mostra todos os lotes e vias públicas dentro da microbacia, já a Figura 17 apresenta um modelo de canteiro central presente na microbacia estudada.

Figura 16: Lotes e vias públicas dentro da microbacia



Fonte: Autoria própria.

Figura 17: Canteiro central na Avenida Brasil da zona ZRP

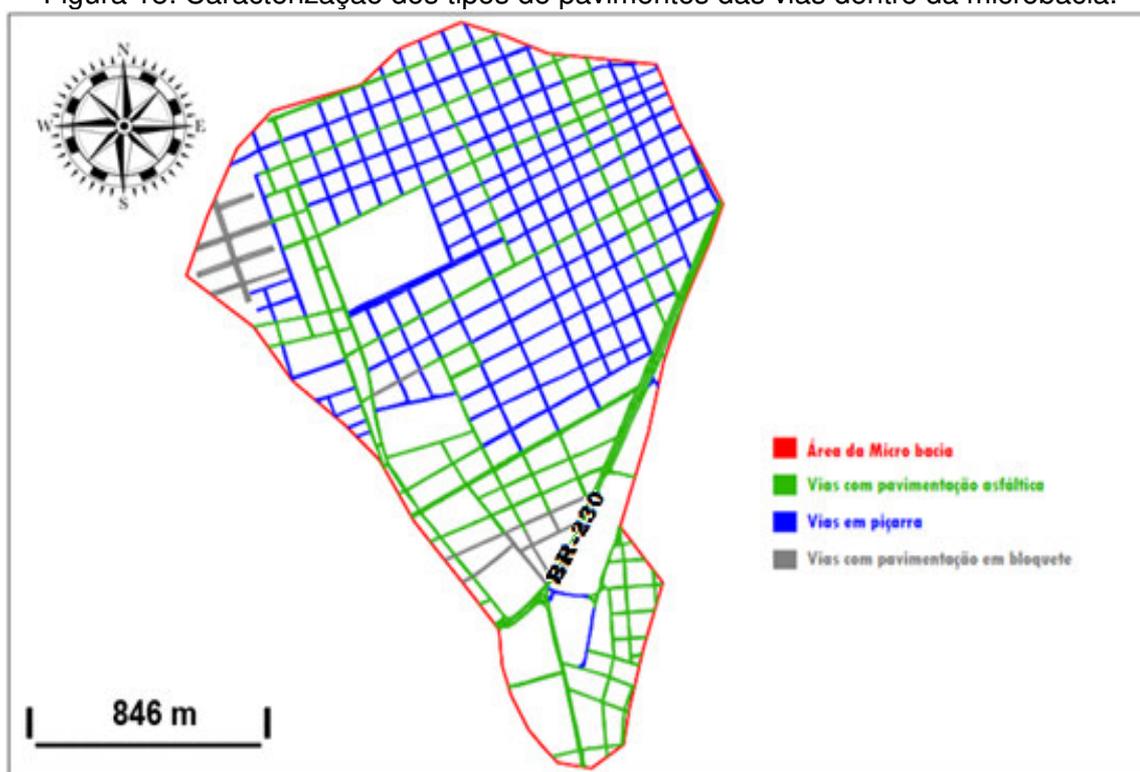


Fonte: Autoria própria.

4.2 Tipo de pavimento das vias da microbacia

Com base na imagem de satélite e com algumas visitas em campo, foram identificados três tipos de pavimentos: Vias com pavimentação asfáltica; Vias em piçarra ou em leito natural; e vias com pavimentação em bloquete, como mostrado na Figura 18.

Figura 18: Caracterização dos tipos de pavimentos das vias dentro da microbacia.



Fonte: Autoria própria.

Na tabela 1, estão indicadas as áreas de cada tipo de pavimento dentro da microbacia. As figuras 19, 20 e 21 mostram as características físicas dos três tipos de recobrimentos do solo presentes nas vias públicas da microbacia.

Tabela 1: Áreas de cobertura por tipo de pavimentação dentro da microbacia.

Tipo de Pavimentação	Área (km²)	Porcentagem dentro da microbacia
Vias com pavimentação asfáltica	269,53	7,80%
Vias em piçarra	306,49	8,87%
Vias com pavimentação em bloquete	44,70	1,29%
Total	620,72	17,96%

Fonte: Autoria própria.

Pela tabela 1, verifica-se que praticamente metade das vias da microbacia não possuem nenhum tipo de revestimento, o que representa 49,38 % das vias existentes na microbacia. A outra metade fica dividida entre as vias pavimentadas, com um total de 43,42%, e as vias em bloquete com 7,20 %, conforme mostrado na Figura 18. Com isto, percebe-se que implementar a pavimentação asfáltica nas áreas em piçarra sem um devido sistema de drenagem urbana, que não preveja soluções para toda a vazão da atual área e a vazão futura de possíveis áreas de expansão, poderá agravar os problemas de enchente nas zonas mais baixas da microbacia.

Figura 19: Rua Silva Jardim da zona ZRP com revestimento em bloquete



Fonte: Autoria própria.

Figura 20: Rua 03 da zona ZRCJ com revestimento asfáltico



Fonte: Autoria própria.

Figura 21: Avenida JK da zona ZRP com revestimento em piçarra

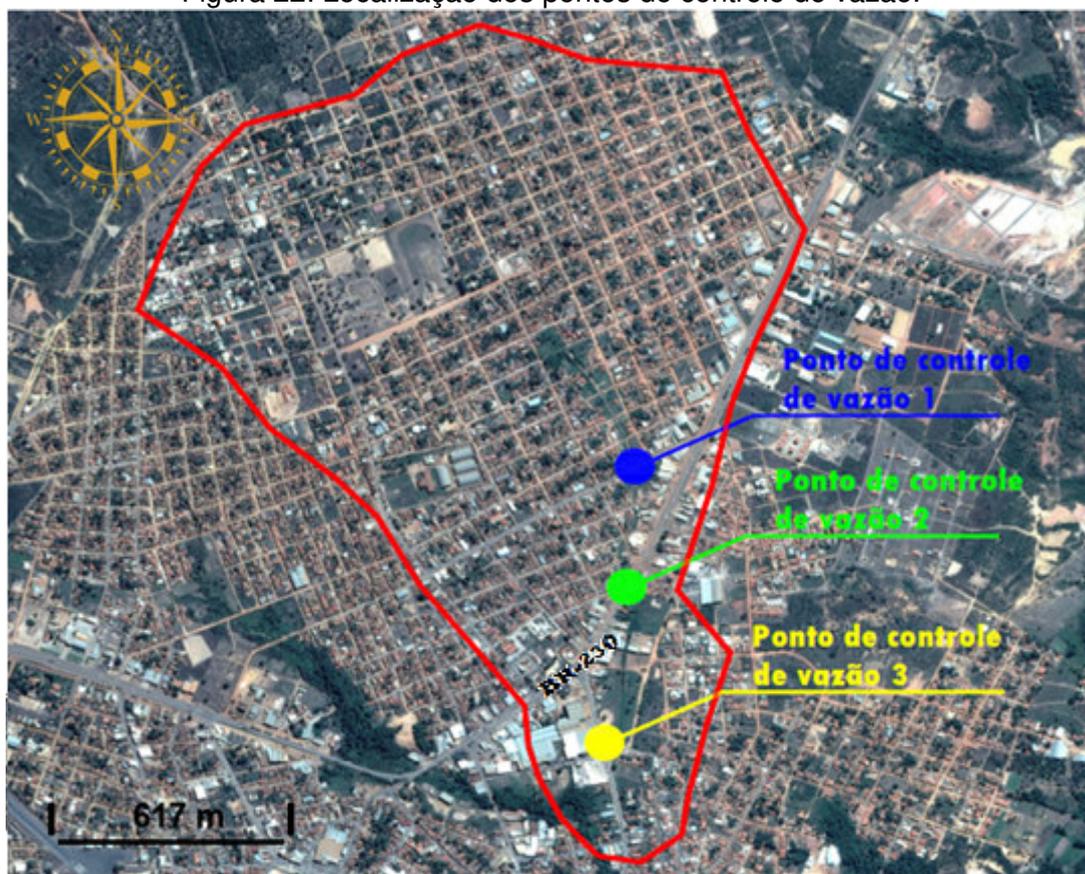


Fonte: Autoria própria.

4.3 Pontos de controle

Todas as vias da microbacia seguem o curso natural do terreno em direção aos pontos de controle definidos. Dessa forma, tais pontos de controle limitam a passagem da vazão escoada pelas vias, cenário que pode se alterar conforme o surgimento de novas obras de engenharia que não prevejam a execução de sistemas de drenagem urbana a montante destes pontos. A escolha destes pontos de controle (Figura 22) se deu pelos constantes alagamentos em eventos de precipitação, dificultando a passagem de automóveis e pedestres nestas vias em dias de chuva. Além disso, os três pontos de controle se localizam em vias arteriais de grande circulação.

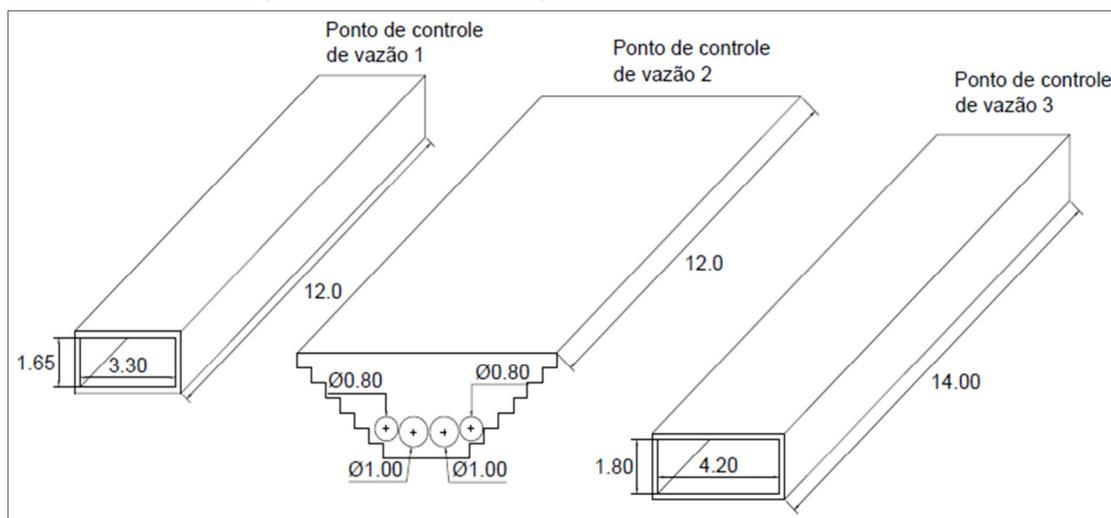
Figura 22: Localização dos pontos de controle de vazão.



Fonte: Autoria própria.

O ponto de controle de vazão 1 fica localizado na Avenida Brasil da Zona Residencial Potosí e atualmente possui um bueiro celular retangular de concreto armado com dimensões de 3,30 m x 1,65 m x 12 m. O ponto de controle de vazão 2 fica situado na BR-230 na divisa Zona Residencial Potosí com a Zona Residencial Cajueiro. Atualmente, esse ponto de controle possui dois bueiros simples tubulares de concreto de um metro de diâmetro com 12 metros de extensão e dois bueiros simples tubulares de concreto de 0,80 metros de diâmetro com 12 metros de extensão. O ponto de controle de vazão 3 fica instalado na Avenida Coronel Fonseca na divisa Zona Residencial Cajueiro com a Zona Logística, Rodoviária e Atacadista. Atualmente, o ponto de controle possui um bueiro celular de concreto retangular com dimensões de 4,20 m x 1,80 m x 14 m. A Figura 23 mostra a seção dos três pontos de controle de vazão.

Figura 23: Seções dos pontos de controle de vazão



Fonte: Autoria própria.

O ponto de controle de vazão 1, mostrado na Figura 24, drena 2,54 Km² da bacia, o que representa 73,43 % de toda área. Toda a vazão a montante que chega neste ponto é drenada por um córrego que é alimentado pelas águas das chuvas em eventos de precipitação que escorrem pelas vias da microbacia. Este córrego não possui contenções e apresenta taludes em solo natural em toda sua extensão, conforme mostrado na Figura 25.

Figura 24: Bueiro celular de concreto localizado na Avenida Brasil da zona ZR P.



. Fonte: Autoria própria.

Figura 25: Córrego a montante do ponto de controle de vazão 1.



Fonte: Autoria própria.

O ponto de controle de vazão 2, apresentado na Figura 26, recebe toda vazão a jusante do ponto de controle 1 e drena mais 0,36 Km², sendo assim o ponto de controle 2 drena uma área de 2,90 Km², que representa 83,95 % da área total da microbacia estudada. Dessa maneira, toda a vazão a montante do ponto de controle de vazão 2 é drenada por um córrego que, igualmente ao ponto de controle de vazão 1, é alimentado pelas águas das chuvas em eventos de precipitação que escorrem pelas vias da microbacia. Esse córrego é a continuação do ponto de controle de vazão 1 e o trecho a montante desse ponto de controle de vazão 2 possui um muro de contenções em concreto em toda sua extensão, com dimensões de 2,5 m x 4,0 m x 14,0 m conforme mostrado na Figura 27, já o trecho a jusante não possui contenções e apresenta taludes em solo natural.

Figura 26: Bueiros tubulares de concreto na BR-230 das zonas ZR P e ZR CJ.



Fonte: Autoria própria.

Figura 27: Córrego a montante do ponto de controle de vazão 2.



Fonte: Autoria própria.

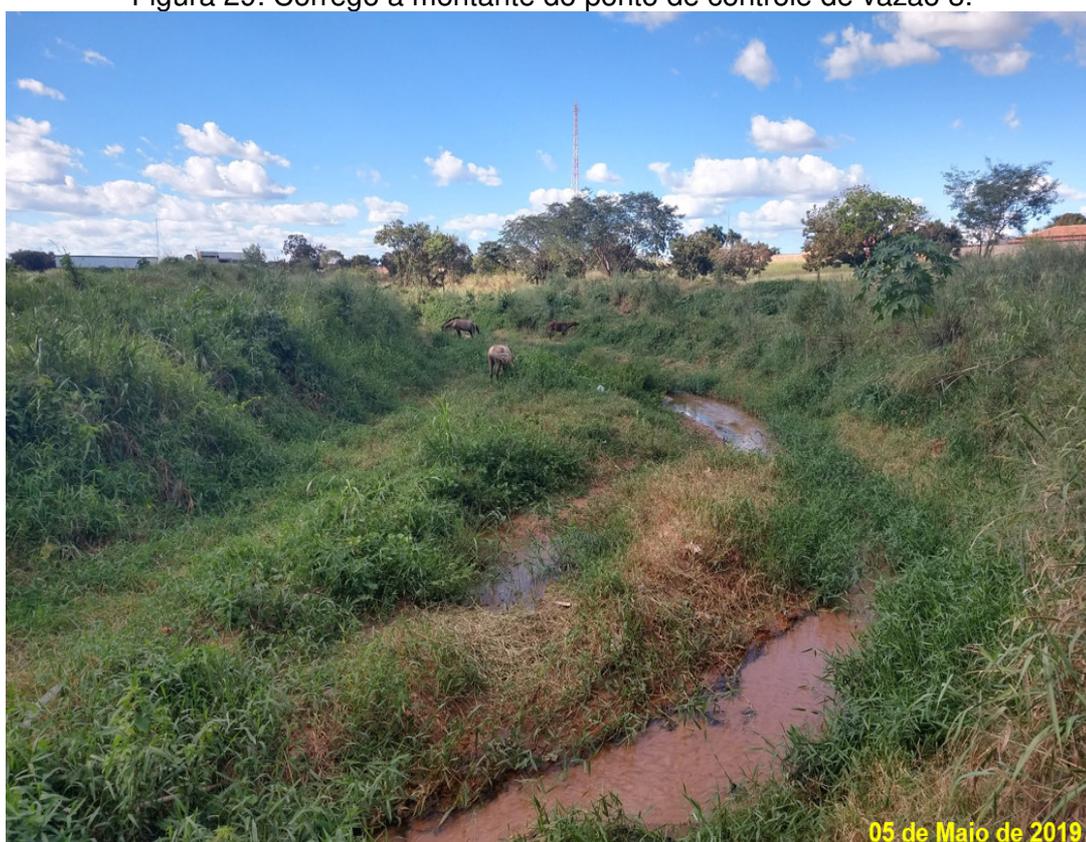
O ponto de controle de vazão 3, demonstrado na Figura 28, recebe toda a vazão de jusante do ponto de controle 2 e drena mais 0,42 Km², dessa maneira o ponto de controle 3 drena praticamente toda a área da microbacia estudada. A vazão oriunda dos 0,13 Km² restantes chega a jusante do ponto de controle de vazão 3. Assim como nos outros pontos de controle, o ponto de controle de vazão 3 é antecedido por um córrego, que é alimentado pelas águas das chuvas em eventos de precipitação que escorrem pelas vias da microbacia. Este córrego é a continuação do ponto de controle de vazão 2, o mesmo não possui contenções e apresenta taludes em solo natural em toda sua extensão, conforme mostrado na Figura 29.

Figura 28: Bueiro celular de concreto na Avenida Coronel Fonseca das zonas ZR CJ e ZLR.



Fonte: Autoria própria.

Figura 29: Córrego a montante do ponto de controle de vazão 3.



Fonte: Autoria própria.

Dessa forma, a tabela 2 apresenta as áreas de ocupação da microbacia em km², em função dos três pontos de controle de vazão.

Tabela 2: Ocupação do solo da microbacia em função dos pontos de controle de vazão

	OCUPAÇÃO DO SOLO (km ²)					TOTAL
	LOTES	VIAS PAVIMENTADAS	VIAS EM PIÇARRA	VIAS EM BLOQUETE	CANTEIROS CENTRAIS	
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 1	2,06	0,14	0,30	0,03	0,01	2,54
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 2	0,34	0,01	-	0,02	0,004	0,36
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 3	0,42	0,12	0,00	-	0,01	0,55
MICROBACIA	2,81	0,27	0,31	0,04	0,02	3,45

Fonte: Autoria própria.

Como mostrado na tabela acima, a área de contribuição do ponto de controle de vazão 1 possui 81,11 % de sua área destinado aos lotes, 5,52 % para as vias pavimentadas, 11,91 % para as vias em piçarra, 1,16 % para as vias em bloquete e

0,29 % destinado aos canteiros centrais. No ponto de controle de vazão 2 os lotes ocupam 93,22 % da área de contribuição, as vias pavimentadas ocupam 1,58 %, as vias em bloquete contemplam 4,18 % e os canteiros centrais 1,02 % da área total da seção. Não diferente dos outros dois pontos, o ponto de controle de vazão 3 possui 74,89 % de sua área destinado aos lotes, 22,32 % para as vias pavimentadas, 0,79 % para as vias em piçarra e 2,0 % destinado aos canteiros centrais.

4.4 Relação precipitação x escoamento superficial

Para que fosse possível determinar a relação entre a precipitação e o escoamento superficial nos três pontos de controle de vazão, admitiu-se a microbacia em dois cenários, sendo eles: O cenário atual, onde se quantifica todas as vazões oriundas dos lotes e das vias públicas, e o cenário futuro, onde se calculou as vazões máximas dos lotes e das vias públicas, admitindo-se que todas as vias em piçarra fossem pavimentadas com revestimento asfáltico sem um devido sistema de drenagem urbana.

4.4.1 CENÁRIO ATUAL DA MICROBACIA

Para que fosse possível avaliar o escoamento superficial da microbacia foi necessário que se conhecesse a intensidade da chuva em mm/h e a vazão em m³/s. Utilizando a equação 2 foi possível determinar cinco intensidades máximas médias que foram utilizadas na análise dos pontos de controle citados no item anterior. Os dados iniciais foram: chuva de cinco minutos com tempo de retorno de dois anos; chuva de sete minutos com tempo de retorno de cinco anos; chuva de dez minutos com tempo de retorno de 15 anos; chuva de 15 minutos com tempo de retorno de 50 anos e chuva de 20 minutos com tempo de retorno de 150 anos, obtendo os valores de intensidade máxima média mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Intensidade máxima média da microbacia em mm/h

DURAÇÃO (Minutos)	TEMPO DE RETORNO (anos)				
	2	5	15	50	150
5 min.	146,51	-	-	-	-
7 min.	-	164,99	-	-	-
10 min.	-	-	188,50	-	-
15 min.	-	-	-	210,96	-
20 min.	-	-	-	-	237,49

Fonte: Autoria própria.

As vias em piçarra, bloquete e pavimento apresentaram valores do coeficiente de escoamento iguais a 0,30, 0,85 e 0,90 respectivamente. Contudo, o coeficiente de runoff é variável para os lotes das três áreas, os coeficientes de runoff utilizados para os lotes foram de 0,50, 0,70 e 0,95 para as áreas dos pontos de controle de vazão 1, 2 e 3 respectivamente.

Conhecendo-se os valores das intensidades máximas médias, das áreas de contribuição e do coeficiente de runoff para os diferentes tipos de cobertura do solo da microbacia, calculou-se através da equação 1 a vazão total de escoamento que chega aos pontos de controle 1, 2 e 3. As vazões foram calculadas para o cenário atual da microbacia e para um cenário futuro onde todas as vias de piçarra sejam pavimentadas.

O valor total das vazões máximas de escoamento nos pontos de controle de vazão é dado pela somatória das vazões oriundas dos lotes e dos três tipos de cobrimentos das vias que cruzam a microbacia nestas áreas. A vazão total dos pontos de controle 2 e 3 levam em consideração a vazão de jusante do ponto de controle 1 e 2 respectivamente, acrescidas da área de contribuição destinadas a cada ponto de controle de vazão, como mostrado na seção 4.3. A Tabela 4 apresenta as vazões máximas de escoamento para os pontos de controle de vazão no cenário atual da microbacia, em função das precipitações apresentadas na tabela 3.

Tabela 4: Vazões máximas de escoamento nos pontos de controle de vazão para o cenário atual da microbacia

		VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
TEMPO DE RETORNO (anos)		2	5	15	50	150
DURAÇÃO (minutos)		5	7	10	15	20
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 1	LOTES	41,87	47,15	53,86	60,28	67,86
	PAVIMENTO	5,13	5,78	6,60	7,39	8,32
	PIÇARRA	3,69	4,15	4,75	5,31	5,98
	BLOQUETE	1,02	1,15	1,31	1,47	1,65
	TOTAL	51,71	58,23	66,52	74,45	83,81
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 2	LOTES	9,65	10,86	12,41	13,89	15,64
	PAVIMENTO	0,21	0,24	0,27	0,30	0,34
	PIÇARRA	***	***	***	***	***
	BLOQUETE	0,53	0,59	0,68	0,76	0,85
	TOTAL	62,09	69,92	79,88	89,40	100,64
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 3	LOTES	16,05	18,08	20,66	23,12	26,02
	PAVIMENTO	4,53	5,10	5,83	6,53	7,35
	PIÇARRA	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	BLOQUETE	***	***	***	***	***
	TOTAL	82,73	93,16	106,44	119,11	134,10

Fonte: Autoria própria.

4.4.2 CENÁRIO FUTURO DA MICROBACIA

Como mostrado na seção anterior, através da Tabela 3, calculou-se as intensidades máximas médias da microbacia em cinco tempos diferentes e com tempos de retorno distintos. Levando em consideração um cenário futuro, onde todas as vias em piçarra sejam pavimentadas sem um devido sistema de drenagem urbana, a ocupação do solo das áreas de contribuição para os pontos de controle de vazão estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5: Ocupação do solo da microbacia em função dos pontos de controle de vazão para o cenário futuro

	OCUPAÇÃO DO SOLO (km ²)					TOTAL
	LOTES	VIAS PAVIMENTADAS	VIAS EM PIÇARRA	VIAS EM BLOQUETE	CANTEIROS CENTRAIS	
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 1	2,06	0,44	-	0,03	0,01	2,54
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 2	0,34	0,01	-	0,02	0,004	0,36
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 3	0,42	0,13	-	-	0,01	0,55
MICROBACIA	2,81	0,58	-	0,04	0,02	3,45

Fonte: Autoria própria.

Previendo um cenário futuro onde as vias em piçarra fossem pavimentadas sem a implantação de um sistema de drenagem urbana o ponto de controle de vazão 1 irá apresentar 81,11 % de sua área destinado aos lotes, 17,43 % para as vias pavimentadas, 1,16 % para as vias em bloquete e 0,29 % destinado aos canteiros centrais. No ponto de controle de vazão 2, os lotes ocupam 93,22 % da área de contribuição, as vias pavimentadas ocupam 1,58 %, as vias em bloquete contemplam 4,18 % e os canteiros centrais 1,02 % da área total da seção. Já o ponto de controle de vazão 3 possui 74,89 % de sua área destinado aos lotes, 23,10 % para as vias pavimentadas e 2,0 % destinado aos canteiros centrais.

Os coeficientes de escoamento das vias em piçarra, bloquete e pavimento apresentaram de 0,30, 0,85 e 0,90 respectivamente para o cenário futuro. Com o cenário pavimentado o coeficiente de runoff dos lotes dos pontos de controle de vazão 1 e 2 apresentaram coeficiente de runoff de 0,70 e a área de contribuição dos lotes do ponto de controle de vazão 3 obteve coeficiente de runoff igual a 0,95.

Considerando a pavimentação de todas as vias de piçarra, e conhecendo-se os valores das intensidades máximas médias, das áreas de contribuição e do coeficiente de runoff para os diferentes tipos de cobertura do solo da microbacia, calculou-se através da equação 1 a vazão total de escoamento que chega aos pontos de controle de vazão 1, 2 e 3. Assim como no cenário atual da microbacia, as vazões máximas de escoamento do cenário futuro foram calculadas pela somatória das vazões oriundas dos lotes e dos dois tipos de cobrimentos das vias que cruzam a microbacia nestas áreas. A vazão total dos pontos de controle 2 e 3 levam em consideração a vazão de jusante do ponto de controle 1 e 2 respectivamente, acrescidas da área de contribuição destinadas a cada ponto de controle de vazão, como mostrado na seção 4.3. A Tabela 6 apresenta as vazões máximas de escoamento para os pontos de controle de vazão no cenário futuro da microbacia, em função das precipitações apresentadas na tabela 3.

Tabela 6: Vazões máximas de escoamento nos pontos de controle de vazão para o cenário futuro da microbacia

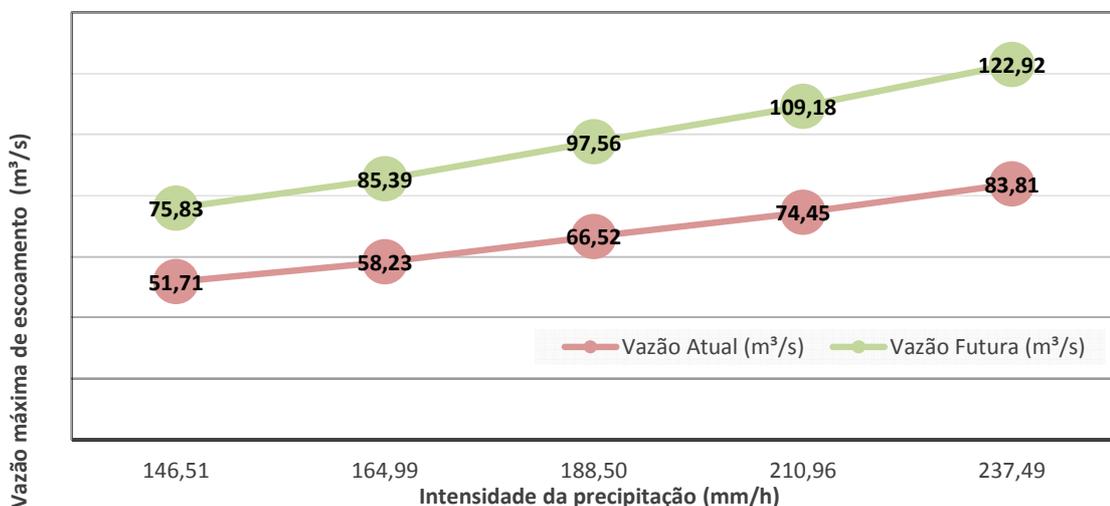
		VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
TEMPO DE RETORNO (anos)		2	5	15	50	150
DURAÇÃO (minutos)		5	7	10	15	20
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 1	LOTES	58,61	66,00	75,41	84,39	95,01
	PAVIMENTO	16,20	18,24	20,84	23,32	26,25
	BLOQUETE	1,02	1,15	1,31	1,47	1,65
	TOTAL	75,83	85,39	97,56	109,18	122,92
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 2	LOTES	9,65	10,86	12,41	13,89	15,64
	PAVIMENTO	0,21	0,24	0,27	0,30	0,34
	BLOQUETE	0,53	0,59	0,68	0,76	0,85
	TOTAL	86,21	97,09	110,92	124,13	139,75
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 3	LOTES	16,05	18,08	20,66	23,12	26,02
	PAVIMENTO	4,69	5,28	6,04	6,76	7,61
	BLOQUETE	***	***	***	***	***
	TOTAL	106,96	120,45	137,61	154,00	173,38

Fonte: Autoria própria.

4.5 Avaliação dos pontos de controle de vazão para o cenário atual e futuro da microbacia

Após a aplicação do método racional, obtiveram-se os valores das vazões máximas de escoamento para o cenário atual e futuro da microbacia. A partir deste dado, foi possível analisar os pontos de controle de vazão e as consequências das diferentes intensidades de chuvas aplicadas sobre a microbacia. No Gráfico 1 é possível analisar o aumento da vazão máxima de escoamento no ponto de controle de vazão 1.

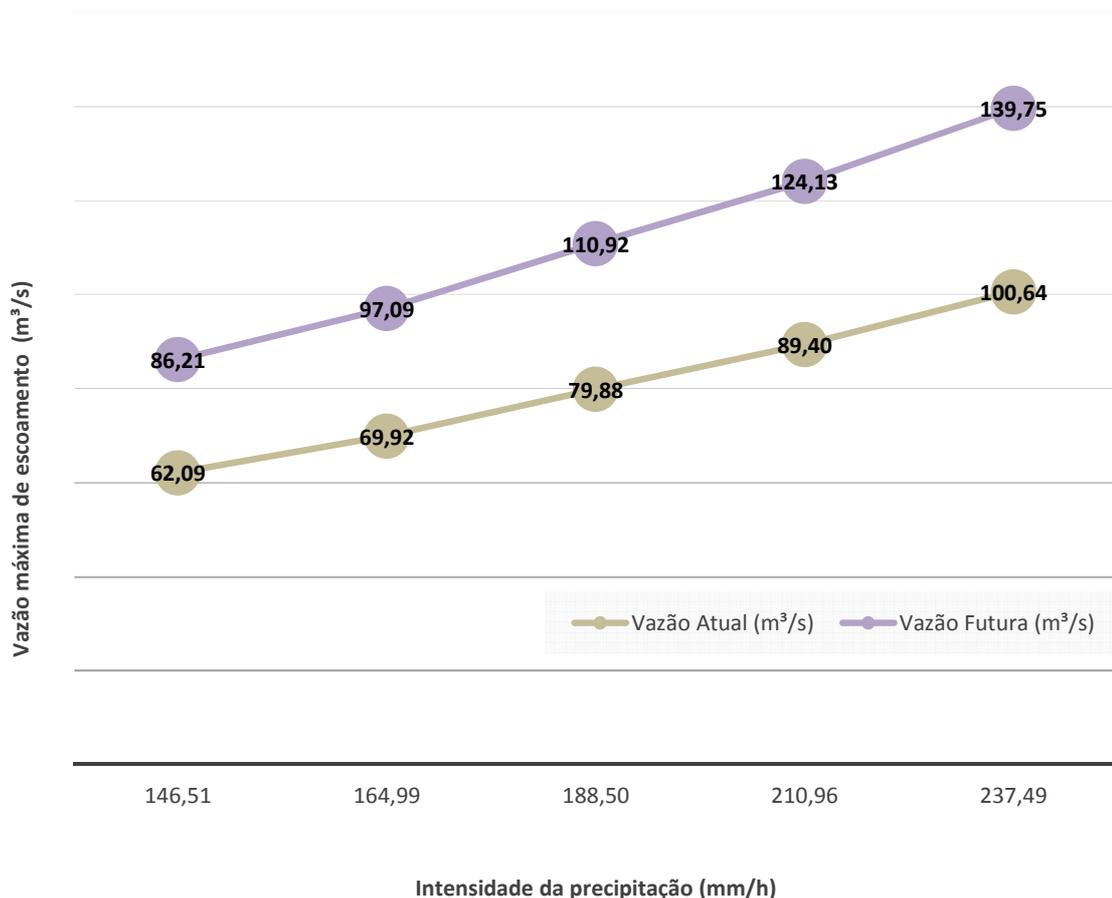
Gráfico 1: Vazão atual e futura no ponto de controle de vazão 1



Fonte: Autoria própria.

Através do Gráfico 1, observou-se que a pavimentação asfáltica nas vias de piçarra da área de contribuição do ponto de controle de vazão 1 ocasionou um acréscimo de 46,66 % da vazão máxima de escoamento deste ponto de controle. A área de contribuição do ponto de controle 2, que corresponde a vazão de jusante do ponto de controle de vazão 1 acrescido de mais 0,36 km², não possui vias em piçarra. Dessa forma, o mesmo apresentou acréscimo da vazão máxima de escoamento correspondente as pavimentações asfálticas da área de contribuição do ponto de controle de vazão 1, conforme Gráfico 2.

Gráfico 2: Vazão atual e futura no ponto de controle de vazão 2.



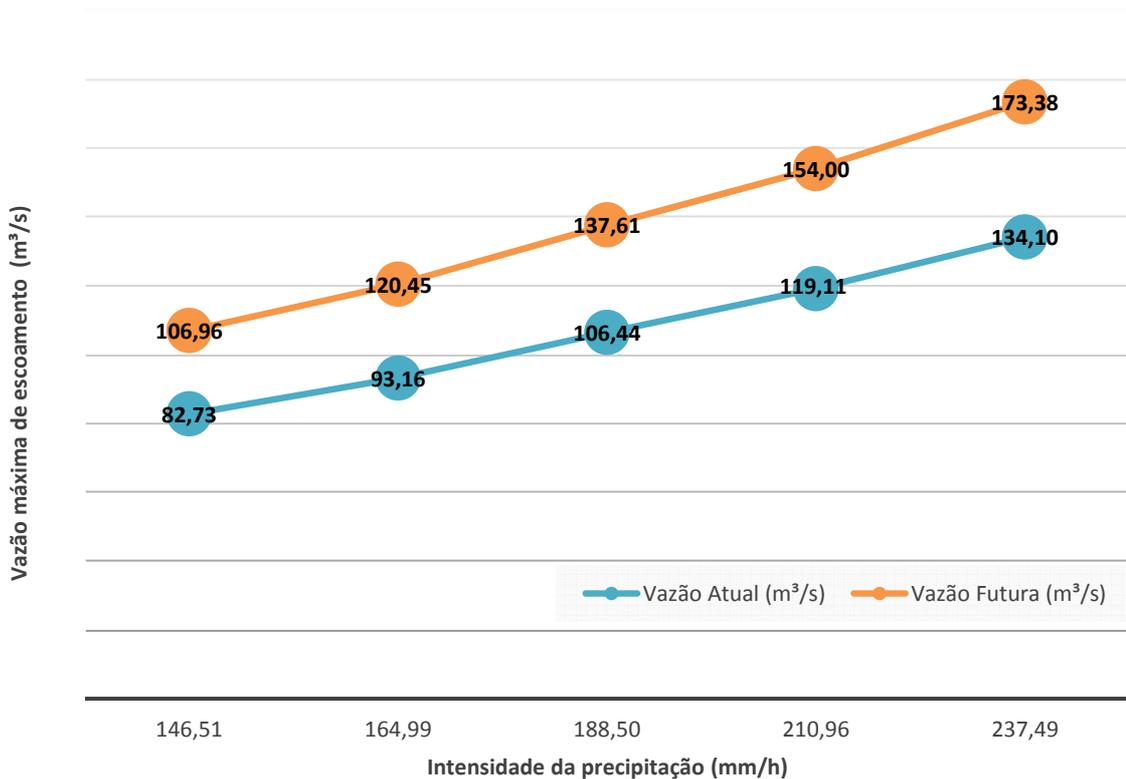
Fonte: Autoria própria.

Conforme o Gráfico 2, observou-se que o efeito da pavimentação asfáltica das vias em piçarra resultaram em um aumento da vazão máxima de escoamento do ponto de controle de vazão 2 em 38,85 %.

Assim como no ponto de controle de vazão 2, a vazão máxima de escoamento do último ponto de controle equivale a somatória da vazão de jusante do ponto de

controle de vazão 2 e a vazão oriunda de mais 0,42 km². Com a pavimentação de todas as vias de piçarra, o ponto de controle de vazão 3 drena praticamente toda a vazão máxima de escoamento da microbacia, os valores das vazões máximas atuais e futuras deste ponto de controle estão expressas no Gráfico 3.

Gráfico 3: Vazão atual e futura no ponto de controle de vazão 3



Fonte: Autoria própria.

O gráfico acima retrata o aumento da vazão máxima de escoamento para as cinco intensidades no cenário atual e futuro da microbacia, que por sua vez terá um aumento de 29,29 % na sua vazão máxima de escoamento.

Após quantificar o aumento da vazão máxima de escoamento da microbacia nos três pontos de controle de vazão foi possível analisar o comportamento destes pontos de controle e suas consequências no cenário atual e futuro da microbacia. A tabela 7 apresenta a altura da lâmina d'água sobre os pontos de controle de vazão em função das vazões máximas calculadas para o cenário atual da microbacia.

Levando em consideração as seções de escoamento dos pontos de controle de vazão, apresentados na seção 4.3, a altura da lâmina d'água sobre os pontos de controle de vazão é variável.

Tabela 7: Lâmina d'água sobre os pontos de controle de vazão no cenário atual da microbacia

TEMPO DE RETORNO (anos)	2	5	15	50	150
DURAÇÃO (minutos)	5	7	10	15	20
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 1	VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
	51,705	58,227	66,522	74,447	83,812
	LAMINA D'AGUA NA SEÇÃO (m)				
	1,88	2,05	2,28	2,49	2,74
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 2	VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
	62,087	69,919	79,88	89,395	100,64
	LAMINA D'AGUA NA SEÇÃO (m)				
	1,83	1,96	2,11	2,24	2,39
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 3	VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
	82,728	93,162	106,44	119,11	134,1
	LAMINA D'AGUA NA SEÇÃO (m)				
	2,10	2,30	2,55	2,77	3,04

Fonte: Autoria própria.

Através da Tabela 7 observou-se que o ponto de controle de vazão 1 torna-se alagado após uma chuva de 5 minutos e com tempo de retorno de 2 anos, tendo em vista que a altura máxima deste ponto de controle de vazão antes do alagamento é de 1,65 metros.

O ponto de controle de vazão 2 não apresenta alagamentos em nenhuma das chuvas apresentadas, pois o mesmo possui altura máxima de escoamento antes do alagamento igual a 4,0 metros.

Entretanto, o ponto de controle de vazão 3 torna-se alagado após uma chuva de 5 minutos e com tempo de retorno de 2 anos, tendo em vista que a altura máxima deste ponto de controle de vazão antes do alagamento é de 1,80 metros.

Da mesma maneira em que se analisou atualmente os pontos de controle em função de suas seções de escoamento, a Tabela 8 apresenta os valores das lâminas d'água sobre os três pontos de controle de vazão no cenário futuro, onde todas as vias da microbacia possuem pavimento asfáltico ou bloquete.

Tabela 8: Lâmina d'água sobre os pontos de controle de vazão no cenário futuro da microbacia

TEMPO DE RETORNO (anos)	2	5	15	50	150
DURAÇÃO (minutos)	5	7	10	15	20
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 1	VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
	75,829	85,393	97,559	109,18	122,92
	LAMINA D'AGUA NA SEÇÃO (m)				
	2,53	2,79	3,10	3,40	3,75
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 2	VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
	86,211	97,085	110,92	124,13	139,75
	LAMINA D'AGUA NA SEÇÃO (m)				
	2,20	2,34	2,51	2,67	2,84
PONTO DE CONTROLE DE VAZÃO 3	VAZÃO MÁXIMA DE ESCOAMENTO (m ³ /s)				
	106,96	120,45	137,61	154,00	173,38
	LAMINA D'AGUA NA SEÇÃO (m)				
	2,55	2,80	3,11	3,39	3,73

Fonte: Autoria própria.

Com base na Tabela 8 observou-se que para o cenário futuro os pontos de controle de vazão 1 e 3, que já apresentavam alagamentos no cenário atual da microbacia, agravaram-se pois os mesmos não suportam uma chuva de 5 minutos e tempo de retorno de 2 anos. Os dois cenários tornam-se tão críticos que a altura da lâmina d'água supera o dobro da altura existente em chuvas de 15 minutos e tempo de retorno de 50 anos no ponto de controle de vazão 1 e em chuvas de 20 minutos com tempo de retorno de 150 anos no ponto de controle de vazão 3.

Já o ponto de controle de vazão 2, não apresenta alagamentos nos dois cenários da microbacia, onde no cenário atual, na maior intensidade a lâmina d'água fica a 0,27 centímetros para o alagamento desta seção

4.6 Medidas mitigadoras

Tendo em vista que as zonas já estão densamente povoadas, para que se possa resolver os problemas ora apresentados deve-se tomar algumas medidas de controle estruturais e não estruturais. As principais medidas de controle são:

- Grande parte da vazão máxima final parte dos lotes. Dessa maneira, deve-se aumentar a fiscalização pública para que se possa administrar a permeabilidade dos solos dos lotes, tanto nas áreas residenciais, como nas áreas comerciais presentes na microbacia.
- Incentivar o reaproveitamento das águas das chuvas através da criação de um plano diretor de drenagem urbana. Nessa medida algumas providências podem ser tomadas, como a implantação de telhados reservatórios e a construção de micro reservatórios.
- Visto o aumento da vazão máxima pela pavimentação asfáltica das vias em piçarra, deve-se aumentar a infiltração destas áreas através da implantação de pavimentos permeáveis e valas de infiltração. Tais medidas irão influenciar tanto na redução da vazão máxima final no exutório, como também irá reduzir o escoamento superficial destas áreas.
- Para que se possa diminuir a vazão nos pontos de controle apresentados, a fim de diminuir a lâmina d'água provocada pela pavimentação asfáltica sem um devido sistema de drenagem urbana, uma alternativa é a perfuração de poços de infiltração próximos a estes pontos de controle de vazão. Estes poços reduziram o escoamento superficial e a vazão que passa pelos pontos de controle.
- O armazenamento das águas pluviais também é uma alternativa, este armazenamento pode ocorrer tanto nos lotes como em áreas livres dentro da microabia. O armazenamento acontece através dos reservatórios dos lotes e na criação de bacias de retenção.
- Aumentar as seções de controle existentes atualmente na microbacia, pois as mesmas foram construídas a muito tempo e necessitam de uma devida manutenção em suas estruturas.

5 CONCLUSÃO

Com o crescimento desordenado das civilizações e, conseqüentemente, o crescimento desordenado da infraestrutura nos países em desenvolvimento, graves problemas surgiram como, por exemplo, a ausência de drenagem urbana. O assunto torna-se cada vez mais importante devido a incidência de novos casos de erosões das vias públicas, aumento do escoamento superficial, aumento de doenças de veiculação hídrica e a incidência de inundações. Avaliar as condicionantes que agravam tais fatores é de suma importância, pois grande parte destas avaliações se voltam ao estudo do uso e ocupação do solo, que irá determinar o uso correto das áreas ocupadas pela civilização.

Para a cidade de Balsas/MA o cenário é o mesmo, pois grande maioria das zonas residenciais da cidade possuem sérios problemas de drenagem urbana. Na microbacia estudada, por exemplo, a incidência de eventos de precipitação causa inúmeros transtornos aos moradores. Vale ressaltar que conforme o tipo de revestimento das vias públicas maior ou menor será o seu grau de contribuição.

Neste sentido, com a execução de pavimento asfáltico nas vias em piçarra da microbacia estudada ocasionará o aumento da vazão máxima de escoamento em aproximadamente 30% do volume atual escoado. Nesse caso, todos os pontos de controle de vazão apresentaram problemas de drenagem urbana em diferentes intensidades, que impossibilitaram o tráfego de automóveis e pedestres, necessitando de intervenções estruturais nos mesmos.

Além disso, é de suma importância a criação e implantação de um plano diretor de drenagem urbana para o município, a fim de solucionar os problemas atuais e futuros de enchentes, alagamentos, erosões e entre outros.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a realização do presente trabalho observou-se a importância de estudar o uso e ocupação do solo balsense, a fim de evitar os problemas ocasionados pelas precipitações e aumentar a qualidade de vida dos moradores. Dessa maneira, ficam de sugestões para trabalhos futuros os seguintes trabalhos:

- Avaliar o comportamento da vazão máxima de escoamento com a aplicação de diferentes tipos de revestimentos das vias em piçarra;
- Mapear a microbacia detalhadamente, levando em consideração todas as áreas permeáveis e impermeáveis dos lotes;
- Realizar o estudo do escoamento superficial de todo o município, mapeando todas as áreas permeáveis e impermeáveis
- Calcular a vazão máxima de escoamento do município para que se possa mapear os atuais pontos de inundações e os locais mais propícios a futuras inundações.

REFERÊNCIAS

BALSAS. Lei 1.396, de 28 de Março de 2018. Dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo no município de Balsas Maranhão e trata de outras providências. **Diário Oficial dos Municípios do Estado do Maranhão**, São Luís, MA, 24 Abr. de 2018. Disponível em <<http://www.diariooficial.famem.org.br/dom/dom/publicacoesDetalhes/383005>>. Acesso em 15 de março de 2019.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **Manual de drenagem de rodovias**. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2.ed. - Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Dispõe sobre a divisão hidrográfica nacional, em regiões hidrográficas, com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos. **Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional de Recursos Hídricos**, Diário oficial da união, 17 de dezembro de 2003. Disponível em <<http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>>. Acesso em 25 de Maio de 2019.

BENINI, R.M.; MENDIONDO, E. M. **Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho**. Floram, São Paulo, outubro de 2014.

IBGE, História: Balsas - Maranhão, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas Digitais**. 2015. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

CAMPOS, A. R. et al. **Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão**. Reveng, Viçosa - MG, v. 23, n. 5, p.435-477, 19 ago. 2015.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional**. UFRP, Curitiba, dezembro de 2004.

GARCIA, S. S. et al. **Determinação da equação intensidade-duração-frequência para três estações meteorológicas do Estado de Mato Grosso**, Campina Grande - PB. Agriambi, v. 15, n. 6, p. 575-581, 2011.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. **Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial**. Eng. Sanit Ambient, São Carlos - SP, v. 15, n. 1, p.19-28, Janeiro de 2010.

LIMA, H. M. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso.** Revista Escola de Minas, Ouro Preto – MG, v. 59, n. 1, p. 525-536, Janeiro de 2006.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas, em: **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus, Ba: Editus, 2002.

MARTINS, C. M. T. et al. **Hidrologia urbana conceitos básicos.** ERSAR Universidade de Coimbra, Lisboa - PT, v. 1, Junho de 2010.

PEREIRA, C. N. et al. **Aspectos socioeconômicos da região do Matopiba.** Boletim regional, urbano e ambiental - iepa, Macapá - AP, v. 18, p.48-59, junho de 2018.

PORTO, R. M. **Hidráulica básica.** 4. Ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RIGHETTO, A. M; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de águas pluviais urbanas. In: RIGETTO, A. M. (Org). **Manejo de Aguas Pluviais Urbanas.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SILVA, J. M. A. et al. **Modelo para a obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife - PE, v. 4, n. 2, p.192-197, 17 de fevereiro de 2009.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. **Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB.** Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 943-952, Oct. 2017.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba,** Belém, PA, Brasil. Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

TAVARES, L. R. S. et al. **Desafios atuais para a engenharias civil: drenagem e pavimentação em área urbana.** 3. Ed. Rio de Janeiro: ABEPv, 2016.

TEODORO, V. L. I. et al. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** 20. Ed. Revista Uniara, 2007.

TUCCI, C.; COLLISCHONN, W. **Drenagem urbana e Controle de Erosão.** VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a 1/4 1998, Presidente Prudente, São Paulo, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas,** Porto Alegre, RS: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, Janeiro de 2000.

_____. **Gestão de águas pluviais urbanas,** Rio Grande do Sul: Ministério das cidades, 2005.

_____. **Águas urbanas, Estudos avançados**, Rio Grande do Sul, Junho de 2008.

_____. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

Weather Spark, **Condições meteorológicas médias de Balsas**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30379/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Balsas-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 25 de junho de 2019