

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**ERIK MOSCARDINI LIMA**

**ANÁLISE DO REFLUXO DA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL COM BASE EM  
MODELO ALTIMÉTRICO DURANTE PERÍODOS DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE  
ITAQUI – RS**

**Itaqui  
2017**

**ERIK MOSCARDINI LIMA**

**ANÁLISE DO REFLUXO DA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL COM BASE EM  
MODELO ALTIMÉTRICO DURANTE PERÍODOS DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE  
ITAQUI – RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura.

Orientador: Prof. Me. Robert Martins da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre B. Lopes

**Itaqui  
2017**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

L732a Lima, Erik Moscardini

ANÁLISE DO REFLUXO DA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL COM BASE EM MODELO ALTIMÉTRICO DURANTE PERÍODOS DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE ITAQUI – RS / Erik Moscardini Lima.

34 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 2017.

"Orientação: Robert Martins da Silva".

1. Alagamento. 2. Modelo Digital de Elevação. 3. Galeria fechada. I. Título.

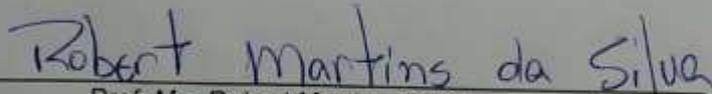
ERIK MOSCARDINI LIMA

ANÁLISE DO REFLUXO DA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL COM BASE EM  
MODELO ALTIMÉTRICO DURANTE PERÍODOS DE CHEIAS NO MUNICÍPIO DE  
ITAQUI – RS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia de  
Agrimensura da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia de Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 05, dez de.

Banca examinadora:



Prof. Me. Robert Martins da Silva  
Orientador  
UNIPAMPA



Prof. Dra. Leydimere Janny Cota Oliveira  
UNIPAMPA



Prof. Me. Leonard Niero da Silveira  
(UNIPAMPA)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e a todos que me auxiliaram e apoiaram na busca pelo conhecimento.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar a oportunidade, guiar meu caminho e me dar forças em todos os momentos.

Aos meus pais Monica e Francisco que sempre me apoiaram, e estiveram presentes de coração durante todo esse período, apesar da distância.

Agradeço a todos os professores que me orientaram e auxiliaram durante a graduação, especialmente o orientador deste TCC, Prof. Me. Robert Martins da Silva que dedicou muito do seu tempo para o desenvolvimento do trabalho, o coorientador, Prof. Dr. Alexandre B. Lopes que me orientou durante toda a graduação e a quem sou profundamente grato e também o Prof. Me. Leonard Niero da Silveira que esteve presente desde o início do desenvolvimento, sempre auxiliando na resolução dos problemas e tirando as dúvidas com muita paciência.

Agradeço aos meus amigos Wesley, Guilherme, Marcela, Raisse, Otávio, Vitor, Marcos, Joao Tameirão, Joao Grício e Rodolfo que se tornaram uma família em Itaqui, sempre presentes, nas viagens e diversão ou durante as madrugadas mais difíceis, o suporte e presença deles foi essencial para a minha formação pessoal e profissionalizante.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho e para minha formação.

## RESUMO

O município de Itaqui, fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, localizado nas margens do Rio Uruguai é frequentemente atingido pelas cheias do rio, causando prejuízos para a população e o poder público. Além de todos os problemas acarretados pela inundação, em épocas de cheias ocorre refluxo na rede de água pluvial causando alagamentos em regiões não atingidas diretamente pelas inundações, conforme foi observado durante visita *in loco* nas últimas enchentes.

Dentro do contexto apresentado o objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise do refluxo da rede de drenagem pluvial do município de Itaqui durante as inundações e alagamentos de áreas urbanas.

Após a definição da área de estudo através da análise dos dados da rede de drenagem pluvial do município e visitas a área afetada pelo refluxo durante o período de enchente, foram determinadas as altitudes ortométricas dos pontos de interesse vinculadas ao SGB através de altimetria por GNSS utilizando o método relativo estático e também realizado o vínculo da cota do rio ao SGB, de forma que os dados estejam em um referencial único.

A partir de tais informações, e do Modelo Digital de Elevação da área de estudo, foi identificado que os pontos de ocorrência de refluxo possuem altitude ortométrica vinculada ao SGB variando entre 54,620m e 55,920m e a máxima cota de inundação para o município é de 57,144m no ano de 1983. Assim, com o afogamento da seção da galeria fechada pelo aumento do nível do rio, o sistema de drenagem pluvial que conecta as bocas de lobo ao rio, direciona o fluxo das águas do rio para o perímetro urbano do município, buscando o equilíbrio de pressões no sistema e causando alagamentos.

A metodologia apresentada mostrou-se eficiente para análises de refluxo na rede de drenagem pluvial do município de Itaqui. A determinação de altitudes de MDE, de rios e canais em um referencial único permitiu analisar locais com ocorrência de refluxo, inundações e alagamentos.

Palavras-Chave: Alagamento; Modelo Digital de Elevação; Galeria fechada.

## **ABSTRACT**

The city of Itaqui, west border of the state of Rio Grande do Sul, located next to the Uruguay river banks is often hit by river floods, causing damages to the population and the local government. In addition to all problems caused by flooding, in times of floods occurs counterflow in the Rainwater network causing flooding in non floods zones, as was observed during na in site visit in the last flood.

Within the presented context the main objective of this work is to realiza an analysis of the counterflow of the drainage network of the city of Itaqui during the floods in urban areas.

After defining the area of study through the analysis of the data of the drainage network of the city and visits to the affected area during the flood period, were determined the orthometric altitudes of points of interest linked to the SGB through GNSS altimetry using the static relative method and also were accomplishment the quota tie to the SGB, so that the data is in an unique reference.

From this information, and the Digital Elevation Model of the study area, it was identified that the points with counterflow occurrence have orthometric altitude linked to the SGB varying between 54,620m and 55,920m, the highest quota of floods in the city is 57,144m in the year 1983. Thus, with the drowning of the section of the gallery closed by the increase of the level of the river, the rainwater drainage system that connects the mouths of the wolf to the river, directs the flow of the waters of the river to the urban perimeter of the municipality seeking the balance of pressures in the system and causing flooding.

The presented methodology proved efficiency for counterflow analysis in the drainage network of the city of Itaqui. The determination of MDE altitudes, of river and channel in a single reference allowed to analyze sites with occurrence of counterflow and floods.

**Keywords:** Flooding; Digital Elevation Model; Gallery closed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de vasos comunicantes.....	16
Figura 2: Refluxo na rede de drenagem urbana, baseado no princípio de vasos comunicantes.....	16
Figura 3: Área de estudo.....	20
Figura 4: Zoneamento da área de risco.....	21
Figura 6: Rua XV de novembro durante época de cheia, em junho de 2017.....	22
Figura 8: Modelo digital de elevação da área de estudo e sua rede de drenagem ...	25
Figura 9. Série histórica das cotas máximas do Rio Uruguai, vinculadas ao SGB....	26

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de Terreno

NBR – Norma Brasileira

RAAP – Rede Altimétrica de Alta Precisão

RN – Referência de Nível

RS – Rio Grande do Sul

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SMAD – Serviço de Monitoramento e Alerta de Desastres

SIG – Sistema de Informações Geográficas

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Sistema de drenagem urbano .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Evento de refluxo em sistema de drenagem pluvial .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1 Relação entre o refluxo na rede de drenagem pluvial e o princípio de vasos comunicantes .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 Válvulas Flap .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Modelo Digital de Elevação (MDE) .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Sistema de informações Geográficas (SIG) .....</b>	<b>18</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Área de estudo .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2 Métodos geodésicos e topográficos na obtenção de altitudes e MDE.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Determinação das altitudes geométricas em pontos de interesse.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Determinação de altitude ortométrica a partir de dados GNSS. ....</b>	<b>24</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>29</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade os rios possuem grande relevância e influência, de forma que as cidades são normalmente instaladas próximas a eles, contudo, quanto mais próximas, maiores são os riscos de enchentes, gerando condições insalubres, sendo estes alguns dos motivos pelos quais as forças da natureza em forma de água são problemas amplamente discutidos há tempos por engenheiros e seus predecessores. (MOURA, 2004).

Tendo essa problemática em vista, o estudo da topografia se torna cada vez mais importante para o desenvolvimento do Plano Diretor de Drenagem Urbana, pois através dela são realizados diversos trabalhos como medida não-estrutural de controle, monitoramento e prevenção, entre eles a determinação de cota de inundação, mapeamento de inundações e identificação de áreas de risco que auxiliam na resolução de problemas desta natureza (BARROS; MENDIONDO; WENDLAND, 2007).

Reckziegel (2007) constata em sua pesquisa que o Rio Grande do Sul tem sofrido constantemente com eventos de desastres naturais associados a processos de dinâmica superficial e atmosférica. Entre os processos de dinâmica superficial são destacadas as enchentes e as enxurradas, que são responsáveis por um grande número de vítimas desabrigadas e, em algumas vezes, até mesmo fatais. Já o município de Itaqui, fronteira oeste do estado do RS, localizado nas margens do Rio Uruguai é frequentemente atingido pelas cheias do rio e as inundações atingem áreas urbanas acarretando prejuízos para a população e o poder público.

Além de todos os problemas acarretados pela inundação é importante ressaltar que em épocas de cheias ocorrem problemas de refluxo na rede de água pluvial com detritos da descarga de esgoto (devido a ligações indevidas na rede) causando alagamentos em regiões não atingidas diretamente pelas inundações, conforme foi observado durante visita *in loco* nas últimas enchentes, podendo causar a proliferação de doenças como hepatite A, leptospirose, e verminoses. Esses fatos, somados a ocupação inadequada das regiões ribeirinhas, contribuem para o agravamento do problema.

Em se tratando de redes de esgoto e drenagem urbana a determinação de cotas de inundação e cotas de projetos é premissa básica para se discutir projetos desta natureza. Um levantamento topográfico detalhado é crucial para delinear

áreas de drenagem, para cálculo do escoamento e sua declividade, sendo a declividade um dos elementos mais importantes de um projeto de coletor pluvial.

Dentro do contexto apresentado o objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise do refluxo da rede de drenagem do município de Itaquí durante as inundações de áreas urbanas. Os objetivos específicos são: 1) Determinar as altitudes ortométricas utilizando altimetria por GNSS onde foram identificados problemas de refluxo na rede de drenagem; 2) Análisar as cotas do Rio Uruguai vinculadas ao SGB, as cotas da área de estudo e sua relação com os problemas de refluxo.

## **2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA**

Segundo Viola (2008) o gerenciamento de águas pluviais, juntamente com o planejamento e ocupação do solo, são essenciais para proporcionar melhor qualidade de vida, organizando o espaço físico e preservando os ecossistemas, de forma menos impactos ambientais, econômicos e sociais possíveis.

### **2.1 Sistema de drenagem urbano**

No século XIX, devido à intensificação do crescimento das aglomerações urbanas, surgiram os princípios do higienismo, que objetivava a evacuação, para mais longe e o mais rapidamente possível, as águas de qualquer natureza presentes nas áreas urbanas. No Brasil, esses princípios foram adotados somente no fim do século XIX, com a proclamação da República, chamados de “sistemas clássicos de drenagem”. Tais sistemas de drenagem foram se tornando obsoletos, devido o grande desenvolvimento urbano em conjunto com a impermeabilização, causando inundações cada vez mais frequentes, acarretando problemas sociais, econômicos, políticos e ambientais. O que levou as obras de drenagem urbana a serem aperfeiçoadas, de forma que a partir de 1970 vem sendo desenvolvidas e utilizadas as chamadas “tecnologias alternativas ou compensatórias” de drenagem que preconizam anular os efeitos da urbanização sobre os processos hidrológicos (MOURA; BAPTISTA; BARRAUD, 2009).

Tendo em vista a prática moderna da gestão de águas pluviais, segundo Gribbin (2009), a função dos engenheiros pode ser dividida em três categorias principais: Controlar as inundações gerenciando o escoamento natural das águas pluviais, explorar os recursos hídricos disponíveis para propósitos benéficos e realizar o manejo sustentável das águas para prevenir a degradação causada pelos poluentes naturais e antrópicos. Em sua obra define a rede de drenagem pluvial como tubulações subterrâneas utilizadas para o transporte seguro e conveniente das águas de chuva de áreas urbanas até corpos d'água.

Segundo a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (1999), o sistema de drenagem está integrado ao conjunto de melhoramentos públicos, tendo em vista que o escoamento das águas sempre ocorrerá, existindo ou não um sistema de

drenagem adequado. A qualidade desse sistema é o que determinará se os benefícios ou prejuízos à população serão grandes ou pequenos.

Esse sistema possui três componentes principais, a saber, a estrutura de entrada, a tubulação e o muro de contenção. A estrutura de entrada é responsável por permitir a afluência das águas pluviais no sistema, a tubulação transporta as águas pluviais em direção ao corpo receptor e o muro de contenção é projetado para que as águas pluviais saiam do sistema (GRIBBIN, 2009).

Garcez (1969) classifica os sistemas em três tipos, podendo ser, unitário, separador absoluto ou separador parcial. O sistema unitário realiza transporte do esgoto doméstico, das águas residuárias das indústrias, das águas de infiltração e das águas pluviais em um único sistema de canalizações. O sistema separador absoluto possui dois tipos de canalizações distintos, um destinado exclusivamente às águas pluviais e o outro ao conjunto de esgoto doméstico, águas residuárias das indústrias e águas de infiltração. O sistema separador parcial é a combinação dos dois sistemas anteriores, ele é projetado para funcionar como sistema unitário para chuvas moderadas, contudo, canalizações suplementares são previstas para volumes de grandes temporais.

Tais sistemas funcionam como condutos livres ou canais, de forma que o fluxo possui uma superfície livre que se ajusta dependendo das condições de fluxo, essa superfície está submetida à pressão atmosférica, que permanece aproximadamente constante ao longo da extensão do canal, de forma que o fluxo é direcionado pela força gravitacional ao decorrer da declividade do canal (NETTO, et al. 1998) e (HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012).

A partir de tais conceitos observa-se que o levantamento topográfico é essencial no projeto de drenagem urbana, sendo responsável pela delimitação da bacia de contribuição e pelo cálculo da declividade para determinar a velocidade e vazão de projeto, sendo também imprescindível na determinação da profundidade de assentamento e locação dos bueiros de forma a modelar o solo para canalizar o escoamento por gravidade até a rede. É através do nivelamento que todo o dimensionamento das galerias será colocado em prática, devendo ser realizado por profissionais da área de topografia com supervisão de um engenheiro agrimensor, de forma que a velocidade deve ser apropriadamente controlada, pois um nivelamento mal executado pode acarretar erosão das paredes da tubulação ou a sobrecarga da rede devido ao afogamento das galerias em casos de aumento da

declividade na implantação fazendo com que o diâmetro do projeto não seja suficiente para o escoamento dos fluidos, já no caso de diminuir a declividade na implantação, ocorrerá a diminuição da velocidade de escoamento e deposição de dendritos nas galerias, ocasionando problemas na rede (ROCHA; BACK, 2008) e (GRIBBIN 2009).

## **2.2 Evento de refluxo em sistema de drenagem pluvial**

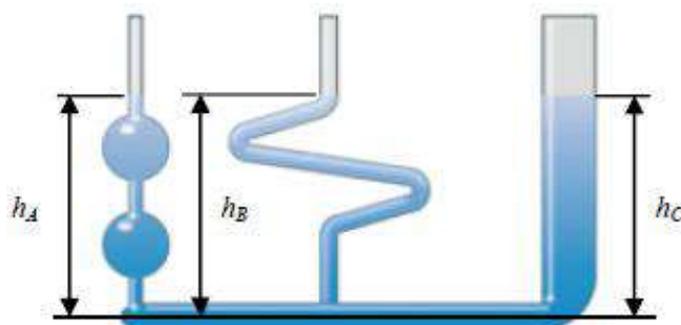
O refluxo na drenagem pluvial responsável por alagamentos, durante período de cheia, em localidades que apresentam canais e galerias fechadas é um fenômeno de ocorrência na cidade de São Leopoldo, no Rio Grande do Sul e também em Teresina no Piauí.

Em Teresina, em época de cheia do Rio Poty, o sistema de drenagem pluvial é represado, ocasionando o refluxo em direção à área urbana e conseqüentemente o alagamento de vários pontos da cidade (TERESINA, 2012). O mesmo ocorre na cidade de São Leopoldo, em época de cheia do Rio do Sinos segundo Silveira (2015)

### **2.2.1 Relação entre o refluxo na rede de drenagem pluvial e o princípio de vasos comunicantes**

Segundo Ferreira (2010), um conjunto de vasos abertos à atmosfera, em comunicação uns com os outros, de modo que ao colocar um líquido em um dos vasos do conjunto, ocorre a distribuição para todos os outros vasos do conjunto. Como todos os pontos em mesma horizontal do líquido colocado nos vasos em contato com a atmosfera estarão a mesma pressão, o líquido subirá em todos os vasos a mesma altura, como pode-se observar na figura 1.

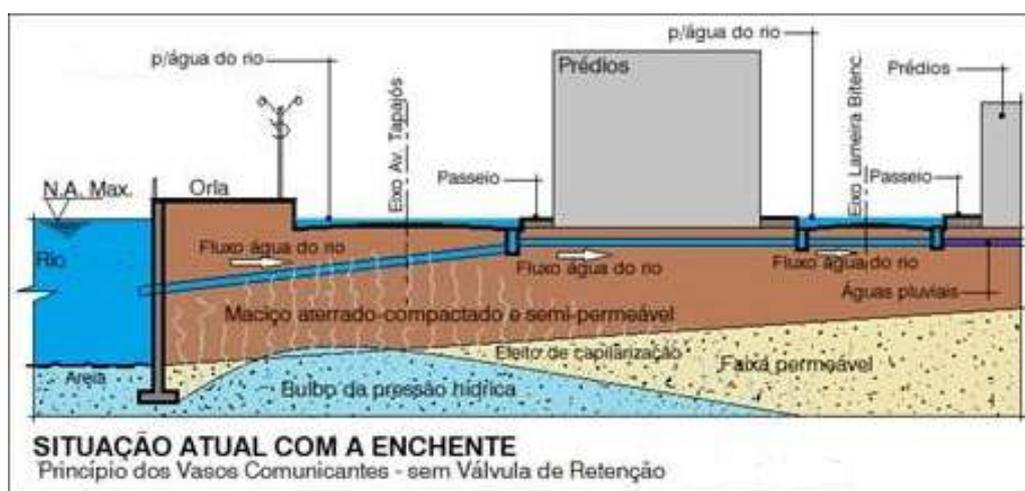
Figura 1: Sistema de vasos comunicantes.



Fonte: Ferreira, 2010

Em Sistemas de drenagem pluvial que operam com galerias fechadas, quando ocorre o afogamento da seção da galeria pelo aumento do nível dos rios, as galerias fechadas operam como condutos forçados, propagando o efeito de remanso de jusante para montante, para manutenção do equilíbrio do sistema, causando (FENDRICH; MALUCELLI, 2003). Neste caso, segundo Comunello (2001), o sistema de macrodrenagem poderia ser entendido como um sistema de vasos comunicantes, como pode-se observar na figura 2.

Figura 2: Refluxo na rede de drenagem urbana, baseado no princípio de vasos comunicantes.



Fonte: Silveira, 2015.

Como consequência, as saídas de emissários e exutório de tributários responsáveis pelo escoamento pluvial até a macrodrenagem ficam afogados,

ocorrendo assim o refluxo na rede de drenagem pluvial (FENDRICH; MALUCELLI, 2003).

### **2.3 Válvulas Flap**

São responsáveis por assegurar o escoamento unidirecional das águas, impedindo assim o refluxo. São instaladas na saída dos dutos, como proteção do refluxo durante períodos de cheia e marés (HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA [200?]). Sua adoção também é realizada na saída de galerias ligadas diretamente ao canal, quando não se consegue manter o nível de água abaixo da linha de projeto.

Comumente empregadas para evitar o refluxo, seu emprego foi proposto em regiões do Rio de Janeiro, na Vila Residencial da UFRJ por Ramanholi et al. (2014) e na bacia de detenção em Mesquita por Rezende (2010), para impedir a entrada de água do Rio Sarapuí para o interior da bacia de detenção. Optou-se pela sua adoção devido o baixo custo de implantação e manutenção, pelo funcionamento ininterrupto das válvulas e por serem necessárias pequenas interferências físicas para a implantação nas extremidades da rede de drenagem urbana.

### **2.4 Modelo Digital de Elevação (MDE)**

O MDE ou como também é chamado, Modelo digital de Terreno (MDT), é a maneira comumente utilizada para representar o comportamento da superfície topográfica de modo digital, sendo desenvolvido com base em um conjunto de pontos com coordenadas tridimensionais. Atualmente esse modelo tornou-se mais abrangente, podendo ser caracterizado como a representação digital da variação contínua de qualquer fenômeno geográfico que ocorre na superfície ou mesmo na atmosfera terrestre (FITZ, 2008).

Muitos estudos foram e estão sendo desenvolvidos atualmente para aperfeiçoar a precisão e acurácia das interpolações realizadas na geração dos Modelos Digitais de Eelevation, de modo que a escolha do interpolador a ser usado dependerá de uma série de fatores, como por exemplo, o tipo de superfície a ser modelada e sua finalidade. Dentre os vários existentes e suas variações, a ferramenta destacada e utilizada neste trabalho é a Topo to raster, do *software*

Arcgis® (2012), pelo fato de ser desenvolvida para o estudo de superfícies hidrologicamente corretas partindo de dados de pontos, linhas e polígonos. Sendo também utilizada no desenvolvimento de trabalhos desta área como o realizado por Reis (2015) que através de modelos topográficos e hidráulicos identificou áreas vulneráveis a enchentes e inundações em áreas urbanas.

Silva, Moreira e Lopes (2017) afirmam em seus estudos que o desenvolvimento de um MDE vinculado ao SGB através de tecnologias atuais necessita de dados da rede altimétrica do SGB, modelos geoidais recentes e dados GNSS. Sendo a rede altimétrica do SGB também conhecida como RAAP, formada por um conjunto de Referências de Níveis referenciadas ao Datum Vertical do Brasil, quando as Referências de Níveis são vinculadas a régua de um rio, possibilita determinar as áreas de cheia no MDE através de modelagem, viabilizando a análise de áreas afetadas por refluxo.

## **2.5 Sistema de informações Geográficas (SIG)**

É definido por Ghilani e Wolf (2013) como um sistema de hardware, *software*, dados e estrutura organizacional para coletar, armazenar, manipular e analisar espacialmente dados georreferenciados, ou seja, um SIG é capaz de definir relações espaciais topológicas entre elementos gráficos, possibilitando o estudo da localização e geometria das entidades. Os Sistemas de Informações Geográficas vêm sendo aplicados em diversos campos, como engenharia, agricultura, medicina e controle da fauna e flora.

O seu uso nas engenharias está voltado para inúmeras áreas, como o planejamento urbano, previsão de inundações e gerenciamento de tráfego. No contexto deste trabalho, a partir do MDE, das cotas do rio e da rede de drenagem pluvial em um único referencial, o SIG é utilizado para possibilitar a análise do projeto hidráulico e análise da relação entre as cotas do rio e da área de estudo com o refluxo e conseqüentemente os alagamentos na área urbana.

### 3 METODOLOGIA

Para realizar a análise das áreas afetadas pelo refluxo, que geram alagamentos nas áreas urbanas não afetadas diretamente pelas inundações, foi utilizada a metodologia de Silveira (2015), que toma como base o “Princípio de Vasos Comunicantes”, em que a água tende a ir da zona de maior pressão para a de menor pressão para a manutenção do equilíbrio, quando em um recipiente com extremidades abertas para a atmosfera. Este é o princípio que rege o refluxo da rede de drenagem pluvial no município de Itaqui.

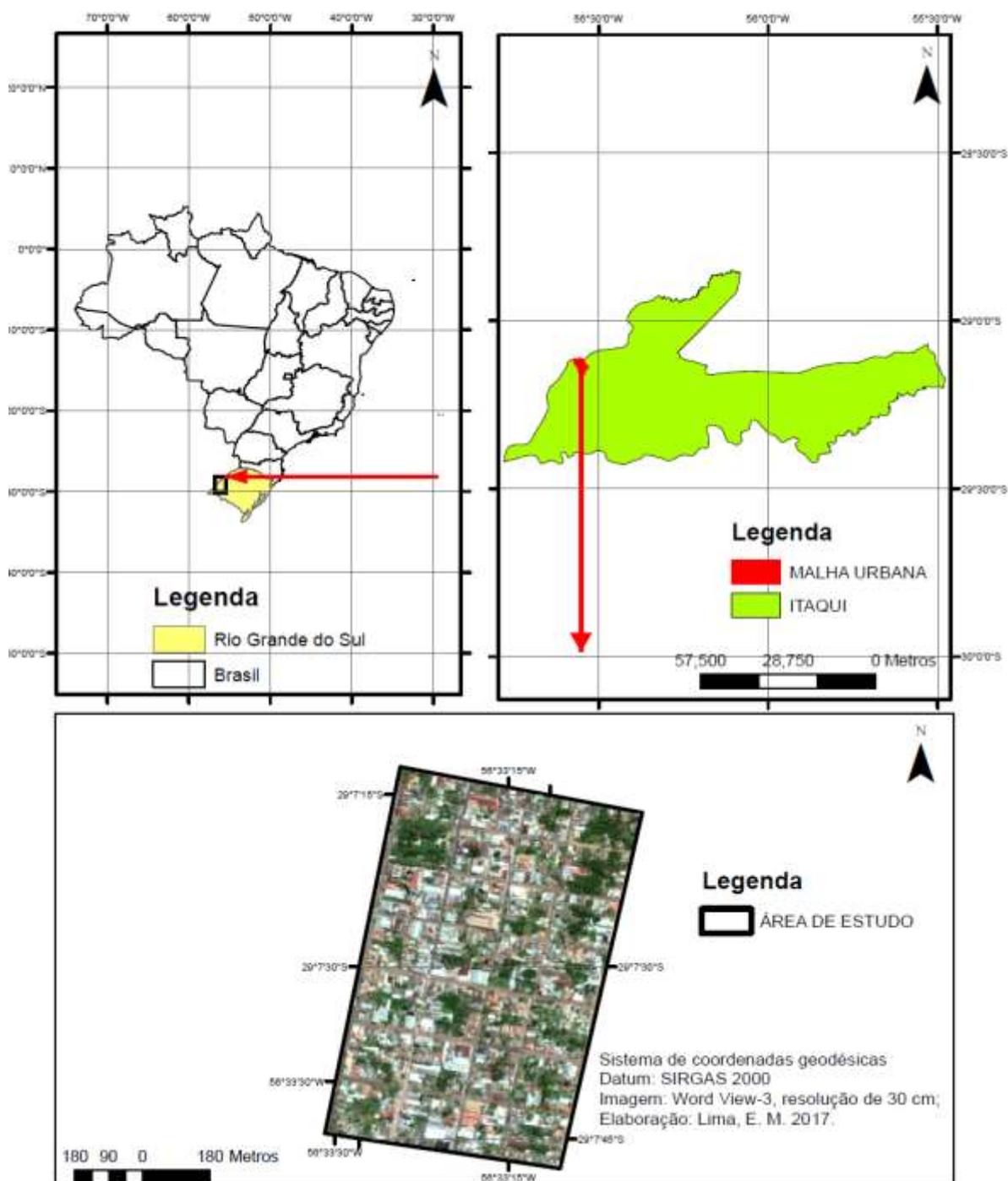
O estudo como um todo foi referenciado ao SGB, de modo que a água está sujeita as leis da física e a partir de um único referencial altimétrico, foi possível analisar e relacionar a ocorrência do refluxo com determinadas altitudes do terreno e cotas do Rio Uruguai.

Neste estudo foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) desenvolvido por Silva, Moreira e Lopes (2017) e dados da rede de drenagem cedidos pela Prefeitura Municipal de Itaqui, dados das cotas do Rio Uruguai disponibilizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e pelo Serviço de Monitoramento e Alerta de Desastres (SMAD), dados de levantamentos *Global Navigation Satellite System* (GNSS), de nivelamento geométrico e dados da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), mais especificamente da Referência de nível (RN) 1931A, cuja cota vinculada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é disponibilizada pelo IBGE.

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no perímetro urbano do município de Itaqui entre as latitudes 29° 7'12,59"S a 29° 7'47,66"S e longitudes de 56°33'10,46"O a 56°33'24,47"O, constituída principalmente por comércios e na menor parte por residências. A área foi delimitada através de análises dos dados da rede fornecidos pela prefeitura e visitas *in loco* durante o período de cheia em junho do ano de 2017, levando em consideração para sua delimitação às áreas afetadas pelo refluxo e a configuração da rede. A figura 3 apresenta a localização da área de estudo.

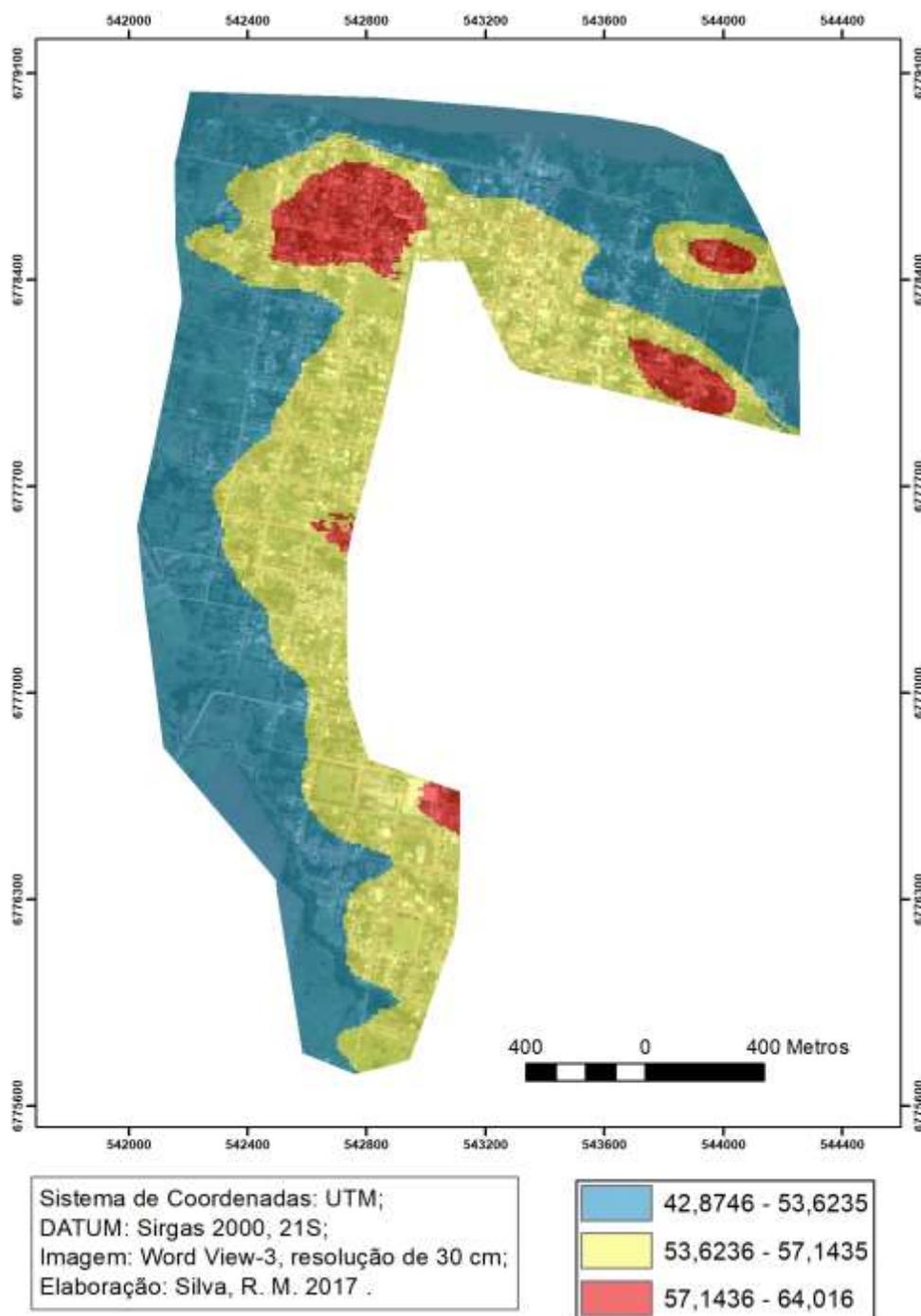
Figura 3: Área de estudo



Fonte: Autor, 2017

A figura 4 representa o zoneamento da área de risco de inundação na malha urbana realizado por Silva (2017. No prelo), sendo as áreas de alto grau de risco representadas entre as altitudes de 42,9746 m e 53,6235 m, as áreas de baixo grau de risco representadas entre as altitudes de 53,6236 m e 57,1435 m e as áreas não afetadas entre 57,1436 m e 64,016 m.

Figura 4: Zoneamento da área de risco



Fonte: Silva, 2010. No prelo.

Um exemplo da ocorrência do refluxo de água da rede de drenagem pluvial na Rua XV de novembro durante época de cheia em junho de 2017 pode ser observada na figura 6. Tais problemas afetam diretamente o comércio e a qualidade de vida da população.

Figura 5: Rua XV de novembro durante época de cheia, em junho de 2017



Fonte: Autor, 2017

Para realização da análise do refluxo é necessário à determinação das altitudes ortométricas da área e o vínculo das mesmas com a régua do rio, tornando-se possível identificar as prováveis causas e propor assim soluções para o problema.

### **3.2 Métodos geodésicos e topográficos na obtenção de altitudes e MDE.**

A determinação de cotas de inundação e cotas de projetos é a premissa básica para discussão de projetos de redes de esgoto e drenagem urbana. O método utilizado para o transporte de altitudes foi o método de nivelamento

geométrico, definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994) através da NBR13133: Execução de Levantamentos Topográficos. O nivelamento geométrico realiza a medida da diferença de nível entre pontos do terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos.

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad (1)$$

Sendo  $\Delta H_{AB}$  a diferença de nível entre os pontos A e B;  $H_A$  e  $H_B$  as altitudes ortométricas nos pontos A e B.

Em seu trabalho Gemael (2002) classifica como o método tradicional mais preciso para a obtenção da altitude ortométrica, porém sendo um processo trabalhoso, lento e oneroso. De forma que requer grandes custos e tempo de execução, por serem necessários vários operadores e cuidados técnicos para não ocorrer propagação de erros. Devido a este fator, estudos e aprimoramentos vêm sendo realizados na utilização de modelos geoidais e dados GNSS na determinação da altitude ortométrica, mostrando que é possível a realização de altimetria por satélites, com os benefícios da simplicidade, da rapidez e baixo custo (CASTRO, 2002).

A altimetria por GNSS diminui o custo devido o menor tempo de execução e número de operadores, e da simplicidade operacional. As atividades de campo são simples quando comparadas aos outros métodos, mas necessitam atenção, como por exemplo, estar sempre atento a altura da antena, máscara de elevação e Datum utilizado. A altitude geométrica não possui significado físico, não podendo ser utilizada diretamente em nivelamento e elaboração de MDE (CASTRO, 2002; MONICO,2007).

### **3.3 Determinação das altitudes geométricas em pontos de interesse.**

A partir da área delimitada foram determinadas as altitudes geométricas dos pontos de interesse da rede, como bocas de lobo e desemboques das mesmas. A determinação das altitudes geométricas foi obtida através de levantamento geodésico pelo método relativo estático conforme Monico (2007) com a utilização de receptores GNSS L1/L2 com tempo de rastreamento em cada ponto de aproximadamente

10 minutos, sendo o processamento dos dados realizado no software GNSS Solutions® utilizando apenas a portadora L1, pelo fato de ser utilizada a versão demonstrativa do software.

### 3.4 Determinação de altitude ortométrica a partir de dados GNSS.

As altitudes ortométricas, vinculadas ao SGB dos pontos de interesse e do MDE ( $H_i$ ) foram determinadas através de altimetria por levantamento GNSS relativo estático (FEATHERSTONE et al., 1998; OLLIKAINEN, 1998; SANTOS et al., 2011):

$$H_i = H_A + \Delta H_i = H_A + (\Delta h_i - \Delta N_i) \quad (2)$$

$$\Delta h_i = h_i - h_A \quad (3)$$

$$\Delta N_i = N_i - N_A \quad (4)$$

Onde,  $H_A$  é a altitude ortométrica da RN 1931A da RAAP (localizada próximo a área de estudo) cuja relatório é disponibilizado pelo IBGE,  $h_A$  é a altitude geométrica da RN 1931A,  $h_i$  é altitude geométrica dos pontos de interesse,  $N_A$  é a ondulação geoidal na RN 1931A e  $N_i$  é a ondulação geoidal dos pontos de interesse. Foi utilizado o modelo geoidal MAPGEO 2015 que pode ser obtido no site do IBGE.

### 3.5 Determinação das cotas do rio vinculadas ao SGB.

Para vincular as cotas do Rio Uruguai ao SGB foi seguido a metodologia de Camargo et al.(2012) que consiste na obtenção de dados históricos do nível do Rio Uruguai, observados através das réguas implantadas pelo Serviço Geológico do Brasil CPRM e o nivelamento geométrico entre a RN 1931A e a régua da CPRM. Sendo a cota do nível do rio ( $C_{rio}$ ), vinculada ao SGB, através da equação (5):

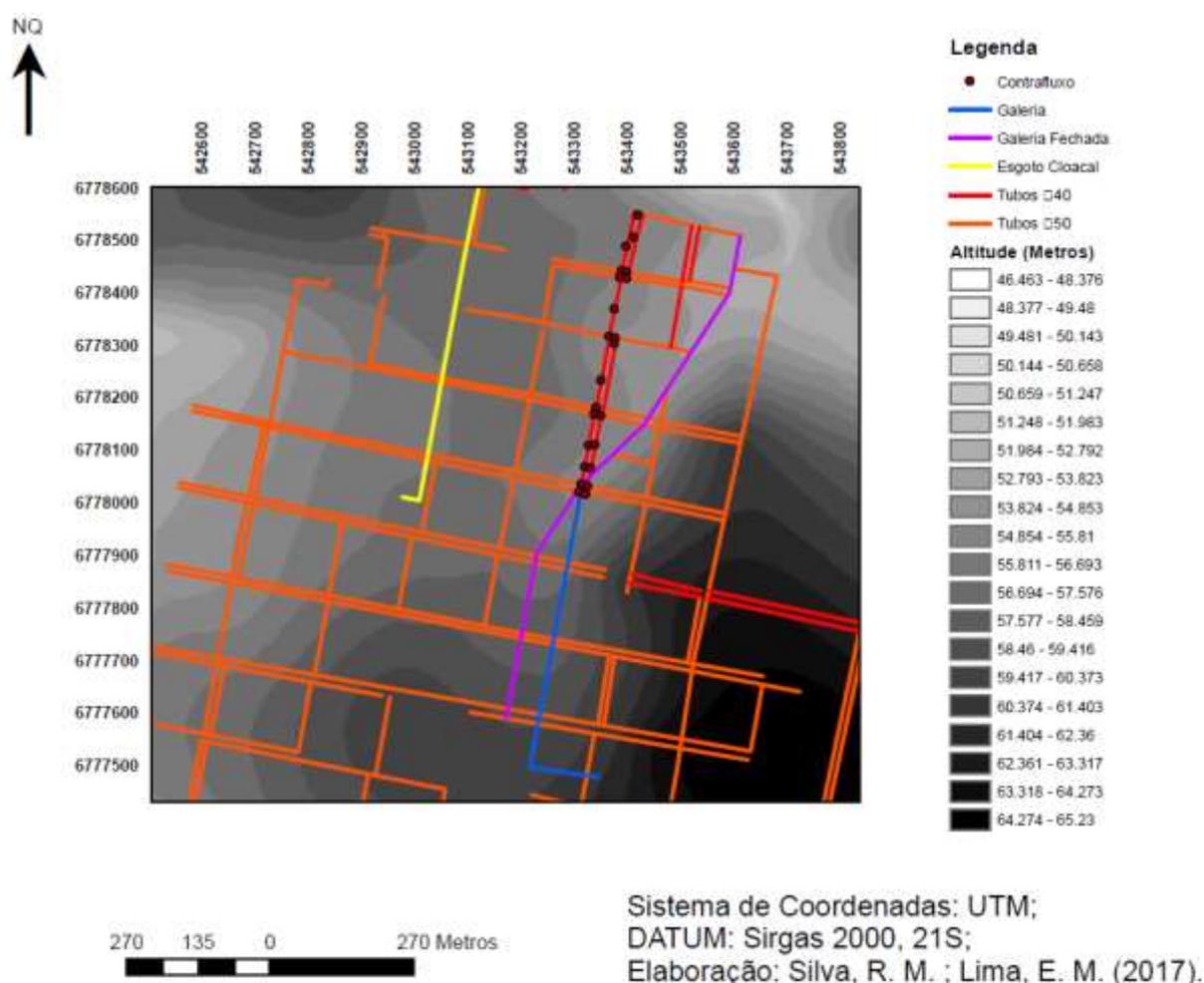
$$C_{rio} = C_{IBGE} + DN - h_r + L_r \quad (5)$$

Sendo  $C_{IBGE}$  a cota da RN 1931A, DN a diferença de nível entre a RN e a régua,  $h$  é a altura da régua e  $L_r$  a leitura da régua

#### 4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 8 apresenta a altitude ortométrica dos pontos de interesse com o MDE vinculado ao SGB, a rede de drenagem e o diâmetro dos dutos. É possível identificar na imagem que os pontos de interesse onde há ocorrência de refluxo localizados na Rua XV de Novembro se encontram numa área de cotas de terreno (áreas não atingidas diretamente pelas inundações) menores comparadas com cotas do rio vinculadas ao SGB em períodos de cheia, com altitude ortométrica variando entre 54,620m e 55,920m.

Figura 6: Modelo digital de elevação da área de estudo e sua rede de drenagem

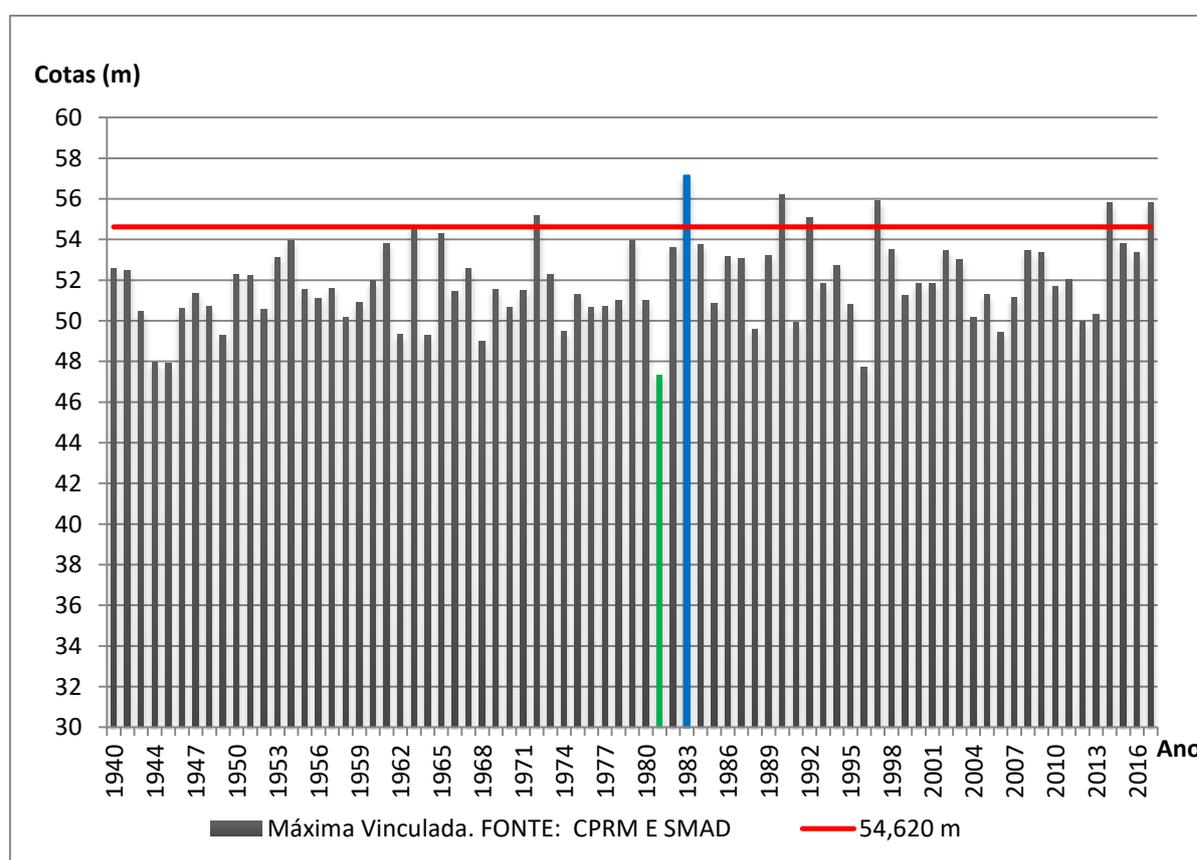


Fonte: Silva, R. M.; Lima, E. M. (2017).

Ao verificar a série histórica das cotas máximas do Rio Uruguai, também vinculadas ao SGB, representada na figura 9, observa-se a máxima cota de inundação para o município de 57,144 m no ano de 1983 representada pela cor azul

e a menor cota de 47,364 m em período de cheia representa pela cor verde, tendo em vista que a rede trabalha como o princípio de vasos comunicantes, em época de cheia, direciona o fluido para os pontos de mesma cota do rio de modo a equilibrar o sistema, fato que pode ser observado no apêndice A, assim, a partir da cota de 54,620 m há pontos sujeitos a ocorrência de refluxo, de modo que o nível do rio se iguala a cota do terreno com conexão a rede de drenagem pluvial. Ao analisar a série histórica de cotas máximas do rio, observa-se que a cota de 54,620 m foi atingida 8 vezes, nos anos de 1963, 1972, 1983, 1990, 1992, 1997, 2014 e 2017, ocorrendo assim o refluxo na rede.

Figura 7. Série histórica das cotas máximas do Rio Uruguai, vinculadas ao SGB



Fonte: Autor, 2017.

Analisando a bacia de contribuição da área afetada, nota-se que galeria fechada (roxo) é responsável por receber grande parte do fluxo da rede, incluindo o fluxo da rua XV de Novembro e segundo a população local é também um curso natural que foi canalizado, fato que ocasiona a diminuição da vazão original do canal

e restrição de sua expansão em períodos de cheias, época em que os dutos passam a não possuir superfície livre conforme a enchente atinge o desemboque, assim seu fluxo é direcionado para o sentido contrário na rede pluvial devido à carga de pressão da coluna de água formada pela enchente, fazendo com que o fluxo mude de direção e transporte às águas do rio para os pontos mais baixos do perímetro urbano que estão conectados a rede de drenagem, não exercendo assim o sua função, pelo contrário, agravando o problema das inundações e acarretando os alagamentos.

Um fator importante que deve ser levado em consideração é à falta de manutenção e limpeza da rede, identificado durante as visitas in loco, este fato contribui para a sobrecarga da rede e incapacidade de escoamento, devido o acúmulo de sedimentos e lixo, contribuindo também para o refluxo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia apresentada mostrou-se eficiente para análises de refluxo na rede de drenagem pluvial do município de Itaqui. A determinação de altitudes de MDE, de rios e canais em um referencial único permitiu analisar locais com ocorrência de refluxo, inundações e alagamentos.

No caso apresentado neste trabalho, a rede de drenagem causa alagamentos em regiões não atingidas diretamente pelas inundações em períodos de cheia do Rio Uruguai, sendo o fluxo direcionado da área de maior pressão para a área de menor pressão, para equilibrar o sistema, as águas do rio são direcionadas para o perímetro urbano do município através da rede de drenagem pluvial, causando problemas diretos aos comércios que precisam fechar as portas e a população que fica exposta a água com detrito de descarga de esgoto, devido a ligações indevidas na rede e a doenças como hepatite A, leptospirose, e verminoses, que são proliferadas por águas contaminadas.

Uma solução possível para o problema é o dimensionamento de válvulas de retenção Flap, responsáveis por permitir o fluxo de água em apenas um sentido, evitando o refluxo da rede e o alagamento de grande parte do perímetro urbano em épocas de cheia. Ao mesmo tempo em que as águas pluviais sejam escoadas para fora da área urbana através de canalização de recalque que fará esse processo de escoamento utilizando estações elevatórias de acordo com a NBR 12214 NB 590 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público, que estabelece exigências para o projeto de estações elevatórias.

Como sugestão para trabalhos futuros, um estudo hidráulico deverá ser desenvolvido para analisar a viabilidade do projeto e seu custo, porém deve-se ter em mente que a preservação da vida e do meio ambiente são investimentos que independente do valor monetário, sempre serão a melhor solução.

## REFERÊNCIAS

- AGUA y SIG. **Hidrología con ArcGis y Archydro**. 2010. Disponível em: <<http://www.aguaysig.com/2010/04/hidrologia.html>>. Acesso em: 3 outubro de 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.
- BARROS, R. M.; MENDIONDO, E. M.; WENDLAND, E. Cálculo de áreas inundáveis devido a enchentes para o plano diretor de drenagem urbana de Sao Carlos (PDDUSC) na bacia escola do córrego do Gregório. **Rev. Bras. Recur. Hídr**, v. 12, p. 5-17, 2007.
- CAMARGO M. N.; LOPES, A. B.; CHAVES, F. D.; ROMANI, C. A.; BARIANI, N. M. V. **Vínculo das cotas de inundação do rio Uruguai ao sistema geodésico brasileiro no município de Itaquí**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. v. 4, n. 2. 2012.
- CASTRO, A. L. P. **Nivelamento através do GPS: avaliação e preposição de estratégias**. Dissertação de Pós – Graduação em Ciências Cartográficas – Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente, 2002.
- COMUNELLO, E. **Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto rio Paraná**. 2001. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos) – Universidade Estadual de Maringá – Maringá.
- FEATHERSTONE, W.E.; DENTITH, M.C. & KIRBY, J.F. **Strategies for the accurated determination of orthometric heights from GPS**. **Survey Review**, v. 34, p. 278-295, 1998.
- FENDRICH, R.; MALLUCELI, F. C. **Macro drenagem urbana: canais abertos versus canais fechados**. São Paulo: PHA/Escola Politécnica/USP, 2015. Disponível em: <[http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=211](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=211)>. Acesso em: 20 jul. 2015.
- FERREREIRA, R. F. **Mecânica de Fluidos e Algumas Aplicações**. 2010. 56 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Licenciatura Plena em Física) – Departamento de Física, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná (RO), 2010. Disponível em: <[http://www.fisicajp.unir.br/downloads/2001\\_tccrosimeire.pdf](http://www.fisicajp.unir.br/downloads/2001_tccrosimeire.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2015.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. Edição eletrônica, São Paulo, 1999.

GARCEZ, L. N. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1969.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: UFPR. 304 pp., 2002

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Elementary surveying**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 13ª Ed., 2013.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 3ª Ed., 2009

HYDROSTEC TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS LTDA. **Válvulas Flap: proteção contra o retorno d'água. Taubaté (SP)**, [200?]. Disponível em: <[http://www.hydrostec.com.br/catalogo/canais\\_reservatorios/A40-07-1.pdf](http://www.hydrostec.com.br/catalogo/canais_reservatorios/A40-07-1.pdf)>. Acesso em: 7 ago. 2015.

HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, N.H.C; AKAN, A. O. **Engenharia hidráulica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 4ª Ed., 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPS**. Disponível em: <[http://www.inde.gov.br/images/inde/recom\\_gps\\_internet.pdf](http://www.inde.gov.br/images/inde/recom_gps_internet.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do censo demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 19 nov. 2017.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2.ed. São Paulo: UNESP, 2008.

MOURA, P. M. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004

MOURA, P. M.; BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S. **Avaliação multicritério de sistemas de drenagem urbana**. Revista REGA, v. 6, p. 31-42, 2009

NETTO, A. et al. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher, 8ed., 1998.

OLLIKAINEN, M. ACCURACY OF GPS LEVELLING. In: **The XIII General meeting of the Nordic geodetic Commission. Sweden**. Anais 1: p. 25-29, 1998.

REIS, P. A. dos. **Identificação de áreas vulneráveis as enchentes e inundações em áreas urbanas através de modelos topográficos e hidráulicos**. Dissertação

de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no estado do rio grande do sul no período de 1980 a 2005.** Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Santa Maria, v.1. Santa Maria, 2007.

REZENDE, O. M. **Manejo de Águas Pluviais: uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações.** 2010. 104 f. Trabalho de Conclusão (Curso de Especialização em Engenharia Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <[http://www.peu.poli.ufrj.br/arquivos/Monografias/Osvaldo\\_Moura\\_Rezende.pdf](http://www.peu.poli.ufrj.br/arquivos/Monografias/Osvaldo_Moura_Rezende.pdf)>. Acesso em: 9 maio. 2015.

ROCHA, A. F.; BACK, A. J. **A drenagem urbana como área de atuação da agrimensura.** Revista de programa de Pós – Graduação em Ciências Ambientais da UNESC, v.14, p. 69-90, 2008.

ROMANHOLI, W. M. de, M.; MARQUES, F.; MARRA, I. **Cidade, águas e ambiente: inovação, eficiência e sustentabilidade dos sistemas urbanos de saneamento ambiental.** In: CONGRESSO BRAISLEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 42., 2014, Juiz de Fora (MG). Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. Não paginado. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge-2014/Artigos/130464.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2015.

SAUERESSIG, S. R. **Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaqui-RS** Dissertação de Mestrado em Geografia e Geociências, Área de Concentração em Meio Ambiente, Paisagem e Qualidade Ambiental - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SILVA, R. M. da. **Determinação de metodologia para definição de um modelo Digital de elevação para monitoramento de áreas de enchentes.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia- Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017. No prelo.

SILVA, R. M. da.; MOREIRA, V. S.; LOPES, A. B. Geodetic method to obtain a digital elevation model associated to the Brazilian Geodetic System. **International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR).Net**, set, 2017. v. 7, p. 14-17. Disponível em: <[https://www.erpublication.org/published\\_paper/IJETR2334.pdf](https://www.erpublication.org/published_paper/IJETR2334.pdf)>. Acesso em: 25 de nov. 2017

SILVEIRA, G. A. da. **INICIÊNCIAS NO SISTEMA DE DRENAGEM: ANÁLISE DE UTILIZAÇÃO DE VÁLVULAS FLAP EM SÃO LEOPOLDO, RS.** Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

SUL, R. G. d. **SMAD - Sistema de Monitoramento e Alertas de Desastres**. [s.n.], 2017. Disponível em: <<http://www.smad.rs.gov.br/index.php>>. Acesso em: 19 set. de 2017.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. Programa Lagoas do Norte. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina** – tomo 6. Teresina, PI, 2012. Disponível em: <[http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/PDDrU\\_THE\\_VF\\_TOMO06\\_impressao.pdf](http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2014/09/PDDrU_THE_VF_TOMO06_impressao.pdf)>. Acesso em: 20 julho 2015.

WELLENHOF, H.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS--global navigation satellite systems : GPS, GLONASS, Galileo, and more**. SpringerWeinNewYork, 2008.

## APÊNDICE

Apêndice A – refluxo na rede de drenagem pluvial.



