

# ALTERNATIVAS PARA O PROBLEMA DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE SANTA ROSA/RS ATRAVÉS DE MODELAGEM MATEMÁTICA HIDRODINÂMICA.

Rodrigo da S. Bottini (1), Álvaro J. Back (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) *rodrigodsbottini@gmail.com*, (2) *ajb@unesc.net*

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar alternativas para o problema de cheias na área urbana do município de Santa Rosa/RS para um Tempo de Retorno de 25 anos. O estudo foi realizado através de modelagem matemática hidrodinâmica com o apoio de *softwares* que possibilitaram elaborar uma mancha de inundação, necessária para elaboração das alternativas. A alternativa 1 consiste em manter a situação atual, a alternativa 2 o zoneamento do uso, a alternativa 3 a hipótese higienista e a alternativa 4 o controle na fonte. Como resultado obteve-se um valor aproximado do custo de implantação de cada alternativa. Conclui-se que a solução mais indicada seria adoção de ações conjuntas entre as quatro alternativas para que sejam atendidas as necessidades estruturais e as necessidades dos habitantes do município.

*Palavras-Chave: Modelagem Matemática. Hidrodinâmica. Drenagem Urbana. Hidrologia.*

## 1 INTRODUÇÃO

Os problemas de cheias e inundações são frequentes em diversas regiões da área urbana do município de Santa Rosa/RS, gerando riscos à saúde da população e prejuízos socioeconômicos. Para Tucci (1995, p. 15), “[...] as enchentes urbanas constituem-se num dos importantes impactos sobre a sociedade. Esses impactos podem ocorrer devido à urbanização ou à inundação natural da várzea ribeirinha.” Tendo isso em vista, é necessário um estudo detalhado para o manejo das águas pluviais e drenagem urbana, visando alternativas viáveis para a solução dos problemas, Tucci e Motta Marques (2000, p. 16) ressaltam que:

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido um aumento caótico na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água. [...] O potencial impacto de medidas de planejamento das cidades é fundamental para a minimização desses problemas.

Em diversos casos os cursos d'água são negligenciados por completo, devido à desordenada ocupação das áreas sujeitas às inundações. Desse modo, se torna de extrema importância a existência de sistemas de drenagem que funcionem de forma eficaz e garanta o escoamento das águas pluviais.

Segundo Tucci (1995), a bacia deve funcionar como um sistema, que contempla todas as regiões nas quais a urbanização se desenvolve. As medidas adotadas não podem atuar em uma área, minimizando o impacto em uma e levando o problema até outra. As medidas de controle do escoamento podem ser caracterizadas por diferentes ações, como controlar o escoamento que atua sobre praças, lotes e o passeio e contenção na micro e macrodrenagem.

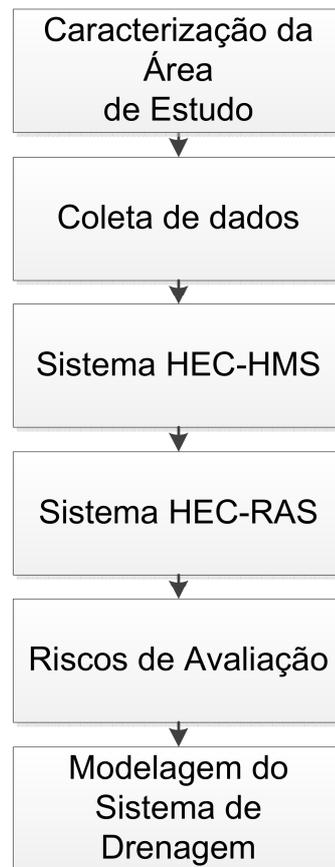
Segundo Botelho (2011), os problemas de drenagem urbana são agravados pela impermeabilização da área e como consequência maior volume de água ecoa pela superfície sem poder se infiltrar. O autor apresenta diferentes alternativas a serem adotadas, dependendo do tipo de urbanização. Tucci (1995) destaca que as medidas adotadas para controle de cheias urbanas podem ser classificadas em estruturais ou não estruturais, sendo estruturais as que transformam o sistema fluvial e não estruturais as que tem como propósito a melhora da interação da população com o meio ambiente. Poletto et al. (2015) ressaltam que enquanto no Brasil ainda se discutem questões relacionadas às adaptações necessárias ao efetivo emprego de técnicas compensatórias nos centros urbanos, muitos países desenvolvidos encontram-se atualmente em estágio mais avançado do planejamento das águas em meio urbano.

Este estudo tem como objetivo propor alternativas para o problema de escoamento da drenagem de Santa Rosa através da modelagem matemática hidrodinâmica dos arroios e afluentes que compõe a bacia hidrográfica que banha a área urbana do município.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas para desenvolvimento da modelagem matemática hidrodinâmica encontram-se definidas no fluxograma apresentado na Figura 1.

**Figura 1 – Fluxograma do processo de desenvolvimento da modelagem matemática hidrodinâmica.**



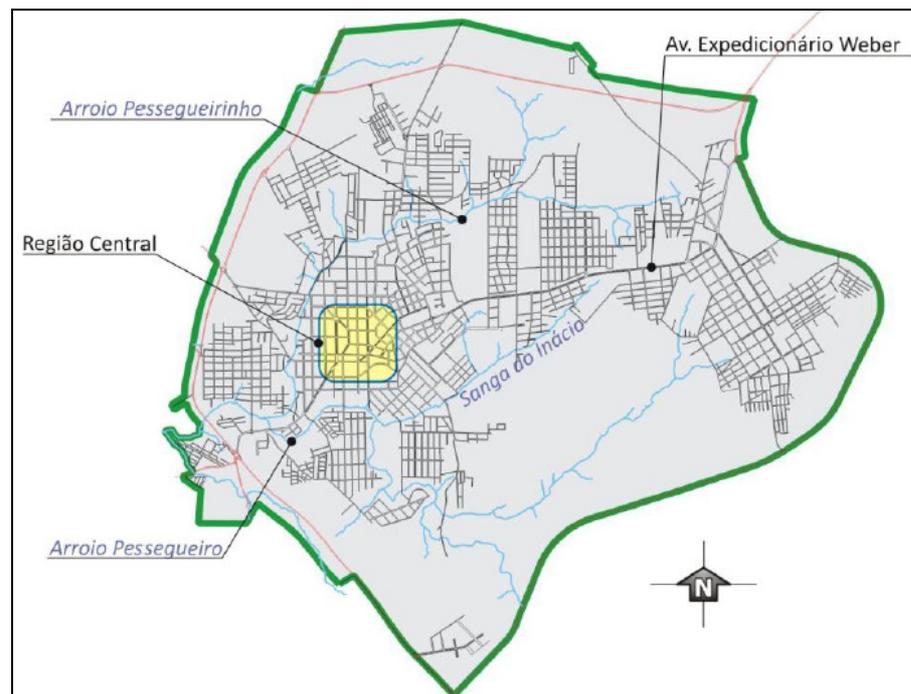
**Fonte: do autor, 2016.**

Santa Rosa é um município brasileiro do estado do Rio Grande do Sul (RS), possui uma área total de 489,81 km<sup>2</sup> e faz parte da mesorregião Noroeste Rio-Grandense e da microrregião Santa Rosa.

O planejamento em Recursos Hídricos, conforme Lei 9433/97, Política Nacional dos Recursos Hídricos, deve ser realizado em função da bacia hidrográfica (BRASIL, 2016). O município de Santa Rosa está localizado na Região Hidrográfica do Rio Uruguai, Bacia Hidrográfica do Rio Santa Rosa, Turvo e Santo Cristo – U30. A área de estudo compreende as bacias de contribuição do Arroio Pessegueiro,

Pessegueirinho e Sanga do Inácio, que compõem a área urbana do município (Figura 2), conforme o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB).

**Figura 2 – Cursos d'água na área urbana de Santa Rosa.**



**Fonte: Adaptado do PMSB de Santa Rosa.**

Uma eficiente modelagem matemática do sistema de drenagem se baseia em algumas considerações, tais como: geometria dos sistemas de micro e macrodrenagem, tempo de concentração ( $T_c$ ), curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) e determinação dos coeficientes Curve Number (CN).

Para a geometria dos sistemas de macrodrenagem, consideraram-se as curvas de nível disponibilizadas pelo Serviço Geográfico do Exército (SGE) cartas 1:50.000, para a delimitação das sub-bacias contribuintes, com auxílio do *software* AutoCAD. Em cada bacia foram colhidas as seguintes informações: área, cota montante, cota jusante, comprimento do rio principal e declividade do mesmo. Foram considerados também dados provenientes de levantamento topográfico planialtimétrico.

Usualmente, o tempo de concentração pode ser calculado utilizando as seguintes fórmulas:

Equação de Kirpich (para bacias de até 50 ha):

$$T_c = 57 \times \left( \frac{L_t^3}{H} \right)^{0,385}$$

Sendo: Tc: Tempo de concentração (min); Lt: Comprimento do rio principal (km);  
H: desnível entre o ponto mais alto e mais baixo (m).

Equação de Ven Te Chow (para bacias maiores que 50 ha):

$$T_c = 52,64 \times \left( \frac{L_t}{\sqrt{S}} \right)^{0,64}$$

Sendo: Tc: Tempo de concentração (min); Lt: Comprimento do rio principal (km);  
S: declividade média da bacia (m/km).

A curva IDF é baseada na seguinte equação disponibilizada no PMSB (SANTA ROSA, 2015):

$$I = \frac{28 * T_r^{0,17}}{(T_c + 0,025)^{0,676}}$$

Sendo: I: Intensidade da Chuva de Projeto (mm/h); Tr: Tempo de Retorno (anos); Tc: Tempo de duração da chuva, igual ao tempo de concentração da bacia (h).

Por fim, a determinação do coeficiente *Curve Number* (CN) se deu através da metodologia proposta por Campana e Tucci (1994), que correlaciona a densidade populacional (definidas pelos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE) e o percentual de área impermeável. Foi utilizado o tipo de solo B, e CN variando de 50 a 92. Esse cruzamento de informações se deu através do *software* de geoprocessamento ArcGIS.

O modelo hidrológico desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos foi utilizado para gerar os hidrogramas das bacias hidrográficas. O *Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System* (HEC-HMS), é um *software* usado para modelar os processos chuva-vazão.

O programa requer três componentes de entrada: módulo bacia que descreve os diferentes elementos do sistema hidrológico, módulo precipitação que é a descrição no tempo e no espaço do evento a ser modelado e o módulo controle, que define o tempo para a precipitação e para o cálculo do hidrograma de saída. O *software*

ainda requer informações básicas para a simulação de escoamento em canais abertos, que são: descrição do canal/arroio, parâmetros para simular a perda de energia, condições iniciais de escoamento e as condições de contorno.

As simulações para propagação da onda de cheia foram conduzidas no *software Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (HEC-RAS). O HEC-RAS simula cálculos hidráulicos de sistemas naturais ou canais artificiais. Foram empregadas as rotinas de cálculo hidráulico não-permanente para a propagação da onda de cheia. Esse atributo permite simular qualquer sistema fluvial e fornecer seus hidrogramas.

A vantagem do HEC-RAS é estar associado a outro programa, denominado HEC-GeoRAS, que apresenta ferramentas que processam dados geoespaciais no software ArcGIS, e os preparam para utilizar no HEC-RAS. O HEC-GeoRAS também faz a conexão entre o resultado das simulações obtidas no HEC-RAS com o ArcGIS. A agilidade e flexibilidade dos estudos são trazidas justamente por essa ferramenta, onde é possível caracterizar previamente no ArcGIS todo o sistema fluvial, com o canal principal, seções topobatimétricas, rugosidade hidráulica do terreno e posteriormente executar as simulações no HEC-RAS, representando de modo espacial os resultados obtidos.

O Tempo de Retorno (TR) foi definido através do Manual de Drenagem Urbana do Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre, que prevê um TR de 25 anos para a macrodrenagem, com potenciais prejuízos materiais e humano (PORTO ALEGRE, 2005).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

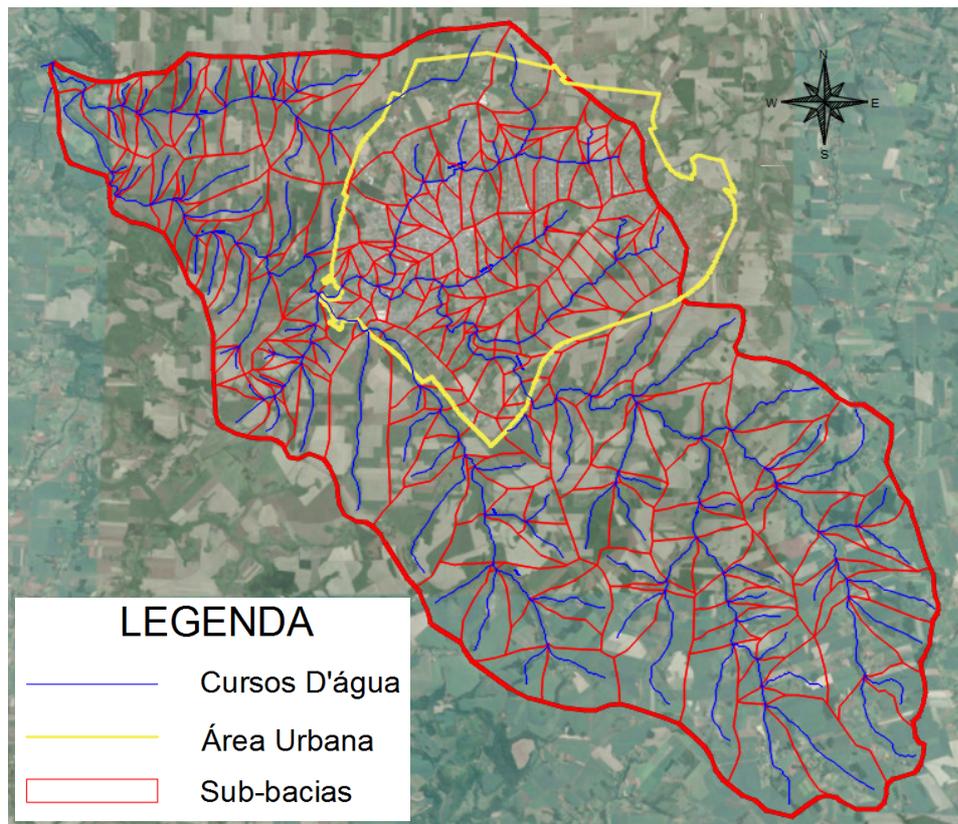
A bacia hidrográfica que compreende a região de Santa Rosa é a bacia do Arroio Pessegueiro e seus afluentes, possuindo 154,62 km<sup>2</sup>.

Procurando obter-se um maior detalhamento no projeto, esta área foi dividida em 259 sub-bacias (Figura 3), onde para cada uma delas foram colhidos os seguintes dados:

- Área em quilômetros quadrados;

- Cota Montante em metros;
- Cota Jusante em metros;
- L, o comprimento do rio principal, em quilômetros;
- Declividade em metros por quilômetro

**Figura 3 – Bacia hidrográfica do Arroio Pessegueiro e sub-bacias.**



Fonte: do autor, 2016.

Estes dados permitem o cálculo do  $T_c$ , conforme a Tabela 1 mostra para as quatro primeiras sub-bacias:

**Tabela 1 – Dados das sub-bacias e resultados do cálculo do Tempo de concentração ( $T_c$ ).**

BACIA	Área (km <sup>2</sup> )	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	L (km)	Declividade (m/km)	$T_c$ (min)
B001	2,67	395,03	332,16	2,24	28,04	30,37
B002	2,94	402,28	332,16	3,08	22,77	39,78
B003	2,04	406,49	328,23	2,36	33,15	29,75
B004	0,82	398,66	328,23	1,58	44,63	20,90

Fonte: do autor, 2016.

A determinação do CN se deu através da ponderação da densidade populacional futura, baseada no Plano Diretor Urbanístico de Santa Rosa, correlacionada com o percentual da área impermeável, sendo definido um coeficiente para as sub-bacias, conforme Tabela 2 a seguir:

**Tabela 2 – Curve Number Futuro ponderado por sub-bacia.**

BACIA	CN Futuro								
B001	60,7	B053	57,8	B105	85,6	B157	74,0	B209	84,7
B002	60,2	B054	60,1	B106	85,1	B158	79,1	B210	87,0
B003	61,2	B055	59,9	B107	86,0	B159	85,5	B211	54,0
B004	61,9	B056	58,6	B108	85,4	B160	86,6	B212	91,4
B005	58,9	B057	58,7	B109	85,7	B161	86,2	B213	53,1
B006	59,9	B058	60,2	B110	85,5	B162	88,2	B214	60,3
B007	61,3	B059	59,6	B111	85,0	B163	87,6	B215	53,0
B008	59,8	B060	59,9	B112	86,2	B164	86,3	B216	58,9
B009	60,8	B061	59,9	B113	85,2	B165	85,3	B217	61,9
B010	60,1	B062	58,8	B114	85,0	B166	88,7	B218	57,9
B011	61,2	B063	60,2	B115	87,8	B167	85,0	B219	59,6
B012	60,2	B064	61,2	B116	58,8	B168	89,6	B220	59,3
B013	61,0	B065	59,7	B117	58,7	B169	91,6	B221	56,3
B014	58,7	B066	57,8	B118	61,1	B170	87,1	B222	55,4
B015	60,0	B067	66,8	B119	59,9	B171	60,7	B223	59,6
B016	60,1	B068	60,0	B120	59,9	B172	57,3	B224	61,6
B017	61,9	B069	58,6	B121	57,4	B173	55,6	B225	61,9
B018	58,4	B070	61,1	B122	60,1	B174	63,6	B226	60,4
B019	61,1	B071	63,1	B123	58,6	B175	86,7	B227	86,1
B020	61,3	B072	61,9	B124	61,0	B176	89,9	B228	72,2
B021	58,9	B073	58,7	B125	61,9	B177	87,6	B229	86,4
B022	61,1	B074	84,2	B126	61,5	B178	90,7	B230	85,0
B023	58,9	B075	85,6	B127	59,5	B179	91,4	B231	77,8
B024	59,9	B076	85,7	B128	61,6	B180	91,4	B232	54,8
B025	57,7	B077	85,6	B129	58,6	B181	91,7	B233	59,6
B026	61,1	B078	86,8	B130	60,1	B182	89,0	B234	53,4
B027	61,2	B079	89,1	B131	78,7	B183	88,4	B235	58,1
B028	61,1	B080	61,2	B132	85,8	B184	86,5	B236	62,0
B029	60,5	B081	62,0	B133	85,5	B185	85,2	B237	60,6
B030	58,3	B082	62,0	B134	85,4	B186	85,7	B238	59,6
B031	59,0	B083	70,1	B135	86,6	B187	85,7	B239	60,9
B032	60,5	B084	56,5	B136	85,0	B188	85,0	B240	61,1
B033	52,8	B085	86,6	B137	85,0	B189	85,0	B241	58,5
B034	58,6	B086	76,2	B138	86,2	B190	85,8	B242	60,1
B035	58,8	B087	72,2	B139	87,2	B191	61,7	B243	59,9
B036	55,6	B088	77,0	B140	86,2	B192	57,9	B244	59,6
B037	59,7	B089	82,4	B141	85,3	B193	57,5	B245	59,5

BACIA	CN Futuro								
B038	59,6	B090	85,8	B142	85,0	B194	57,6	B246	58,8
B039	58,9	B091	86,1	B143	87,7	B195	63,5	B247	59,5
B040	59,2	B092	85,5	B144	86,3	B196	88,7	B248	60,5
B041	57,4	B093	66,3	B145	85,0	B197	85,0	B249	56,0
B042	58,5	B094	71,3	B146	86,9	B198	87,4	B250	57,1
B043	58,1	B095	61,3	B147	87,4	B199	89,0	B251	62,0
B044	58,4	B096	76,6	B148	86,3	B200	86,2	B252	60,6
B045	60,2	B097	86,0	B149	85,6	B201	88,5	B253	61,6
B046	58,0	B098	85,0	B150	86,4	B202	91,8	B254	61,9
B047	60,2	B099	84,8	B151	87,1	B203	86,2	B255	56,7
B048	61,3	B100	86,1	B152	62,0	B204	87,1	B256	57,1
B049	59,3	B101	85,4	B153	62,0	B205	86,4	B257	58,4
B050	56,8	B102	85,0	B154	57,3	B206	85,2	B258	58,3
B051	60,4	B103	85,0	B155	58,3	B207	85,5	B259	59,8
B052	56,0	B104	85,8	B156	64,5	B208	85,8		

Fonte: do autor, 2016.

### 3.2 MODELAGEM NUMÉRICA DO TERRENO

Na Figura 4 está representado o modelo numérico do terreno (MNT), gerado a partir da base de dados das cartas do SGE, acrescentado pelo levantamento topográfico realizado nos cursos da macrodrenagem. O MNT foi gerado com auxílio do *software* ArcGIS. Pode se observar que a bacia possui os pontos mais elevados ao sudeste, tendo seu funcionamento no sentido sudeste-noroeste.

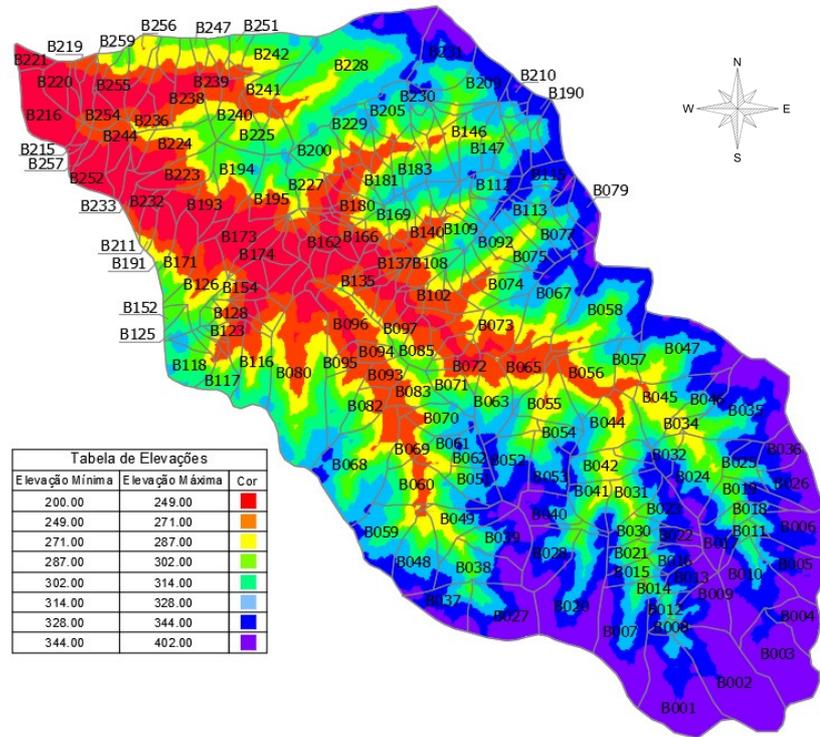
### 3.3 MODELAGEM DO SISTEMA DE DRENAGEM ATUAL

Para a modelagem matemática do Arroio Pessegueiro e seus afluentes (Figura 5), a simulação da passagem de uma cheia de projeto foi realizada para os Tempos de Recorrência de 5 e 25 anos nos cenários de ocupação atual e futuro, levando-se em conta a geometria atual do terreno, com base no levantamento topográfico.

#### 3.3.1 Vazões Pontuais

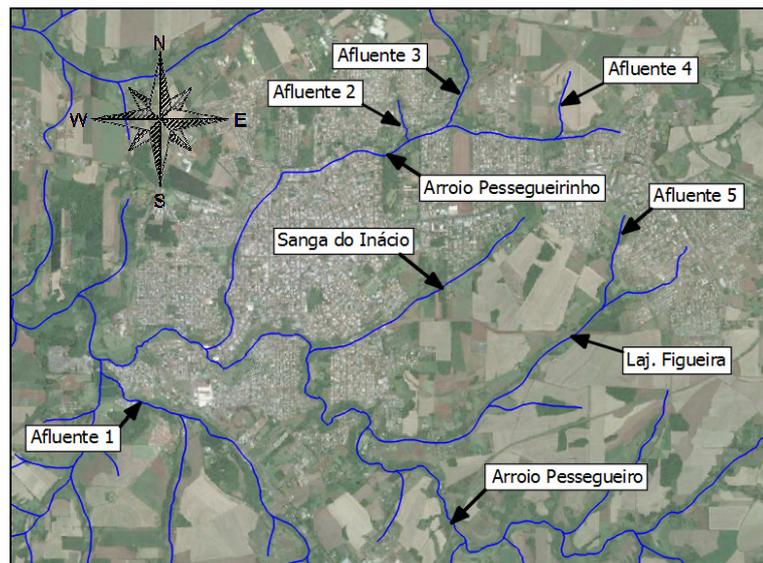
No *software* HEC-HMS foram calculadas vazões de pico da modelagem hidrológica em pontos estratégicos localizados na área objeto de estudo. Estes pontos estão localizados na Figura 6, e suas vazões listadas na Tabela 3.

**Figura 4 – Modelo do Terreno da bacia do Arroio Pessegueiro.**



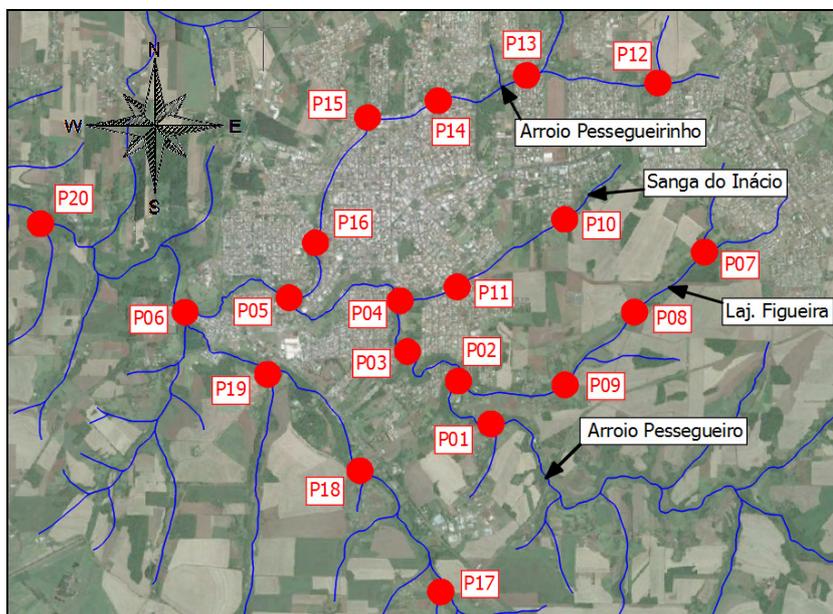
Fonte: do autor, 2016.

**Figura 5 – Rios, Arroios e Afluentes considerados na modelagem.**



Fonte: do autor, 2016.

**Figura 6 – Pontos escolhidos.**



Fonte: do autor, 2016.

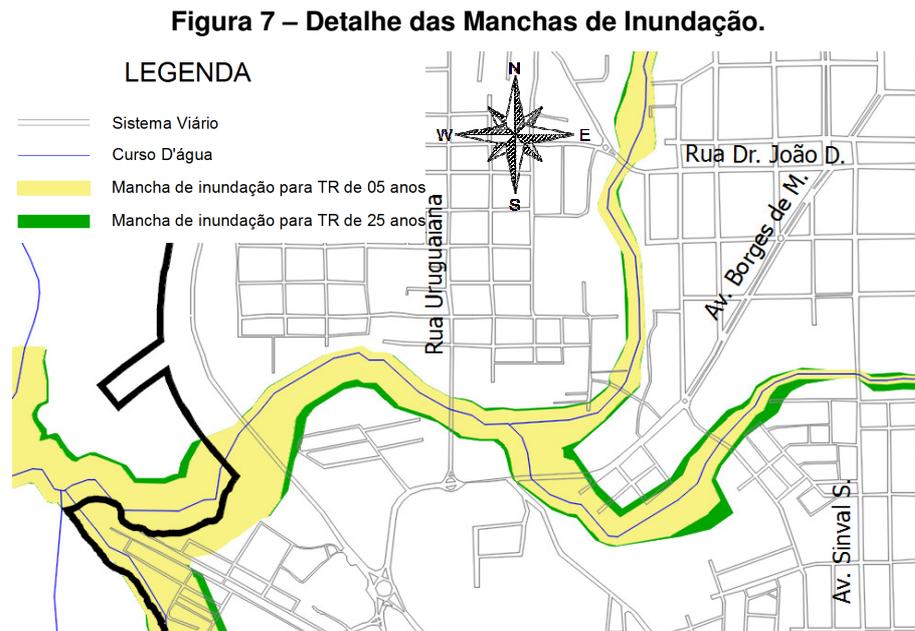
**Tabela 3 – Vazão para os TR de 5 e 25 anos – Atual e Futuro.**

Ponto	Vazão (m <sup>3</sup> /s)					
	TR 5 anos Atual	TR 5 anos Futuro	Acréscimo (%)	TR 25 anos Atual	TR 25 anos Futuro	Acréscimo (%)
P01	83,20	86,30	3,73	235,50	241,00	2,34
P02	93,80	99,00	5,54	258,30	260,90	1,01
P03	92,90	100,80	8,50	254,70	259,90	2,04
P04	95,50	129,20	35,29	259,40	270,70	4,36
P05	108,40	300,00	176,75	286,90	498,80	73,86
P06	132,80	351,80	164,91	357,50	615,00	72,03
P07	14,80	40,70	175,00	31,40	62,90	100,32
P08	21,70	56,70	161,29	48,20	91,90	90,66
P09	27,70	69,10	149,46	62,90	115,40	83,47
P10	4,30	14,70	241,86	9,90	22,60	128,28
P11	15,60	53,30	241,67	37,10	83,80	125,88
P12	13,90	42,90	208,63	30,60	65,50	114,05
P13	36,80	118,00	220,65	81,70	179,50	119,71
P14	46,80	152,40	225,64	105,30	234,60	122,79
P15	50,00	164,40	228,80	113,10	253,80	124,40
P16	58,00	185,10	219,14	132,90	290,20	118,36
P17	32,60	37,20	14,11	91,80	99,10	7,95
P18	42,10	43,50	3,33	112,10	115,00	2,59
P19	51,30	81,60	59,06	138,50	178,70	29,03
P20	129,90	286,90	120,86	347,00	533,30	53,69

Fonte: do autor, 2016.

### 3.3.2 Cenário De Ocupação Futuro – Tempo de Retorno de 5 e 25 Anos

As manchas de inundação permitem uma melhor análise dos problemas gerados pela passagem da onda de cheia, onde são vistas em detalhe na Figura 7.



Fonte: do autor, 2016.

Para o cenário futuro com TR de 5 anos, foi identificada uma área alagada de 84,70 ha, enquanto no cenário futuro com TR de 25 anos essa área sofreu um acréscimo de 68%, totalizando 142,35 ha. Dentro das faixas de inundação foram identificadas 321 edificações para o TR de 5 anos e 456 edificações afetadas na mancha de 25 anos, tendo como base a imagem de satélite juntamente com as poligonais das áreas inundadas.

Além disso, foi possível identificar problemas no Arroio Pessegueiro e seus afluentes, os quais estão citados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Diagnóstico dos Arroios e seus Afluentes. (Ver Figura 5)**

Trecho	Diagnóstico
Afluente 1	Problemas de inundações ao longo de todo o trecho devido a geometria atual e/ou estrangulamentos. No trecho de jusante, inundações devido ao extravasamento do Arroio Pessegueiro.
Afluentes 2, 3 e 4	No trecho de jusante, inundações devido ao extravasamento do Arroio Pessegueirinho.
Afluente 5	Sem problemas de inundações ao longo trecho.
Lajeado Figueira	Problemas de inundações ao longo do trecho na área urbana devido a geometria atual e/ou estrangulamentos. Também ocorrem problemas em algumas travessias.
Arroio Pessegueiro	Problemas de inundações ao longo de todo o trecho devido a geometria atual e/ou estrangulamentos. Também ocorrem problemas em algumas travessias.
Arroio Pessegueirinho	Problemas de inundações ao longo do trecho devido a geometria atual e/ou estrangulamentos. Também ocorrem problemas em algumas travessias. No trecho de jusante, inundações devido ao extravasamento do Arroio Pessegueiro.
Sanga do Inácio	Problemas em algumas travessias devido a estrangulamentos.

**Fonte: do autor, 2016.**

### 3.4 ALTERNATIVAS PARA OS PROBLEMAS DE INUNDAÇÃO IDENTIFICADOS

#### 3.4.1 Alternativa 1 – Situação Atual

A alternativa 1 consiste em um cenário sem intervenções, onde o funcionamento do sistema de drenagem se mantém inalterado. O levantamento apontou impactos e perdas econômicas consequentes das potenciais inundações previstas para os TRs de 5 e 25 anos.

Para se calcular os prejuízos causados, foi estimada a área para cada uma das edificações atingidas. A determinação do padrão construtivo (baixo, normal e alto) se deu através dos setores censitários do IBGE, onde foram cruzadas as informações de renda da população com as regiões afetadas pelas cheias através do *software* ArcGIS. O preço do m<sup>2</sup> foi calculado com base no Custo Unitário Básico (CUB) do RS para o mês de março de 2016 em Residência Unifamiliar, conforme a Tabela 5.

**Tabela 5 – Preços e custos da construção por m<sup>2</sup>.**

CUB/RS do mês de março/2016		
Tipologia	Padrão de acabamento	Custo/m <sup>2</sup>
R-1 (Residência Unifamiliar)	Baixo	R\$ 1.290,76
	Normal	R\$ 1.615,69
	Alto	R\$ 2.020,72

**Fonte: Sinduscon/RS, 2016.**

A porcentagem perdida em inundações, para a total ou parcial reconstrução, com base nos seguintes fatores:

- Padrão de Acabamento Baixo, Normal e Alto, Inundação de 0,50 m até 1,00 m perde 45% da edificação;
- Padrão de Acabamento Baixo, Normal e Alto, Inundação de 1,00 m até 2,00 m perde 60% da edificação;
- Padrão de Acabamento Baixo, Normal e Alto, Inundação maior que 2,00 m perde 100% da edificação.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos prejuízos calculados para a Alternativa 1, que tem como base a reconstrução parcial ou total das edificações afetadas pelas inundações na área de escopo do trabalho, segundo os critérios estabelecidos anteriormente.

Interpretando os valores anteriores, pode se analisar que para um TR de 5 anos, uma área de 62.166,29 m<sup>2</sup> seria afetada, tendo que ser reconstruída, onde a maior parcela está na parte com inundação que gera 60% de dano. Isto geraria um custo de R\$ 78.968.305,92 ao município a cada 5 anos.

Para um TR de 25 anos, a área afetada sofre um acréscimo de 42,96%, chegando a uma área de 88.872,94 m<sup>2</sup>, onde a maior parte se encontra na faixa de 60% de dano, porém com um grande aumento na faixa de 100% de perda. O custo para o município seria de R\$ 123.122.899,46 a cada 25 anos.

### **3.4.2 Alternativa 2 – Zoneamento de Uso**

Esta alternativa prevê a remoção de todas edificações localizadas dentro da mancha de inundação para um TR de 25 anos.

Foram localizadas edificações e terrenos próximos à mancha de inundação em empresas que comercializam imóveis no município. Os valores destes imóveis foram usados para estimar os custos desta alternativa, tendo como parâmetros o valor do imóvel por metro quadrado e sua localização em relação a área urbana ou rural. Os custos desta alternativa estão listados na Tabela 7.

**Tabela 6 – Área das edificações e prejuízos por inundações.**

Tempo de Recorrência	% Perda da edificação	Padrão de acabamento	Área total edificações dentro da mancha (m <sup>2</sup> )	Custo total para construir novamente a região afetada	Custo total - Diretos (60% habitações) e Indiretos (40% financeiros ao poder privado e público)
5 anos	45% Dano	Baixo	21575,23	R\$ 12.531.802,43	R\$ 20.050.883,88
		Normal	2397,25	R\$ 1.742.944,54	R\$ 2.788.711,27
		Alto	0,00	R\$ -	R\$ -
	60% Dano	Baixo	25.757,89	R\$ 19.948.350,52	R\$ 31.917.360,83
		Normal	2.861,99	R\$ 2.774.450,75	R\$ 4.439.121,20
		Alto	0,00	R\$ -	R\$ -
	100% Perda	Baixo	8.616,53	R\$ 11.121.878,67	R\$ 17.795.005,87
		Normal	957,39	R\$ 1.235.764,30	R\$ 1.977.222,87
		Alto	0,00	R\$ -	R\$ -
<b>TOTAL</b>			<b>62.166,29</b>	<b>R\$ 49.355.191,20</b>	<b>R\$ 78.968.305,92</b>
25 anos	45% Dano	Baixo	26170,98	R\$ 15.201.205,15	R\$ 24.321.928,24
		Normal	2907,89	R\$ 2.114.209,64	R\$ 3.382.735,43
		Alto	0,00	R\$ -	R\$ -
	60% Dano	Baixo	31.780,98	R\$ 24.612.974,19	R\$ 39.380.758,70
		Normal	3.531,22	R\$ 3.423.214,60	R\$ 5.477.143,36
		Alto	0,00	R\$ -	R\$ -
	100% Perda	Baixo	22.033,68	R\$ 28.440.187,73	R\$ 45.504.300,37
		Normal	2.448,19	R\$ 3.160.020,86	R\$ 5.056.033,37
		Alto	0,00	R\$ -	R\$ -
<b>TOTAL</b>			<b>88.872,94</b>	<b>R\$ 76.951.812,16</b>	<b>R\$ 123.122.899,46</b>

Fonte: do autor, 2016.

**Tabela 7 – Área das edificações e custos para remoção.**

	Quantidade (m <sup>2</sup> )	Custo (R\$)
Edificações	88.872,94	R\$ 117.601.378,58
Terrenos	302.270,17	R\$ 17.268.959,88
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 134.870.338,46</b>

Fonte: do autor, 2016.

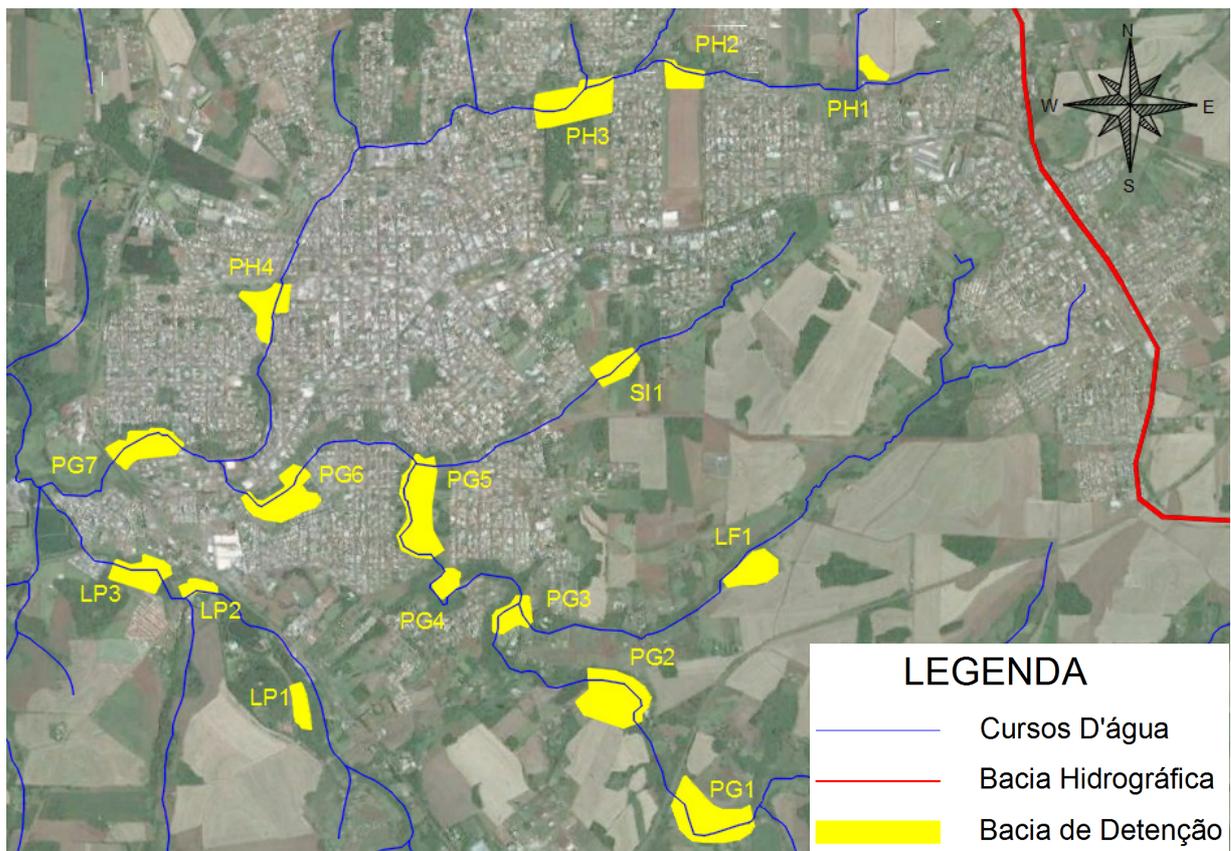
### 3.4.3 Alternativa 3 – Hipótese Higienista

A alternativa 3 implica em intervenções nos trechos críticos de uma precipitação com TR de 25 anos, tais como: alargamento de arroios e rios, dragagem em determinadas localidades e revestimento dos canais. A Figura 8 apresenta os locais onde serão feitas as alterações.



sustentável das águas urbanas, a alternativa encontrada foi a implantação de 16 bacias de retenção para laminação de cheias de TR 25 anos nos arroios Pessegueiro e Pessegueirinho, Lajeado Figueira, Sanga do Inácio e Afluente 1. A Figura 9 mostra os locais para implantação das bacias.

**Figura 9 – Localizações propostas para Bacias de Detenção.**



Fonte: do autor, 2016.

A Tabela 9 lista as características de todas as bacias, os cursos d'água onde estão localizadas e os custos de implantação.

**Tabela 9 – Características das bacias e custos de implantação.**

Arroio	Bacia	Área (m <sup>2</sup> )	Volume Útil (m <sup>3</sup> )	Volume Escavação (m <sup>3</sup> )	Valor (R\$)
Lajeado Figueira	LF1	47.145	115.577	207.712	R\$ 8.458.141,45
	LP1	21.170	49.712	131.532	R\$ 4.738.261,70
Lajeado Paulino	LP2	14.539	32.898	112.085	R\$ 3.788.636,19
	LP3	54.330	133.796	228.784	R\$ 9.487.105,30
	PG1	124.298	311.213	433.986	R\$ 19.507.222,58
	PG2	122.248	306.015	427.974	R\$ 19.213.642,08
	PG3	37.532	91.201	179.519	R\$ 7.081.463,72
Arroio Pessegueiro	PG4	18.400	42.688	123.408	R\$ 4.341.570,00
	PG5	124.169	310.886	433.608	R\$ 19.488.748,49
	PG6	80.364	199.810	305.136	R\$ 13.215.434,44
	PG7	70.703	175.313	276.802	R\$ 11.831.882,63
Arroio Pessegueirinho	PH1	11.289	24.657	102.553	R\$ 3.323.203,69
	PH2	30.243	72.718	158.141	R\$ 6.037.606,03
Sanga do Inácio	PH3	112.388	281.013	399.056	R\$ 17.801.591,48
	PH4	57.482	141.788	238.028	R\$ 9.938.503,22
	SI1	38.807	94.434	183.258	R\$ 7.264.056,47
<b>TOTAL</b>		<b>965.107</b>	<b>2.383.718</b>	<b>3.941.581</b>	<b>R\$ 165.517.069,47</b>

Fonte: do autor, 2016.

## 4 CONCLUSÕES

O presente trabalho proporcionou o estudo das cheias na área urbana de Santa Rosa/RS para um tempo de retorno de 25 anos, através da modelagem matemática hidrodinâmica. A metodologia utilizada mostrou-se eficiente para o desenvolvimento do projeto, com os softwares empregados aliando agilidade no processamento dos dados com rapidez na concepção do projeto. A Tabela 10 a seguir apresenta o resumo dos custos de implantação das alternativas:

**Tabela 10 – Resumo do custo das alternativas.**

Alternativa	Valor (R\$)
1	123.122.899,46
2	134.870.338,46
3	193.696.632,58
4	165.517.069,47

Fonte: do autor, 2016.

A alternativa 1 se mostrou a mais econômica para o município alcançando o valor de R\$ 123.122.899,46, sendo a alternativa 2 mais onerosa em 9,54%, a alternativa 3 com um custo 57,32% mais elevado e a alternativa 4 com um valor 34,43% maior.

No entanto, a alternativa 1 se mostra inviável devido ao grande impacto na população, onde os problemas de cheias podem ocorrer constantemente, levando a seguidas reformas nas edificações afetadas. A alternativa 2 também gera um grande impacto na sociedade, removendo todas as edificações das áreas afetadas e sendo necessário transferir as famílias atingidas para outras localidades. A alternativa 3 mostra-se eficiente, porém com um grande impacto sobre a rotina da população devido as obras necessárias nos canais. E a alternativa 4 também se mostra eficiente, entretanto é necessário um estudo detalhado junto à Prefeitura do município para se definir as áreas possíveis para implementação das bacias de amortecimento.

Com isso, podemos notar que toda alternativa traz algum ônus, seja para o município ou para a população. Porém, é importante para o futuro que medidas sejam tomadas em relação ao problema. O mais indicado seriam ações conjuntas das quatro alternativas apresentadas, levando em conta os anseios da população e as necessidades de infraestrutura do município. Além das medidas estruturais, as medidas não-estruturais são extremamente importantes, contando com reeducação e conscientização ambiental da população, aprendendo a conviver com as cheias. Sendo esse um dos grandes desafios para o futuro, agregar o crescimento urbano com a consciência ambiental.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. **LEI Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997.** Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 02/10/2015.

BOTELHO, M.H.C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades.** São Paulo. Blucher, 2011. 297p.

CAMPANA, N.; TUCCI, C. **Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas.** Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos – ABRH. Rio de Janeiro, Vol. 12, n. 2, p. 79-94, Dez. 1994.

POLETO, C.; SILVERIA, A. L. L.; CARDOSO, A. R.; GOLDENFUM, J. A.; DORNELLES, F. TASSI, R.; MOURA, P.M. **Águas urbanas**. vol.1 Porto Alegre, ABRH, 2015. 142p.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**: Manual de Drenagem Urbana. 6. ed. Porto Alegre, 2005. 159 p. Disponível em: <[http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu\\_doc/manual\\_de\\_drenagem\\_ultima-versao.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima-versao.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2015.

SANTA ROSA. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Prefeitura Municipal de Santa Rosa (Org.). **Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo**. Santa Rosa, 2010. 8 v.

TUCCI, Carlos. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/ Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428p.

TUCCI, Carlos; MARQUES, David da Motta. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: FINEP/ Editora da Universidade/UFRGS, 2000. 557p.