

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**Amanda da Cruz de Azeredo**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ALAGAMENTOS NA  
ZONA URBANA DE FREDERICO WESTPHALEN - RS**

Frederico Westphalen, RS  
2021

**Amanda da Cruz de Azeredo**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ALAGAMENTOS NA ZONA  
URBANA DE FREDERICO WESTPHALEN - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção de grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Malva Andrea Mancuso

Frederico Westphalen, RS  
2021

**Amanda da Cruz de Azeredo**

**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ALAGAMENTOS NA ÁREA  
URBANA DE FREDERICO WESTPHALEN -RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção de grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

**Aprovado em 10 de fevereiro de 2021:**

---

**Malva Andrea Mancuso, Dr.<sup>a</sup> (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Sérgio Antônio Grassi, Eng.**

---

**Willian Chiossi Delarmelin, Eng.**

Frederico Westphalen, RS  
2021

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que concedeu a mim, força, saúde e fé para enfrentar esta caminhada de muitas renúncias, resiliência e reinvenção.

A minha família, Maribel, José Luiz e Camila que sempre foram a minha força e energia para continuar, que sempre ensinaram a ter garra e acreditar que tudo daria certo. Sem vocês com certeza nada disso teria sido possível. Obrigado por serem os meus maiores apoiadores. Amo vocês!

Ao meu noivo Tiago por todo carinho, apoio e compreensão em todas as etapas desta jornada. Esta caminhada também foi por nós!

Aos professores da Universidade Federal de Santa Maria, em especial aos do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, que de alguma forma deixaram, não somente o seu conhecimento, mas um pouquinho de si em mim, com o carinho, respeito, cuidado e boas lembranças.

Um agradecimento especial a professora Malva Mancuso, amiga, professora e orientadora. A minha gratidão!

A todos que de alguma forma se envolveram com este trabalho e contribuíram para essa caminhada, com os quais desejo compartilhar a gratidão e a alegria pela conquista de mais esta etapa da minha vida.

## RESUMO

### IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ALAGAMENTOS NA ÁREA URBANA DE FREDERICO WESTPHALEN -RS

AUTOR: Amanda da Cruz de Azeredo  
ORIENTADORA: Malva Andrea Mancuso

A impermeabilização do solo e os eventos extremos de precipitação alertam o setor público e privado sobre a alteração direta no escoamento superficial e sobre a necessidade de adaptar, expandir e tornar a infraestrutura urbana (principalmente o saneamento básico) mais eficiente para permitir que as cidades ofereçam qualidade de vida às suas populações. O presente trabalho visou definir as áreas susceptíveis a alagamentos da zona urbana do município de Frederico Westphalen (RS) por meio de análises e mapeamento, utilizando-se das ferramentas disponibilizadas no módulo *Hydrology* do software ArcGIS (ESRI, 2020). Foram utilizados dados de curvas de níveis, o mapeamento de quadras do município, o delineado da área urbana e informações de declividade do terreno, dados inseridos e tratados pelo software ArcGIS 10.3. Com estes foram aplicadas as ferramentas Fill e Fill Sinks que fazem a correção de preenchimentos das células do DEM, o *Flow Direction* para a obtenção da direção de fluxo e em seguida a *Flow Accumulation*. Através destas ferramentas, foram identificados pontos de alagamentos nas Ruas Arthur Milani e Cabo Rocha. Por meio do software foi possível analisar mapas de declividade, observando-se que a área urbana de Frederico Westphalen possui até 25° de declividade em alguns pontos de sua área. A análise realizada através do módulo *Hydrology* do ArcGIS mostrou-se extremamente eficiente, uma vez que indicou exatamente os pontos de alagamento já relatados pela população e meios de comunicação da região. As análises realizadas mostraram que algumas regiões são mais afetadas pelos alagamentos e sofrem influência da grande declividade, mas também sofrem com a ação antrópica de uso e ocupação do solo.

**Palavras-Chave:** Alagamentos, Archydro, Hydrology, Áreas Urbanas, Drenagem Urbana.

## **ABSTRACT**

### **IDENTIFICATION OF AREAS SUSCEPTIBLE TO FLOODS IN THE URBAN AREA OF FREDERICO WESTPHALEN -RS**

AUTHOR: Amanda da Cruz de Azeredo  
ADVISOR: Malva Andrea Mancuso

Soil waterproofing and extreme precipitation events alert the public and private sector to the direct change in runoff and the need to adapt, expand and make urban infrastructure (especially basic sanitation) more efficient to allow cities to offer quality of life for its populations. This work aimed to define the areas susceptible to flooding in the city of Frederico Westphalen (RS), through analysis and mapping, using the tools provided in the Hydrology module of the ArcGIS software (ESRI, 2020). Data from level curves, mapping of city blocks, the outline of the urban area and slope information from the terrain were used, data inserted and treated by the ArcGIS 10.3 software. With these, the Fill and Fill Sinks tools were applied to correct the filling of DEM cells, the Flow Direction to obtain the flow direction and then the Flow Accumulation. Through these tools, flooding points were identified in Arthur Milani and Cabo Rocha Streets. Through the software it was possible to assess a slope map of the city and confirm up to 25° of slope in some streets. The Hydrology module of ArcGIS is actually efficient, since indicate exactly the same flooding points as there was reported by the regional media and the population itself. The approach showed that areas affected by the floods are also influenced by the higher declivity, but they also suffer from anthropogenic impact of the land use.

**Keywords:** Flooding, Archydro, Hydrology, Urban Areas, Urban Drainage.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Efeitos da impermeabilização sobre o escoamento superficial e infiltração;
- Figura 2 - Percentual dos tipos de sistemas de drenagem nos municípios, em 2017
- Figura 3 - Variação do crescimento da mancha urbana de Frederico Westphalen-RS, mapeada a partir das imagens Landsat 5 TM, no período 1987 – 2011;
- Figura 4 - Mapa de localização do município de Frederico Westphalen – RS;
- Figura 5 - Declividade da área urbana de Frederico Westphalen-RS;
- Figura 6 – Mapa topográfico da área urbana de Frederico Westphalen-RS;
- Figura 7 - Representação da correção do erro *Sink*
- Figura 8 - Mapa de direção de fluxo das águas de escoamento superficial da cidade de Frederico Westphalen-RS
- Figura 9 - (A) Setas de fluxo indicando acumulação na Rua Arthur Milani; (B) Alagamento sofrido em 2013 na Rua Arthur Milani
- Figura 10 - (A) Setas de fluxo indicando acumulação esquinas Rua Cabo Rocha com Antonio Boscardin; (B) Alagamento sofrido em 2018 esquinas Rua Cabo Rocha com Antônio Boscardin
- Figura 11 - Hidrograma de bacia rural e depois de urbanizada
- Figura 12 - Mapa de Acumulação de Fluxo da cidade de Frederico Westphalen-RS
- Figura 13 - Identificação da ordem dos rios no município de Frederico Westphalen-RS
- Figura 14 - Identificação da ordem dos rios na área urbana de Frederico Westphalen-RS

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - *Best Management Practices* “*BMP’s*” para manejo das águas pluviais

Tabela 2 - População residente por situação do domicílio para o período de 1970 e 2010, baseado nas medidas do censo

Tabela 3 – Tarefas executadas para obtenção da drenagem

Tabela 4 - Ferramentas utilizadas na obtenção da drenagem

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
<b>3.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>11</b>
3.1	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	11
3.2	ESCOAMENTO SUPERFICIAL .....	12
3.3	DRENAGEM URBANA.....	12
3.4	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM FREDERICO WESTPHALEN.....	15
3.5	LEGISLAÇÃO SOBRE DRENAGEM URBANA.....	16
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>18</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	18
4.2	METODOLOGIA.....	22
4.2.1	Utilização do módulo ArcHydro .....	22
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>24</b>
5.1	CORREÇÕES DO DEM ( <i>fill sinks</i> ).....	24
5.2	DIREÇÃO DE FLUXO ( <i>Flow Direction</i> ).....	25
5.3	ACUMULAÇÃO DE FLUXO ( <i>Flow Accumulation</i> ) .....	29
5.4	ORDEM DO CURSO DE ÁGUA ( <i>Stream Order</i> ).....	31
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>34</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A transformação do meio está diretamente ligada à qualidade de vida que impõem-se para a sociedade atual. Santos (2007) diz que a questão é responder quais transformações de uso e ocupação da terra estão contribuindo ou induzindo a resultar em um evento desastroso para o homem.

A impermeabilização do solo e os eventos extremos de precipitação alertam o setor público e privado sobre a alteração direta no escoamento superficial e sobre a necessidade de adaptar, expandir e tornar a infraestrutura urbana (principalmente o saneamento básico) mais eficiente para permitir que as cidades ofereçam qualidade de vida às suas populações (ALVES, 2018). Pois, eventos como alagamentos, inundações e enchentes são cada vez mais comuns em áreas urbanas.

A Política Nacional de Saneamento Básico, instituída na Lei Federal Nº 11.445/2007 juntamente com a Lei Federal 13.308/2016 estabelecem instrumentos para a gestão do desenvolvimento e ampliação das cidades (BRASIL, 2016). Nestes incluem-se planos de drenagem e manejo das águas pluviais, contendo objetivos e metas de curto, médio e longo prazo (BRASIL, 2007) a fim de buscar soluções para um desenvolvimento sustentável dos municípios.

Segundo Castro (2003) conforme citado por Nardi (2019) “os sistemas de drenagem urbana são um preventivo contra alagamentos, enchentes e inundações, porém é comum, seja por falta de estudos da área, informações ou viabilidade, a drenagem não ser efetiva, tendo como consequência o alagamento do local, prejudicando o trânsito, comércio e qualidade de vida da população.”

Neste sentido, o planejamento urbano é de extrema importância para o mantimento da qualidade de vida da população evitando impactos locais causados por alagamentos, enchentes e inundações. Estudos relacionados a essa área auxiliam em diversos setores o planejamento de obras em um todo, mas principalmente em obras de drenagem urbana.

O uso de ferramentas disponibilizadas por softwares e o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), contribuem e otimizam o mapeamento dos elementos que influenciam diretamente na drenagem urbana de um determinado local. Enomoto (2004) diz que a utilização de mapas pode representar um grande avanço nas ações não-estruturais no controle de cheias.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visa definir as áreas susceptíveis a alagamentos da zona urbana do município de Frederico Westphalen (RS) por meio de análises e mapeamento, utilizando-se das ferramentas disponibilizadas no módulo *Hydrology* do software ArcGIS (ESRI, 2014).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar áreas de alagamentos localizadas no perímetro urbano da cidade de Frederico Westphalen-RS;
- Indicar as vantagens do uso do módulo *Hydrology* do software ArcGIS 10.3 para a identificação de áreas com potencial de alagamento;
- Diagnosticar a atual situação da eficiência da drenagem urbana de águas pluviais na cidade de Frederico Westphalen-RS.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

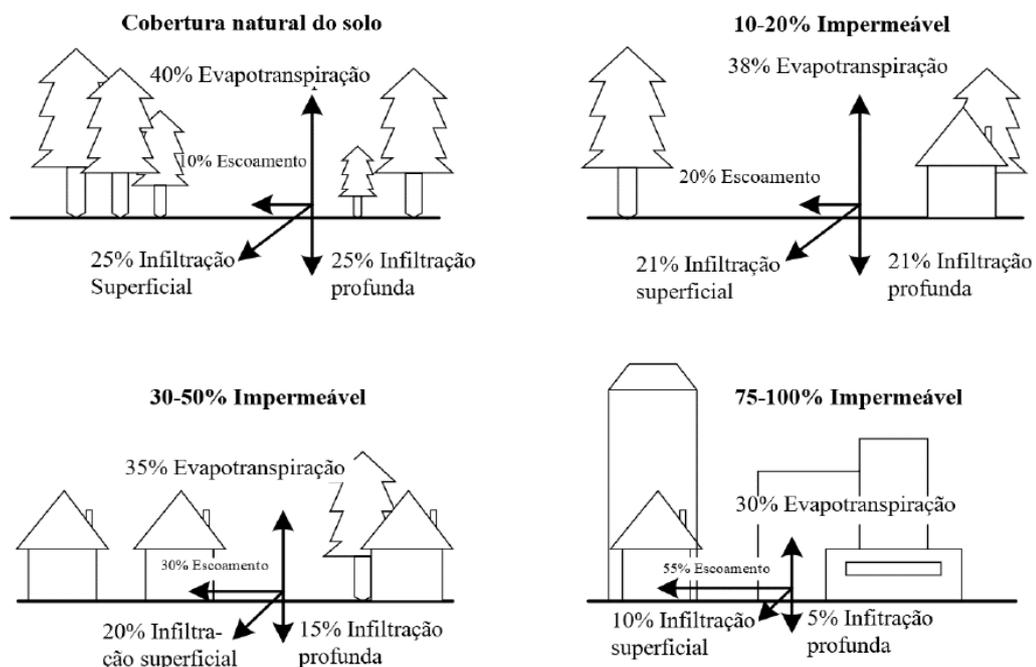
#### 3.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Atualmente as alterações físicas, químicas e biológicas causadas pela ação antrópica vêm trazendo sérias consequências para a sustentabilidade do meio. As ações, apesar de necessárias para o aprimoramento da qualidade de vida, muitas vezes causam a degradação e poluição do meio ambiente.

Segundo Levino e Bispo (2011) a complexidade formada por espaço urbano e cidade não pode dispensar um planejamento urbano bem definido, estruturado e abrangente que de forma multi-setorial leve em conta o homem e o meio ambiente nos aspectos econômicos, sociais, físico-territoriais, ecológicos e administrativos. Assim como, este planejamento não pode deixar de levar em conta a tomada de posição sobre a atuação do crescimento urbano na ocorrência de acidentes ambientais ocasionados pela impermeabilização do solo.

Assim, as alterações sofridas por uma bacia urbanizada decorrem de processos, como desmatamento, alteração topográfica, impermeabilização e compactação de solo, aumentando consideravelmente o escoamento superficial. A Figura 1 ilustra como o processo de uso e ocupação do solo influencia no ciclo hidrológico.

Figura 1 – Efeitos da impermeabilização sobre o escoamento superficial e infiltração.



Fonte: Karamouz et al (2010). Apud Bueno (2016)

O solo, quando deixa o seu estado natural para receber a impermeabilização sofre influências não somente no escoamento superficial, mas também na recarga de aquíferos, uma vez que o mesmo depende da infiltração superficial e profunda para sua manutenção.

### 3.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície do solo terrestre. Segundo Tucci (2001) o escoamento está associado a características da precipitação e a capacidade de infiltração da água no solo. Assim, identifica-se o escoamento quando a intensidade de precipitação faz-se maior do que a velocidade de infiltração da água no solo, ou quando a capacidade de retenção de água pela superfície do terreno tiver sido saturada, sendo, considerado o principal responsável pelo rápido aumento da vazão após a ocorrência de uma forte precipitação.

Relaciona-se também, a duração da precipitação, sendo esta, diretamente proporcional ao escoamento. Pois, quanto maior for a duração, maior será escoamento. Características físicas também podem ser consideradas quando trata-se de escoamento superficial, estas influenciam diretamente no mesmo (CAVALHO e SILVA, 2016). Assim como podemos considerar o tipo de solo, a declividade, a permeabilidade do solo e o uso e ocupação do mesmo como principais influenciadores. Griebeler *et al.*, (2001) cita que a topografia da área além de influenciar na velocidade de escoamento de água no solo, interfere também no armazenamento de água, sendo as áreas de maior declive geralmente com menor capacidade de armazenamento superficial do que as mais planas, porém, acarretando no carregamento de terra e vegetação desta superfície.

### 3.3 DRENAGEM URBANA

Desde o século XIX, cidades de todo o mundo começaram a aplicar o conceito higienista de drenagem urbana, no qual tinha como objetivo o transporte rápido e a descarga das águas em um corpo receptor. Este conceito de drenagem urbana perdurou como única solução por muito tempo e, junto com o processo de urbanização, é a principal causa dos impactos hidrológicos e na qualidade dos corpos hídricos no mundo.

Na última década alguns municípios brasileiros, como São Paulo, Porto Alegre, Curitiba e Santo André (Souza et al., 2012) investiram na definição de planos sustentáveis de drenagem urbana (Planos Diretores de Drenagem Urbana) e começaram a recomendar os métodos

compensatórios de águas pluviais, também denominados de *Best Management Practices* “*BMP's*”.

Segundo Ribeiro (2014) o termo “BMP” é bastante utilizado nos Estados Unidos e Canadá para se descrever controles de poluição auxiliares nas áreas de efluentes industriais ou esgoto municipal, enquanto na gestão de águas pluviais as *BMP's* podem se referir aos controles de escoamento e/ou técnicas de tratamento. Estas técnicas podem ser adotadas no processo anterior ao de parcelamento do solo para fins urbanos. Na Tabela 1 são elencadas algumas das medidas que podem ser tomadas em relação às técnicas para o manejo das águas pluviais.

Tabela 1 - *Best Management Practices* “*BMP's*” para manejo das águas pluviais.

<b>Categorias de BMPs não estruturais</b>	<b>Medidas não estruturais</b>
Vegetação e Paisagismo;	Preservação de áreas naturais Manutenção da cobertura do solo nativo Filtros vegetativos e faixas de proteção
Redução dos distúrbios no solo;	Evitar o corte e aterro Limitar o desmatamento e nivelamento do solo
Gerenciamento das áreas impermeáveis;	Imposição de limites de largura das vias e passeios Limites no tamanho de estacionamentos Determinação de uso obrigatório de materiais permeáveis e dispositivos de retenção da água áreas impermeáveis desconectadas do sistema de drenagem Uso de telhados verdes
Modificação no tempo de concentração da bacia.	Mudança na rugosidade da superfície Redução da declividade Transporte da água da chuva em superfície vegetada
Uso de materiais e produtos químicos	Uso de produtos alternativos não poluentes Práticas de manuseio e de armazenamento adequadas
Manutenção dos dispositivos de infiltração nas vias	Varrição das ruas, coleta de resíduos sólidos Limpeza dos sistemas de filtração Manutenção das vias e dos dispositivos Manutenção dos canais e cursos d'água
Controle de conexão ilegal de esgoto	Medidas de prevenção contra a conexão ilegal Fiscalização: detecção, retirada e multa Controle do sistema de coleta de esgoto e de tanques sépticos
Reúso da água pluvial	Jardinagem e lavagem de veículos, sistema predial e fontes e lagos
Educação pública	Educação pública e disseminação do conhecimento Equipe técnica capacitada

Fonte: Karamouz *et al* (2010). Apud Bueno (2016)

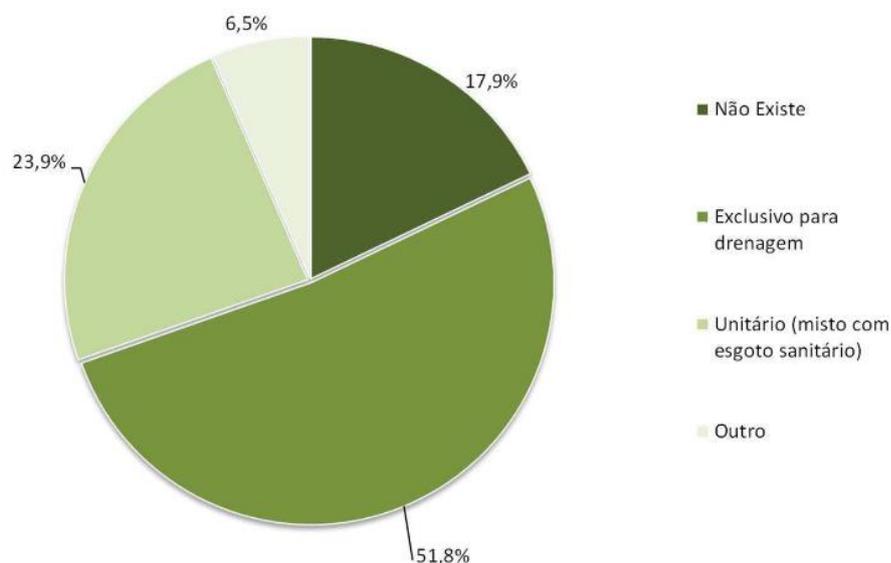
Estas técnicas, vem de encontro com o planejamento urbano e prevenção de acidentes ambientais, como alagamentos, enchentes e etc.

O sistema tradicional de drenagem urbana é composto por dois sistemas distintos: a microdrenagem e a macrodrenagem. Segundo a FCTH (1999) a microdrenagem é inserida nos pavimentos das ruas, são elas guias e sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias e, também, canais de pequenas dimensões. Já a macrodrenagem é constituída, em geral, por canais (abertos ou de contorno fechado) de maiores dimensões, normalmente projetadas para vazões de 25 a 100 anos de período de retorno.

Esse sistema permite que a eficiência e dimensionamento funcionem de forma mais precisa possível, levando em consideração as mudanças climáticas e o desenvolvimento urbano dos municípios que adotarem os sistemas de forma correta.

Em coleta de dados realizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SINS (2017), revelou-se que (51,8%) dos municípios possuem sistema exclusivo para águas pluviais, 891 municípios (23,9%) declararam possuir sistema unitário, 243 municípios (6,5%) declararam possuir outros tipos de sistemas, e 667 municípios (17,9%) declararam não possuir sistema de drenagem (Figura 2) (SNIS, 2017 apud PLANSAB, 2019).

Figura 2 - Percentual dos tipos de sistemas de drenagem nos municípios, em 2017.



Fonte: (SNIS, 2017 apud PLANSAB, 2019).

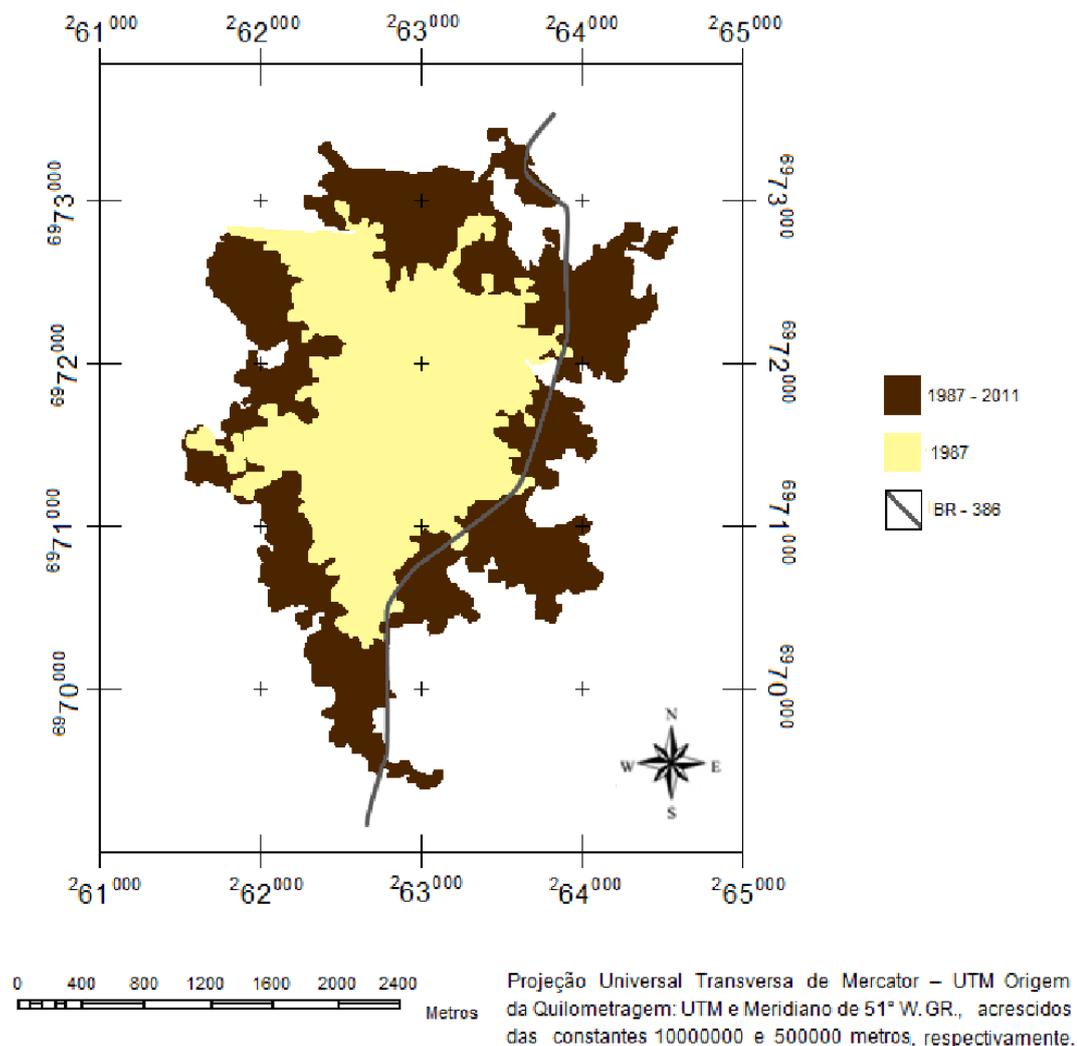
Para a drenagem urbana, é de extrema importância que os órgãos que fazem a gestão dos sistemas, conheçam o sistema instalado e mais do que isso, a eficácia deste para o município.

### 3.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM FREDERICO WESTPHALEN

Bertani, Breunig e Spohr (2012) apontam que o crescimento relativo mais intenso da área urbana ocorreu no início da década de 1990, com uma expansão de 20,58% em três anos. Contudo, os valores absolutos de crescimento da mancha urbana mostram que a variação do triênio de 2008-2011 foi mais significativa (84,12 ha). Na Figura 3 mostra-se o crescimento da mancha urbana de Frederico Westphalen – RS.

A ocupação antrópica é responsável pelas alterações nas formas de relevo, artificialização dos cursos naturais e impermeabilização do solo, principais fatores de modificação no processo de drenagem natural (PEDROSA; PEREIRA, 2006) apud (FAVIN, 2019).

Figura 3 – Variação do crescimento da mancha urbana de Frederico Westphalen-RS, mapeada a partir das imagens Landsat 5 TM, no período 1987 – 2011



Fonte: Bertani, Breunig e Spohr (2012)

Ainda, segundo dados do IBGE (2010) em dados apresentados na Tabela 2, no ano de 2010, 80,9% da população ocupava 6,4 Km<sup>2</sup> da área urbana do município, apresentando uma densidade demográfica de 4000 hab/Km<sup>2</sup>, reforçando ainda mais a importância de proporcionar qualidade de vida a planejamento urbano para a população. Diante dos dados, o município apresenta uma densidade demográfica de 108,85 hab/Km<sup>2</sup>.

Tabela 2 - População residente por situação do domicílio para o período de 1970 e 2010, baseado nas medidas do censo

<b>Situação do domicílio</b>	<b>POPULAÇÃO RESIDENTE (Pessoas)</b>				
	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Urbana</b>	9.230	14.219	14.766	20.433	23.333
<b>Rural</b>	16.337	15.714	10.169	6.326	5.510
<b>Total</b>	25.567	29.933	24.935	26.759	28.843

<b>Situação do domicílio</b>	<b>POPULAÇÃO RESIDENTE (%)</b>				
	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
<b>Urbana</b>	36,10	47,50	59,22	76,36	80,90
<b>Rural</b>	63,90	52,50	40,78	23,64	19,10
<b>Total</b>	100	100	100	100	100

Fonte: IBGE (2020)

### 3.5 LEGISLAÇÃO SOBRE DRENAGEM URBANA

A legislação brasileira é uma grande aliada quando se trata de planejamento urbano. A Lei 6766/1979 que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências cita no artigo 2º inciso 5º menciona que equipamentos urbanos de escoamento de águas pluviais são equipamentos básicos de infra-estrutura dos parcelamentos. O artigo 7º, inciso IV descreve que a prefeitura municipal ou o Distrito Federal, quando for o caso, indique as faixas sanitárias do terreno necessárias ao escoamento das águas pluviais e as faixas não edificáveis. Conforme Drumond (2012), percebe-se que existe uma preocupação por parte da legislação em prevenir

a população dos problemas de drenagem que podem surgir em virtude da ocupação incorreta das áreas urbanas.

Atualmente, o município conta com leis indiretas para o manejo e drenagem das águas pluviais. O artigo 2º da lei Lei Municipal nº 1036/84, parágrafo único, trata que não é permitido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeito a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas. Já o artigo 3º estabelece que um dos requisitos mínimos para obter a permissão de loteamento é a existência de redes de escoamento das águas pluviais. De maneira geral, estas leis permitem o mínimo de gestão para a problemática e dá-se um direcionamento no planejamento urbano, necessário para o desenvolvimento do município. Também deve-se considerar que nem sempre a gestão municipal deste e outros possui corpo técnico qualificado e capacitado para o desenvolvimento de obras ou fiscalização voltadas a esse tipo de serviço.

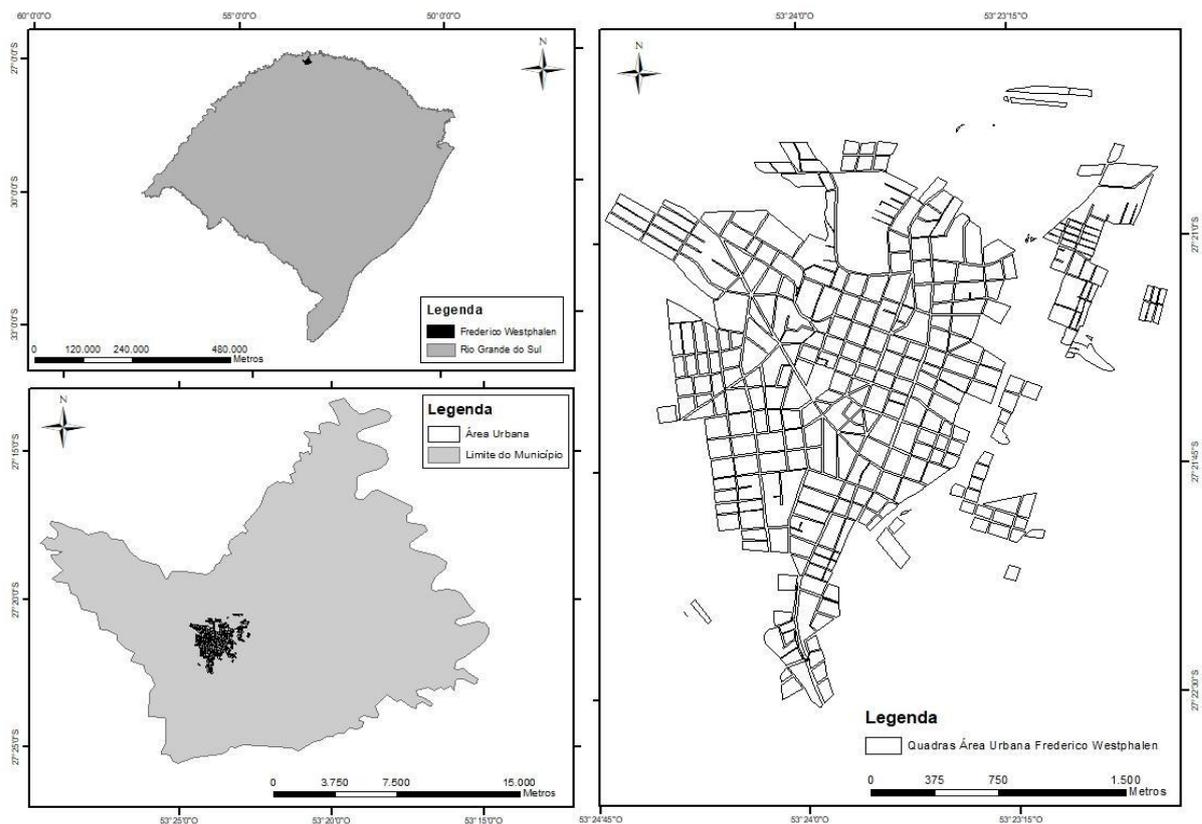
## 4. METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Frederico Westphalen (Figura 3) está localizado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, a uma latitude  $27^{\circ}21'33''$  Sul e uma longitude  $53^{\circ}23'40''$  Oeste. O município conta com uma população de aproximadamente 31.313 habitantes, e possui uma área de aproximadamente 265.181 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019).

O município está localizado em uma zona temperada com um clima mesotérmico e úmido, sujeito a mudanças bruscas de temperatura durante todo o ano. A temperatura média anual é em torno 18 °C, com máximas no verão podendo atingir 41 °C e mínimas no inverno atingindo valores inferiores a 0 °C. Segundo estudo de Airbot (2014) em uma série histórica de 21 anos, a média de chuvas diárias foram de 112,200 mm e 33,500 mm.

Figura 4 – Mapa de localização do município de Frederico Westphalen - RS

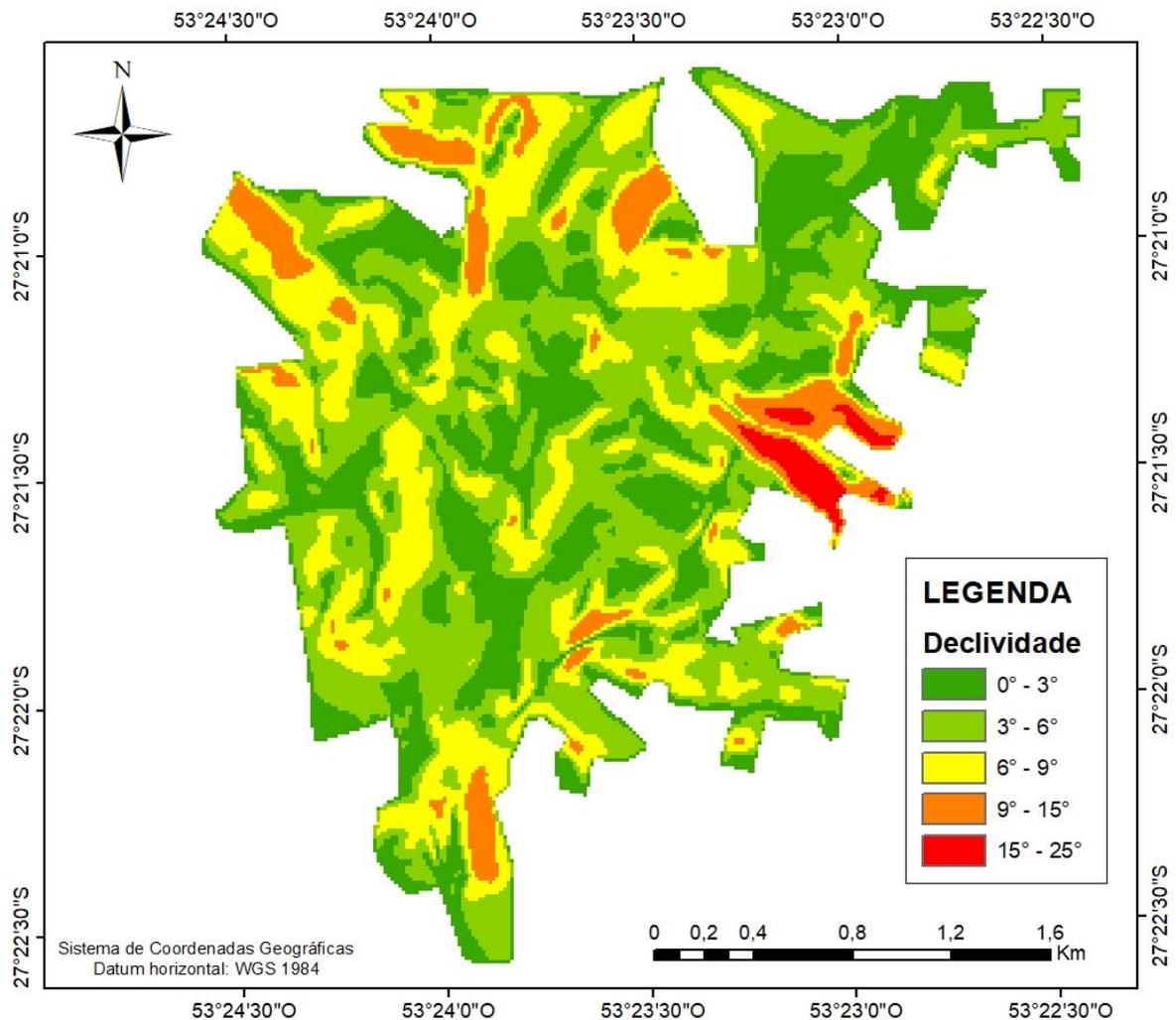


Fonte: o autor (2021)

O município de Frederico Westphalen possui características de declividades relativamente consideráveis para a região. Na Figura 5 é possível verificar que em alguns pontos a declividade pode chegar até 25°.

A área urbana foi escolhida para este estudo devido às suas características importantes, que servem como um reflexo do município, como por exemplo, alto índice de especulação imobiliária, falta de áreas verdes, alto grau de impermeabilidade do solo, verticalização, canalização do escoamento pluvial e desordenado adensamento urbano. Além de ter uma relevância econômica que atrai para esta região um número considerável de pessoas diariamente.

Figura 5 – Declividade da área urbana de Frederico Westphalen-RS

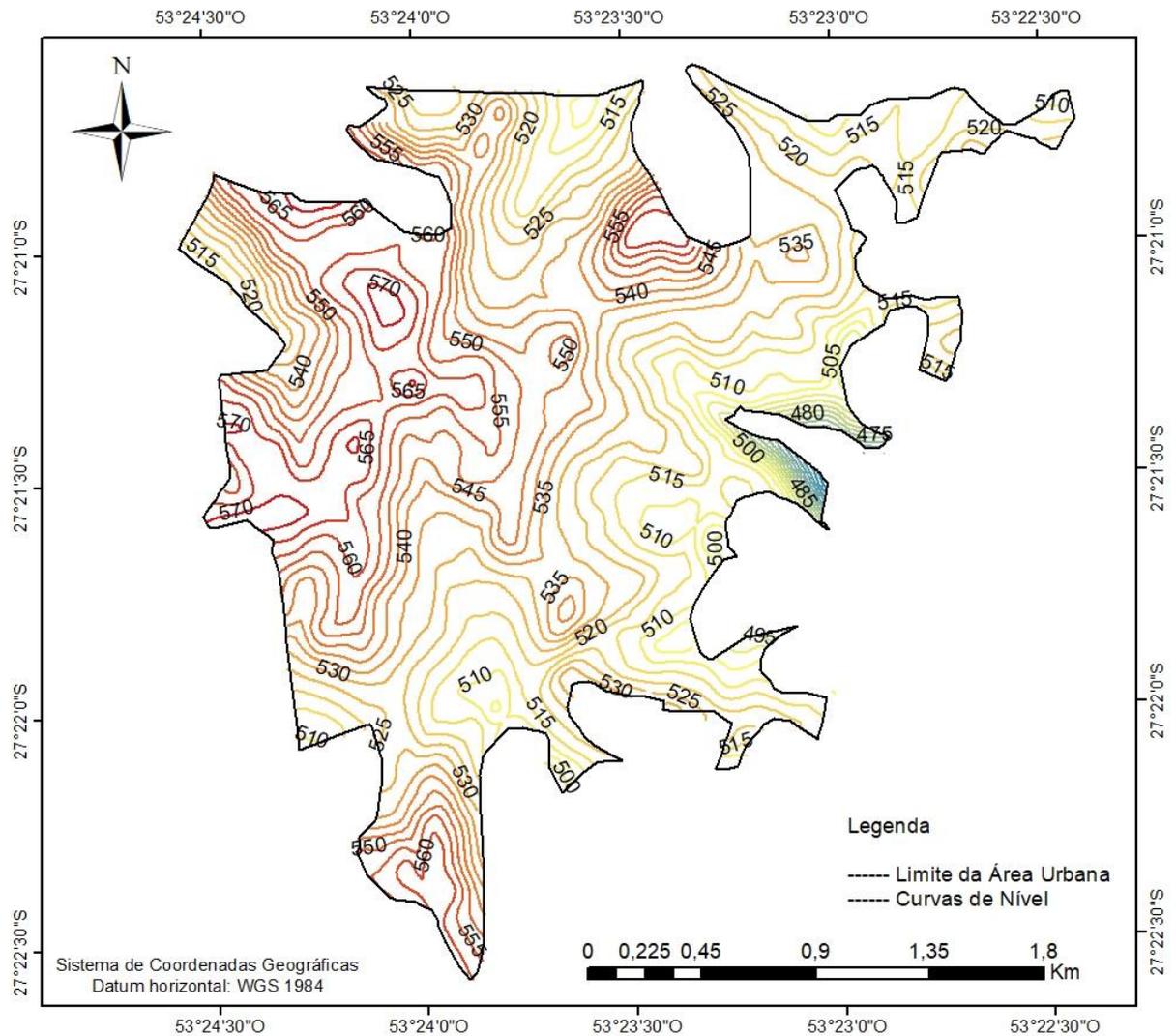


Fonte: o autor (2021)

A área urbana do município que apresenta um total de 6,4 km<sup>2</sup>, conta com variadas declividades, variando de 0° a 25°. As áreas que variam de 0° a 3° representam 28% ou 1,83

km<sup>2</sup> da área total do município. Já as que tem maiores variações 15° a 25° representam apenas 1% da área, ou seja 0,08 km<sup>2</sup>. As variações medianas 6° a 9° ocupam 24% da área, respectivamente 1,57 km<sup>2</sup>.

Figura 6 – Mapa topográfico da área urbana de Frederico Westphalen-RS



Fonte: o autor (2021)

Ainda, Frederico Westphalen encontra-se em média a 535 metros de altitude, como mostra a Figura 6. A representação topográfica foi classificada a cada 5 metros, sendo que as cores mais fortes (Vermelho) representam a cotas superiores (maiores que 520 metros) e as mais claras (Amarelas) são as cotas intermediárias (Aproximadamente 500 a 520 metros) e as cotas mais baixas são representadas pela cor azul (menores que 500 metros).

Pode-se perceber pela representação topográfica, que os pontos mais altos situam-se no centro da área urbana, ocasionando a divisão de redes hidrográficas nas áreas periféricas do município.

O relevo é caracterizado por chapadas remodeladas (55,7 Km<sup>2</sup>), espigões rochosos (19,06 Km<sup>2</sup>), espigões degradados (67,87 Km<sup>2</sup>), serras fortemente escarpadas (100,21 Km<sup>2</sup>) e vales quase planos (22,48 Km<sup>2</sup>) (NOEL, 2011). No contexto hídrico, o município está localizado na bacia do Rio da Várzea pertencente a região hidrográfica do Rio Uruguai.

## 4.2 METODOLOGIA

Para a realização do estudo de identificação das áreas susceptíveis a alagamentos na área urbana de Frederico Westphalen - RS foi utilizado o programa computacional ArcGIS 10.3, um software utilizado para criar, analisar, visualizar e compartilhar dados espaciais através de mapas (ERSI, 2014).

Os arquivos TOPODATA foram adquiridos em cenas com pixels de 30/30 metros georreferenciados no sistema WGS84, no formato Tiff. (INPE, 2020).

Todos os mapas elaborados neste trabalho, foram projetados no sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 22S. Estas coordenadas referem-se a zona aonde o município se localiza em relação ao mapa global.

As curvas de níveis da área urbana foram adquiridas com Georeferenciamento UTM e com altimetria de metro em metro a fim de obter resultados ainda mais precisos.

### 4.2.1 Utilização do módulo ArcHydro

O módulo ArcHydro permite desenvolver o sistema de drenagem para uma bacia hidrográfica, proporcionando uma análise de um modelo digital de terreno onde são geradas informações como: direção de fluxo, fluxo acumulado, definição do fluxo (rio) e a delimitação da bacia hidrográfica.

Nesta etapa as tarefas do *Hydrology* foram executadas conforme (Tabela 3):

Tabela 3 – Tarefas executadas para obtenção da drenagem

<i>Tarefa</i>	<i>Descrição</i>
Sink	Cria uma varredura que identifica todos vazios, erros e as áreas de drenagem interna.
Fill	Preenche afundamentos em uma varredura de superfície para remover pequenas imperfeições nos dados.
Flow Direction	Cria uma varredura da direção do fluxo de cada célula para o seu vizinho mais íngreme.
Flow Accumulation	Cria uma varredura do fluxo acumulado em cada célula. Opcionalmente, um fator de peso pode ser aplicado
Stream to Feature	Converte uma varredura da rede de drenagem para o formato shapefile
Flow Length	Calcula a distância a montante ou a jusante, ou distância ponderada, ao longo do caminho do fluxo para cada célula-
Stream Link	Atribui valores exclusivos às seções de uma rede linear raster entre interseções.
Stream Order	Atribui uma ordem numérica aos segmentos de uma varredura que representa ramificações de uma rede linear.

Fonte: autor (2021)

As metodologias aplicadas (Tabela 3) neste trabalho foram utilizadas tanto para a área urbana, quanto para a área total do município.

Na Tabela 4 apresenta-se a sequência das aplicações das ferramentas disponíveis no módulo *Hydrology* utilizando a metodologia de Santos (2013). Nesta etapa, a utilização das ferramentas inicia-se através do arquivo *topodata* adquirido sem correções, para que a ferramenta “*Sinks*” possa corrigir possíveis erros nos pixels contidos no arquivo.

Tabela 4 - Ferramentas utilizadas na obtenção da drenagem

<b>Ferramenta</b>	<b>Entrada</b>	<b>Saída</b>
Flow Direction	DEM	Flow_Direction_1
Sink	Flow_Direction_1	Sink
Fill	DEM	DEM Filled
Flow Direction	DEM_Filled	Flow_Direction_2
Flow Accumulation	Flow_Direction_2	Flow_Acumulation
Stream to Feature	Flow_Direction_2	Stream_to_Feature
Stream Link	Stream_to_Feature	Stream_Link
Stream Order	Stream_Link	Stream_Order

Fonte: o autor (2021)

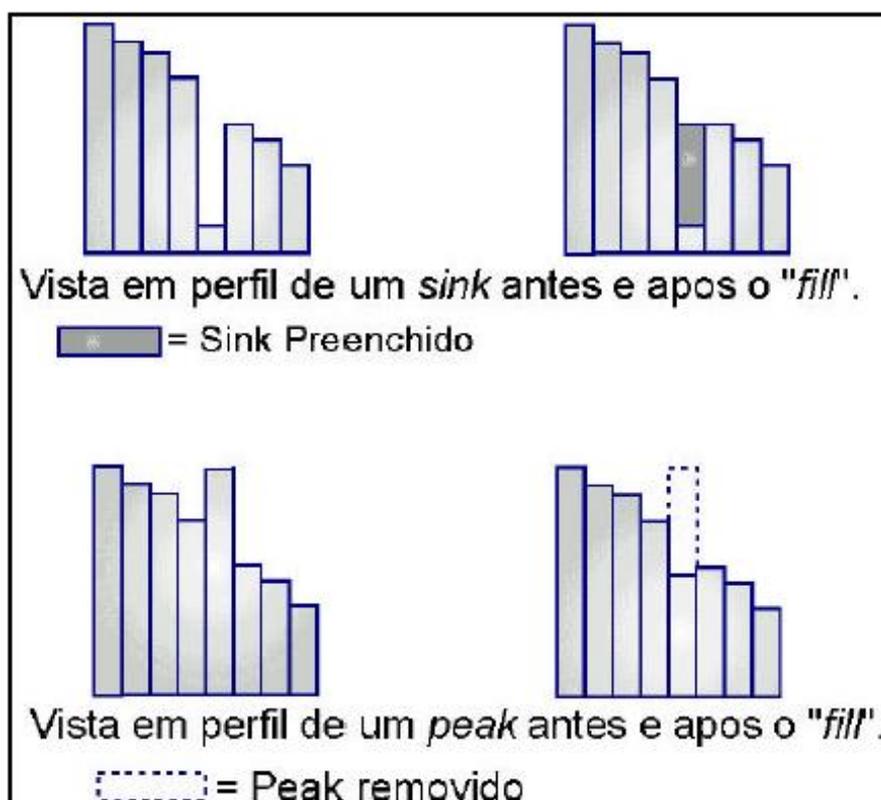
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CORREÇÕES DO DEM (*Fill sinks*)

Sobrinho et al. (2010), citam que “*sinks*” representam células com elevações pequenas e as do tipo “*peaks*” representam células com alta elevação em relação as suas células vizinhas, estes erros ocorrem devido à geração dos mesmos, pelo algoritmo que os calcula. Assim, esta ferramenta identifica em quais células há possíveis erros de preenchimento de direção de fluxo.

As correções no DEM são feitas por meio da função “*fill sinks*”, que considera as altitudes dos “*pixels*” vizinhos para preencher os “*sinks*”, promovendo, assim, a geração do mapa com consistência melhor, tal como exposto na Figura 7.

Figura 7 – Representação da correção do erro *Sink*



Fonte: (SOBRINHO; OLIVEIRA; RODRIGUES; AYRES, 2010)

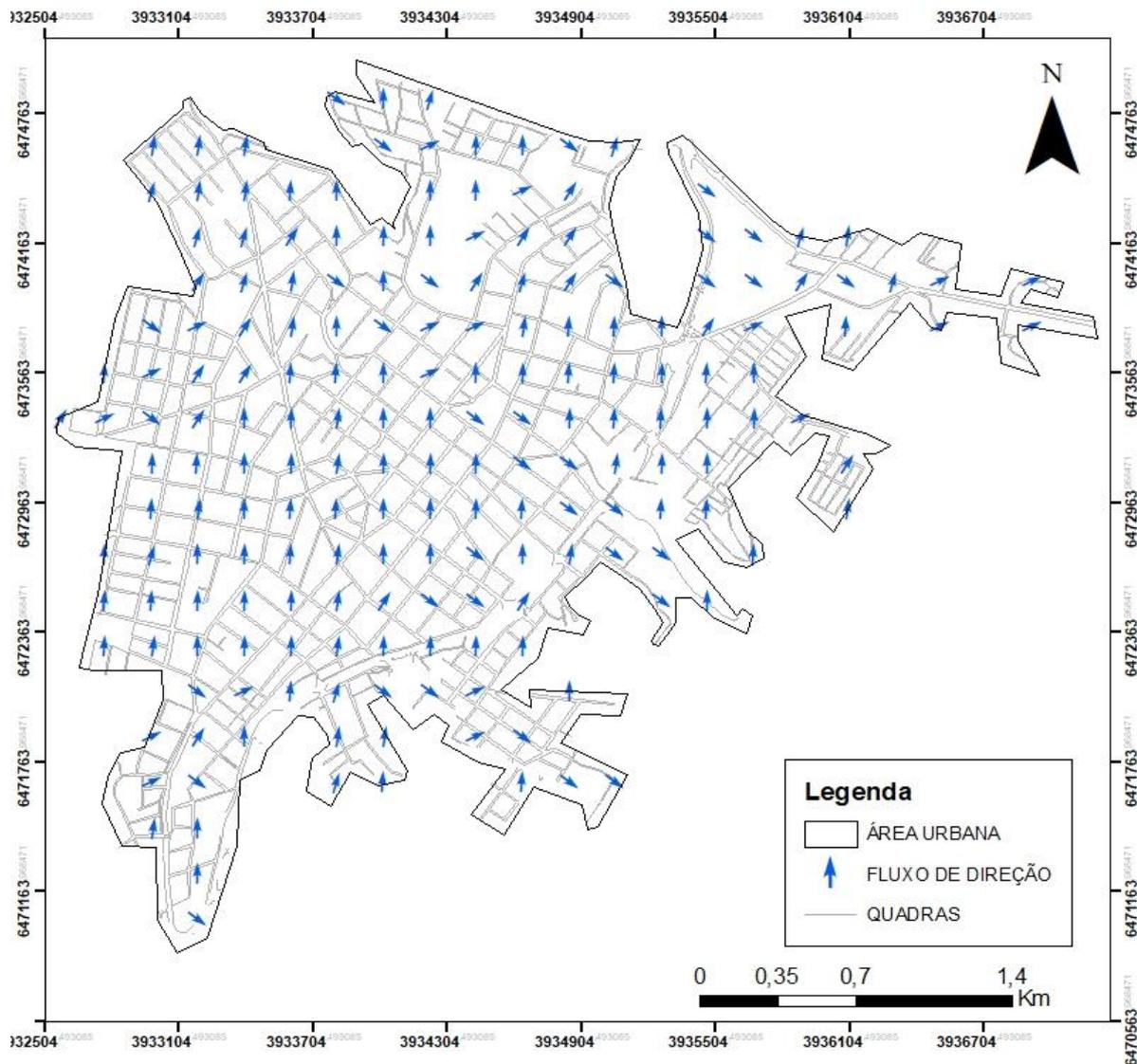
Essa ferramenta preenche, em um raster, as células que têm o sentido de drenagem indefinido. Estes passos mostram-se importantes, uma vez que ele faz a correção e remoção de imperfeições nos dados.

## 5.2 DIREÇÃO DE FLUXO (*Flow Direction*)

Sobrinho; Oliveira; Rodrigues; Ayres (2010) também citam que a direção de fluxo de água na rede de drenagem é obtida pela função “*flow direction*”, que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno.

A aplicação da ferramenta “*flow direction*” deve ser executada com o DEM já corrigido pela ferramenta “*Fill Sinks*” onde a mesma irá fornecer o mapa de direção de fluxo apresentado na Figura 8, que possibilita a observação da direção do escoamento de água nas vertentes, além da visualização do relevo.

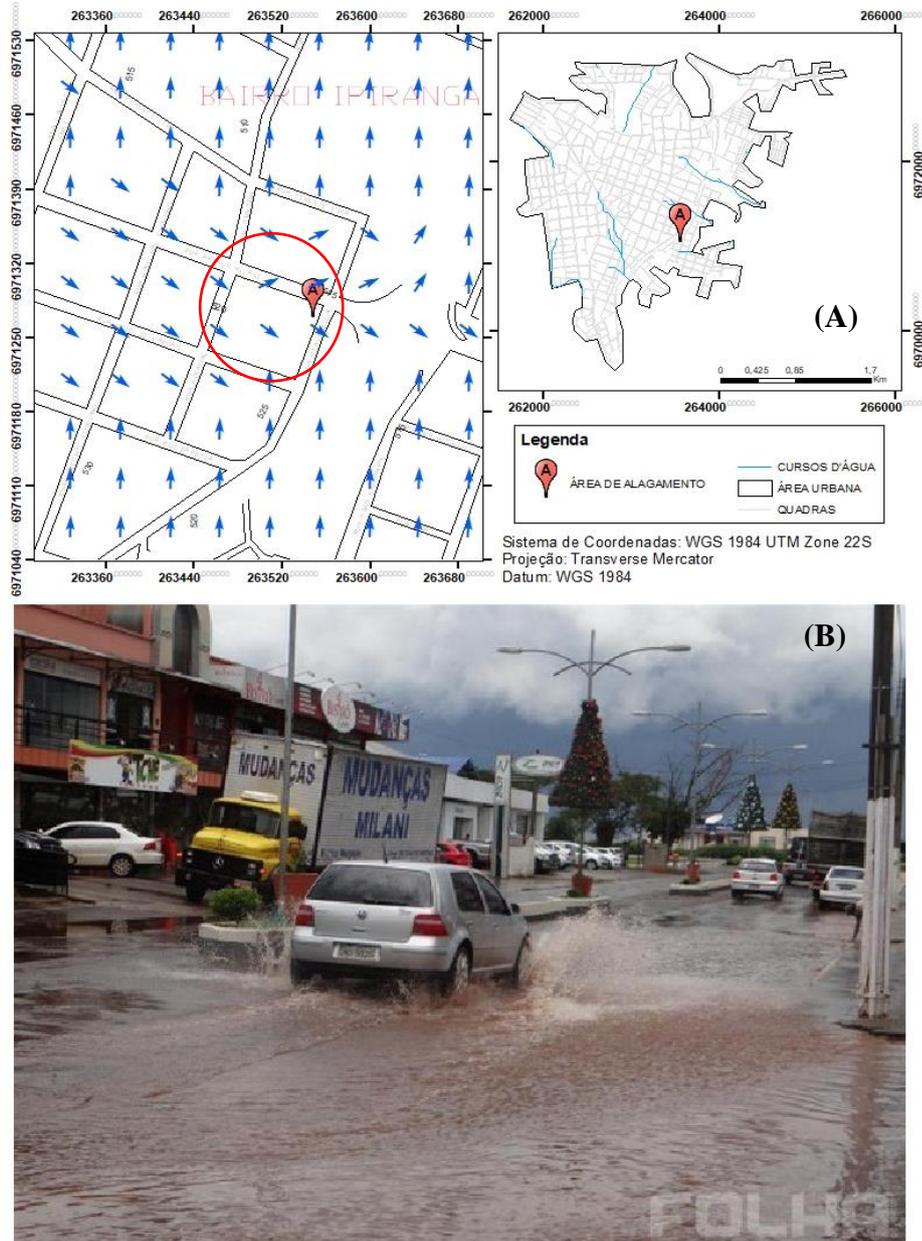
Figura 8 – Mapa de direção de fluxo das águas de escoamento superficial da cidade de Frederico Westphalen-RS



Fonte: o autor (2021)

Na Figura 9 é possível verificarmos a existência de acumulação de fluxo em setas em diversas direções. Essas setas em conflito de direções, representam a direção em que a água percorre para locais com menor declividade. Diversas notícias relacionadas a alagamentos já foram relatadas neste local. Uma delas registrada em 2013 pelo jornal Folha do Noroeste detalha o alagamento ocorrido na Rua Arthur Milani, local que sofre com alagamentos recorrentes (FOLHA DO NOROESTE, 2013). Ainda, conforme dados da Figura 4, esta área que sofre com alagamentos, encontra-se com 9° de declividade. Ou seja, somando ainda mais para a tendência de acumulação de águas pluviais.

Figura 9 - (A) Setas de fluxo indicando acumulação na Rua Arthur Milani; (B) Alagamento sofrido em 2013 na Rua Arthur Milani



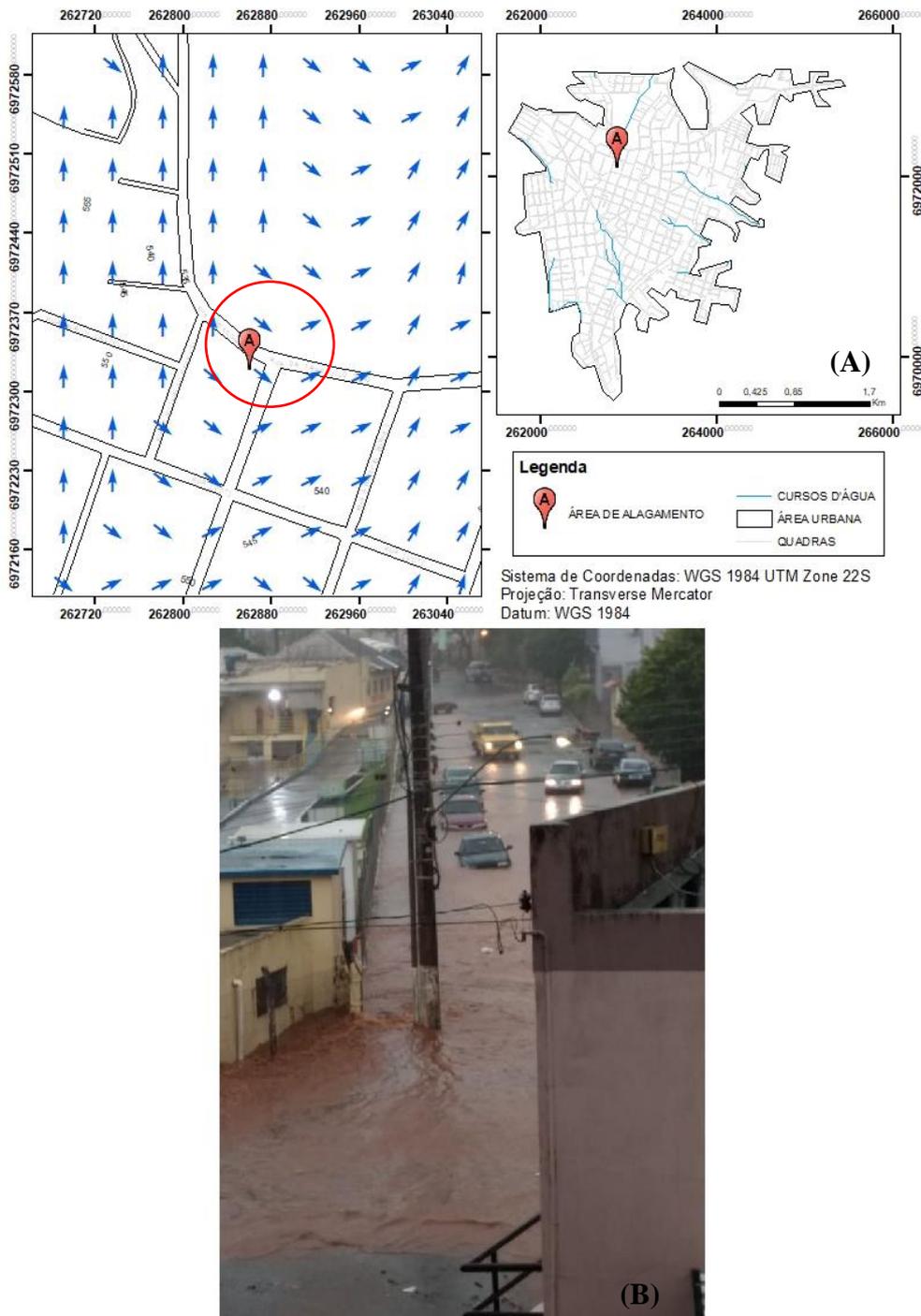
Fonte: (A) O autor, (2021); (B) Folha do Noroeste, (2013)

O município de Frederico Westphalen, sofre com problemas de projetos de drenagem urbana, sejam eles pelo dimensionamento incorreto, ou pela falta de embasamento de dados e conhecimento científico. Ainda é passível de apontamento, o fato de que nesta área a declividade encontra-se entre 9° e 15°, podendo estar relacionado ao grande acúmulo de águas em grandes intensidades hídricas.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico, não há nenhum tipo de registro sobre as dimensões ou modificações realizadas na rede de drenagem de águas pluviais desde 1986 (FREDERICO WESTPHALEN, 2011). No plano ainda cita-se que os pontos mais críticos do município de Frederico Westphalen encontram-se nos bairros Centro, Santo Antônio, Nossa Senhora Aparecida, Ipiranga, Itapagé e São José.

Esta afirmativa confirma-se através da Figura 10, aonde fica explícito as setas de fluxo criando uma acumulação na Rua Cabo Rocha com a Antônio Boscardin no bairro Santo Antônio registrada em 2018 (LUZ E ALEGRIA, 2018).

Figura 10 – (A) Setas de fluxo indicando acumulação esquinas Rua Cabo Rocha com Antonio Boscardin; (B) Alagamento sofrido em 2018 esquinas Rua Cabo Rocha com Antônio Boscardin



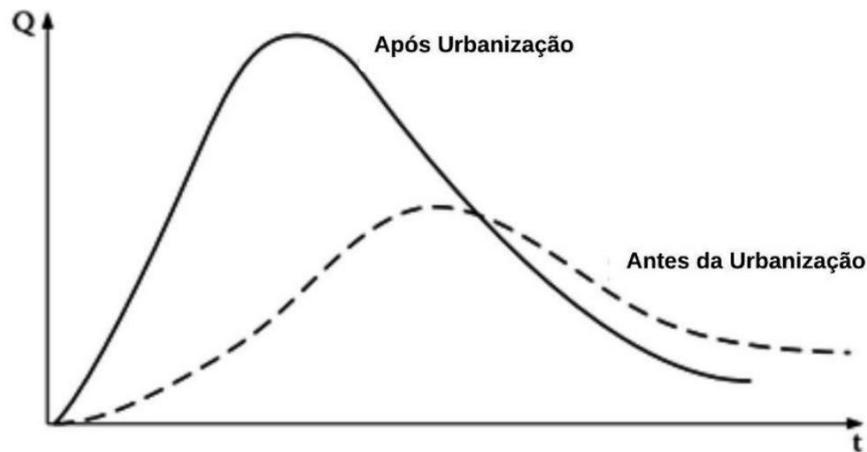
Fonte: (A) O autor (2021); (B) Luz e Alegria, (2018)

Segundo Delarmelin (2017) o coeficiente de escoamento (C) para a área urbana do município de Frederico Westphalen varia entre 0,38 e 0,54. Esses valores incluem a área na classificação de Edificações com muitas superfícies livres, maior incidência de casas com pátios e ruas macadamizadas; e edificações com poucas superfícies livres, que são residências com

construções cerradas e ruas pavimentadas. Estes valores demonstram a influência do uso e ocupação do solo quanto ao seu potencial de escoamento superficial.

A condição de escoamento de uma bacia hidrográfica sofre grande alteração, quando se transforma um solo, outrora permeável numa superfície impermeabilizada (JUSTINO *et al.*, 2011) mesmo que haja alteração da declividade de terrenos, fundo de corpos d'água, ou outra obra relacionada, a interferência e consequências são inevitáveis.

Figura 11 - Hidrograma de bacia rural e depois de urbanizada (Vazão x Tempo).



Fonte: Tucci, (2008)

Tucci (2008) diz que alagamentos são muito influenciados pela: (a) deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixos e sedimentos; (b) projetos e obras de drenagem inadequadas, com diâmetros que diminuem a jusante, drenagem sem esgotamento, entre outros. A Figura 11 mostra como a curva de vazão se comporta nas diferentes áreas, onde há maior capacidade de infiltração de água no solo (rural) e onde há maior incidência de picos de vazões máximas, decorrente da interferência no comportamento da bacia em virtude do aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies.

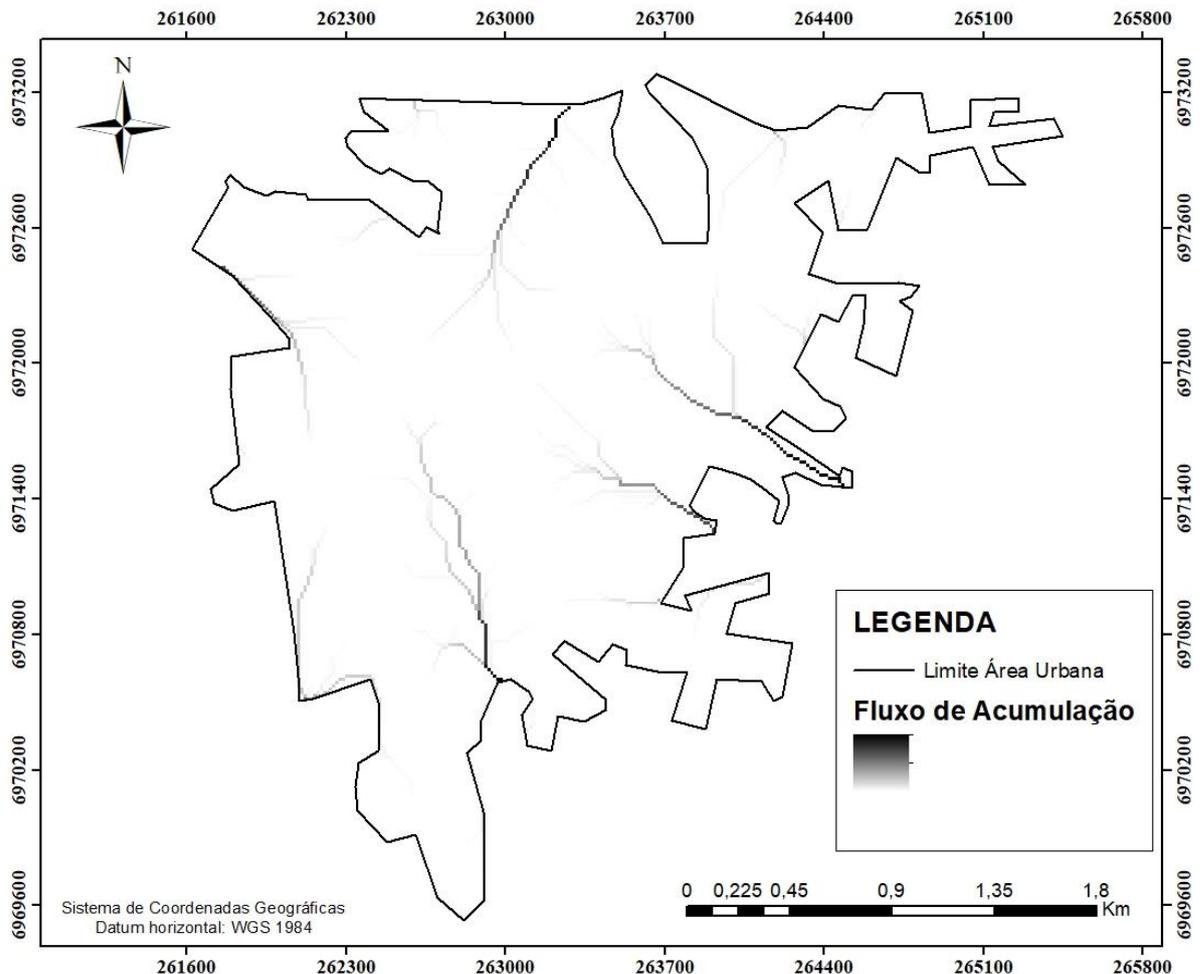
### 5.3 ACUMULAÇÃO DE FLUXO (*Flow Accumulation*)

A extração de redes de drenagem através de DEM é gerada a partir da definição de um limiar de área de captação, que representa o número mínimo de células de fluxo acumulado necessárias para estabelecer um canal.

Segundo Junior (2017) para o limiar, quanto maior for seu valor, menor será a visibilidade da densidade da drenagem, visto que seu valor está embasado na acumulação de fluxo.

As áreas acumuladas dão-se por meio da determinação de um valor de limiar, ou seja, se uma célula supera ou é inferior a este, que é definido pelo usuário, então esta célula faz parte ou não da rede de drenagem. Por meio de análise visual optou-se por utilizar o limiar  $<500,01$ . Assim, se a célula supera o valor determinado, ela recebe o valor 0 e se é inferior ao limiar determinado, recebe o valor de 1. Este valor foi utilizado, pois gera uma melhor fragmentação dos tons mais intensos e que leva a uma melhor visualização das áreas de tendência a acumulações de fluxo. Ou seja, a determinação dos limiares da rede de drenagem acaba sendo uma decisão baseada nos valores de área acumulada.

Figura 12 – Mapa de Acumulação de Fluxo da área urbana da cidade de Frederico Westphalen-RS



Fonte: o autor (2021)

Observa-se que nas células mais escuras representam a drenagem por si só, as quais recebem maiores contribuições e possuindo diversas ramificações de dimensões menores, que podem representar a influência do fluxo de direção.

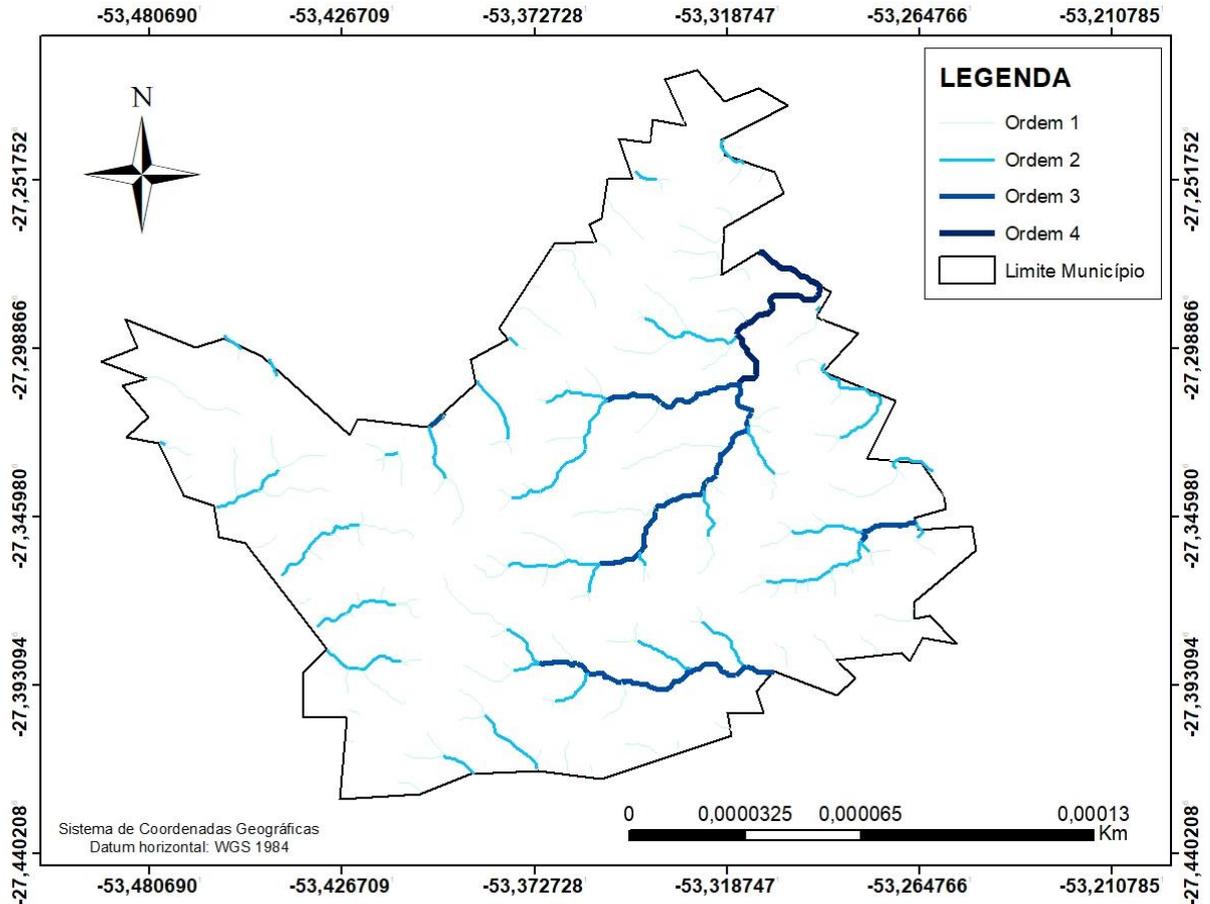
A malha de fluxo de acumulação (Figura 12) é desenvolvida com o objetivo de determinar os possíveis caminhos de fluxo superficial, por meio da ligação das células de centro a centro, seguindo-se a direção de fluxo obtida para cada célula (REIS, 2015).

#### 5.4 ORDEM DO CURSO DE ÁGUA (*STREAM ORDER*)

No raster, cada segmento é assinalado com um valor único, sendo que todas as células de um determinado segmento recebem esse mesmo valor. Assim, é necessário a utilização da ferramenta ‘*Stream Link*’ para a identificação dos segmentos da hidrografia. A partir da identificação dos segmentos, é possível aplicar a ferramenta ‘*Stream Order*’ que busca identificar quais as ordens da rede de drenagem.

Na Figura 13 pode-se observar uma área abundante em áreas de drenagem a nível municipal. É importante salientar que na área total do município há variação de declividades é bastante significativa, de até 25°, com altitudes variando até 586m, o que contribui muito para que a área tenha a formação de área de acumulação.

Figura 13 - Identificação da ordem dos rios no município de Frederico Westphalen-RS

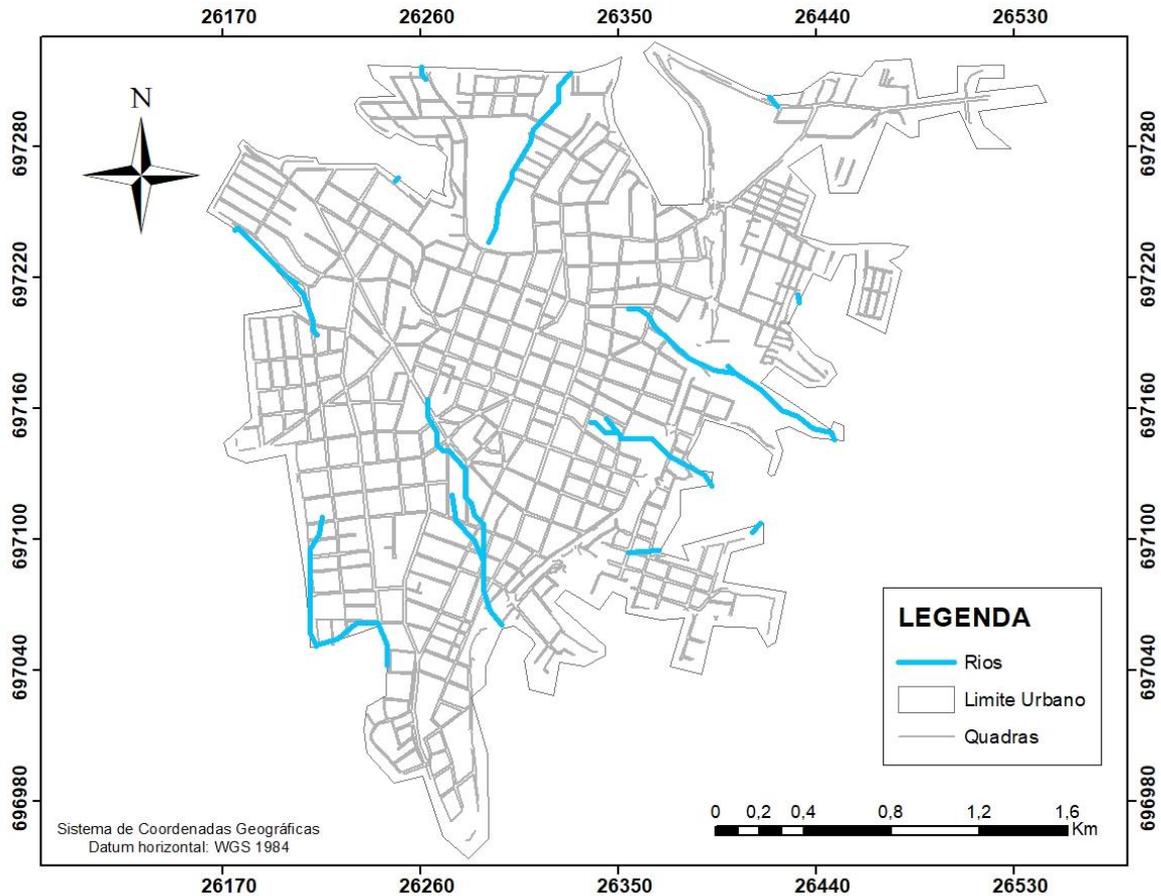


Fonte: o autor (2021)

Já na Figura 14 observa-se a área urbana, possui uma menor rede de drenagem. É possível analisar que nascentes destes rios urbanos estão inseridos na área urbana. Podendo ser preocupante quando analisa-se a questão de poluição de águas superficiais.

O município conta com nascentes localizadas na área urbana, sendo elas denominadas: Lajeado Chiquinha, Lajeado Pedras Brancas, Lajeado Perau, Lajeado Boa Esperança e Lajeado do Tunas.

Figura 14 - Identificação dos rios na área urbana de Frederico Westphalen-RS



Fonte: o autor (2021)

A grande problemática de cursos d'água concentrados na área urbana, é que em sua maioria os mesmos são canalizados em uma tubulação e desaguam em um único duto. Os pequenos córregos que se formam com as nascentes, principalmente em dias chuvosos, carregam o lixo espalhado pela região e acabam acumulando em alguns pontos, na maioria dos casos acabam entupindo bueiros e canalizações. Também sobre esses córregos, percebe-se alguns pontos onde a erosão pela água é acentuada em forma de “valetas” de quase um metro de altura, esta erosão ocorre pela falta da cobertura vegetal. (HASS *et al*, 2014)

Por fim, a determinação de dados hidrológicos e de dimensões que acompanham as mudanças em uma bacia urbana, se torna um processo complexo. As constantes mudanças da ocupação do solo e do relevo nos centros urbanos, exige a necessidade de um levantamento de dados mais precisos e constantes.

## 6. CONCLUSÃO

A análise realizada pelo módulo *Hydrology* do ArcGIS mostrou-se extremamente eficiente, uma vez que indicou exatamente os pontos de alagamentos em área urbana já relatados e registrados pela população e pelos meios de comunicação da região, sendo eles as esquinas Rua Cabo Rocha com Antônio Boscardin e na Rua Arthur Milani. A delimitação das redes de drenagem por meio das ferramentas do software também demonstrou-se precisa, podendo fornecer mapas de fácil entendimento aos gestores e interessados na identificação dessas áreas.

A utilização da ferramenta *Hydrology* e dos módulos de análise hidrológica mostraram-se precisas, principalmente para definição da direção dos fluxos com base nos declives da área urbana, mostrando a capacidade de detalhamento em áreas menores, a partir das informações topográficas fornecidas com curvas de nível de metro em metro. Entretanto, para a sua aplicação em áreas maiores (menor definição espacial) essa representação de fluxo perde precisão e o mapeamento apresenta deficiências.

A identificação correta das áreas de alagamento é importante para o planejamento urbano, uma vez que a saúde e bem estar da população depende de obras de adequação que atendam as demandas mínimas de saneamento básico efetivo, além de satisfazer as bases legais constantes, por exemplo, nos Planos Municipais de Saneamento Básico.

As análises realizadas indicam que algumas regiões são mais afetadas pelos alagamentos, influenciadas não somente pela falta ou dimensionamento incorreto da drenagem urbana mas, também, agravado pela elevada declividade e variabilidade de cotas do terreno nessas áreas. Esses fatores somados favorecem o rápido escoamento das águas pluviais e a concentração de fluxo em pontos críticos (de menor declividade como os exutórios de micro-bacias de drenagens).

É importante ressaltar que a qualidade do sistema de drenagem urbana é também avaliada pelo grau de benefícios ou prejuízos ocasionados à população. Na cidade de Frederico Westphalen foram somente relatados prejuízos materiais, pela população.

Associam-se os alagamentos à intensidade das chuvas e como o dimensionamento das unidades receptoras das águas pluviais urbanas não possuem registros junto aos órgãos regulamentadores, ressalta-se à necessidade da realização de estudos que incorporem outros fatores influenciadores neste processo, de forma a identificar o papel de cada um no impacto do escoamento das águas pluviais e, assim, poder implementar medidas de prevenção que evitem os recorrentes problemas de alagamentos urbanos na cidade de Frederico Westphalen.

Recomenda-se, nesse sentido, a realização de estudos de drenagem urbana e manejo de águas pluviais que sejam incorporados à gestão e ao planejamento da cidade, incentivando a prática de drenagem sustentável e, conseqüentemente, o desenvolvimento de projetos que vão além do modelo tradicional de simplesmente canalizar a água pluvial e promover o seu rápido escoamento, o que pode derivar o problema dos alagamentos e inundações para outros pontos da bacia de drenagem.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBOIT, N. K. S. **Proposta De Implementação de Microrreservatório De Detenção Em Lotesna Cidade De Frederico Westphalen**. 2014. 73 f. - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Ufsm, Frederico Westphalen, 2014.

ALVES, P. B. R.; TSUYUGUCHI, B. B.; RUFINO I. A. A.; FEITOSA P. H. C. **Mapping of flood susceptibility in Campina Grande county –PB: a spatial multicriteria approach**. Bulletin of Geodetic Sciences, Vol. 24, issue 1, 28-43, Jan-Mar, 2018.

BERTANI, G.; BREUNIG, F. M.; SPOHR, R. B. **Análise De Crescimento Da Mancha Urbana Do Município De Frederico Westphalen, Rs-brasil Através De Imagens Landsat 5 Tm**. Geografar, Curitiba, v. 7, n. 1, p.68-83, abr. 2012.

BRASIL, Lei n.11.445, de 05 de jan de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Acesso em: 15 jun. 2020

BRASIL, Lei n.13.308, de 06 de jul de 2016. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, determinando a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial**. Acesso em: 15 jun. 2020

BRASIL, Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências**. Acesso em: 23 de Jan de 2021

BUENO, P. H. O. **Desenvolvimento De Procedimento Para Identificação De Áreas Prioritárias Para O Manejo Das Águas Pluviais: Aplicação Para O Caso Da Bacia Do Alto Descoberto – DF/GO**. 2016. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos., Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2016.

CARVALHO, F. C. D.; SILVA, D. B. L.; **Hidrologia**. Ago/2016; Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>> Acesso em: 26 jun 2020

DELARMELIN, W. C. **Modelagem Hidrológica De Bacias Hidrográficas Na Área Urbana De Frederico Westphalen – Rs Com Apoio Do Software Watershed Modeling System**. 2017. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2017.

ERSI, ArcGIS 10.3 – **Software de georeferenciamento**, 2014. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/get-started/quick-start-guides/arcgis-desktop-quick-start-guide.htm> Acesso em: 22 de Jan de 2021

ENOMOTO, C. F. **Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná.** 2004. 2 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) –Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2004.

FAVIN, J. L.; FAVARETTO J. R.; **Emprego dos modelos RC, SCS e SWMM à estimativa de vazões em diferentes bacias hidrográficas no município de Frederico Westphalen.** Revista de Engenharia, Computação e Tecnologia. Frederico Westphalen 2019. Acesso em: 20 de Jun. de 2020

FCTH, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes Básicas Para Projetos De Drenagem No Município De São Paulo.** 2. ed. São Paulo, 1999. 289 p.

FREDERICO WESTPHALEN. Prefeitura Municipal. **Plano municipal de saneamento básico de Frederico Westphalen/RS.** Frederico Westphalen, Nov. de 2011. Acesso em: 21 de Jun. de 2020.

FREDERICO WESTPHALEN. Lei n. 1.036 de 23 de novembro de 1984. **Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.** Prefeitura Municipal, 1984. Acesso em: 01 de Jun. de 2020.

FOLHA DO NOROESTE. **Chuva causa alagamentos em Frederico Westphalen.**, Frederico Westphalen, 11 de nov. de 2013. Disponível em: <<https://www.folhadonoroeste.com.br/noticias/chuva-causa-alagamentos-em-frederico-westphalen/>>. Acesso em: 16 jun 2020.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. **Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial.** Revista Brasileira de Ciências do Solo. Ed 2, p.411-417, 2001.

HASS, A.; CONCEIÇÃO, S. R.; HENRICHSEN, J. L.; CHINAZZO I. B.; RITTER, L. G.; RENZ, V. D.. **Análise e caracterização da bacia hidrográfica do córrego Fátima localizado no município de Frederico Westphalen-RS.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET. V. 18 n. 1 Abr 2014, p. 187-195.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico IBGE, 2019.** Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 de março de 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas Digitais - Municípios RS.** Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2015/UFs/RS/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/UFs/RS/)>. Acesso em: 26 maio 2020.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Aquisição de TOPODATA**. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 26 maio 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados Agregados SIDRA: Universo - Tabela 202 - População residente por sexo e situação do domicílio**. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/universo-caracteristicas-da-populacao-e-dos-domicilios>>. Acesso em: 16 Jun. 2020.

LUZ E ALEGRIA. **Intensidade da chuva causa alagamentos em FW**. 01 de out. de 2018. Disponível em: <https://www.luzealegria.com.br/noticias/intensidade-da-chuva-causa-alagamentos-em-fw/>. Acesso em: 16 jun. 2020.

JUNIOR, V. H. A.; SOUZA, F. R. M.; SILVA, R. V.; SANTOS, O. M.; MONGUILHOTT, M. Análise comparativa dos produtos derivados das variáveis geomorfológicas dos algoritmos SAGA/GIS e ArcGIS. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -sbsr**, Santos, v. 8, n. 8, p. 5-5, maio 2017.

JUSTINO, E. A; PAULA, H. M; PAIVA, E. C. R. **Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG**. Espaço em Revista, Uberlandia, v. 15, p. 16-38, 2011.

LEVINO, N. A.; BISPO, T. C. **Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: Um estudo da região da periferia de Maceió/AL**. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2011, Belo Horizonte. **Congresso:** Enegep, 2011. p. 2 - 13. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011\\_tn\\_sto\\_143\\_901\\_18402.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_143_901_18402.pdf). Acesso em: 24 mar. 2020.

NOEL, G. C.; *et al.* **Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS**. Embrapa. Pelotas. Setembro, 2011.

PLANSAB. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento, 2019. 240 p. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao\\_Conselhos\\_Resolu%C3%A7%C3%A3o\\_Alta\\_-\\_Capa\\_Atualizada.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Conselhos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf). Acesso em: 21 jan. 2021.

REIS, P. A. **identificação De Áreas Vulneráveis As Enchentes E Inundações Em Áreas Urbanas Através De Modelos Topográficos E Hidráulicos**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlandia, Uberlandia, 2015.

RIBEIRO, A. M. **Bmp's Em Drenagem Urbana –aplicabilidade Em Cidades Brasileiras**. 2014. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SANTOS, C. C. P. **Bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, MT: um estudo da extração da rede de drenagem e delimitação dos seus limites, utilizando modelos digitais de elevação.** 2013. 95f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Gross, Faculdade de Arquitetura, engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2013.

SANTOS, R. F. **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192p.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA P. T. S.; RODRIGUES D. B. B.; AYRES F. M. **Delimitação Automática De Bacias Hidrográficas Utilizando Dados Srtm.** 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n1/a05v30n1.pdf>. Acesso em: 04 maio 2020.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas Estudos Avançados.** 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf> Acessado em: 26 jun 2020

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Ed 2. Porto Alegre: ABRH. p. 391-441.