

JÚLIA LORENZATO DA SILVA

**IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO COEFICIENTE DE
ESCOAMENTO: ESTUDO DE CASO EM BAIROS DO
MUNICÍPIO DE PASSO FUNDO**

Passo Fundo

2022

JÚLIA LORENZATO DA SILVA

**IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO COEFICIENTE DE
ESCOAMENTO: ESTUDO DE CASO EM BAIROS DO
MUNICÍPIO DE PASSO FUNDO**

Trabalho de Conclusão do Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade de
Passo Fundo.

Orientador: Prof. Me. Éder Nonnemacher

Passo Fundo

2022

JÚLIA LORENZATO DA SILVA

**IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO: ESTUDO
DE CASO EM BAIROS DO MUNICÍPIO DE PASSO FUNDO**

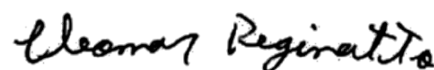
Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Éder Nonnemacher

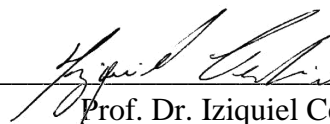
BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Me. Éder Nonnemacher
Universidade de Passo Fundo



Prof. Dr. Cleomar Reginatto
Universidade de Passo Fundo



Prof. Dr. Iziqiel Cecchin
Universidade de Passo Fundo

SILVA, Júlia Lorenzato da. **Impactos da Urbanização no Coeficiente de Escoamento: Estudo de Caso em bairros do Município de Passo Fundo**. 2022. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2022.

RESUMO

A urbanização no Brasil foi intensificada com a industrialização. Vinculado a urbanização está o aumento da impermeabilização do solo, supressão de vegetação, aumento dos riscos de inundações e, portanto, perda da qualidade ambiental no local. O escoamento superficial e o coeficiente de escoamento estão interligados diretamente às consequências da urbanização, já que, à medida que diminui as áreas permeáveis, aumenta o fluxo de águas na superfície. O estudo teve como finalidade analisar o comportamento, atualmente e em projeções futuras, do coeficiente de escoamento e do escoamento superficial com o processo de urbanização nos bairros Boqueirão e Centro, ambos do município de Passo Fundo. As análises foram feitas a partir de 3 coeficientes de escoamento escolhidos da literatura, sendo eles o telhado, superfície não melhorada e vegetação para a criação de mapas de uso e ocupação do solo. Com o uso de média ponderada para o cálculo do coeficiente *runoff* e do cálculo, a partir do método racional, para o escoamento superficial, foi possível analisar que, tanto no bairro Boqueirão, quanto no bairro Centro, ao longo dos 11 anos entre os mapas realizados, obtiveram um crescimento na vegetação e superfície de telhado, porém o crescimento da área verde se tornou insignificante, já que as áreas de telhado se tornaram maior ao longo dos anos. Com os coeficientes calculados e as projeções realizadas para 33 anos, foi concluído que a vazão de escoamento dos bairros Boqueirão e Centro tiveram um aumento linear, devido, principalmente, aos pontos negativos do aumento do coeficiente superficial, como, por exemplo, impermeabilização do solo.

Palavras-chaves: Urbanização. Coeficiente de Escoamento Superficial. Impermeabilização do Solo. Escoamento Superficial. Método Racional.

SILVA, Júlia Lorenzato da. **Impacts of Urbanization on the Runoff Coefficient: Case Study in neighborhoods in the city of Passo Fundo.** 2022. 58 f. Completion of course work. (Environmental and Sanitary Engineering) – University of Passo Fundo, Passo Fundo. 2022.

ABSTRACT

Urbanization in Brazil was intensified with industrialization. Linked to urbanization is the increase in soil sealing, suppression of vegetation, increased risk of flooding and, therefore, loss of environmental quality in the area. The surface runoff and the runoff coefficient are directly linked to the consequences of urbanization, since as the permeable areas decrease, the surface water flow increases. The purpose of the study was to analyze the behavior, currently and in future projections, of the runoff coefficient and surface runoff with the urbanization process in the Boqueirão and Centro neighborhoods, both in the city of Passo Fundo. The analyzes were made from 3 runoff coefficients chosen from the literature, namely the roof, unimproved surface and vegetation for the creation of land use and occupation maps. With the use of a weighted average to calculate the runoff coefficient and the calculation, based on the rational method, for surface runoff, it was possible to analyze that, both in the Boqueirão neighborhood and in the Centro neighborhood, over the 11 years between the maps performed, obtained a growth in vegetation and roof surface, but the growth of the green area became insignificant, as the roof areas became larger over the years. With the calculated coefficients and the projections carried out for 33 years, it was concluded that the outflow of the Boqueirão and Centro neighborhoods had a constant increase, mainly due to the negative points of the increase in the superficial coefficient, such as, for example, soil impermeability.

Palavras-chaves: Urbanization, Runoff Coefficient. Soil Sealing. Surface Runoff. Rational Method.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	23
Equação 2.....	24
Equação 3.....	24
Equação 4.....	34
Equação 5.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Organograma metodológico.....	20
Figura 2: Localização dos Bairros Boqueirão e Centro.	22
Figura 3: Mapa de uso e ocupação do solo, em setembro de 2011, do bairro Boqueirão.	28
Figura 4: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2011, do bairro Boqueirão.	29
Figura 5: Mapa de uso e ocupação do solo, em junho de 2022, do bairro Boqueirão.....	30
Figura 6: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2022, do bairro Boqueirão.	32
Figura 7: Comparação das áreas de cada superfície entre os anos de 2011 e 2022 do bairro Boqueirão.	33
Figura 8: Comparativo dos três coeficientes entre 2011 e 2022 do bairro Boqueirão.	34
Figura 9: Projeção linear dos Coeficientes de Escoamento do bairro Boqueirão.	35
Figura 10: Representação das vazões máximas ao longo dos anos do bairro Boqueirão.....	36
Figura 11: Mapa de uso e ocupação do solo, em setembro de 2011, do bairro Centro.....	38
Figura 12: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2011, do Bairro Centro.	39
Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo, em novembro de 2022, do bairro Centro.	11
Figura 14: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2022, do bairro Centro.....	12
Figura 15: Comparação das áreas de cada superfície entre os anos de 2011 e 2022 do bairro Centro.	13
Figura 16: Comparativo dos três coeficientes entre 2011 e 2022 do bairro Boqueirão.	14
Figura 17: Projeção linear dos Coeficientes de Escoamento do bairro Centro.	15
Figura 18: Representação das vazões máximas ao longo dos anos do bairro Centro.	16
Figura 19: Áreas, em km ² , das superfícies adotadas, em 2011.....	47
Figura 20: Áreas, em km ² , das superfícies adotadas, em 2022.....	18
Figura 21: Coeficientes de escoamento superficial de 2011, 2022, 2032 e 2042.	19
Figura 22: Escoamento superficial de 2011, 2022, 2032 e 2042.....	20

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valores de coeficientes de escoamento.	19
Quadro 2: Coeficientes de Escoamento Calculados e Projetados do bairro Boqueirão.	35
Quadro 3: Coeficientes de escoamento e vazões máximas em seus respectivos anos do bairro Boqueirão.	36
Quadro 4: Coeficientes de Escoamento Calculados e Projetados do bairro Centro.	45
Quadro 5: Coeficientes de escoamento e vazões máximas em seus respectivos anos do bairro Centro.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Extensões das superfícies em setembro de 2011 do bairro Boqueirão.....	29
Tabela 2: Extensões das superfícies em junho de 2022 do bairro Boqueirão.	32
Tabela 3: Extensões das superfícies em setembro de 2011 do Bairro Centro.....	39
Tabela 4: Extensões das superfícies em novembro de 2022 do bairro Centro.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Urbanização no Brasil	12
2.2 Impermeabilização do Solo	13
2.3 Precipitação	14
2.4 Escoamento Superficial	16
2.5 Método Racional	17
2.6 Coeficiente de Escoamento Superficial	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Caracterização da Área de Estudo	20
3.2 Obtenção das imagens de satélite	22
3.3 Criação dos Mapas.....	22
3.4 Análise do Coeficiente de Escoamento Superficial	23
3.5 Análise de Cenários dos Coeficientes de Escoamento Superficial.....	23
3.6 Cálculo do Escoamento Superficial pelo Método Racional	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.1 Bairro Boqueirão	25
4.1.1 Análise de setembro de 2011	25
4.1.2 Análise de junho de 2022	33
4.1.3 Estimativa dos Cenários Futuros para os Coeficientes de Escoamento	34
4.1.4 Análise do Escoamento Superficial.....	36
4.2 Bairro Centro	37
4.2.1 Análise de setembro de 2011	37
4.2.2 Análise de novembro de 2022	40
4.2.3 Estimativa de Cenários Futuros para os Coeficientes de Escoamento	44
4.2.4 Análise do Escoamento Superficial.....	45
4.3 Comparação entre o Bairro Boqueirão e o Bairro Centro	46
5. CONCLUSÃO.....	51
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
7. REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

A urbanização é um processo em que a população deixa a área rural e migra para os centros urbanos. O processo no Brasil teve maior avanço com a chegada da industrialização na década de 50. O processo de urbanização tem grandes pontos positivos para a economia e atividades sociais, mas, por outro lado, há mudanças drásticas e negativas do ponto de vista ambiental.

Junto com o aumento quantitativo da população, ocorrem processos de verticalização de moradias, retificação de rios, canalização e, também, a impermeabilização do solo. Estes processos trazem consequências, dentre elas, a retirada da cobertura vegetal do solo e, assim, a perda da capacidade de infiltração do solo, o aumento do volume de águas escoado pela superfície, aumento da vazão máxima e redução do tempo de percurso do escoamento superficial de uma bacia.

O escoamento superficial é a parcela de água transportada pela superfície e está associado com as características do local, portanto, à medida que a urbanização avança e a vegetação é reduzida, o escoamento superficial e o coeficiente de escoamento superficial irão aumentar. Portanto, o seu estudo é de suma importância para o controle e a redução das taxas de escoamento para conter problemas relacionados à gestão de recursos hídricos e dos solos, já que, as soluções geralmente adotadas se baseiam no aumento da capacidade das redes de drenagem na cidade, porém não se demonstram eficazes.

Tendo em vista o crescimento e concentração da população na área urbana no município de Passo Fundo, sem adequadas infraestruturas e com a degradação ambiental, faz-se necessário o estudo do aumento das áreas impermeáveis do município, pois, junto delas, existem consequências naturais, como alagamentos, enchentes e/ou inundações, que necessitam de pesquisas e bom funcionamento do sistema de drenagem de águas no local.

Em virtude disto, tem-se como objetivo analisar o comportamento do coeficiente de escoamento com o processo de urbanização em bairros do município de Passo Fundo. Sendo assim, os objetivos específicos são:

- Realizar o mapeamento do uso e ocupação do solo do bairro Boqueirão e do bairro Centro;
- Quantificar as áreas classificadas de acordo com os coeficientes *runoff*;
- Analisar o coeficiente de escoamento superficial do bairro Boqueirão e do bairro Centro;
- Estimar cenários futuros para o coeficiente de escoamento superficial dos bairros;
- Calcular o escoamento superficial do bairro Boqueirão e do bairro Centro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Urbanização no Brasil

Urbanização é definida como um ato ou efeito de urbanizar, tornar urbano, ou seja, é “um conjunto de técnicas e processos destinados a gerar a uma cidade estruturas eficientes de planejamento, embelezamento, organização, etc.” (Ferreira, 1999 *apud* VISENTIN, 2014).

Ao longo dos anos, o Brasil deixou de ser um país rural e se tornou um país urbano. Segundo Cruz (2018), o processo de urbanização no Brasil apresentou diferentes fases, destacando-se dois grandes períodos.

O primeiro ocorreu na época colonial até as primeiras décadas do século XX, ou seja, a colonização portuguesa à Primeira República correspondeu a um processo de urbanização em sentido amplo, com a formação e o crescimento de centros urbanos associados a um mero ajuntamento de múltiplas atividades sociais em determinada localidade (CRUZ, 2018).

É conhecido o fato de que o espaço urbano, no período colonial, não apresentou a centralidade detida pelas cidades na atualidade. A principal razão era a marcante preponderância do espaço rural na sociedade, o que correspondia ao modo de organização promovido pela colonização portuguesa (CRUZ, 2018).

Portanto, segundo Cruz (2018), a vida nos centros urbanos no século XX foi marcada por natureza intermitente, já que a maioria das atividades urbanas dependia das necessidades das famílias rurais de deslocarem-se para esses centros.

Já o segundo período se constituiu na Revolução de 1930, um momento de ruptura com as estruturas de um modelo econômico que obstaculizava as transformações profundas no espaço urbano brasileiro (CRUZ, 2018).

A partir da década de 50, as migrações internas no país foram determinadas, principalmente, pela industrialização e, também, pela expansão das fronteiras agrícolas e minerais. Esses processos estão altamente relacionados à urbanização e redistribuição da população no território brasileiro, o que causa profundas mudanças econômicas, sociais e ambientais no país (CARVALHO, 2019).

De acordo com Visentin (2014), a população brasileira urbana em 1950, era de 19 milhões de pessoas, já a rural era de 34 milhões, sendo a taxa de urbanização de 36,1%. A partir do ano de 1960, o processo de migração da população rural se intensificou, sendo que, em 1970, a taxa de urbanização brasileira correspondia a 55,9% e em 2000 a taxa de urbanização passou para 81,2%.

Já o autor Zazyki (2020), apontam que a transição urbana teria duas fases, a primeira quando a população urbana supera a população rural e o grau de urbanização se eleva de maneira sustentada, podendo ser considerada a dimensão quantitativa do processo de urbanização. A segunda fase entende-se como segunda transição urbana, derivada do fato de que as tendências de crescimento populacional urbano perdem sua força para dar lugar à luta da população para se localizar dentro de seu tecido urbano e garantir seu acesso aos serviços, bens e oportunidades da cidade, representando uma dimensão mais qualitativa.

O constante processo de urbanização que as cidades vêm sofrendo, associado à desordenada ocupação do solo, resulta na permuta do ambiente natural por ambientes cada vez mais artificializados (ASSIS; OLIVEIRA; FERREIRA, 2011).

No Brasil, o crescente processo de urbanização apresenta diversas consequências negativas do ponto de vista ambiental. As consequências negativas da urbanização estão relacionadas ao aumento da impermeabilização do solo, supressão de vegetação nativa, aumento dos riscos de enchentes e inundações e, conseqüentemente, perdas na qualidade ambiental urbana. Atualmente, o índice de população urbana no Brasil é superior ao registrado no mundo (83%), sendo 80% na América Latina (Duarte *et al.*, 2017 *apud* JÚNIOR, 2018).

Para Holanda e Soares (2019), o processo de urbanização interfere nos elementos do ciclo hidrológico, alterando as características de infiltração, escoamento e evaporação da água pluvial, a impermeabilização do solo causada por esse processo, reflete diretamente nos sistemas de drenagem urbana.

Para evitar ou amenizar os problemas originados pela urbanização, é necessário incluir vegetação como um fator indispensável no planejamento das cidades, em decorrência dos benefícios que proporciona ao meio urbano (SANTOS, 2018). A arborização urbana torna-se uma alternativa imprescindível para a obtenção de benefícios relacionados à qualidade ambiental, desde que executada de maneira correta (SANTOS, 2018).

2.2 Impermeabilização do Solo

A impermeabilização dos solos é considerada como a principal consequência da urbanização, sendo inevitável em virtude da ausência de melhores estratégias de ordenamento do território, as quais, no início deste processo, não eram levadas em consideração os efeitos desta cobertura de solo e conseqüente perda de sua capacidade de absorção (VISENTIN, 2014).

O solo é o suporte dos ecossistemas e das atividades humanas sobre a terra, seu estudo é imprescindível para o planejamento. Quando se analisa o solo, pode-se deduzir sua

potencialidade e fragilidade como elemento natural, como recurso produtivo, como substrato de atividades construtivas ou como concentrador de impactos (CARVALHO, 2019).

O uso e ocupação do solo é uma das mais importantes análises do planejamento urbano, uma vez que é através dela que se determina e orienta o modo como as atividades humanas estão distribuídas no meio (CARVALHO, 2019). A ocupação do espaço urbano, sem o planejamento adequado que incorpore as diversas infraestruturas necessárias ao desenvolvimento equilibrado da cidade, desencadeou o surgimento de diversos problemas, principalmente de drenagem por ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade (CARVALHO, 2019).

Os efeitos decorrentes da impermeabilização, como desastres de cheias, acontecem devido ao aumento significativo da população urbana, das áreas impermeáveis e, conseqüentemente, construção de moradias em locais inadequados, como beira de rios (VISENTIN, 2014). As superfícies impermeáveis extensas aumentam o escoamento superficial, dando aos rios urbanos um regime de fluxo com amplas e rápidas variações de descarga (REZENDE; ARAÚJO, 2015).

De maneira geral, a urbanização, quando vinculada ao aumento do grau de impermeabilização do solo, produz dois efeitos relevantes em relação ao destino das águas precipitadas. Um deles é o aumento do volume escoado pela superfície, em função da redução de áreas passíveis de infiltração e, conseqüentemente, aumento da vazão máxima. Em justificativa deste aumento das ocorrências de inundações, de acordo com Gonçalves *et al.* (2021), o acréscimo de 54% de área impermeável pode provocar um aumento na vazão de pico em até 59,40%.

Outro efeito é a redução do tempo de percurso do escoamento superficial na bacia, já visto que as canalizações, sarjetas, e pátios propiciam a chegada mais rápida da água nos talwegues (linha mais baixa por onde escorre a água da chuva) (REZENDE; ARAÚJO, 2015).

2.3 Precipitação

A precipitação é um dos componentes mais importantes do ciclo da água na Terra, pois caracteriza o retorno da água presente no ciclo hidrológico, e sua variabilidade temporal e espacial tem efeito direto sobre a disponibilidade de recursos hídricos (SILVA; MENEZES; STOSIC, 2021).

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar associada à gravidade e à rotação

terrestre (MARTINS, 2022). O fluxo de água ocorre na forma de vapor no sentido superfície-atmosfera por meio do fenômeno da evapotranspiração, enquanto a transferência de água ocorre em qualquer estado físico no sentido atmosfera-superfície, principalmente na forma de precipitação de chuva e neve (MARTINS, 2022). É importante ressaltar que o ciclo hidrológico é caracterizado como aberto ao nível local, pois o volume precipitado não é necessariamente o mesmo que o volume evaporado em uma determinada região do planeta (MARTINS, 2022).

Além de apresentar grande importância na caracterização do clima de uma região, através de seu estudo é possível ter previsões para que sejam tomadas decisões mais coesas e confiáveis (MELO, 2020).

Para Oliveira, *et al.* (2021), a baixa capacidade de infiltração acaba aumentando o escoamento superficial, no caso de ocorrer um evento de chuva no qual a água escoar rapidamente sobre a superfície do solo, e, assim, espera-se um aumento do risco de inundação em terrenos mais baixos ou planos.

As inundações são consideradas um risco relacionado ao clima, podendo ocorrer praticamente em qualquer lugar. Uma inundação é definida como água transbordando em terra que geralmente se encontra seca (CARVALHO, 2019). As inundações ocorrem como resultado de fortes chuvas, podendo surgir de várias maneiras, inclusive podem não estar ligadas diretamente a eventos climáticos em andamento.

Nesse sentido, a água envolvida nas inundações caiu como precipitação em algum momento, talvez há muito tempo, sendo assim, as origens das inundações, portanto, estão em processos atmosféricos, criando precipitação, não importa qual evento específico causa a inundação (CARVALHO, 2020).

Deste modo, as inundações podem ter causas naturais, que são resultado de eventos hidrológicos muito intensos, geralmente em um curto período, os quais não podem ser previstos com exatidão e nem terem a sua ocorrência evitada. Por outro lado, as ações humanas, por sua vez, também podem provocar inundações ou agravar de forma significativa os efeitos destas precipitações intensas em uma determinada região, o que exige a atenção de profissionais e da sociedade como um todo (CARVALHO, 2020).

Já as enchentes são um fator que evolui o escoamento superficial das águas decorrentes de chuvas fortes, podendo ocorrer após suprir a retenção natural da cobertura vegetal, saturar os vazios do solo e preencher as depressões do terreno, as águas pluviais buscam os caminhos oferecidos pela drenagem natural e/ou artificial, o que acaba fluindo até a capacidade máxima disponível, no sentido do corpo de água receptor final (CARVALHO, 2020).

Este direcionamento de maior parcela da água pluvial para o escoamento superficial é um dos problemas ocasionados pela urbanização em decorrência da supressão da cobertura vegetal e impermeabilização do solo (ALVES; FORMIGA; TRALDI, 2018). Logo, a porcentagem de chuva convertida em escoamento superficial aumenta com o crescimento da intensidade e duração da precipitação (MAGALHÃES; JUNIOR; FREITAS, 2011).

Portanto, no processo de escoamento de água proveniente de precipitações máximas ocorre a interação entre fatores como o uso e cobertura do solo, a declividade e a forma da bacia hidrográfica. Os fatores acima associados à urbanização sem planejamento adequado conduzem a adensamentos do espaço, aumento do processo de impermeabilização e redução da cobertura vegetal que sobrecarregam os sistemas de drenagens e em ocorrências de inundações urbanas (GRANZIERA, 2021).

2.4 Escoamento Superficial

Por definição, o escoamento superficial é a parcela da precipitação que se desloca na superfície terrestre. A parcela restante da precipitação é evaporada diretamente para a atmosfera, infiltra-se no solo (e, eventualmente, volta à superfície, na qual evapora), ou ainda, participa do metabolismo das plantas e evapora através de suas folhas, em um processo denominado transpiração (SANTOS; LOLLO, 2016).

Assim, o escoamento superficial está relacionado essencialmente às características climáticas e físicas da área, como intensidade e duração da precipitação, ao tipo de solo, à declividade do terreno e à cobertura vegetal (em função da vegetação natural e do uso e ocupação da terra). A cobertura vegetal atua na interceptação da precipitação, alterando o volume e a velocidade do escoamento, favorecendo a infiltração (SANTOS; LOLLO, 2016).

Mudanças no padrão de uso da terra, como a urbanização, afetam os processos hidrológicos (SANTOS; LOLLO, 2016), uma vez que alteram os atributos descritos anteriormente, podendo gerar remoção da cobertura vegetal, manejo inadequado dos solos, por conta de sua compactação, redução da permeabilidade e desagregação, favorecendo o escoamento e os processos erosivos (SANTOS; LOLLO, 2016), ou seja, as inundações.

Considerando um território caracterizado pela urbanização e somarmos a ocorrência de inundações (fluxo em excesso), as relações de impactos serão diferentes dos territórios que ainda se encontram nas condições rurais. Isto porque determinadas áreas urbanizadas não são apenas as maiores sofredoras dos efeitos das cheias, mas são também as principais causadoras dos fenômenos de inundação (SILVA; SANTIAGO, 2007).

Um fato que pode contribuir para a redução do escoamento superficial da água da chuva é a ligação dos sistemas de esgoto e de drenagem pluvial, e conseqüentemente, em períodos de intensa precipitação, nos locais em que há um sistema de tratamento destes fluidos, não existem meios para tratar todo o volume escoado (CARVALHO, 2020).

2.5 Método Racional

O Método Racional é o primeiro e o mais duradouro cálculo de escoamento superficial. Surgido em 1889, o método leva esse nome pela coerência na análise dimensional das variáveis, sendo utilizado para calcular a vazão de pico, Q_p , depois de um evento de chuva. Ou seja, calcula a maior vazão produzida em uma determinada área (GRIBBIN, 2015).

É um modelo empírico cujo objetivo é aplicar um redutor na precipitação intensa, significando um percentual do total precipitado que escoar, superficialmente, sendo que este redutor é influenciado pela cobertura vegetal, classe de solos, declividade e tempo de retorno da precipitação, existindo tabelas com valores propostos para este valor (DIDÓ, 2013).

De acordo com Tomaz (2012), quando se aplicar o método racional, isto é, fazendo-se a síntese, as hipóteses do método racional que precisam ser seguidas são as seguintes:

- a) toda a bacia contribui com o escoamento superficial e é por isso que o tempo de duração da precipitação deve ser igual ou exceder ao tempo de concentração da bacia;
- b) a chuva é distribuída uniformemente sobre toda a área da bacia;
- c) todas as perdas estão incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial.

A intensidade da chuva, associada com o tempo de concentração e a frequência da ocorrência, podem ser obtidas das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) que é obtida por várias publicações (TOMAZ, 2012).

As curvas IDF de chuva têm sido amplamente utilizadas na engenharia de recursos hídricos para avaliar o risco de inundação e a vulnerabilidade dos recursos hídricos, bem como para o projeto da estrutura hidráulica (RODRIGUES et al., 2020).

Logo, a quantificação do escoamento superficial é de extrema importância. Além de promover um melhor entendimento do ciclo hidrológico em determinada região, tem diversas aplicações práticas: identificação de períodos de enchentes e secas visando a redução de danos materiais e imateriais, diagnóstico quanto a necessidade de regularização de vazão e reconhecimento da capacidade de armazenamento de água na bacia (SCHWAMBACK, 2020).

2.6 Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de *runoff* ou também chamado de coeficiente de escoamento superficial, é definido como sendo a relação existente entre o volume escoado e o volume precipitado. (SILVA *et al.*, 1984 *apud* RIBEIRO; MARINOSKI, 2020).

Ou seja, o coeficiente de escoamento superficial define a porcentagem da precipitação convertida em escoamento superficial, em função do grupo hidrológico do solo, do tipo de uso e da cobertura do solo e declividade (SAMPAIO; BASTOS; CORDEIRO, 2018).

O coeficiente é baseado em uma série de fatores, como a distribuição da chuva na bacia, a direção do deslocamento da tempestade em relação ao sistema de drenagem, a precipitação antecedente, as condições de umidade do solo, o tipo e uso do solo, a rede de drenagem existente, a duração e intensidade da chuva (CARVALHO, 2019). Usualmente, o coeficiente de escoamento é adotado em função de características de urbanização ou de características detalhadas das diversas superfícies (GAROTTI; BARBASSA, 2010).

À medida que vai aumentando a urbanização do local, vai, também, ocorrendo o aumento do escoamento superficial. Como resultado do aumento da impermeabilização, haverá um maior aumento do valor do coeficiente de escoamento superficial (C) (TARGA, *et al.*, 2012). Ou seja, quando este for 1, indica que toda a água precipitada se tornará escoamento e zero quando toda a água precipitada tende a ser absorvida pelo solo (MELO, 2020).

Geralmente, o coeficiente de escoamento superficial envolve estimativas de áreas com características homogêneas e seus respectivos coeficientes de escoamento superficial, para que, ponderadamente, seja possível calculá-lo para o local de estudo (GAROTTI; BARBASSA, 2010).

Em superfícies de solos cobertas, ou seja, mais permeabilizadas, o escoamento e o coeficiente diminuem, pois retêm, armazenam e infiltram maior quantidade de água da chuva no solo que superfícies descobertas ou urbanizadas. Portanto, o coeficiente deve variar à medida que aumenta a impermeabilização do solo.

Os coeficientes de escoamento superficial foram adotados em função do tipo e uso do solo, considerando a urbanização da área, para isso, foi utilizado como referência o quadro abaixo (**Quadro 1**), adaptado da *American Society of Civil Engineers (ASCE)* (1969).

Quadro 1: Valores de coeficientes de escoamento.

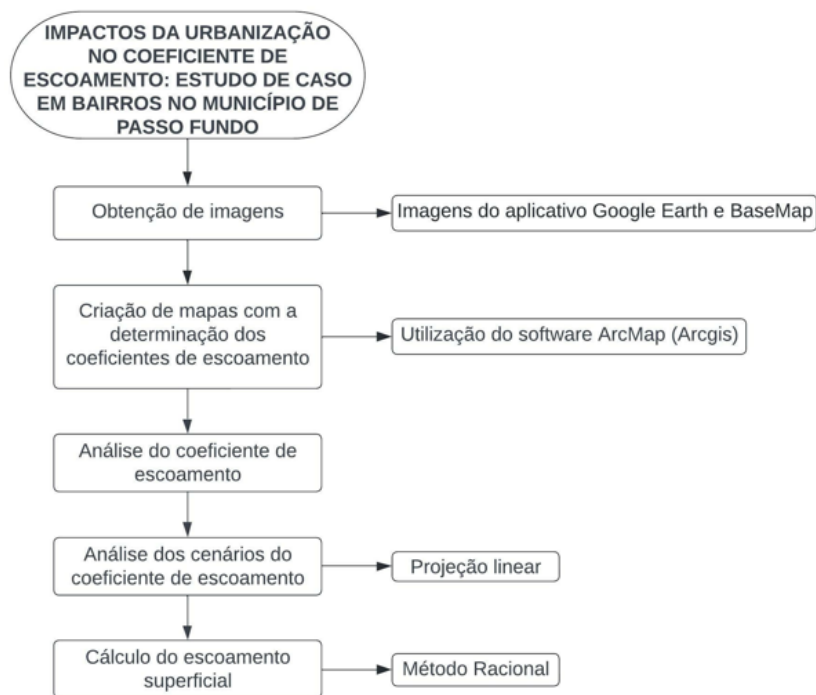
	Superfície	Intervalo	Valor adotado
C1	Telhado	0,75 a 0,95	0,85
C2	Não melhorada	0,10 a 0,30	0,20
C3	Vegetação	0,10 a 0,15	0,10

Fonte: Adaptado de ASCE, 1969.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A **Figura 1** representa o organograma metodológico de execução do trabalho, apresentando as etapas que foram realizadas e o software utilizados para o trabalho.

Figura 1: Organograma metodológico.



Fonte: A autora, 2022.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O município escolhido para a análise é Passo Fundo, um município de médio porte, localizado no norte do estado do Rio Grande do Sul, região sul do Brasil. Pertence à região do Planalto Médio e é a maior cidade da região do estado, estando a 289 km de Porto Alegre (PASSO FUNDO, 2014).

Segundo o IBGE (2020), é a 12ª cidade mais populosa do Rio Grande do Sul. No último censo realizado pelo IBGE, em 2010, a população era de 184.826 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 235,92 hab./km². Em 2021, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística divulgou que a população estimada é de 206.103 habitantes.

“A altitude do território municipal varia de 500 m a 730 m, com uma altitude média de 687 m acima do nível do mar, o município situa-se em uma área caracterizada por ser um divisor de águas. Sendo assim, quanto à rede hídrica, seu território está

dividido entre duas regiões hidrográficas: a do Rio Guaíba, na porção sul, e a do Rio Uruguai, nas demais” (PASSO FUNDO, 2014).

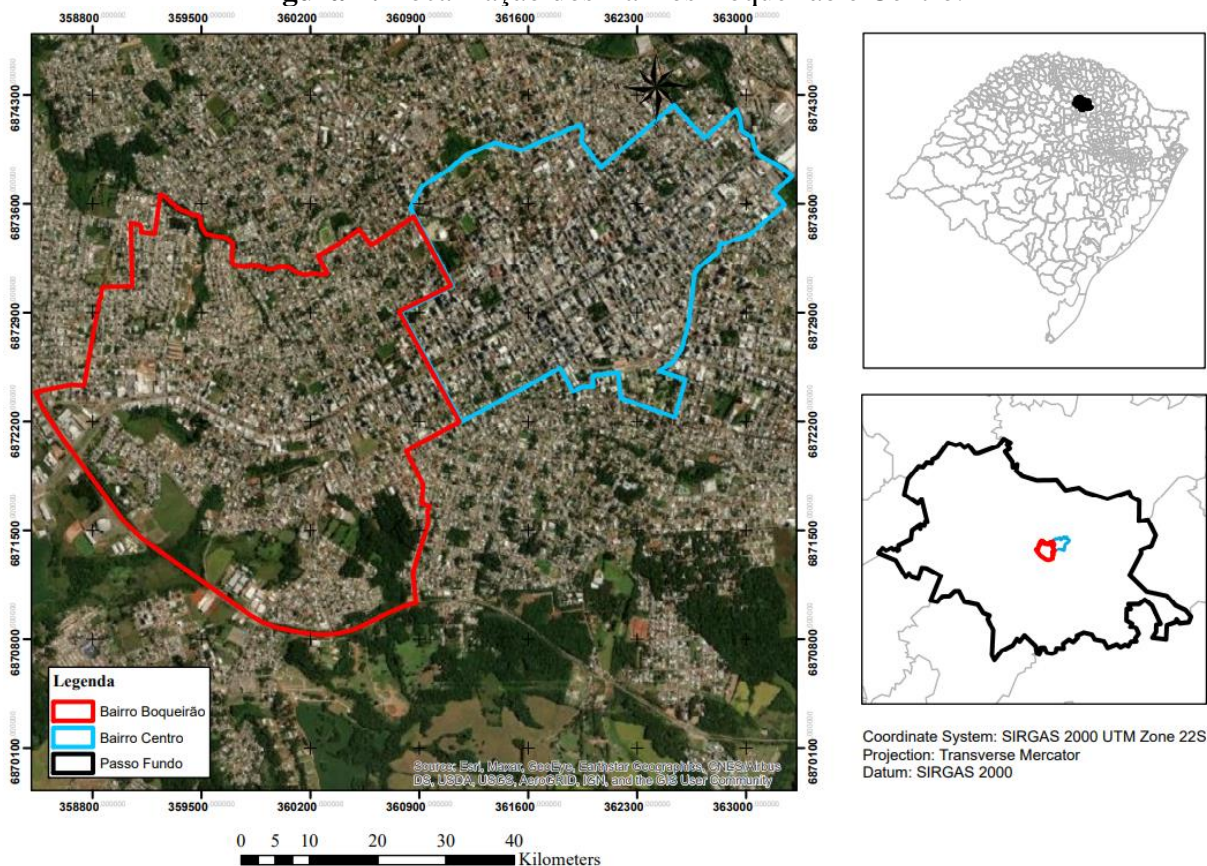
Segundo os dados do IBGE (2020), o município de Passo Fundo abrange uma área de 784,407 km², tendo como municípios limítrofes: Pontão e Coxilha ao norte, Mato Castelhano a leste, Ernestina e Marau ao sul, Santo Antônio do Planalto e Carazinho a oeste (PASSO FUNDO, 2014). A sede municipal, localizada na zona urbana, situa-se centralizada no território municipal. De acordo com a Prefeitura Municipal de Passo Fundo (2014), ocupa uma área de 79,96 km², correspondendo a 10,2% da área total do município.

De acordo com ROJAS (2012), o solo da região de Passo Fundo pode ser caracterizado como Latossolo Bruno intermediário para Latossolo Roxo Álico, com proeminente textura muito argilo, mas, também, podendo haver ocorrências de Latossolos Vermelho-escuro húmico álico, conhecidos como Latossolos vermelhos, com textura argilosa e relevo suave a ondulado.

Para o presente trabalho, foram escolhidas duas regiões (Figura 2): a primeira foi a região do bairro Boqueirão para a análise do coeficiente de escoamento superficial. A região localiza-se na porção Oeste do município e, de acordo com dados da Prefeitura Municipal de Passo Fundo, possui 17.155 habitantes, sendo considerado os bairros: Vila Operária, Vila Independente, Loteamento Pampa, Conjunto Habitacional Luiz Secchi, Loteamento Menino Deus, Vila Berthier, Loteamento Morada da Colina, Conjunto Habitacional Edmundo Trein, Vila Agostinho Carrão, Vila Graeff, Vila Feroldi, Vila Doutor Galves, Loteamento Ítalo Benvegna, Vila São João, Loteamento São Geraldo, Loteamento Santo Afonso e Loteamento Garden (parte do loteamento), totalizando uma área de 4,87 km².

A segunda região escolhida foi a região do bairro Centro. Localizada na área central do município, possui 21.942 habitantes, se tornando a porção mais habitada do município de Passo Fundo. A região do bairro Centro considera os seguintes bairros: Centro, Vila Nicolau Vergueiro, Vila Fátima, Loteamento Wolmar Salton, Loteamento Moreno A. Santos, Loteamento João Lângaro, totalizando uma área de 3,10 km².

Figura 2: Localização dos Bairros Boqueirão e Centro.



Fonte: A autora, 2022.

3.2 Obtenção das imagens de satélite

Para alcançar os objetivos propostos, inicialmente, foi necessário obter imagens de satélite para a criação dos mapas, uma vez que possuem uma maior visibilidade do uso do solo. Desta maneira, foram retiradas imagens de setembro de 2011 e de junho de 2022 para o bairro Boqueirão, e de setembro de 2011 e novembro de 2022 para o bairro Centro, no aplicativo *Google Earth* e na ferramenta *Basemap* do *software Arcgis*, respectivamente, para, então, realização da análise do coeficiente de escoamento superficial dos bairros localizados no município de Passo Fundo. Foi escolhida imagens de 2011 devido à qualidade dessas disponíveis no aplicativo *Google Earth* e, o intervalo de 11 anos entre as imagens para que seja demonstrada a evolução da urbanização e, assim, do uso e ocupação do solo das regiões.

3.3 Criação dos Mapas

Após a obtenção das imagens de satélite de 2011 e 2022, todas foram georreferenciadas pelo *software ArcMap*, componente do pacote *ArcGis*. A partir das imagens já

georreferenciadas, a região do bairro Boqueirão e a região do bairro Centro foram destacadas em três superfícies para criação dos mapas de uso e ocupação do solo. Os destaques são de acordo com as superfícies escolhidas da literatura para análise do coeficiente de escoamento superficial, apresentadas na Quadro 1. Vale ressaltar que, asfaltos e calçadas foram considerados como superfície de Telhado e ruas com paralelepípedo como superfície não melhorada. Ambas as considerações ocorreram para melhor representatividade dos coeficientes.

3.4 Análise do Coeficiente de Escoamento Superficial

Como descrito na Quadro 1, foram escolhidos 3 coeficientes *runoff* para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial médio (C) da região do bairro Boqueirão e do bairro Centro, usando-se a média ponderada. Para esta média (Equação 1), foram utilizados os dados das áreas, com base nos resultados dos mapas sobre o uso e ocupação do solo dos bairros, e os valores anteriormente adotados para os coeficientes de escoamento superficial.

$$C = \frac{A1*C1+A2*C2+A3*C3}{A1+A2+A3} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

C = Coeficiente de escoamento superficial médio (adimensional);

A_n = Área de acordo com os coeficientes (km²);

C_n = Coeficientes de escoamento superficial (adimensional).

3.5 Análise de Cenários dos Coeficientes de Escoamento Superficial

Com os coeficientes de escoamento calculados para os anos de 2011 e 2022, baseado nos mapas criados no software *ArcGis*, foi realizada a projeção de cenários futuros para 10 anos e 20 anos, ou seja, para os anos de 2032 e 2042. Os cenários foram criados a partir de projeção linear, podendo, então, ser feita a análise dos coeficientes e de como irão se portar ao longo dos 31 anos de desenvolvimento da urbanização dos bairros.

3.6 Cálculo do Escoamento Superficial pelo Método Racional

Para determinar a diferença de vazão provocada pela urbanização das áreas, foi utilizado o método racional, onde foi calculada a vazão gerada nos diferentes coeficientes de escoamento estimados, isto é, os dois coeficientes estimados pelos mapas criados no presente trabalho e os dois coeficientes projetados para cenários futuros.

O Método Racional relaciona a precipitação com o deflúvio, considerando as principais características dos locais, como a área, permeabilidade, intensidade das chuvas, sendo a vazão de dimensionamento calculada pela Equação 2:

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * C * i * A \quad \text{Equação 2}$$

Sendo que:

$Q_{m\acute{a}x}$ = Vazão a ser calculada (m³/s);

C = Coeficientes de escoamento superficial (adimensional);

i = Intensidade das chuvas (mm/h);

A = Área em estudo (km²);

O valor 0,278 é o fator de conversão de unidade.

Para o estudo, foram utilizados os 4 (quatro) coeficientes de escoamento estimados, dos anos de 2011, 2022, 2032 e 2042, totalizando 31 anos de análise do desenvolvimento da região do bairro Boqueirão e do bairro Centro. A área a ser utilizada é 4,87 km², correspondente à área total do bairro Boqueirão e 3,10 km², correspondente à área total do bairro Centro.

A intensidade das chuvas é um dos parâmetros do Método Racional (Equação 2), podendo ser calculado com base na Equação IDF (intensidade-duração-frequência) de Passo Fundo adotada, sendo representada pela Equação 3. A equação foi ajustada segundo dados pluviométricos, considerando as constantes de BACK, OLIVEIRA e HEN (2012).

$$i = \frac{645,50 * TR^{0,13}}{(t+8,00)^{0,69}} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo que:

i = Intensidade das chuvas (mm/h);

TR = Tempo de retorno (anos);

t = tempo de duração da chuva (min).

O tempo de retorno adotado foi de 5 anos, devido à sua utilização frequente nos cálculos de intensidade-duração-frequência (IDF). Já o tempo de duração da chuva escolhido foi de 60 minutos (1 hora).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

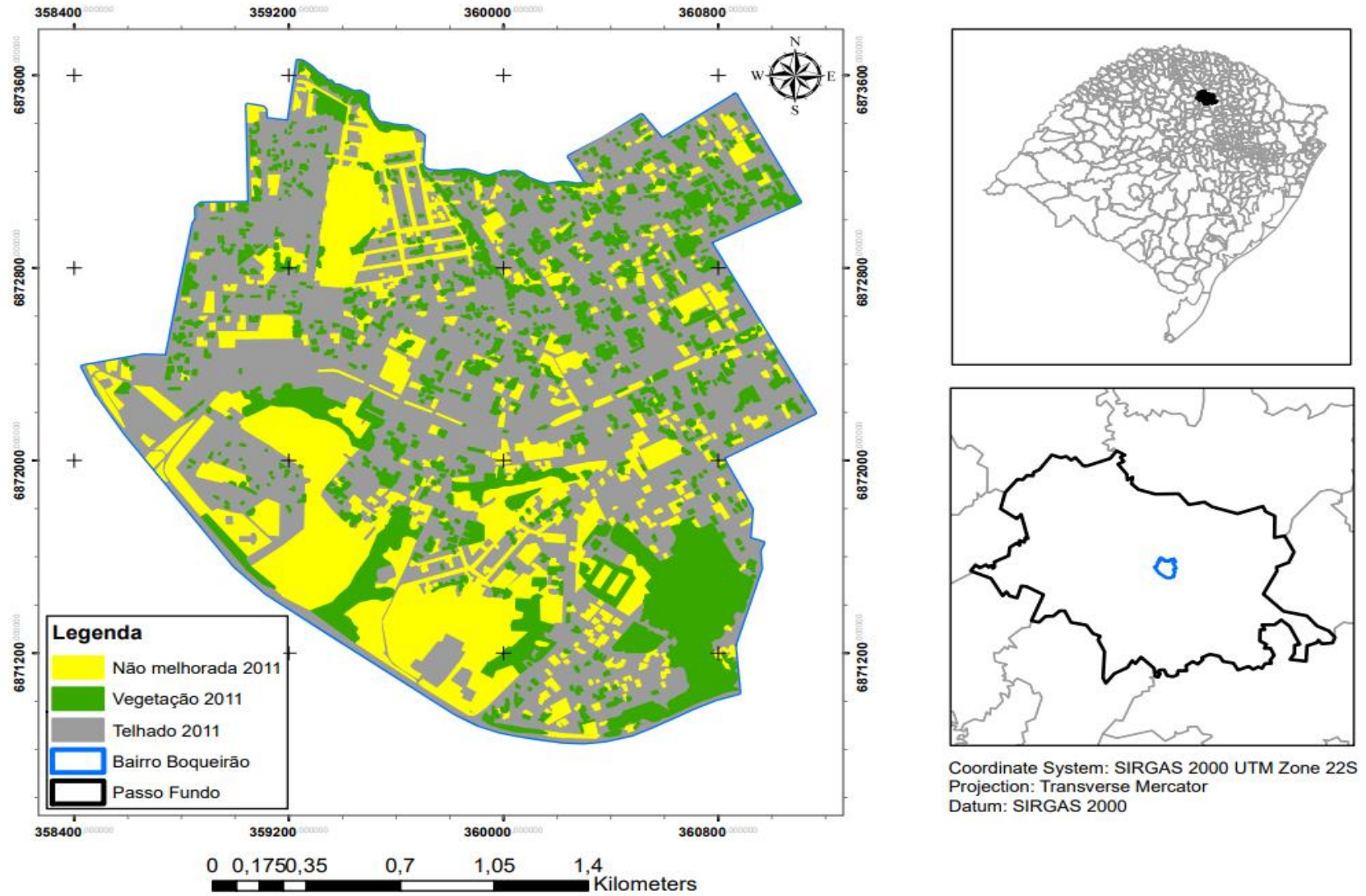
4.1 Bairro Boqueirão

4.1.1 Análise de setembro de 2011

4.1.1.1 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Na Figura 3 está apresentado o resultado da análise do uso e ocupação do solo da região do bairro Boqueirão, a partir do mapa criado, no mês de setembro de 2011.

Figura 3: Mapa de uso e ocupação do solo, em setembro de 2011, do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

4.1.1.2 Quantificação das Áreas

A partir do mapa apresentado, foi possível calcular as áreas de cada superfície em setembro de 2011, conforme Tabela 1. Em porcentagem, está apresentada a proporção de cada área com a respectiva superfície, ou seja, é a relação percentual entre as áreas encontradas no mapa de uso e ocupação do solo e a área total do bairro Boqueirão.

Tabela 1: Extensões das superfícies em setembro de 2011 do bairro Boqueirão.

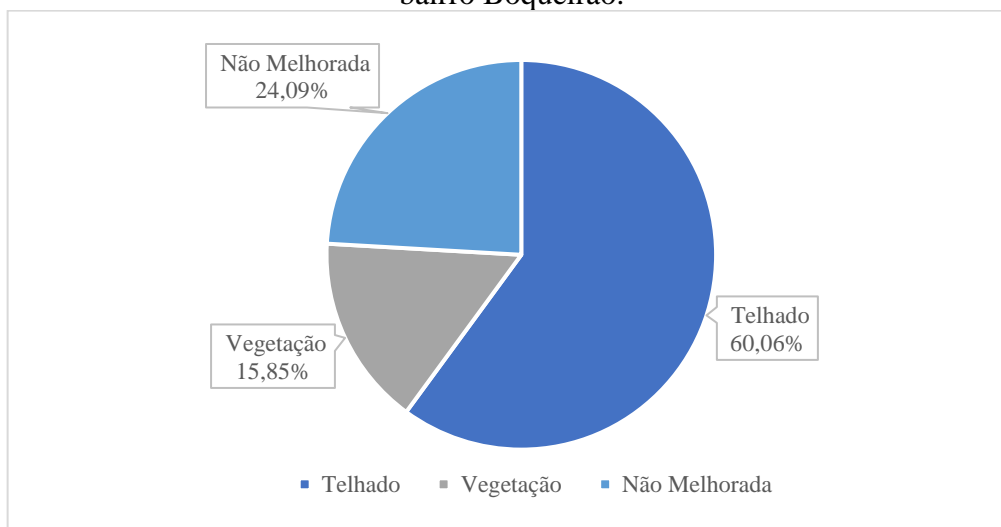
2011	Área (m ²)	Área (km ²)	Equivalente a (%)
Telhado	2.929.430,48	2,93	60,06%
Vegetação	773.061,07	0,77	15,85%
Não Melhorada	1.174.928,45	1,17	24,09%
TOTAL	4.877.420	4,87	100%

Fonte: A autora, 2022.

De acordo com o demonstrado na tabela, a área de telhado possuía, aproximadamente, 2,93 km², ou seja, maior parte da área total da região do bairro Boqueirão. A área não melhorada e a superfície de vegetação contavam com cerca de 1,94 km² da área total.

A Figura 4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa as porcentagens de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes de escoamento superficial, em 2011, equivalentes a área total do bairro Boqueirão.

Figura 4: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2011, do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

Pode-se afirmar que, em 2011, o bairro Boqueirão tinha uma predominância de áreas já edificadas, ou seja, impermeabilizadas, equivalente à 60,06% da área total, demonstrando um processo de urbanização já avançado na época.

Em comparação, as áreas não melhoradas, ou seja, sem impermeabilização e/ou sem uso, correspondiam a 24,09% da área total. Neste coeficiente, foram considerados terrenos baldios e ruas que não possuíam asfalto na época, demonstrando que, para o ano de 2011, como mencionado anteriormente, o bairro Boqueirão possuía um maior uso do solo.

Por fim, a área de vegetação foi a menos expressiva, correspondente a 15,85% da área total. Vale ressaltar que a área do bairro Boqueirão considera a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Instituto Menino Deus, equivalente a 5,19 ha de área.

4.1.1.3 Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial

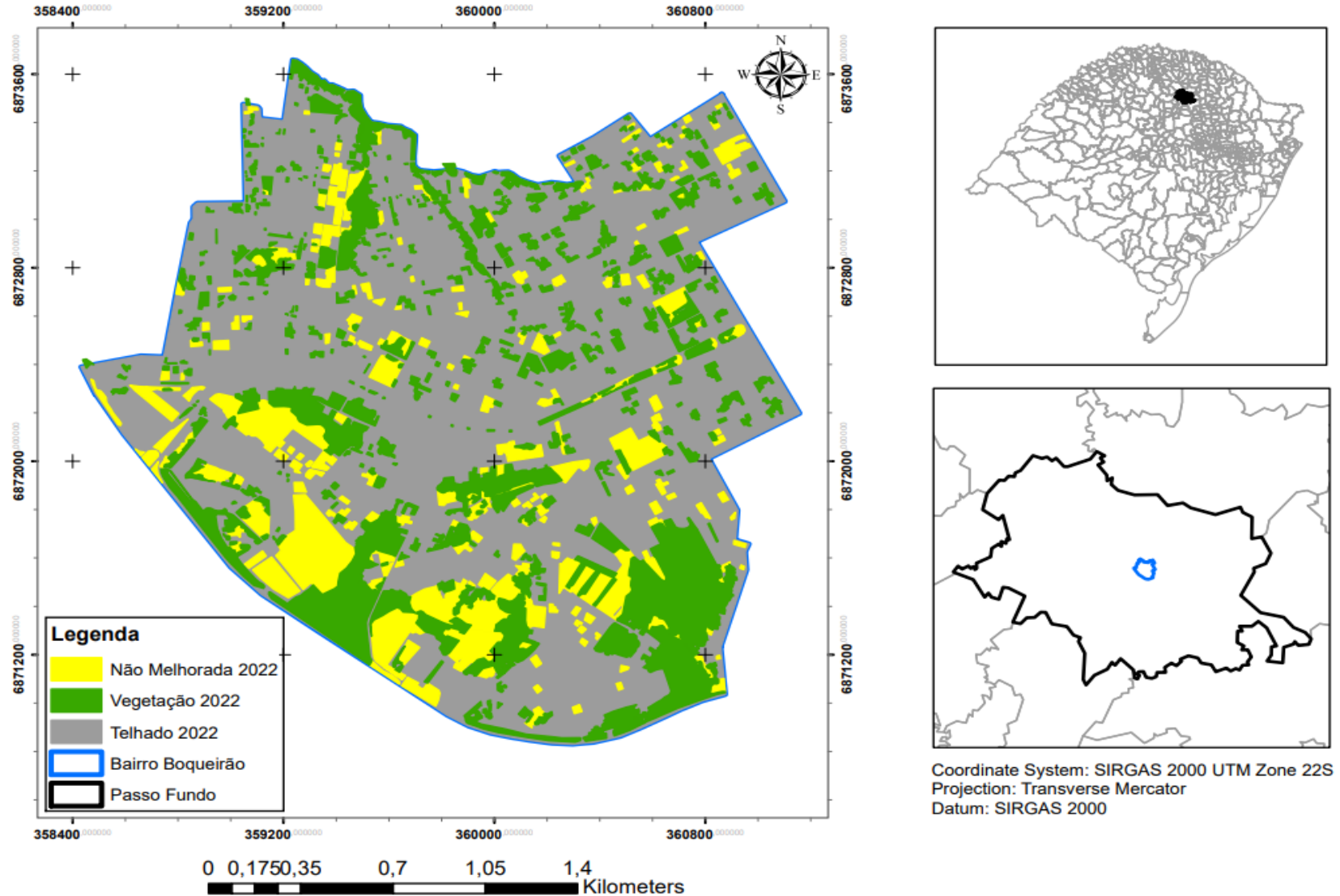
Com os coeficientes escolhidos da Quadro 1 e as áreas calculadas da Tabela 1 foi utilizada a média ponderada da Equação 1 para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial. Após a substituição na equação, o coeficiente de escoamento superficial médio encontrado do bairro Boqueirão, em setembro de 2011, é de 0,57.

Com esta média ponderada, é possível concluir que, em 2011, um pouco mais da metade da água não consegue se infiltrar e acaba se tornando escoamento superficial.

4.1.2 Análise de junho de 2022

Na Figura 5 está apresentando o mapa de uso e ocupação do solo do bairro Boqueirão do mês de junho de 2022.

Figura 5: Mapa de uso e ocupação do solo, em junho de 2022, do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

4.1.2.1 Quantificação das Áreas

Com o mapa apresentado na Figura 5, foi possível calcular as áreas de cada superfície em junho de 2022, representadas na Tabela 2.

Tabela 2: Extensões das superfícies em junho de 2022 do bairro Boqueirão.

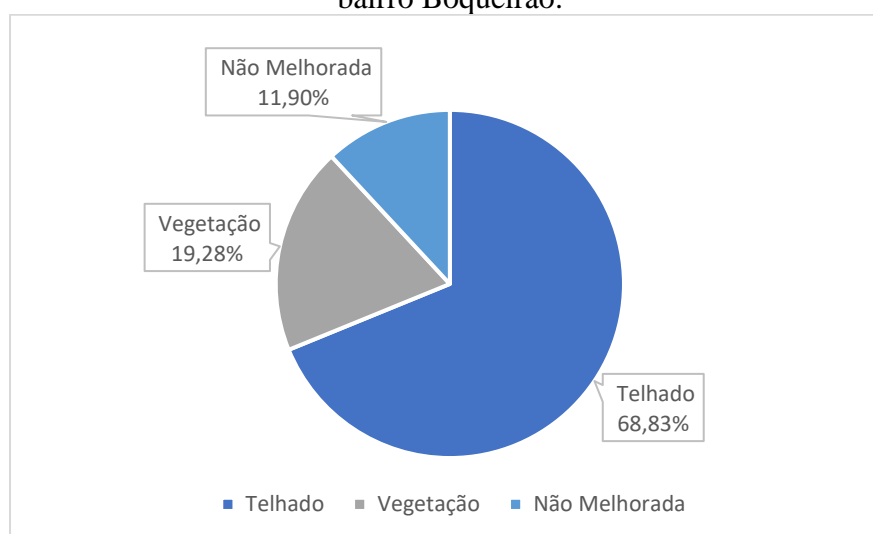
2022	Área (m ²)	Área (km ²)	Equivalente a
Telhado	3.356.971,83	3,36	68,83%
Vegetação	940.143,16	0,94	19,28%
Não Melhorada	580.305,01	0,58	11,90%
TOTAL	4.877.420	4,87	100%

Fonte: A autora, 2022.

Com a expansão de comércios, residências e indústrias, o bairro Boqueirão se tornou predominantemente de superfícies impermeabilizadas, totalizando 3,36 km² da área total, chegando a quase 70% da área total. Conforme demonstrado na Figura 3, a superfície de vegetação teve um desenvolvimento em toda a extensão do bairro Boqueirão, não centralizando em apenas um local. O mesmo aconteceu com a superfície não melhorada, reduziu para 0,58 km² em pontos espalhados do bairro.

Na Figura 6, estão sendo apresentadas as porcentagens da ocupação do solo em 2022, equivalente às áreas encontradas no *ArcGis*.

Figura 6: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2022, do bairro Boqueirão.



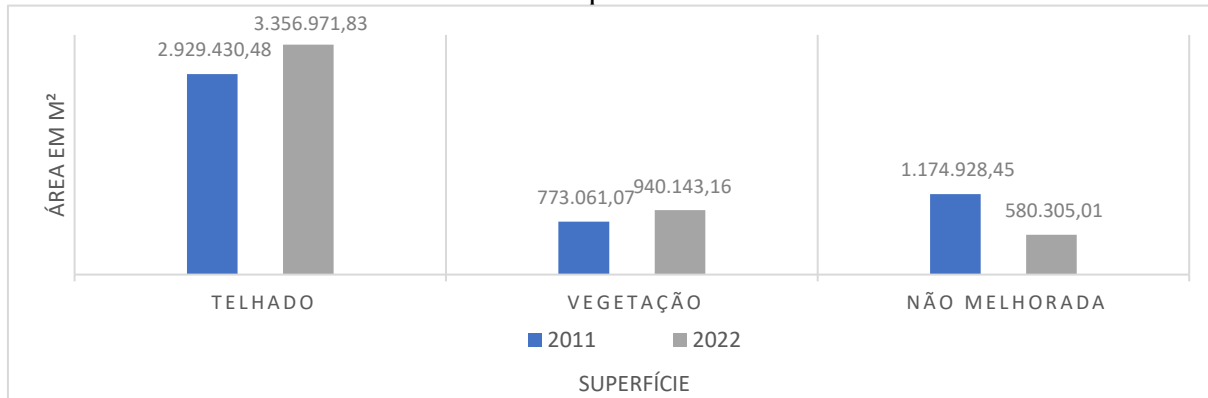
Fonte: A autora, 2022.

Como esperado, houve um aumento de 8,77% de área da superfície de Telhado, e, junto com a maior impermeabilização em alguns pontos do bairro, houve um aumento de 3,43% de área de superfície de Vegetação, sendo um fator positivo para a área, tornando-se um elemento relevante para a redução de riscos de inundações, uma das consequências da impermeabilização do solo.

Porém, a área não melhorada teve uma diminuição significativa. Em conjunto com o aumento da superfície de Telhado, é possível concluir que a urbanização do bairro Boqueirão teve um aumento expressivo ao longo dos 11 anos de análise da superfície, tornando o bairro mais impermeabilizado, ou seja, o aumento de 3,43% da superfície de Vegetação se torna pouco significante para a redução do escoamento superficial da região.

A Figura 7, apresentado a seguir, representa, quantitativamente, as áreas encontradas a partir do software *ArcGis*, em 2011 e 2022, onde é possível comparar o avanço da urbanização e aumento da vegetação e, conseqüentemente, uma redução das superfícies não melhoradas, análises já apresentadas anteriormente.

Figura 7: Comparação das áreas de cada superfície entre os anos de 2011 e 2022 do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

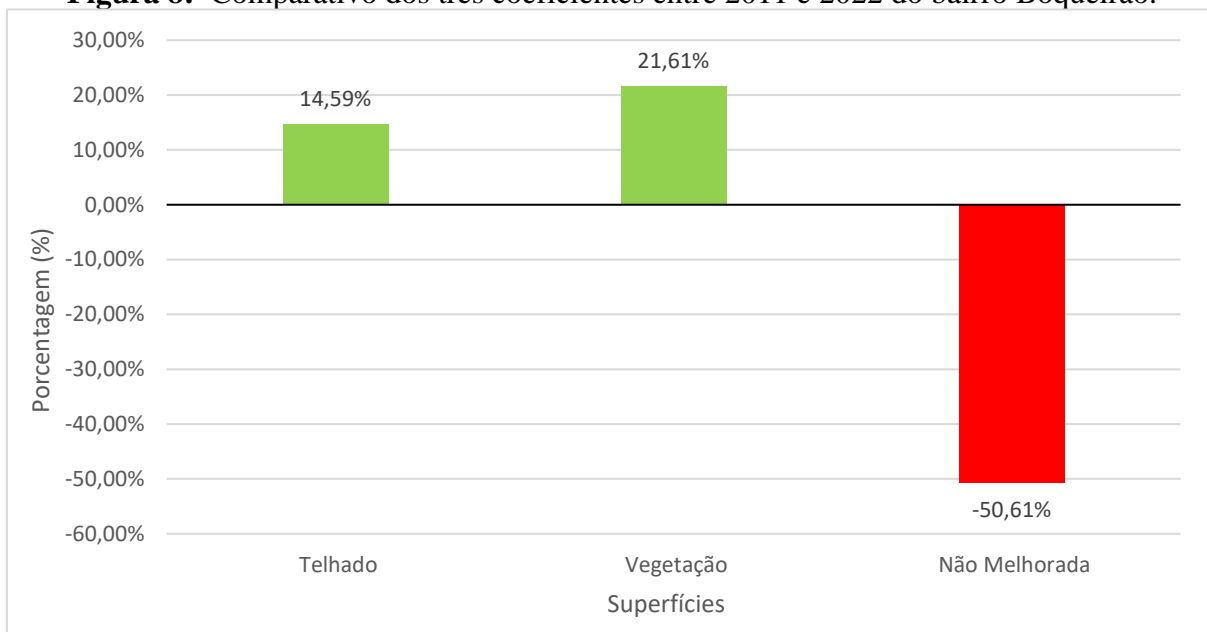
4.1.2.2 Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial

Com os coeficientes escolhidos da Quadro 1 e as áreas calculadas da Tabela 2, foi utilizada a média ponderada da Equação 2 para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial. Portanto, o coeficiente de escoamento superficial médio do bairro Boqueirão, em junho de 2022, é de 0,64.

Quanto mais perto de 1 for o valor do coeficiente, maior será a quantidade de água escoada na superfície, portanto, ao longo dos 11 anos de análise, houve um aumento de 0,07 no coeficiente de escoamento superficial no bairro.

A Figura 8 demonstra, em porcentagem, a diferença entre 2011 e 2022 das superfícies de Telhado, Vegetação e Não Melhorada. Em verde estão as superfícies que tiveram um aumento entre os 11 anos e em vermelho está a superfície que teve redução.

Figura 8: Comparativo dos três coeficientes entre 2011 e 2022 do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

A superfície de vegetação possuiu o maior aumento, de, aproximadamente, 22%, seguindo da superfície de telhado, com, aproximadamente 15%. A superfície não melhorada obteve uma redução de cerca de 51%, substituindo-se, ao longo dos anos de análise, tanto de superfície de telhado, quanto de vegetação, tornando um ponto positivo para o bairro, já que, mesmo tendo o aumento a urbanização, teve o aumento e um cuidado maior com a vegetação da área.

4.1.3 Estimativa dos Cenários Futuros para os Coeficientes de Escoamento

Com os dois coeficientes de escoamento superficial calculados, a partir da Equação 1, para 2011 e 2022, foi possível fazer a projeção linear dos coeficientes para os anos de 2032 e 2042, de acordo com a Equação 4.

$$y = 0,0629x + 0,5097$$

Equação 4

O Quadro 2 apresenta os quatro coeficientes de escoamento superficial que foram utilizados ao longo do trabalho, dentre eles estão os dois coeficientes encontrados a partir do mapeamento do bairro Boqueirão pelo software *Arcgis*, dos anos de 2011 e 2022, e os dois coeficientes projetados a partir da Equação 4.

Quadro 2: Coeficientes de Escoamento Calculados e Projetados do bairro Boqueirão.

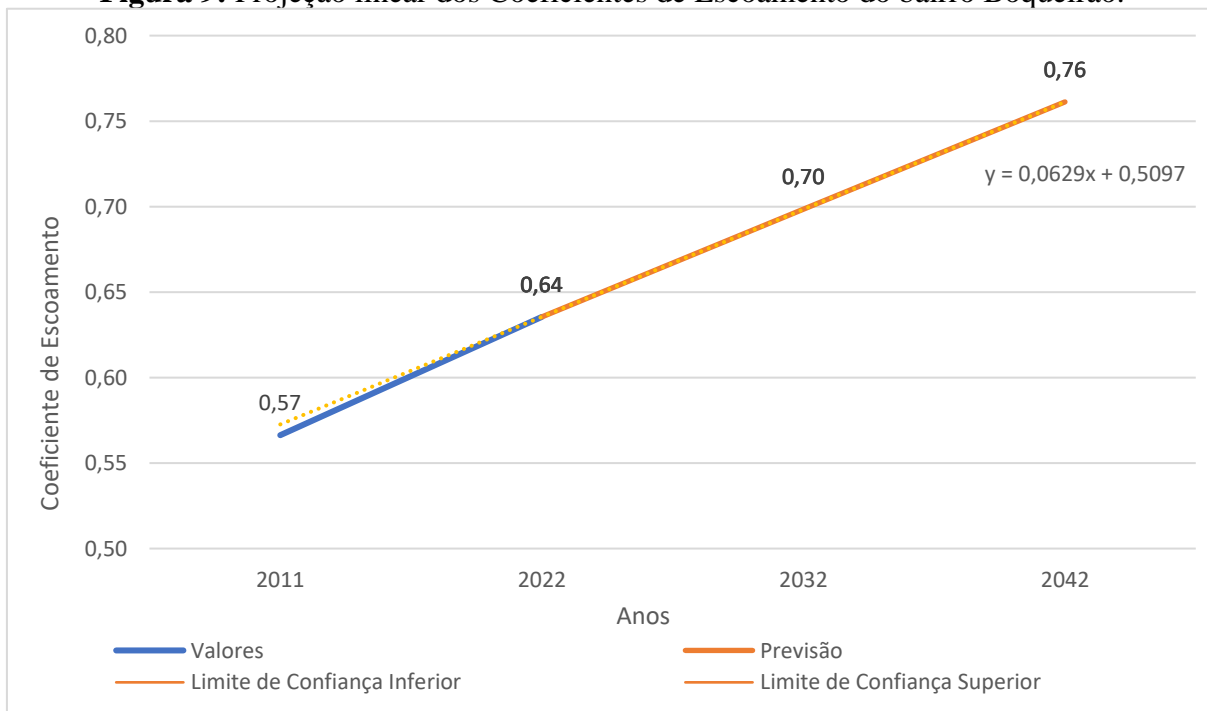
Coeficientes de Escoamento	
2011	0,57
2022	0,64
2032	0,70
2042	0,76

Fonte: A autora, 2022.

Pela escolha de projeção ser linear, automaticamente, haverá o crescimento da impermeabilização do solo, ou seja, aumento da urbanização e do coeficiente de escoamento superficial, ao longo dos 20 anos determinados.

A Figura 9 corresponde aos cenários futuros do coeficiente de escoamento do bairro Boqueirão.

Figura 9: Projeção linear dos Coeficientes de Escoamento do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

4.1.4 Análise do Escoamento Superficial

Com as projeções futuras, foi calculada a vazão máxima do bairro ao longo dos 31 anos de estudo, a partir do Método Racional, representado na Equação 2 e Equação 3. O Quadro 3, apresenta as vazões máximas dos respectivos anos e coeficientes de escoamento superficial.

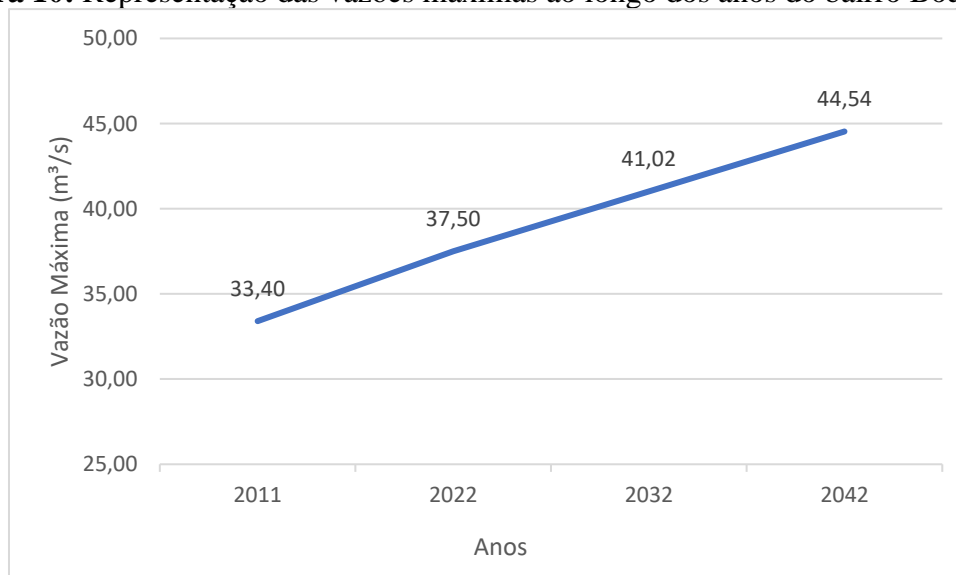
Quadro 3: Coeficientes de escoamento e vazões máximas em seus respectivos anos do bairro Boqueirão.

Ano	C	Q _{máx} (m ³ /s)
2011	0,57	33,40
2022	0,64	37,50
2032	0,70	41,02
2042	0,76	44,54

Fonte: A autora, 2022.

Na Figura 10, é possível observar o aumento linear das vazões máximas e seus respectivos coeficientes de escoamento superficial.

Figura 10: Representação das vazões máximas ao longo dos anos do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

Como demonstrado na tabela, as vazões, ao longo dos anos, obtiveram um aumento significativo de 33,33%, de acordo com as alterações negativas do coeficiente de escoamento superficial, ou seja, nos 31 anos de análise, houve o aumento dos coeficientes de escoamento, a sua principal consequência é a impermeabilização do solo, ocasionando a menor infiltração das águas no solo e assim, aumentando as possibilidades de alagamentos, enchentes, entre

outras situações naturais de transbordamento de água, devido, sobretudo, do mau funcionamento do sistema de drenagem do bairro. Por este motivo, o melhoramento contínuo deste sistema é de suma importância.

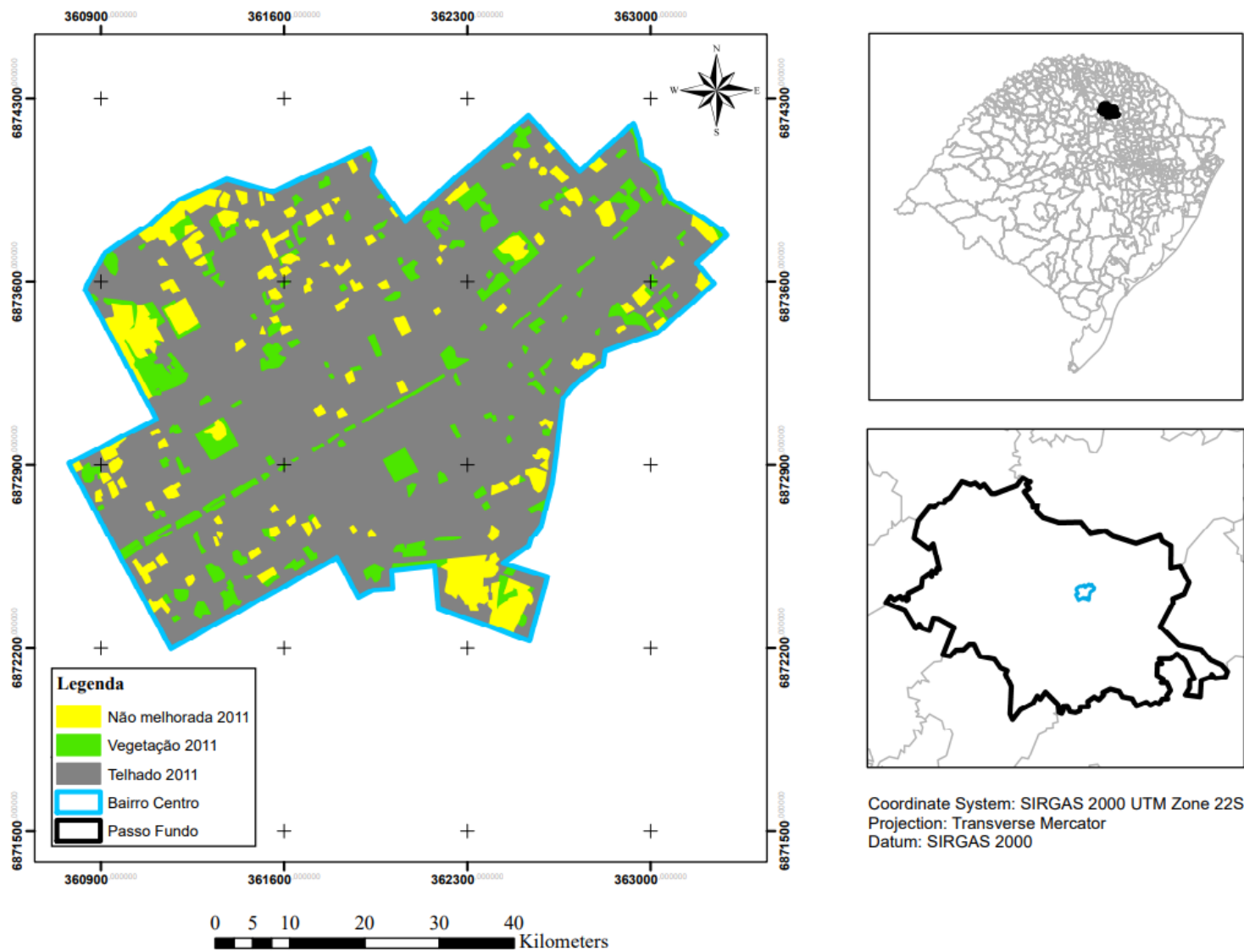
4.2 Bairro Centro

4.2.1 Análise de setembro de 2011

4.2.1.1 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Na Figura 11 está apresentado o resultado da análise do uso e ocupação do solo da região do bairro Centro, a partir do mapa criado, no mês de setembro de 2011.

Figura 11: Mapa de uso e ocupação do solo, em setembro de 2011, do bairro Centro.



Fonte: A autora, 2022.

4.2.1.2 Quantificação das áreas

A partir do mapa apresentado, foi possível calcular as áreas de cada superfície em setembro de 2011, conforme Tabela 3. Em porcentagem, está apresentada a proporção de cada área com a respectiva superfície, ou seja, é a relação percentual entre as áreas encontradas no mapa de uso e ocupação do solo e a área total do bairro Boqueirão.

Tabela 3: Extensões das superfícies em setembro de 2011 do Bairro Centro.

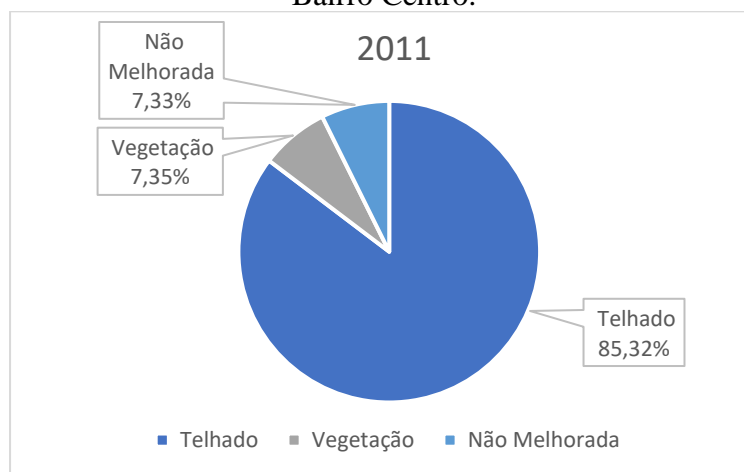
2011	Área (m ²)	Área (km ²)	Equivalente a (%)
Telhado	2.643.287,00	2,64	85,32%
Vegetação	227.564,00	0,23	7,35%
Não Melhorada	227.188,00	0,23	7,33%
TOTAL	3.098.039	3,10	100%

Fonte: A autora, 2022.

De acordo com o demonstrado na tabela, a área de telhado possuía, aproximadamente, 2,64 km², ou seja, parte mais significativa da área total da região do bairro Centro. A área não melhorada e a superfície de vegetação contavam com cerca de 0,46 km² da área total.

A Figura 12 representa as porcentagens de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes de escoamento superficial, em 2011, equivalentes a área total do bairro Boqueirão.

Figura 12: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2011, do Bairro Centro.



Fonte: A autora, 2022.

Pode-se afirmar que, em 2011, o bairro Centro já possuía grande parte da sua área edificada, ou seja, equivalente à 85,32% da área total, demonstrando um processo de urbanização avançado na época, por motivos de ser a área central do município e mais

procurada pela população de outros municípios, principalmente, estudantes das faculdades existentes em Passo Fundo.

Em comparação, as áreas não melhoradas, ou seja, sem impermeabilização e/ou sem uso, correspondiam a 7,35% da área total. Neste coeficiente, como mencionado anteriormente, foram considerados terrenos baldios e áreas, demonstrando que, para o ano de 2011, o bairro Centro tinha apenas uma pequena área não utilizada.

Por fim, a área de vegetação foi a menos expressiva, correspondente a 7,33% da área total, tendo pouca diferença da superfície não melhorada.

4.2.1.3 Cálculo do Coeficiente de Escoamento Superficial

Com os coeficientes escolhidos da Quadro 1 e as áreas calculadas da Tabela 3, foi utilizada a média ponderada da Equação 1 para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial. Após a substituição na equação, o coeficiente de escoamento superficial médio encontrado do bairro Centro, em setembro de 2011, é de 0,75.

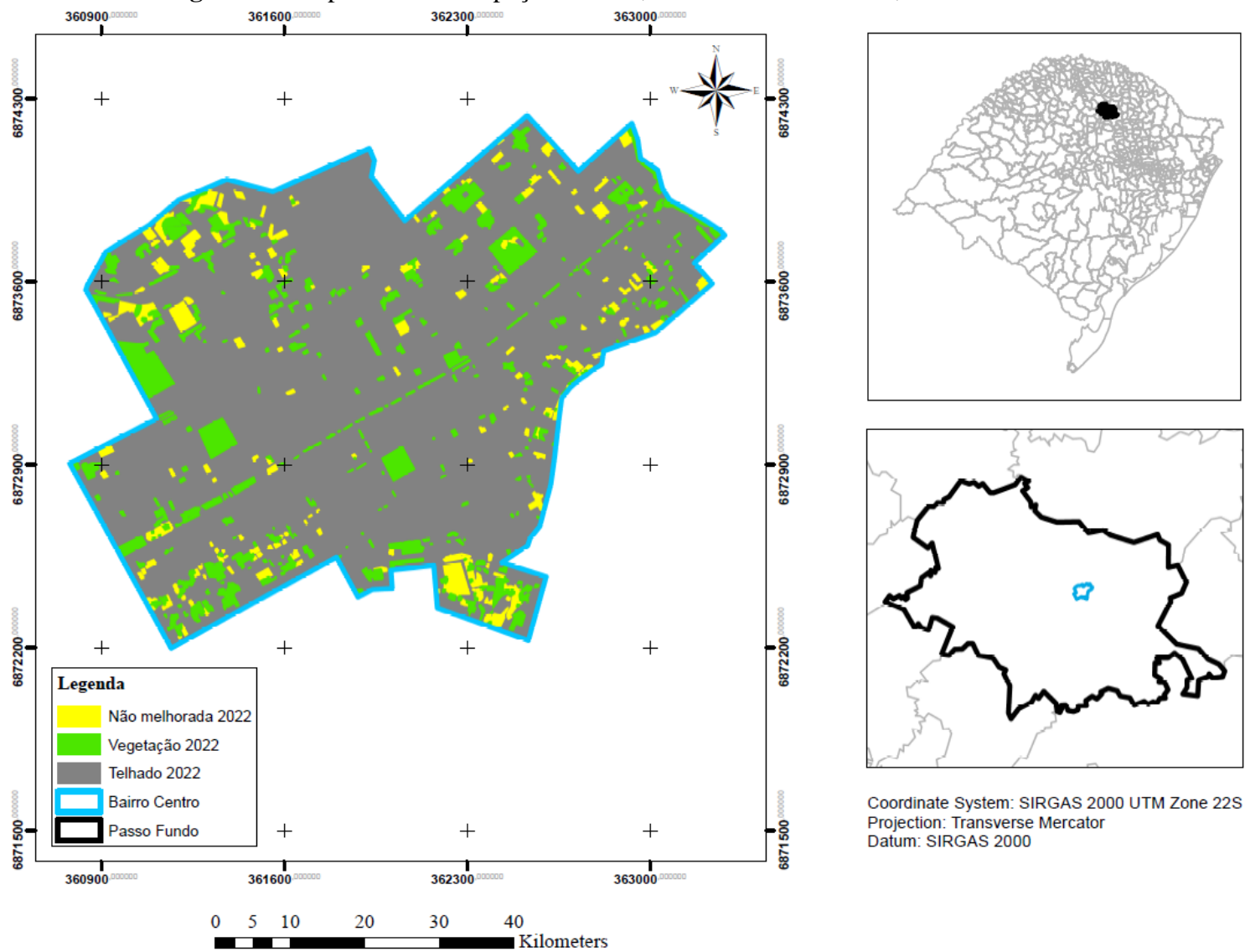
Com esta média ponderada, é possível concluir que, em 2011, o coeficiente de escoamento superficial é consideravelmente próximo de 1, portanto, a impermeabilização do solo no bairro Centro já era desenvolvida.

4.2.2 Análise de novembro de 2022

4.2.2.1 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Na Figura 1313 está apresentando o mapa de uso e ocupação do solo do bairro Centro no mês de novembro de 2022.

Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo, em novembro de 2022, do bairro Centro.



Fonte: A autora, 2022.

4.2.2.2 Quantificação das Áreas

Com o mapa apresentado na Figura 13, foi possível calcular as áreas de cada superfície em novembro de 2022, representadas na Tabela 4.

Tabela 4: Extensões das superfícies em novembro de 2022 do bairro Centro.

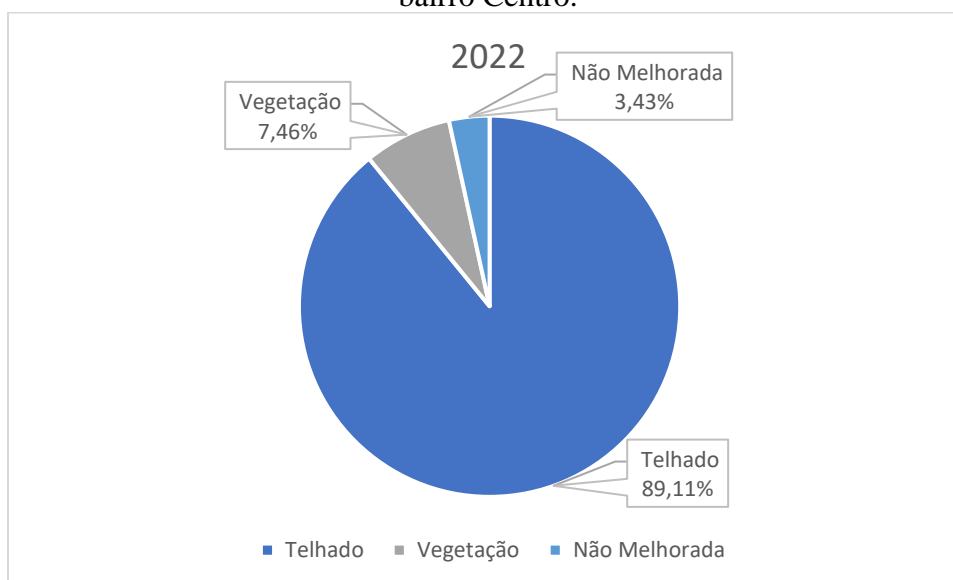
2022	Área (m ²)	Área (km ²)	Equivalente a (%)
Telhado	2.760.547,00	2,76	89,11%
Vegetação	231.253,00	0,23	7,46%
Não Melhorada	106.239,00	0,11	3,43%
TOTAL	3.098.039	3,10	100%

Fonte: A autora, 2022.

Como esperado, houve um aumento da superfície de telhado, totalizando 2,76 km² de todo o bairro, equivalente a 89,11% da área. A vegetação teve um pequeno desenvolvimento em toda a extensão, principalmente nas praças da área central, podendo ser explicado por melhorias feitas nesses locais públicos e pela preocupação em possuir ambientes verdes no município. A superfície não melhorada, reduziu para 0,11 km² em pontos espalhados do bairro.

Na Figura 14, estão sendo apresentadas as porcentagens da ocupação do solo em 2022, equivalente às áreas encontradas no *ArcGis*.

Figura 14: Porcentagem de ocupação do solo, de acordo com os coeficientes, em 2022, do bairro Centro.



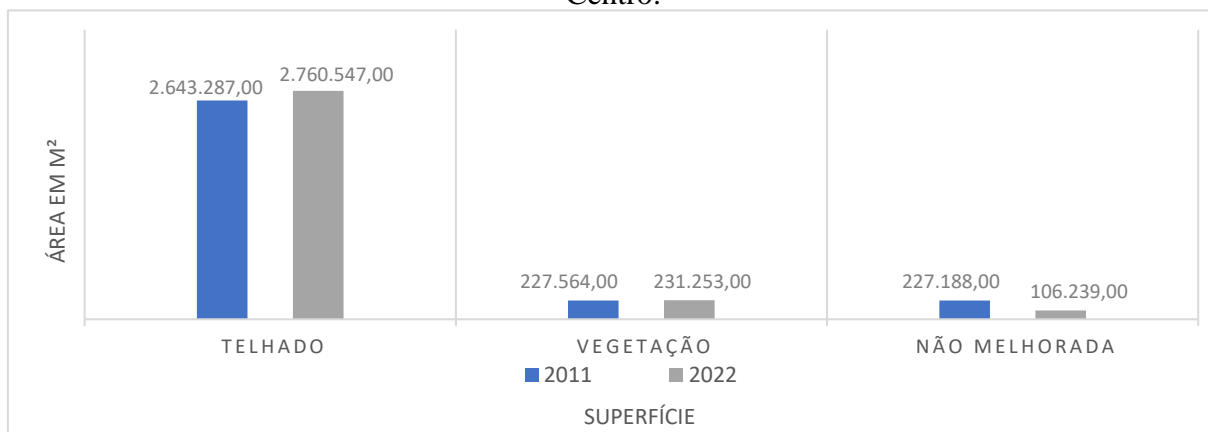
Fonte: A autora, 2022.

Houve um aumento de 4,44% da superfície de telhado e, junto com o crescimento da impermeabilização, teve um aumento sutil de 1,62% de área de superfície de Vegetação, sendo um fator positivo para a área. Assim como no bairro Boqueirão, estes elementos tornam-se relevantes para a redução de riscos de inundações, uma das consequências da impermeabilização do solo.

Deste modo, a área não melhorada teve a maior diminuição, chegando a, aproximadamente 47%. E, em conjunto com o pequeno aumento da superfície de Telhado, é possível concluir que a urbanização se manteve constante no seu crescimento durante os 11 anos da análise.

A Figura 15, apresentado a seguir, representa, quantitativamente, as áreas encontradas a partir do software *ArcGis*, em 2011 e 2022, onde é possível comparar o pequeno avanço da urbanização, o sutil aumento da vegetação e, conseqüentemente, uma redução das superfícies não melhoradas, conforme as análises já apresentadas anteriormente.

Figura 15: Comparação das áreas de cada superfície entre os anos de 2011 e 2022 do bairro Centro.



Fonte: A autora, 2022.

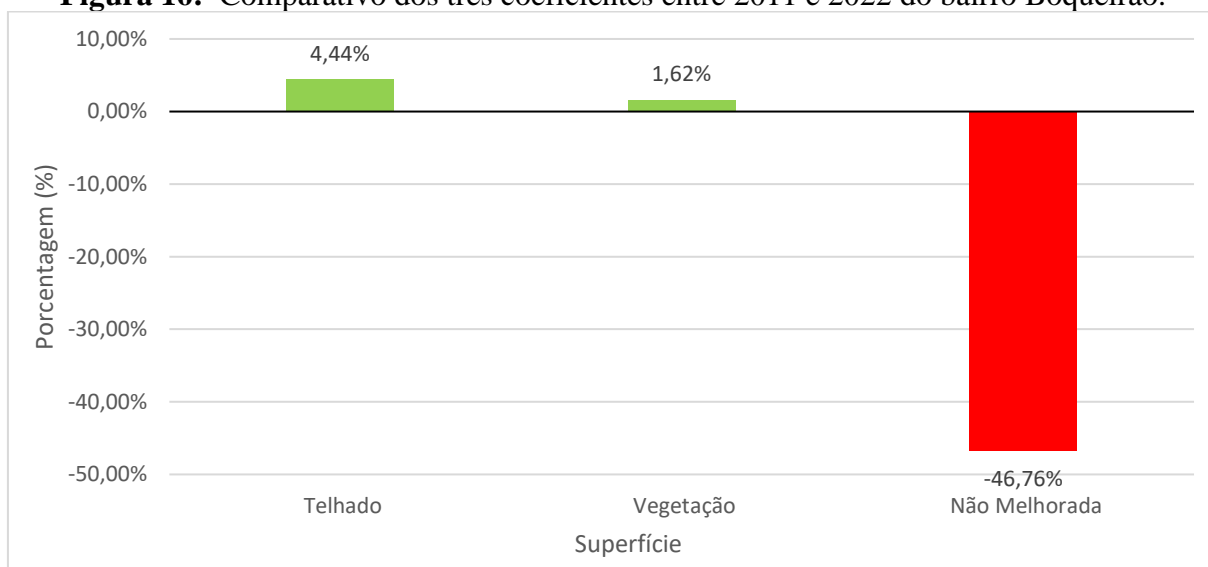
4.2.2.3 Cálculo do Coeficiente de escoamento Superficial

Com os coeficientes escolhidos da Quadro 1 e as áreas calculadas da Tabela 4, foi utilizada a média ponderada da Equação 2 para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial. Portanto, o coeficiente de escoamento superficial médio do bairro Centro, em novembro de 2022, é de 0,78.

Quanto mais perto de 1 for o valor do coeficiente, maior será a quantidade de água escoada pela superfície, portanto, ao longo dos 11 anos de análise, houve um aumento de 0,03 no coeficiente de escoamento superficial no bairro.

A Figura 16 demonstra, em porcentagem, as diferenças entre 2011 e 2022 das superfícies de Telhado, Vegetação e Não Melhorada. Em verde estão as superfícies que obtiveram um crescimento entre os 11 anos, e, em vermelho, está a superfície que teve redução.

Figura 16: Comparativo dos três coeficientes entre 2011 e 2022 do bairro Boqueirão.



Fonte: A autora, 2022.

A superfície de Telhado possuiu o maior aumento, de, aproximadamente, 4,5%, seguindo da Vegetação, com, aproximadamente 1,62%. A superfície não melhorada obteve uma redução de cerca de 47%, substituindo-se, ao longo dos anos de análise, tanto em superfície de telhado, quanto de vegetação, tornando um ponto positivo para o bairro e para as áreas de lazer nele presentes, já que, mesmo tendo o avanço da urbanização, teve uma maior preocupação com a vegetação do bairro.

4.2.3 Estimativa de Cenários Futuros para os Coeficientes de Escoamento

Com os dois coeficientes de escoamento superficial calculados, a partir da Equação 1, para 2011 e 2022, foi possível fazer a projeção linear dos coeficientes para os anos de 2032 e 2042, de acordo com a Equação 5.

$$y = 0,0259x + 0,7239 \quad \text{Equação 5}$$

O Quadro 4 apresenta os 04 (quatro) coeficientes de escoamento superficial que foram utilizados ao longo do trabalho, dentre eles estão os dois coeficientes encontrados a partir do

mapeamento do bairro Centro, dos anos de 2011 e 2022, e os dois coeficientes projetados a partir da Equação 4.

Quadro 4: Coeficientes de Escoamento Calculados e Projetados do bairro Centro.

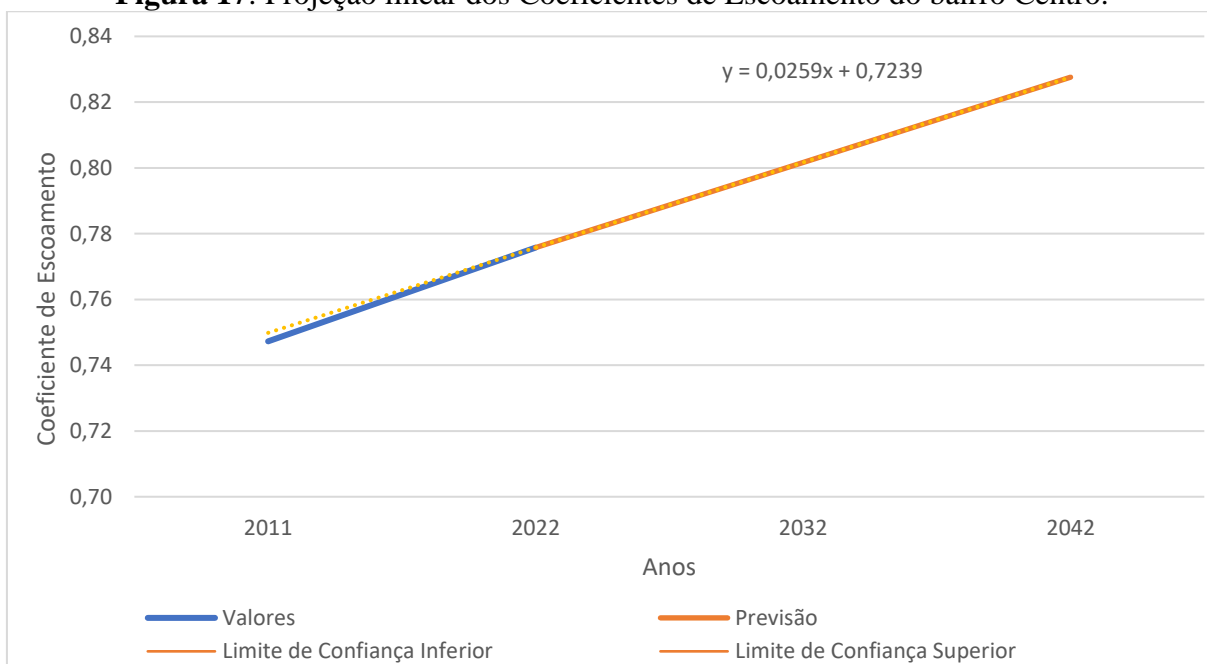
Coeficientes de Escoamento	
2011	0,75
2022	0,78
2032	0,80
2042	0,83

0Fonte: A autora, 2022.

Pela escolha de projeção ser linear, automaticamente, haverá o crescimento linear da impermeabilização do solo, ou seja, aumento da urbanização e do coeficiente de escoamento superficial, ao longo dos 20 anos determinados para as projeções futuras.

A Figura 17 corresponde aos cenários futuros do coeficiente de escoamento do bairro Centro.

Figura 17: Projeção linear dos Coeficientes de Escoamento do bairro Centro.



Fonte: A autora, 2022.

4.2.4 Análise do Escoamento Superficial

Com as projeções futuras calculadas, foi calculada a vazão máxima do bairro ao longo dos 31 anos de estudo, a partir do Método Racional, representado na Equação 2 e Equação 3.

O Quadro 5, apresenta as vazões máximas dos respectivos anos e coeficientes de escoamento superficial.

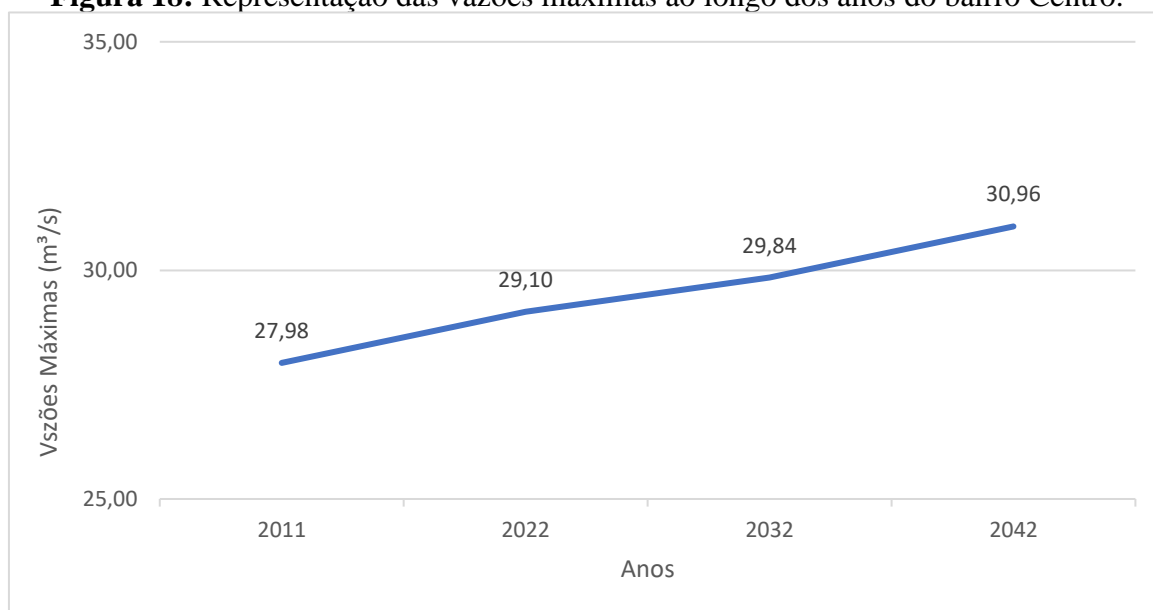
Quadro 5: Coeficientes de escoamento e vazões máximas em seus respectivos anos do bairro Centro.

Ano	C	Q _{máx} (m ³ /s)
2011	0,75	27,98
2022	0,78	29,10
2032	0,80	29,84
2042	0,83	30,96

Fonte: A autora, 2022.

Na Figura 18, é possível observar o aumento linear das vazões máximas e seus respectivos coeficientes de escoamento superficial.

Figura 18: Representação das vazões máximas ao longo dos anos do bairro Centro.



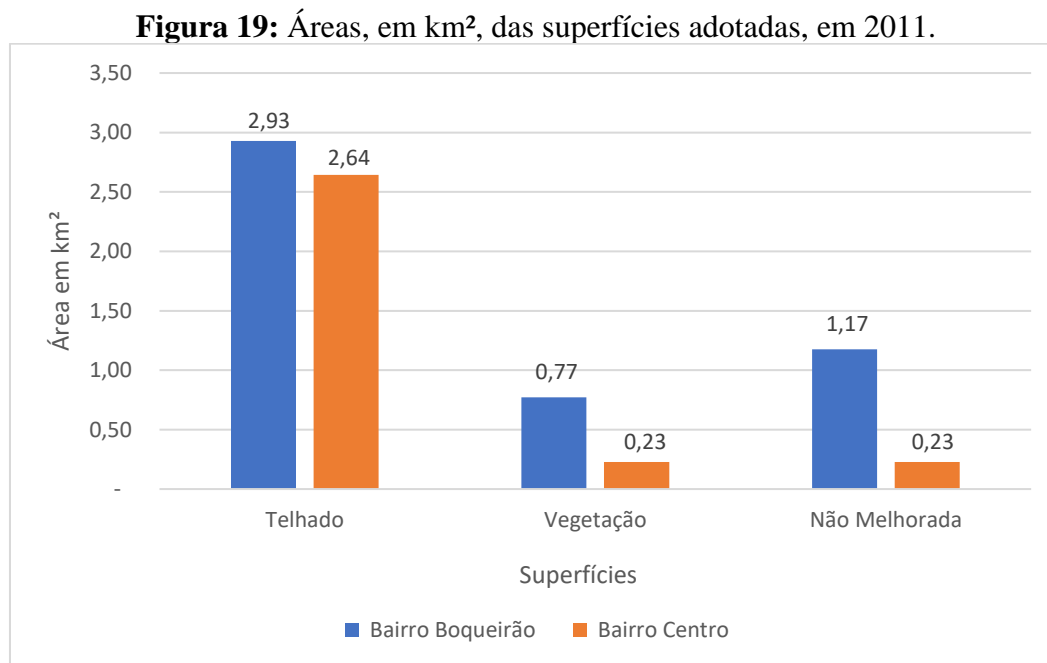
Fonte: A autora, 2022.

Como demonstrado na tabela, as vazões, obtiveram um aumento de 10,67%. Este crescimento demonstra que o bairro, desde o início da análise em 2011, possuiu tendência a ser impermeabilizado e urbanizado. Portanto, não houve grandes mudanças ao longo dos 31 anos da análise deste presente trabalho.

4.3 Comparação entre o Bairro Boqueirão e o Bairro Centro

Após analisar os coeficientes de escoamento superficial e o escoamento superficial das duas regiões de estudos, é possível verificar suas semelhanças e/ou diferenças.

A Figura 19 representa as áreas, em km², das superfícies adotadas para o estudo, dos dois bairros, no ano de 2011, de acordo com os mapas criados no software *Arcgis*.



Fonte: A autora, 2022.

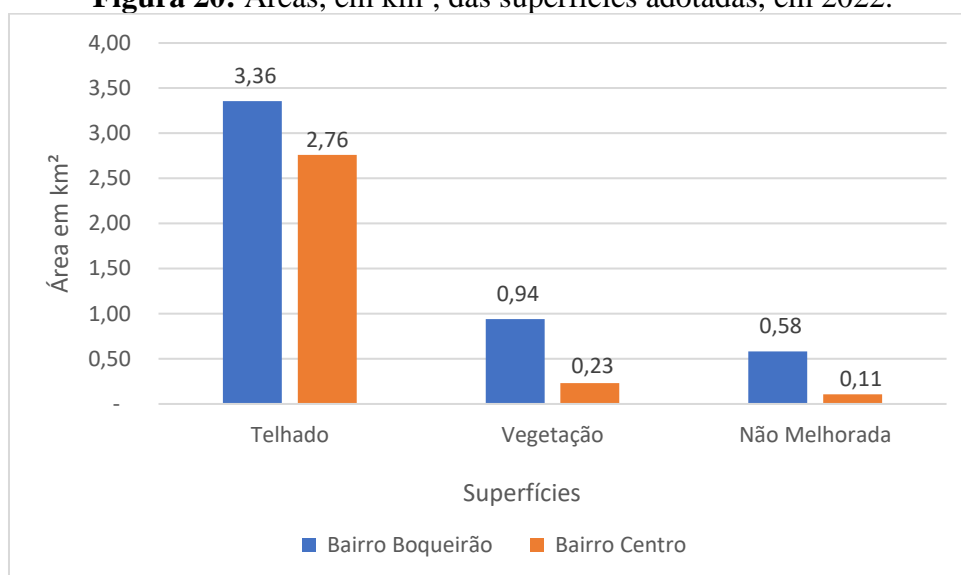
Em ambos os bairros, a superfície de telhado era semelhante, totalizando 2,93 km² para o bairro Boqueirão e 2,64 km² para o bairro Centro, deste modo, desde o começo da década de 2010, os bairros já possuíam um grande avanço da urbanização, por ser uma região de grande procura comercial e por ser uma região central, respectivamente.

As áreas não melhoradas seguem sendo a segunda maior superfície, podendo considerar áreas de praças, terrenos residenciais e comerciais não utilizados, possuindo apenas gramíneas. A região do bairro Boqueirão, que se situa na porção oeste, possui 1,17 km² de área não melhorada, e o bairro Centro possui menos de 1 km².

Ademais, o bairro Boqueirão, por possuir a maior área total entres os dois bairros de estudo, de 4,87 km², há, também, as maiores áreas de vegetação agrupadas, totalizando 0,77 km² da área. No bairro Centro, a superfície de vegetação está distribuída ao longo de toda a área, em praças, canteiros e calçadas, totalizando 0,23 km².

A Figura 20 representa os coeficientes de escoamento superficial encontrados, a partir dos mapas criados, para o ano de 2022.

Figura 20: Áreas, em km², das superfícies adotadas, em 2022.



Fonte: A autora, 2022.

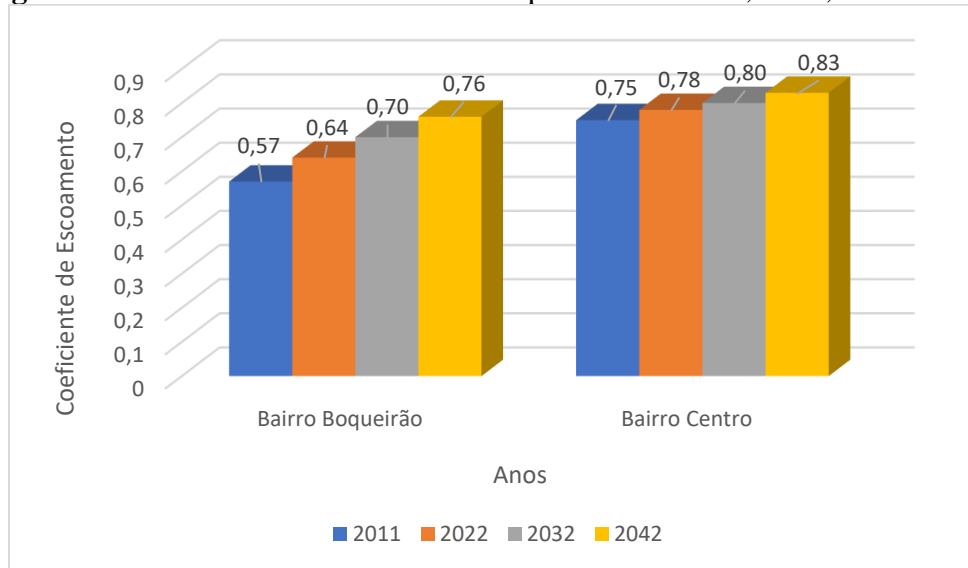
Com a Figura 20, pode-se observar que tanto no bairro Boqueirão, quanto no bairro Centro, houve o aumento das superfícies de telhado e, conseqüentemente, redução da área não melhorada e vegetação. No caso do bairro Centro, a vegetação possuiu um aumento de, aproximadamente, 4.000 m², não interferindo significativamente na área final de 0,23 km². Ao mesmo tempo, o bairro Boqueirão teve um aumento, da mesma superfície, de 0,17 km² ao longo dos 11 anos.

As áreas não melhoradas, nas duas regiões, obtiveram redução, verificando-se que as áreas não utilizadas anteriormente, se tornaram, em sua grande parte, solo impermeabilizado, aumentando, assim, a superfície de telhado.

O bairro Centro já possuía grande parte de sua área impermeabilizada, aumentando, em 11 anos, apenas 0,12 km², à medida que, no bairro Boqueirão, houve o aumento de 0,43 km² ao longo dos anos. Pode-se concluir que ambos os bairros são predominantemente urbanizados, tanto em 2011, quanto em 2022, possuindo aumentos esperados por conta do crescimento do município de Passo Fundo como um todo.

Para melhor exemplificação, a Figura 21 apresenta os coeficientes de escoamento superficial ao longo dos 32 anos de estudo.

Figura 21: Coeficientes de escoamento superficial de 2011, 2022, 2032 e 2042.



Fonte: A autora, 2022.

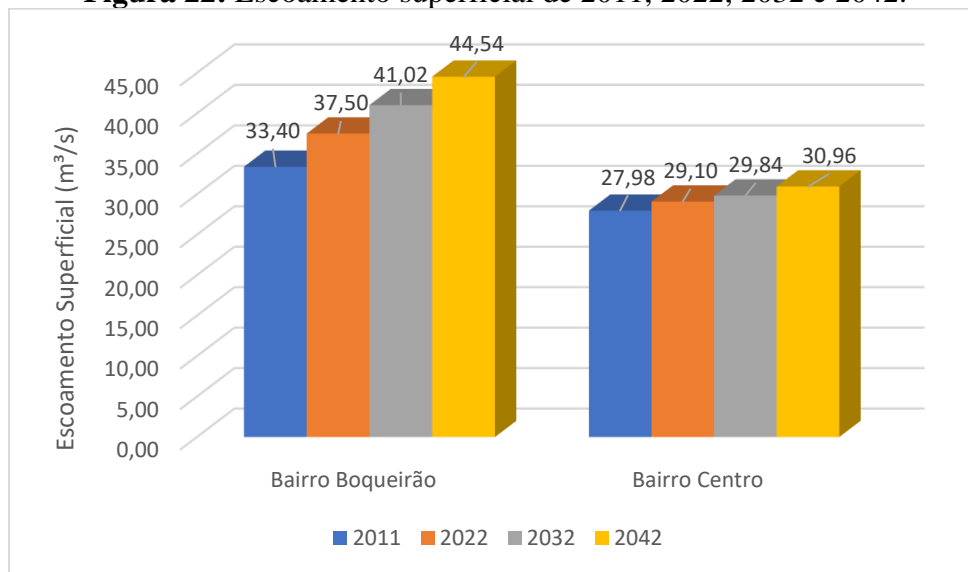
Os bairros terão um crescimento linear dos coeficientes por ser o método escolhido para a projeção de cenários futuros. Contando com 3,10 km² de área total, o bairro Centro, mesmo sendo o menor de área, demonstra na figura que possui a maior impermeabilização do solo. Quanto mais perto de 1, maior será o coeficiente de escoamento superficial, logo, em 2042, o coeficiente de escoamento do bairro Centro deverá ser de, aproximadamente, 0,83, demonstrando uma superfície significativamente impermeabilizada.

Já o bairro Boqueirão, tendo 4,87 km² de área total, possuiu um menor coeficiente ao longo dos anos de estudo, sendo ele de 0,57 no ano de 2011 e no ano de 2042 será de 0,76.

Todos os anos de análise obtiveram um coeficiente maior que 0,5, reafirmando uma superfície mais impermeabilizada.

Na Figura 22, é possível observar os resultados do escoamento superficial dos bairros, a partir do Método Racional.

Figura 22: Escoamento superficial de 2011, 2022, 2032 e 2042.



Fonte: A autora, 2022.

O bairro Centro obteve valores menores de vazão, em comparação com as vazões do bairro Boqueirão, por possuir uma área menor. O volume escoado nos bairros será alto, pois são locais de maior procura para residir e para comércio, logo, haverá a mudança drástica de superfície para que seja impermeabilizada e utilizada. Pode-se afirmar que, ao longo dos anos de estudo e nos anos após o estudo, a vazão máxima tem a tendência a aumentar linearmente. Desde que haja um bom sistema de drenagem, não haverá riscos de maiores alagamentos e enchentes nos locais.

5. CONCLUSÃO

A urbanização, no decorrer dos anos, teve um grande avanço, tendo seus pontos positivos, mas, também, pontos negativos, principalmente no quesito meio ambiente. Um dos pontos negativos mais presente é a impermeabilização do solo e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial. O coeficiente de escoamento superficial de determinada área, proporciona um maior conhecimento sobre a parcela de água que é transportada naquela superfície. Quanto maior o coeficiente de escoamento, maior será o prejuízo à região, podendo ocasionar alagamentos. Portanto, este fato demonstra a importância da infiltração do solo, capacidade que é adquirida a partir da quantidade de vegetação presente no local.

O processo de urbanização do bairro Boqueirão e no bairro Centro proporcionou um aumento na impermeabilização do solo nas áreas objeto do estudo e, junto com este crescimento, houve um aumento de 21,61% da vegetação do bairro Boqueirão, enquanto no bairro Centro houve apenas 0,12% ao longo dos 11 anos. As superfícies não melhoradas foram as que tiveram uma diminuição expressiva em ambos os bairros, diminuição ligada diretamente ao aumento das superfícies de telhado e aumento da vegetação em toda a área. Porém, por conta das alterações da superfície possuem um avanço mais significativo, ou seja, crescimento da impermeabilização do solo, acabam ocasionando um desequilíbrio na fase terrestre do ciclo hidrológico, o que provoca as maiores chances de ocorrer alagamentos e/ou enchentes.

Junto com este aumento da impermeabilização do solo, com base na projeção dos cenários futuros analisados, houve um aumento linear da vazão das águas na superfície, concluindo que as alterações dos coeficientes de escoamento irão interferir diretamente no escoamento das águas na superfície e, conseqüentemente, no bom funcionamento do sistema de drenagem de águas dos bairros.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para continuação do presente trabalho para melhores resultados e aprofundamento do assunto, sugere-se a ampliação da análise para os bairros restantes do município e não analisados neste trabalho e, também, ampliação dos coeficientes analisados nos bairros, para garantir uma melhor precisão nos resultados. Para o melhoramento do local de estudo, é de grande importância a projeção para adequação do sistema de drenagem de água pluvial da região dos bairros do município.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M.; TRALDI, M. A. B. Interferências de espécies arbóreas na interceptação das águas pluviais urbanas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. Goiânia, n. 47, p. 89-100, mar. 2018. Disponível em: <http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/69/44>. Acesso em: 13 ago. 2022.

ASCE. **Design and Construction of sanitary and storm sewers**. New York (Manuals and Reports of Engineering Practice, 37), 1969. Disponível em: <<https://ahmadsana.tripod.com/Courses/project1/sewer-specs.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

ASSIS, D. C.; OLIVEIRA, D. E. e FERREIRA, C. C. M. Levantamento das Áreas Vegetadas para a Análise da Temperatura do ar: Um estudo de caso dos Bairros Benfica e Centro, Juiz de Fora – MG. *In*: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2011, Dourados - MS. Acesso em: 31 mar. 2022.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HEN, A. 2012. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação de chuva diária em Santa Catarina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16 (4), pp. 391 – 398. Acesso em: 07 set. 2022.

BERTOL, I. et al. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Haplíco típico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, mai./jun. 2008. Disponível em: <<https://go-gale.ez116.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?p=AONE&u=capes&id=GALE|A191075800&v=2.1&it=r>>. Acesso em: 30 abr. 2022.

CARVALHO, A. P. S. de. **Recomendações Técnicas para Amenizar os Impactos Causados pela Impermeabilização dos Solos na Implantação de Novos Loteamentos**. 2020, 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hídrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2020. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2296/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o_2021029.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

CARVALHO, N. E. **Desenvolvimento de baixo impacto no manejo de águas pluviais urbanas**: Uma proposta para o município de Campinas. 2019, 131f. Dissertação (Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: <http://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/15144/ceatec_ppgsiu_me_Natalia_EC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 out. 2022.

CARVALHO, R. C. **As Migrações E a Urbanização No Brasil a Partir Da Década De 1950**: Um Breve Histórico E Uma Reflexão à Luz Das Teorias De Migração. **Revista Espinhaço**. v. 8, n. 1, p. 24-33, 2019. Disponível em: <<https://zenodo.org/record/3345139#.YkRAEjVv-Uk>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

CRUZ, C. E. de S. Regularização Fundiária e Cidade Sustentável: Panorama sobre Tendências Atuais da Urbanização Brasileira. **Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade**. Salvador, v. 4, n. 1, p. 59-79, jan./jun. 2018. Disponível em: <<https://rnp->

primo.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/vsvpiv/TN_cdi_crossref_primary_10_26668_Ind exLawJournals_2525_989X_2018_v4i1_4282>. Acesso em: 31 mar. 2022.

DUARTE, T. E. P. N. et al. **Reflexões sobre arborização urbana**: Desafios a serem superados para o incremento da arborização urbana no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. Maringá, v. 11, n. 1, p. 327-341, jan./mar. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5022/3156>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

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, v. 15, n. 1, p. 19-28, jan./mar. 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/f53xJfyBz3bWr7hwsmqRBVJ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 30 abr. 2022.

GONÇALVES, E. D. et al. Análise Experimental e Custos de Telhados Verdes Comerciais e Fabricados com Garrafas Pet para Redução de Cheias Urbanas na Amazônia. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 57-66, abr. 2021. Disponível em: <<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4359/3575>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

GRANZIERA, L. S. Influência da Ocupação Urbana no Escoamento Superficial: Estudo de Caso em Piracicaba – SP. 2021, 51f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2021. Disponível em: <http://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/15156/ceatec_ppgsiu_me_Leonardo_SG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28 out. 2022.

HOLANDA, M. A. C. R. de; SOARES, W. de A. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na infiltração de água pluvial na cidade de Recife-PE. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, SP, v. 14, n. 4, e2386, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980993X2019000400312&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 30 out. 2022.

JÚNIOR, A. P., et. al. Paredes Verdes, Urbanização, Vegetação e as Tendências de Variações da Temperatura, Umidade do ar e Ventos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 15, n. 18. 2018. Acesso em: 31 mar. 2022.

MAGALHÃES, I. A. L.; JUNIOR, B. S. G.; FREITAS, C. A. A. Comparação entre métodos de estimativa de escoamento superficial e de vazão máxima na bacia de Rio Novo do Sul, região sul do estado do Espírito Santo Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró, RN, v. 6, n. 4, p. 263-173, out./dez. 2011. Acesso em: 13 ago. 2022.

MARTINS, M. M. Modelagem Físico-Matemática da Interação Solo-Atmosfera e Erosão Hídrica em Bordas de Reservatórios. 2022. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/44404/1/2022_MatheusMarquesMartins.pdf>. Acesso em: 30 out. 2022.

MELO, G. Avaliação do sistema de microdrenagem urbana do município de Soledade. 2020, 169f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2020. Acesso em: 08 ago. 2022.

OLIVEIRA, N. R. de; OLIVEIRA FILHO, R. A. de; ELEUTÉRIO, I. A. R.; OLIVEIRA, G. A. G. Análise da vulnerabilidade aos alagamentos em canal de escoamento, a partir da simulação de um evento extremo de precipitação, em Montes Claros – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**. 2017, v. 28, p. 544-560, jan./jun. 2021. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/73579/43663>>. Acesso em: 13 ago. 2022.

LIRA, A. M. Avaliação das Condições do Sistema de Macrodrenagem da Cidade de São Carlos - SP. 2003. 188 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17102016-153855/pt-br.php>>. Acesso em: 11 abr. 2022.

PASSO FUNDO. **Lei nº 3.121, de 26 de junho de 1996**. Conselho Municipal de Arborização Urbana. Passo Fundo: Câmara Municipal, 1996. Disponível em: <http://site02.pmpf.rs.gov.br/servicos/geral/files/portal/Lei-Ordinaria_3121-1996.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

PASSO FUNDO. **Lei nº 86, de 28 de junho de 2000**. Código Municipal de Arborização Urbana. Passo Fundo: Câmara Municipal, 2000. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rs/p/passos-fundo/lei-complementar/2000/8/86/lei-complementar-n-86-2000-institui-o-codigo-municipal-de-arborizacao-urbana>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

PASSO FUNDO. Prefeitura Municipal de Passo Fundo; Universidade de Passo Fundo. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Passo Fundo**, Passo Fundo, RS, 2014. Acesso em: 16 abr. 2022.

REZENDE, G. B. M.; ARAÚJO, S. M. S. de. Análise da taxa de impermeabilização e tempo de concentração nas sub-bacias da área urbana de Barra do Garças –MT, Pontal do Araguaia – MT e Aragarças –GO. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal, v. 10, n. 5, p. 27-37, dez. 2015. Disponível em: <<https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3727/3566>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

RIBEIRO, A. K. M.; MARINOSKI, D. L. Estudo sobre materiais para coberturas utilizadas em sistemas de aproveitamento de água pluvial residenciais. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p. 53-66, mai. 2020. Disponível em: <<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4080>>. Acesso em: 30 abr. 2022.

RODRIGUES, T. D. et al. Percepção sobre arborização urbana de moradores em três áreas de Pires do Rio - Goiás. **REA - Revista de estudos ambientais**. Urutaí, v. 12, n. 2, p. 47-61, jul./dez. 2010. Disponível em: <<https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/1893/1450>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

RODRIGUES, R. S. S. et al. Análise dos efeitos de um evento extremo de chuva sobre o escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural amazônica. **Revista Brasileira de Climatologia**. Pará, v. 26, jan.-jun. 2020. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/65246/40479>>. Acesso em: 01 out. 2022.

ROJAS, J. W. J. Estudo da resistência, condutividade hidráulica e lixiviação de um solo argiloso cimentado e contaminado. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/70901/000878948.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

SAMPAIO, A. C. P.; BASTOS F. H.; CORDEIRO, A. M. N. Técnicas de análise de multicritério aplicadas à modelagem do escoamento superficial na bacia do Rio Mundaú, Ceará, Brasil. **Bol. Goia. Geogr.** Goiânia, v. 38, n. 3, p. 646-666, set./dez. 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/56363/26881>>. Acesso em: 25 set. 2022.

SANTOS, F. M. dos; LOLLO, J. A. de. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Eng Sanit Ambient**, Campina Grande, v. 22, n. 5, p. 943-952, set./out. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522016130053>>. Acesso em: 18 abr. 2022.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; FILHO, M. N. M. B. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande - PB. **Eng Sanit Ambient**, Campina Grande, v. 22, n. 5, pg. 943-952, set./out. 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/yMBFbMh7WdYmfw9H9KH9bhn/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 15 abr. 2022.

SANTOS, M. O. et al. Percepção Ambiental sobre a Arborização Urbana no Bairro Santa Tereza, Tefé, Amazonas, Brasil. **Ra'e Ga**. Curitiba, v. 44, p. 321-241, mai. 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/49540>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SCHWAMBACK, D. Conceção, dimensionamento e calibração de básculas para monitoramento contínuo do escoamento superficial em parcelas experimentais. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2020. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-25112020-182217/publico/DissertSchwambackDimaghiCorrig.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SILVA, C. S. da; SANTIAGO, A. **Urbanização e Inundação: Conflitos e Possibilidades. Paisagem Ambiente: ensaio**, São Paulo, n. 24, p. 324 - 334, 2007. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/86442/890991>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

SILVA, S. A. da; MENEZES, R. S. C.; STOSIC, T. **Análise multifractal do índice de precipitação padronizado. Research Society and Development**. Pernambuco, v. 10, n. 7. 2021. Acesso em: 12 ago. 2022.

TARGA, M. S. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, 120-142, 2012. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/7FPNPZDdgymnVKJ9jJc4gWf/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 30 abr. 2022.

VARGAS, M. M. et al. Análise de constantes de desagregação de chuva diária no estado do Rio Grande do Sul. *In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2015, Brasília, DF. Acesso em: 07 set. 2022.

VISENTIN, C. Análise do efeito da impermeabilização dos solos no escoamento de água pluvial na zona urbana do município de Passo Fundo, RS. 2014, 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2014. Acesso em: 01 abr. 2022.

ZAZYKI, M. A.; MARIN, S. e MOURA, G. L. Impactos da Urbanização Brasileira e o Direito de Propriedade. **Gestão e Desenvolvimento**, Novo Hamburgo, v. 17, p. 34-55, out. 2020. Disponível em: <<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/1993/2693>>. Acesso em: 31 mar. 2022.