

## EFICIÊNCIA DA MACRODRENAGEM DE BACIAS URBANIZADAS NA AMAZÔNIA - O CASO DO BAIRRO DO REDUTO EM BELÉM DO PARÁ

Rodrigo Silvano Silva Rodrigues (UFPA) E-mail: rssr@ufpa.br  
Germana Menescal Bittencourt (UFPA) E-mail: menescal@ufpa.br  
Lindemberg Lima Fernandes (UFPA) E-mail: lberge@ufpa.br  
Neyson Martins Mendonça (UFPA) E-mail: neysonmm@ufpa.br  
Luiza Carla Girard Mendes Teixeira (UFPA) E-mail: lugirard@ufpa.br

**Resumo:** Este artigo investiga a macrodrenagem do bairro do Reduto no município de Belém-PA (canais da Doca e General Magalhães), verificando patologias e capacidade de escoamento. Caracterizou-se as bacias hidrográficas que o compõem o bairro determinando coeficientes de escoamento superficial, tempos de concentração, índices pluviométricos e vazões de pico para períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos. A metodologia baseou-se em pesquisas hidrográficas, através do levantamento de dados bibliográficos, delimitações de áreas, coleta de dados em campo, além de cálculos hidráulicos e hidrológicos. As unidades de macrodrenagem comportam uma vazão de pico de 142,11 m<sup>3</sup>/s, ou seja, praticamente todo contingente de escoamento considerando as precipitações com período de retorno de 50 anos. Alagamentos ocorrem quando chuvas intensas e marés altas incidem concomitantemente, devido ao não funcionamento de comportas e ao refluxo de água pela microdrenagem existente a jusante dos canais. Manutenção precária, necessidade de reestruturação, estrangulamentos de seções devido à construção interligações de vias patologias comuns aos canais. A maior dificuldade para a implantação de soluções é definir qual órgão público cabe a responsabilidade sobre a operação e manutenção dos sistemas de drenagem no Município.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana. Macrodrenagem. Infraestrutura. Planejamento urbano.

## MACRODRAINAGE EFFICIENCY OF URBANIZED BASINS IN THE AMAZON - A STUDY CASE OF REDUTO NEIGHBORHOOD IN BELÉM/PA

**Abstract:** This paper inquires the microdrainage of Reduto neighborhood in the municipality of Belém/Pa (Doca and General Magalhães channels), verifying pathologies and flow capacity. The hydrographics basins that comprises the neighborhood studied were characterized and the surface runoff coefficient, concentration time, rainfall indexes and the peaks flow to the return time of 10, 25 and 50 years were analyzed. The methodology was based on hydrographics research by means of bibliographic data gathering, delimitation of areas, data gathering in the field, besides the hydraulic and hydrologic calculations. The macrodrainage units have a peak flow of 142,11 m<sup>3</sup>/s, i.e., it is basically all the runoff surface contingent, considering return time of 50 years rainfall. Floodings occur when intense rainfalls and high tides happen concomitantly. It happens due to non-operation gates at reflux and the water microdrainage existing downstream of the channels. Precarious maintenance, restauration needs, section strangulations due to interconnection paths construction are some common pathologies in the channels. The biggest issue is to define which public agency is responsible to do the operation and maintenance of the storm water systems of the municipality for implement the solution.

**Keywords:** Urban drainage. Macrodrainage. Infrastructure. Urban planning.

### 1. INTRODUÇÃO

A carência da educação ambiental além de limitar a compreensão das pessoas que a prática cotidiana de lançar resíduos em ruas e canais de curso d'água resulta em assoreamento do sistema de drenagem e provoca alagamentos, além de outros males. Tem-se a equivocada percepção que excesso de asfalto, de calcamentos e a eliminação de áreas verdes nos logradouros públicos e nas propriedades particulares são itens estritamente benéficos ao meio urbano, deixando de se considerar o impacto da impermeabilizam o solo.

Essa impermeabilização proporciona maior conforto para automóveis, pedestres e moradias. No entanto, impede que as águas das chuvas penetrem no solo e, conseqüentemente, diminuam de volume antes de alcançar cursos d'água. Ou seja, os cidadãos não se dão conta que os drenos das cidades não estão sendo capazes de suportar esse volume de água, quando parte dele devia distribuí-se pelo caminho, infiltrando-se na terra.

Quando não há mais espaços permeáveis suficientes para que esse processo de diminuição do escoamento superficial seja realizado pela natureza, ocorre o aumento de áreas de alagamentos. Esses alagamentos são águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações pluviométricas, em locais com sistemas de drenagem deficientes. Deficiência essa que é muito mais responsável pelos alagamentos do que a própria precipitação local.

O fenômeno dos alagamentos relaciona-se com a redução da infiltração natural nos solos urbanos. Assim, deve-se ter um sistema que simule a compensação dessa impermeabilização do solo para que se possa racionalizar o uso do sistema de drenagem.

A busca por formas alternativas de gerenciamento de drenagem são crescente devido aos prejuízos enfrentados por grandes cidades que tem sistemas de drenagem convencionais saturados. O uso de dispositivos redutores do escoamento urbano, como os reservatórios de retenção, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração associados à rede de drenagem, pode contribuir para a diminuição da frequência e intensidade de eventos indesejáveis.

O ponto de partida para tomada de decisões técnicas e definição da maneira mais eficiente para gerenciar serviços de saneamento e infraestrutura urbana é uma base de informações detalhadas.

Tratando-se especificamente do município de Belém, capital do Estado do Pará, há algumas peculiaridades que devem ser consideradas, como a regularidade planialtimétrica e a elevada pluviometria, assim como a relação da estrutura urbana com os aspectos naturais, como os vários corpos d'água que compõem o cenário local, considerando que muitos sofrem a influência das marés.

Neste artigo aborda-se a eficiência de escoamento das unidades de macrodrenagem do bairro do Reduto no município de Belém do Pará, com base nas condições estruturais e dimensionamento, caracterizando os sistemas hidrográficos locais para obtenção de dados hidráulicos e hidrológicos como tempo de concentração, run-off, índices pluviométricos e vazões.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo FORGIARINI (2010), resumidamente, pode-se dizer que a drenagem urbana nada mais é do que o planejamento do escoamento da água no meio urbano que passou por mudanças significativas nas últimas quatro décadas.

Tucci (2005) distribui a abordagem sobre as águas urbanas, quanto ao seu desenvolvimento histórico, em quatro fases principais: Pré-Higienista, Higienista, Corretiva, Desenvolvimento Sustentável, conforme apresenta-se no Quadro 01.

Quadro 01 – Abordagem sobre as águas urbanas e seu desenvolvimento histórico.

Fase	Característica	Consequência
Pré-Higienista: Até início do séc. XX.	Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas, sem coleta ou tratamento.	Epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade.

Higienista: Até os anos 1970.	Tout à l'égout – Transporte do esgoto junto às águas pluviais, por canalização dos escoamentos.	Redução das doenças e da mortalidade, degradação dos corpos d'água, contaminação dos mananciais.
Corretiva: Entre 1970 e 1990.	Sistema separador absoluto, tratamento dos esgotos, amortecimento dos escoamentos pluviais.	Melhoria da qualidade da água dos rios, poluição difusa, obras de grande impacto.
Desenvolvimento Sustentável: Após 1990.	Tratamento do escoamento pluvial, preservação do sistema natural, integração institucional.	Conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida, controle das inundações.

Fonte: Tucci (2005).

O sistema clássico de drenagem tem seu início nas edificações, onde a água pluvial é recolhida das áreas descobertas, como telhados, pátios e outros, chamadas de áreas de contribuição, por calhas e transportada por dentro da edificação, quando necessário, por tubulações e condutores e, finalmente, por caixas de areia no térreo da edificação. Após, a água recolhida é lançada nas galerias de águas pluviais, pelas quais são transportadas até um corpo de água próximo, podendo ser um riacho, rio, lago ou outro (HAFNER, 2007).

A drenagem urbana moderna deve ter os seguintes princípios (TUCCI; GENZ, 1995): Não transferir impactos para jusante; Não ampliar cheias naturais; Propor medidas de controle para o conjunto da bacia; Legislação e Planos de Drenagem para controle e orientação; Constante atualização de planejamento por estudo de horizontes de expansão; Controle permanente do uso do solo e áreas de risco; Competência técnico-administrativa dos órgãos públicos gestores; Educação ambiental qualificada para o poder público, população e meio técnico.

Miguez (2005) enfatiza alguns aspectos relacionados à urbanização e às inundações urbanas comuns em países periféricos: Grande crescimento populacional em um curto período de tempo; Urbanização sem planejamento e desordenada; Deficiência na cobertura espacial das infraestruturas de saneamento; Grande necessidade de definição de planos e orientações para o gerenciamento da drenagem urbana e qualificação do quadro técnico municipal; Políticas habitacionais incapazes de prevenir e evitar ocupações irregulares; Ocupação de áreas de risco de inundações legais e ilegais; Grande número de sub-habitações; Falta de programas de educação e sensibilização da população, que frequentemente causam danos às estruturas de controle de inundações e dispõem resíduos domésticos nas ruas e nas margens dos rios; Dificuldade para diagnosticar os problemas e implantar soluções devido a problemas de segurança pública, em áreas à margem da cidade local.

A execução de obras de drenagem das áreas urbanas e adjacentes faz parte de um conjunto de obras de infraestrutura necessária a garantia da integridade física das propriedades urbanas, com o intuito de evitar a perda de bens e vidas humanas.

Com a adoção no Brasil do sistema separador absoluto em 1912, onde os sistemas de esgotos sanitários passaram a ser obrigatoriamente projetados e construídos independentemente dos sistemas de drenagem pluvial, e da generalização do emprego de tubos de concreto, a drenagem tornou-se um elemento obrigatório dos projetos de urbanização. Hoje, quanto a sua extensão, não se dispõe de dados confiáveis em relação a drenagem urbana, em especial no Estado do Pará. Porém se sabe que o planejamento, a elaboração de projetos, bem como a execução de obras em macro e microdrenagem das áreas urbanas e adjacentes, tem sido seriamente comprometidas devido a falta sistemática de recursos e escassez de mão de obra qualificada em todos os níveis, para a realização de uma

infraestrutura necessária a evitar a perda de bens e vidas humanas. Estima-se, entretanto, que a cobertura deste serviço, em especial a microdrenagem, seja superior ao da coleta de esgotos sanitários.

Os sistemas de drenagem são definidos na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. A macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. A macrodrenagem envolve áreas de pelo menos 2 km<sup>2</sup> ou 200 ha. Estes valores não podem ser tomados como absolutos porque a malha urbana pode possuir as mais diferentes configurações (TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C., 2003).

Especificamente quanto à macrodrenagem, são conhecidas as situações críticas ocasionadas por cheias urbanas, agravadas pelo crescimento desordenado das cidades, em especial, a ocupação de várzeas e fundos de vales. De um modo geral nas cidades brasileiras, a infraestrutura pública em relação à drenagem, como em outros serviços básicos, caracteriza-se como insuficiente, o que não tem contribuído mais eficientemente para a tranquilidade dos cidadãos. Esta insuficiência é agravada pela irresponsabilidade da ocupação das áreas de preservação naturais, tanto as de áreas ribeirinhas como as de terrenos instáveis.

Um sistema de drenagem urbana adequado não necessita ter condições para absorver grandes enchentes cujas ocorrências estão fora da previsão normal. O emprego de alternativas e tecnologias é capaz de exprimir maior segurança e confiabilidade contra problemas de enchentes frequentes nos sistemas.

### **3. ÁREA DE ESTUDO**

O bairro do Reduto, no município de Belém-PA da Belle Époque, recebeu as primeiras fábricas que aproveitavam a proximidade com o porto e a ligação com o antigo Igarapé das Almas, servindo de armazém para embarque e desembarque de cargas. Apesar das inúmeras mudanças, atualmente o bairro mantém algumas ruas estreitas e edificações históricas que comprovam sua procedência fabril. O antigo Igarapé das Almas hoje é um canal, localizado na Avenida Visconde de Souza Franco, conhecida como Doca. Assim como o antigo Igarapé da Fábrica hoje é o canal localizado na Rua General Magalhães. Na Figura 01 representa-se a localização do bairro do Reduto no Município de Belém-PA.

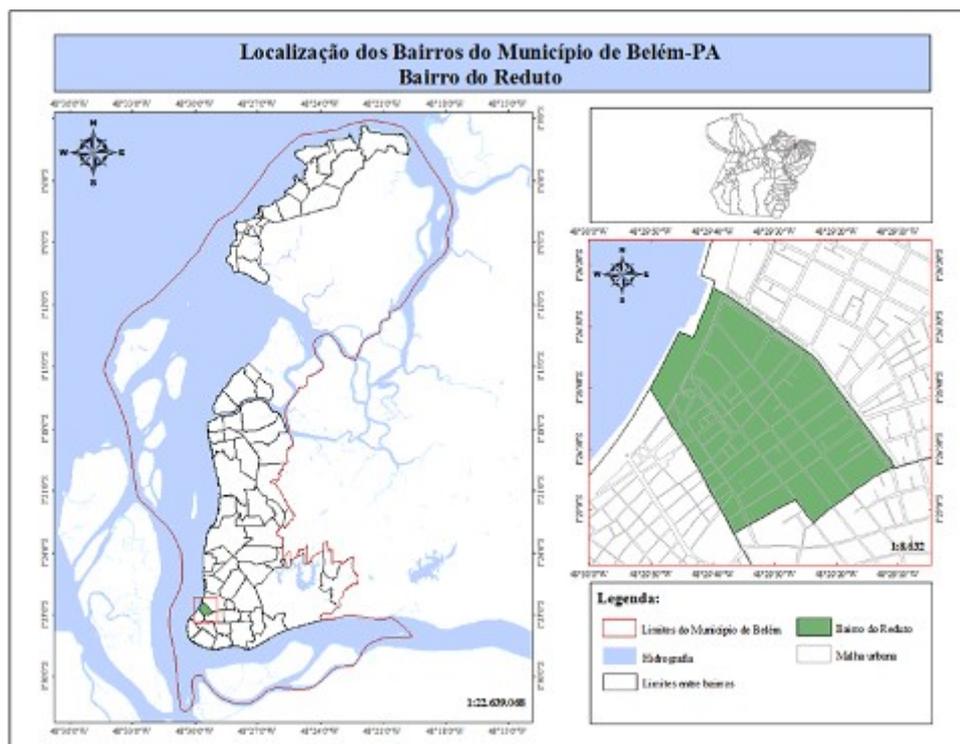


Figura 01 – Limites do município de Belém-PA e localização do bairro do Reduto.

O bairro do Reduto é uma das regiões mais valorizadas da cidade, rodeada por modernos edifícios e outras construções de alto padrão. O bairro do Reduto chegou a passar por um processo de verticalização, porém, não apresenta muitas obras de grande porte.

O Bairro possui uma área total de 81,65 ha, com vias asfaltadas. Embora seja valorizado, o local sofre constantes inundações em áreas a jusante do sistema de drenagem. Considerando que a densidade populacional da cidade de Belém, segundo IBGE (2015), é de 1.315,27 hab/km<sup>2</sup>, pode-se estimar uma população de 1.074 habitantes, porém as características locais dificultam esta estimativa devido à presença de prédios comerciais, industriais e órgãos públicos. Na Figura 02 observam-se os limites e a urbanização do bairro do Reduto.



Figura 02 – Limites e ocupação urbana do bairro do Reduto.

#### 4. BACIAS HIDROGRÁFICAS ENVOLVIDAS

A Lei Federal n. 9.433/1997, que dispôs sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil, introduziu o conceito de gestão descentralizada dos recursos hídricos, estabelecendo a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

O município de Belém possui um grande divisor de águas, a estrutura viária que se inicia na Av. Presidente Vargas, segue pelas Av. Nazaré e Magalhães Barata até o fim da Av. Almirante Barroso, estendendo-se pela BR-316 dividindo, também, a Região Metropolitana. As bacias hidrográficas que ficam acima desse divisor são classificadas como Bacias Norte. O bairro do Reduto está inserido nessa classificação.

Numa concepção anterior a utilizada atualmente, as bacias do Reduto drenavam o bairro escoamento do bairro e parte dos bairros do Umarizal, Nazaré, Campina e Batista Campos, sendo a bacia do Reduto, com área de 0,96 km<sup>2</sup> e 14,6% de áreas alagáveis. Seu principal corpo receptor é o Canal General Magalhães, de 400 m de comprimento, totalmente revestido com concreto. A bacia do Igarapé das Almas, hoje canal da Doca, com área de 2,04 km<sup>2</sup>, sendo 35,5% de área alagável, tem no Canal Visconde de Souza Franco, de 1.250 m de extensão todo revestido, seu principal corpo receptor.

Na concepção atual de planejamento urbano, adotada pela Prefeitura Municipal de Belém no ano de 2000, o bairro do Reduto é pertencente a duas bacias: a bacia do Una, com área de 3.626 ha, com 397.399 de habitantes, abrangendo os bairros de São Braz, Umarizal, Marco, Barreiro, Fátima, Pedreira, Telegrafo, Sacramento, Miramar, Marambaia, Sousa, Bengui, Maracangalha, Val-de-Cães e Mangueirão, seu principal corpo receptor de drenagem é o canal do Una. A bacia do Reduto, composta pelos bairros do Reduto, Campina, Umarizal, cujos igarapés foram aterrados ao longo do tempo, restando a Doca do Reduto.

No estudo preliminar a elaboração deste artigo, percebeu-se que para melhor lidar com o manejo de águas pluviais urbana no bairro do Reduto seria necessário subdividir a bacia do Una, utilizando-se de informações topográficas, permitindo delimitar a área de contribuição desta bacia para o bairro do Reduto, melhor definindo a área de estudo. A justificativa para a utilização da sub-bacia do Una está relacionada à antiga configuração da bacia do Igarapé das Almas, sendo topograficamente viável, esta sub-bacia possui área aproximada de 1,86 km<sup>2</sup>.

Deste modo, na Figura 03 apresentam-se 13 das 14 bacias hidrográficas da delimitação elaborada e apresentada em agosto de 2000 pela Prefeitura Municipal de Belém (PMB) e a subdivisão da bacia do Una, feita da maneira exposta acima.

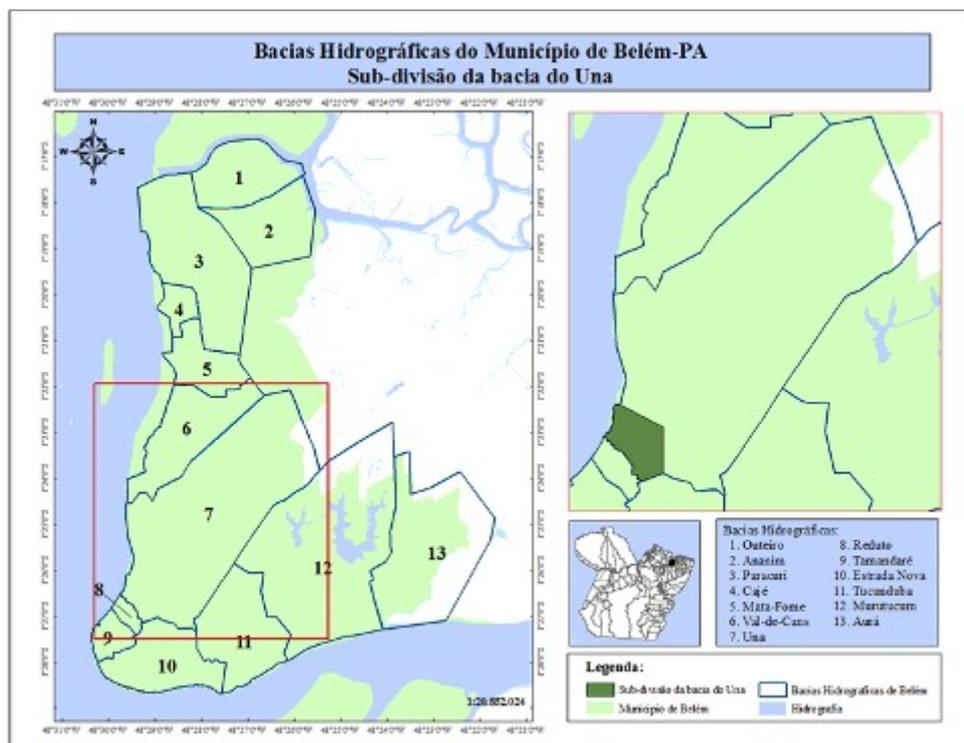


Figura 03 – Bacias hidrográficas do Município de Belém e subdivisão da bacia do Una

O bairro do Reduto está situado entre a bacia do Reduto e a sub-bacia do Una, conforme apresentado na Figura 04.

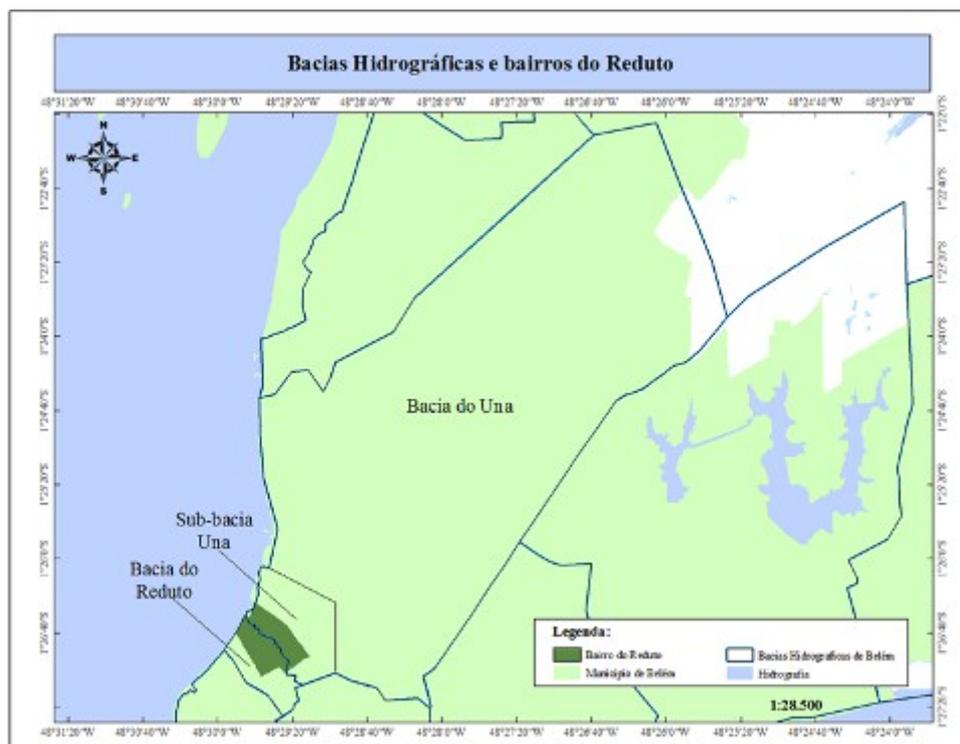


Figura 04 – Bairro do Reduto e suas bacias hidrográficas.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de análise partiu do levantamento de informações sobre a área de estudo e as bacias hidrográficas envolvidas, em quatro etapas: Visitas e inspeções em campo; Mapeamentos e delimitações; Estimativa do coeficiente de escoamento superficial; e Determinação dos tempos de concentração, vazões, índices pluviométricos e períodos de retorno de chuvas. Não foram consideradas no balanço hídrico realizado as ligações indevidas de esgotamento sanitário e industrial que são características na cidade de Belém-PA.

### 5.1. Visitas e inspeções em campo

Possibilitaram a coleta de dados, a fim de visualizar características do sistema de drenagem, utilizando-se de ferramentas computacionais para delimitar áreas e visualizar dados georeferenciados, como os divisores hidrológicos que compõe o local. O levantamento de dados foi realizado por trechos, conforme apresentado na Figura 05.

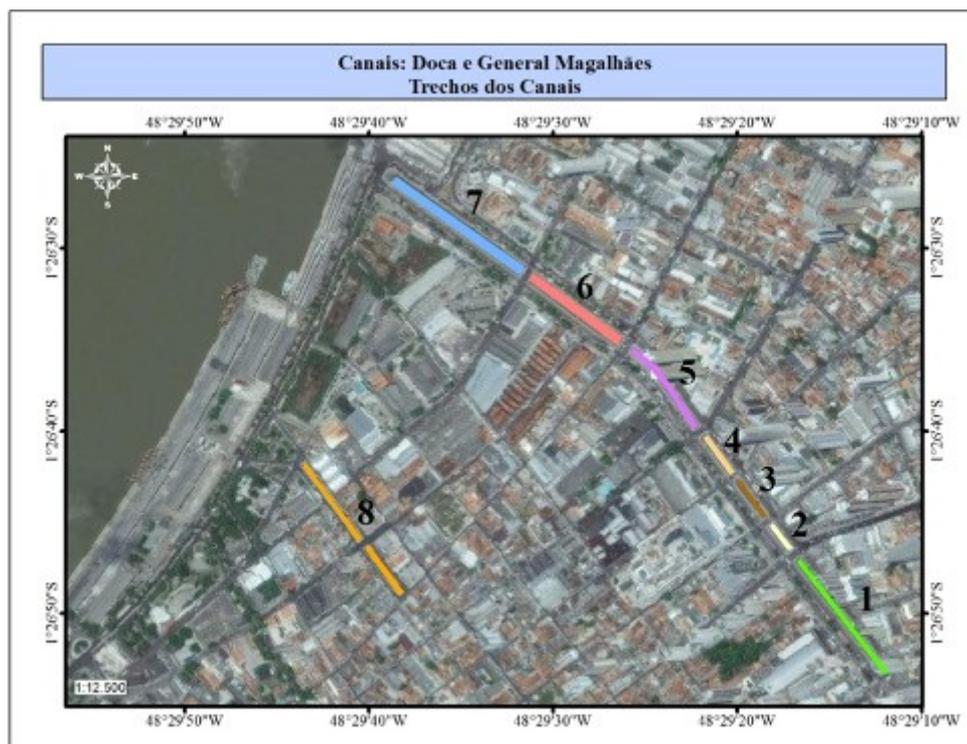


Figura 05 – Divisão do canal da Doca em trechos.

### 5.2. Coeficiente de escoamento superficial

A estimativa do coeficiente de escoamento superficial ocorreu por meio de delimitação de áreas mapeadas, baseando-se conforme apresentado no Quadro 02.

Quadro 02 – Valores médios do coeficiente de escoamento superficial para áreas urbanas.

Tipo de ocupação	Coeficiente C
Zonas verdes:	
Relvados em solos arenosos	0,05 a 0,20
Relvados em solos pesados	0,15 a 0,35
Parques e cemitérios	0,10 a 0,25
Campos desportivos	0,20 a 0,35
Zonas comerciais:	
Centro da cidade	0,70 a 0,95
Periferia	0,50 a 0,70
Zonas residenciais:	
Centro da cidade	0,30 a 0,50
Periferia	0,25 a 0,40
Prédios de apartamentos	0,50 a 0,70
Zonas industriais:	
Indústria dispersa	0,50 a 0,80
Indústria concentrada	0,60 a 0,90
Vias férreas	0,20 a 0,40
Ruas e estradas:	
Asfaltadas	0,70 a 0,95
De betão	0,80 a 0,95
De tijolo	0,70 a 0,85
Passeios	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Baldios	0,10 a 0,30

Fonte: CHOW (1964 apud MATIAS, 2006).

As áreas das bacias foram delimitadas e a cada área foi atribuído um valor de C. A diferença entre o somatório das áreas dos lotes e as áreas das bacias é correspondente a área das ruas. As cotas das bacias tem uma variação média de 14 metros dos limites à montante até a saída, assim, considerando que em um tipo de ocupação qualquer o escoamento superficial é maior quanto maior for a declividade, deste modo adotou-se os maiores valores nas faixas do C para as áreas delimitadas.

A partir destas determinações foi utilizada a média ponderada para alcançar o coeficiente de escoamento superficial de cada bacia. A média ponderada fornece uma estimativa do valor central de um conjunto de dados cujos elementos possuem pesos ou relevâncias diferentes, ou seja, é o quociente da soma dos produtos desses números pela soma dos respectivos pesos.

Coeficiente de escoamento superficial pode ser representado por:

$$C = V_{\text{Esc}} / V_{\text{Prec}} \quad (1)$$

Em que C é o coeficiente de escoamento superficial;  $V_{\text{Esc}}$  é o volume do escoamento e;  $V_{\text{Prec}}$  é o volume precipitado. Isto é, proporção da chuva que se transforma em escoamento superficial, varia de 0 a 1 e é adimensional.

### 5.3. Dados hidrológicos e hidráulicos

O Tempo de Concentração é o tempo de deslocamento de uma partícula de água do ponto mais distante de uma bacia até o ponto de saída desta. Geralmente, quanto maior a duração da chuva, menor sua intensidade. Assim, o tempo de concentração pode ser calculado pela equação de Kirpich:

$$TC = L^{1,15} / 3080 \cdot H^{0,38} \quad (2)$$

Em que TC é o tempo de concentração em hora, H é a diferença de cota entre o ponto mais distante e o ponto de saída da bacia (desnível) em metro e L é o comprimento do desnível em metro. A escolha da determinação através da fórmula de Kirpich partiu da praticidade para o alcance de suas variáveis.

Resumidamente, o índice pluviométrico refere-se a quantidade de chuva por metro quadrado em determinado local e em determinado período. O índice é calculado em milímetros.

Segundo Festi (2007) uma das dificuldades apresentadas no projeto de obras de drenagem vem ser a determinação da precipitação intensa máxima provável que deve ser utilizada. Em localidades onde já se dispõe de dados pluviométricos analisados, esta dificuldade se ameniza. A pequena quantidade de equações de chuva existentes já é uma dificuldade, a dispersão destas equações, desenvolvidas por diversos autores e em épocas diferentes e outro atenuante.

Para o cálculo da intensidade de precipitação foi utilizado a Equação de chuva de Belém que permite estimar os índices pluviométricos de acordo com diversos períodos de retornos e é apresentada da seguinte forma:

$$i = 2300 \cdot Tr^{0,2} / (t + 20)^{0,91} \quad (3)$$

Em que i é o índice pluviométrico em mm/h; Tr é o tempo de retorno em anos e; t é o tempo de concentração da chuva em minutos.

Para a estimativa das vazões de pico foram utilizados dois métodos: Racional e NRCS. O Método Racional é de uso simples e prático, porém fornece resultados altos para bacias maiores que 50 ha, ainda assim é bastante usual. Após determinação da intensidade da chuva pode-se calcular a vazão pela equação:

$$Q = C \cdot i \cdot A \tag{4}$$

Em que Q é a vazão em m<sup>3</sup>/s; C é o coeficiente de escoamento superficial; i é a intensidade da chuva em mm/h; e A é a área da bacia em km<sup>2</sup>.

O Método Racional calcula somente vazão máxima, não calculando volumes ou formando hidrogramas, gerando valores com superestimativa de vazões máximas, positivamente atribuindo folgas de segurança e negativamente encarecendo os projetos. O NRCS será utilizado para uma apreciação comparativa com os valores obtidos pelo Método Racional.

Gribbin (2009) informa que o Método NRCS é um dos procedimentos para calcular um hidrograma sintético baseado em fatores empiricamente determinados desenvolvidos pelo Serviço de Conservação de Solo (SCS – Soil Conservation Service). Originalmente denominado Método SCS, agora é o Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS – Natural Resources Conservation Service).

Segundo Tomaz (2011) o hidrograma unitário pode ser definido como hidrograma resultante de um escoamento superficial de 1 cm de uma chuva com determinada duração. Na prática para se obter o hidrograma unitário é necessário a análise das precipitações e vazões da bacia em estudo, porém, como usualmente não se têm estes dados, temos que utilizar fórmulas empíricas, assim teremos o chamado hidrograma sintético.

As características do hidrograma unitário são o *t<sub>a</sub>* (tempo de ascensão), *t<sub>p</sub>* (tempo de retardamento), *t<sub>b</sub>* (tempo de base), *t<sub>c</sub>* (tempo de concentração) e *V<sub>esd</sub>* (volume de escoamento superficial direto).

Tucci (1995) apresenta a fórmula proposta pelo SCS, atual NRCS:

$$H_{EXC} = (0,2 \cdot P)^2 / P + 0,8 \cdot S, P > 0,2 \cdot P \tag{5}$$

Em que *H<sub>EXC</sub>* é a altura de chuva excedente; P é a precipitação em mm; S é a retenção potencial do solo em mm.

A retenção potencial do solo depende do tipo e da ocupação do solo e pode ser determinada por tabelas. Assim, para facilitar a utilização da equação (5) utiliza-se de outra formulação:

$$CN = 1000 / (10 + S / 25,4) \tag{6}$$

Em que CN é o número de curvas, varia entre 0 e 100 e depende do tipo de solo, das condições de ocupação e da umidade antecedente.

No Quadro 03 apresentam-se os dados sobre os grupos hidrológicos de solos e de condições de umidade antecedente do solo.

Quadro 03 – Apresentação dos dados sobre os grupos hidrológicos de solos e de condições de umidade antecedente do solo.

Variável	Tipo	Dados
Tipo de solo	Grupo A	Solos arenosos com baixo teor de argila total; até 1,5 m de profundidade, etc
	Grupo B	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, etc

	Grupo C	Solos barrentos com teor de argila de 20 a 30%, etc
	Grupo D	Solos argilosos com 30 a 40% de argila total, etc
Condições de umidade antecedente do solo	Condição I	Solo seco – as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassam 15 mm
	Condição II	Situação média na época cheia – as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizam de 15 a 40 mm
	Condição III	Solo úmido (próximo a saturação) - as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação

Adaptado: Tucci (1995).

Os valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade) são apresentados no Quadro 04.

Quadro 04 – Valores de CN em função da cobertura e do tipo hidrológico do solo.

Tipo de uso do solo/Tratamento/Condições hidrológicas	Grupo do Solo			
	A	B	C	D
Uso residencial				
Tamanho médio do lote - % Impermeável				
Até 500 m <sup>2</sup> - 65	7		9	
1000 m <sup>2</sup> - 38	7	85	0	92
1500 m <sup>2</sup> - 30	6	75	8	87
	1	72	3	86
	5		8	
	7		1	
Estacionamentos pavimentados, telhados	9		9	
	8	98	8	98
Ruas e estradas				
Pavimentadas, com guias e drenagem	9	98	9	98
Com cascalho	8	85	8	91
De terra	7	82	8	89
	6		9	
	7		8	
	2		7	
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)	8	92	9	95
	9		4	
Distritos industriais (72% de impermeabilização)	8	88	9	93
	1		1	
Espaços abertos, parques, jardins:				
Boas condições, cobertura de grama > 75%	3	61	7	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%	9	69	4	84
	4		7	
	9		9	
Terreno preparado para plantio, descoberto				
Plantio em linha reta	7	86	9	94
	7		1	
Cultura em fileira				
Linha reta condições ruins	7	81	8	91
Linha reta condições boas	2	78	8	89
Curva de nível condições ruins	6	79	8	88
Curva de nível condições boas	7	75	5	86

	7 0 6 5		8 4 8 2	
Cultura de grãos				
Linha reta condições ruins	6	76	8	88
Linha reta condições boas	5	75	4	87
Curva de nível condições ruins	6	74	8	85
Curva de nível condições boas	3 6 3 6 1	73	3 8 2 8 1	84
Pastos				
condições ruins	6	79	8	89
condições médias	8	69	6	84
condições boas	4	61	7	80
Curva de nível condições ruins	9	67	9	88
Curva de nível condições médias	3	59	7	83
Curva de nível condições boas	9 4 7 2 5 6	35	4 8 1 7 5 7 0	79
Campos em condições boas	3 0	58	7 1	78
Florestas condições ruins	4	66	7	83
Florestas condições médias	5	60	7	79
Florestas condições boas	3 6 2 5	55	7 3 7 0	77

Fonte: Tucci et al (1997).

A conversão dos valores de CN para condição I ou III, dependendo da situação que se desejar representar, é realizada conforme apresenta-se no Quadro 05.

Quadro 05 – Conversão do valor de CN para condição I ou III.

Condições de umidade		
I	II	III
100	100	100
87	95	99
78	90	98
70	85	97
63	80	94
57	75	91
51	70	87
45	65	83
40	60	79
35	55	75
31	50	70
27	45	65
23	40	60

19	35	55
15	30	50

Fonte: Tucci et al (1997).

O princípio da convolução é a ferramenta para se obter um hidrograma de projeto a partir de um Hidrograma Unitário de uma bacia para qualquer chuva efetiva.

Uma vez conhecida a precipitação efetiva (Pef) e o hidrograma (Q) de escoamento superficial da bacia hidrográfica, podem ser deduzidas as ordenadas (h) do HU mediante o processo chamado de deconvolução.

Exemplificando: se um hidrograma de precipitação efetiva é formado por 3 blocos e o hidrograma de escoamento superficial é formado por 7 valores, significa dizer que temos 3 pulsos de precipitação (m) e 7 pulsos de escoamento superficial (n). Resultando em  $n-m+1=5$  ordenadas (h) do hidrograma unitário. As equações de convolução resultantes seriam, onde neste caso as variáveis desconhecidas são os valores de h.

$$Q_1 = P_{ef1} \cdot h_1$$

$$Q_2 = P_{ef2} \cdot h_1 + P_{ef1} \cdot h_2$$

$$Q_3 = P_{ef3} \cdot h_1 + P_{ef2} \cdot h_2 + P_{ef1} \cdot h_3$$

$$Q_4 = P_{ef3} \cdot h_2 + P_{ef2} \cdot h_3 + P_{ef1} \cdot h_4$$

$$Q_5 = P_{ef3} \cdot h_3 + P_{ef2} \cdot h_4 + P_{ef1} \cdot h_5$$

$$Q_6 = P_{ef3} \cdot h_4 + P_{ef2} \cdot h_5 + P_{ef1} \cdot h_6$$

$$Q_7 = P_{ef3} \cdot h_5 + P_{ef2} \cdot h_6 + P_{ef1} \cdot h_7$$

#### 5.4. Levantamento de seções dos canais

As medições de seções foram realizadas no final de cada trecho, a fim de subsidiar informações para cálculos hidráulicos. Esta medição consiste na aferição da largura do canal e da altura em vários pontos representados nas setas apresentadas na Figura 06.

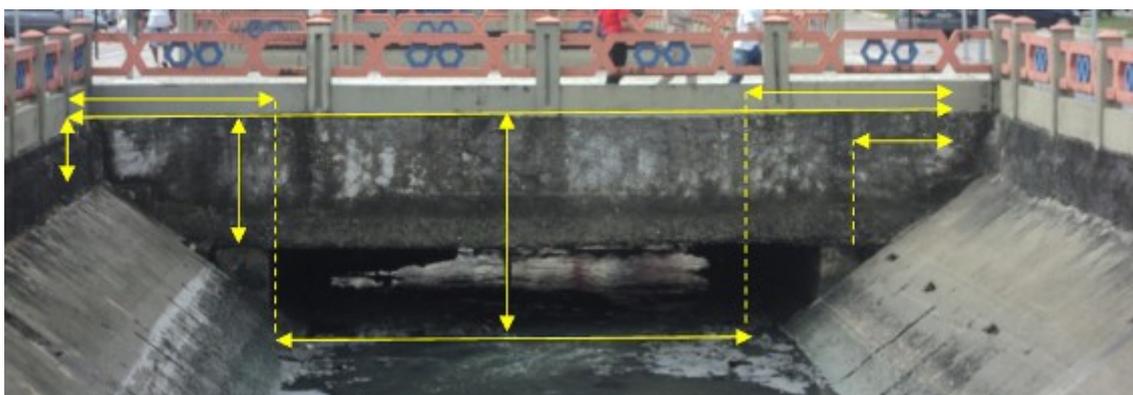


Figura 06 – Medições para seccionamento dos canais.

#### 5.5. Levantamento da declividade dos canais

O levantamento da declividade dos canais ocorreu por meio do nivelamento geométrico na extensão dos mesmos.

A altimetria é a parte da topografia que se ocupa com as determinações das distâncias verticais ou das diferenças de níveis. Os nivelamentos são operações que se executam em uma determinada região, nas quais se colhem dados com o objetivo de se determinar a diferença de nível de pontos superficiais em relação a outros. O nivelamento geométrico é o mais exato dos nivelamentos realizados através de visadas horizontais com um instrumento chamado nível, este método diferencia-se dos demais, pois está baseado somente na leitura de réguas ou miras graduadas, não envolvendo ângulos.

### 5.6. Capacidade de escoamento dos canais

O canal General Magalhães não apresentou peculiaridades que possam dificultar a determinação de sua vazão máxima, porém verificou-se no canal Armas (Doca) que as passarelas de veículos alteram suas seções, assim distinguiu-se três tipos de seccionamento para análise: Seção total, seção com borda livre de 0,40 m e seção estrangulada.

Em que a seção total considera toda a área disponível para escoamento da água no canal, desconsiderando a presença de passarelas, a fim de se avaliar a capacidade máxima de deflúvio. A seção que preserva uma borda livre de 0,40 m considera que o canal trabalhe com uma faixa de segurança para evitar transbordamentos.

A seção estrangulada é a resultante da construção das passarelas sobre os canais. O esquema para seccionamento está representado na Figura 07.

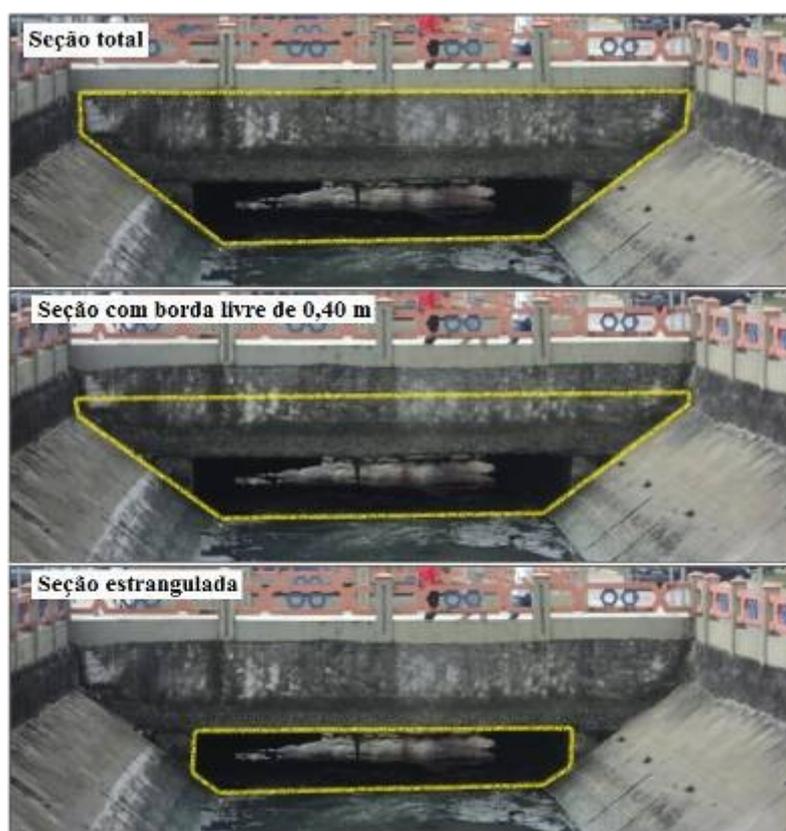


Figura 07 – Seções levantadas nos canais.

Para determinação da vazão máxima para seção total e seção com borda livre de 0,40 m, como se tratam de canais com seção retangular e trapezoidal, foi utilizada a fórmula de Chézy com coeficiente de Manning.

$$Ih \cdot Q / \sqrt{3A} \cdot Rh^2 \quad (7)$$

Em que  $n$  é o coeficiente de Manning (adimensional);  $Q$  é a vazão ( $m^3/s$ );  $I$  é a declividade em  $m/m$ ;  $A$  é a área molhada em  $m^2$  e;  $Rh$  é o raio hidráulico em metro.

Adotou-se valor do coeficiente de Manning de 0,018, considerando canais de reboco de cimento rugoso, depósito no fundo, musgos nas paredes e traçado tortuoso (de Hidráulica, Vol. I, Prof. Alfredo Bandini, apud FERNANDES, N. M. G., 2011).

A declividade é o valor alcançado por meio das medições topométricas. A área molhada é a área da seção, pois os cálculos consideram que os canais estejam com seção plena, ou seja, as lâminas d'água serão iguais às alturas considerando a seção total e a seção com borda livre. O raio hidráulico é igual a área molhada dividida pelo perímetro molhado da seção, considerando a seção total e a seção com borda livre.

Para determinação da vazão máxima para seção estrangulada foi utilizada a Equação para Orifícios de grandes dimensões.

$$Q = (2/3) \cdot Cd \cdot A \cdot \sqrt{2g(h_2 - h_1)} \quad (8)$$

Em que  $Q$  é a vazão em  $m^3/s$ ;  $Cd$  é o coeficiente de descarga;  $A$  é a área do orifício;  $g$  é a aceleração da gravidade em  $m/s^2$ ;  $h_2$  é a lâmina d'água máxima (seção total) e;  $h_1$  é a diferença de nível entre a altura da lâmina d'água máxima até a altura do início do estrangulamento. Na Figura 08 apresenta-se o esquema de arranjo de dados para a seção estrangulada.

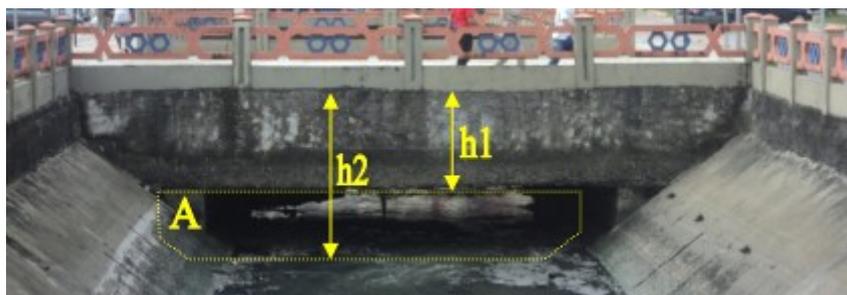


Figura 08 – Dados utilizados para cálculo da seção estrangulada.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Levantamento de informações sobre o sistema de macrodrenagem

A Avenida Doca de Souza Franco passou por alteração urbanística, o aterramento do Igarapé das Almas, sendo inaugurada em 1972, com o sistema de macrodrenagem. O sistema de macrodrenagem do bairro do Reduto, Canal General Magalhães, foi executado entre o fim da década de 1970 e o início da década de 1980, pelo Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS); possui seção retangular com paredes estruturais funcionando como muro de arrimo e com estacas em sua fundação. Na Figura 09 se apresenta um esquema de localização dos canais e algumas peculiaridades, onde (1) Início do canal na Avenida General Magalhães com a Rua 28 de Setembro; (2) Rua sobre o canal entre a Avenida General Magalhães e Rua Gaspar Viana; (3) Galeria extravasora que interliga os canais encaminhando o excesso de água do canal General Magalhães para o canal da Doca, sob a Rua Municipalidade; (4) Gradeamento no fim canal General Magalhães; (5) Área das comportas no fim do canal General Magalhães; (6) Início do canal da Doca, na Avenida Doca de Souza Franco com a Rua Boaventura da Silva; (7) Ponte sobre o canal da Doca na Avenida Doca de Souza Franco, encontro da Rua Senador Manoel Barata com a Rua Coronel Jerônimo

Pimentel; (8) Gradeamento no fim do canal da Doca; e (9) Área das comportas no fim do canal da Doca.

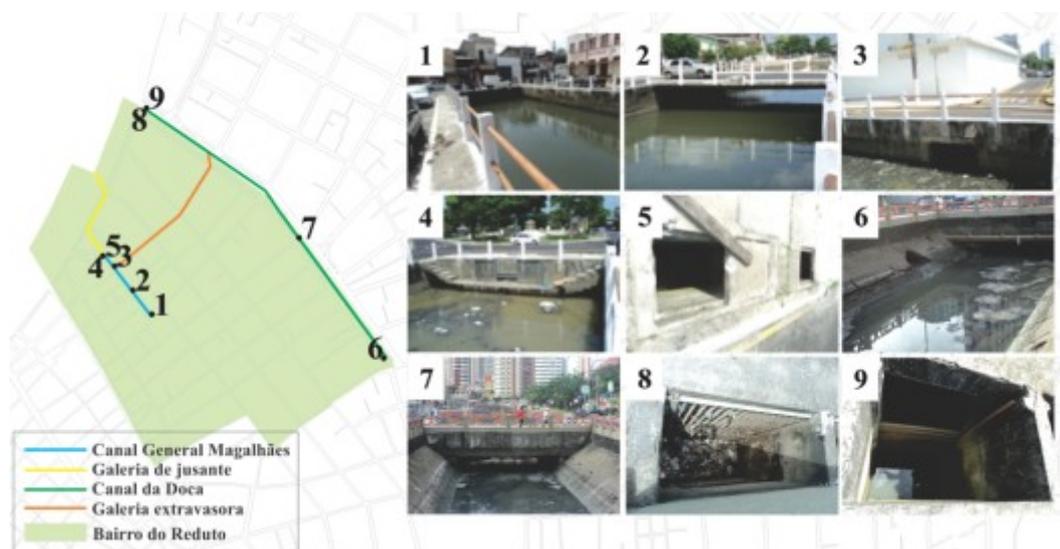


Figura 09 – Localização dos Canais no Bairro do Reduto e suas peculiaridades.

## 6.2. Patologias dos canais

As bacias de drenagem na área em estudo encontram-se no terceiro e último estágio de desenvolvimento, segundo Tucci (2003), onde a canalização simplesmente transfere a inundação para jusante, não existindo espaços laterais para ampliação do canal a jusante, assim as soluções poderiam convergir para o aprofundamento dos canais, porém esta opção em geral é economicamente inviável e o aprofundamento não resolveria a intrusão de marés, ainda assim o maior problema do canal General Magalhães está concentrado na galeria de jusante.

O canal da Doca encontra-se em situação onde a falta de manutenção está evidente. Foram encontrados problemas envolvendo o acúmulo de resíduos sólidos e excesso de areia no fundo; Talude danificado ou com excesso de vegetação; Excesso de galerias de lançamento de esgoto; Galerias lançando efluentes industriais; Estrangulamento da seção do canal devido as ruas que cruzam a Avenida Visconde de Souza Franco; Suas seis comportas não funcionam.

O canal General Magalhães encontra-se em situação semelhante ao da Doca, onde é notória a falta de manutenção. Foram encontrados problemas envolvendo: o acúmulo de resíduos sólidos e excesso de areia no fundo; Excesso de galerias de lançamento de esgoto; Suas duas comportas não funcionam; Presença de microdrenagem na galeria de jusante (que encaminha água do canal à Baía do Guajará).

Nos dois canais estudados, as comportas deveriam funcionar por empuxo, possivelmente são do tipo flap gate, e estão sem funcionamento por falta de manutenção. Com a ocorrência de marés altas, as águas da Baía do Guajará adentram aos Canais devido ao mau funcionamento das comportas. A existência de microdrenagem ligada à galeria de jusante, especificamente no Canal General Magalhães, permite com que a água de chuvas intensas ou de marés altas extravasem pelas bocas de lobo ou retornem ao Canal.

### 6.3. Medições nos Canais

O Canal da Doca possui uma extensão de aproximadamente 1.180 metros, enquanto o Canal General Magalhães possui extensão aproximada de 270 metros. Na Tabela 01 apresenta a descrição do fim dos trechos, extensões e larguras.

Tabela 01 – Descrição do fim dos trechos, extensões e larguras nos Canais.

Canal	Trecho	Fim do trecho	Extensão (m)	Largura (m)
Doca	1	Rua Antônio Barreto	240,35	10,60
	2	Rua Diogo Moia	52,90	10,50
	3	Rua Ô de Almeida	77,30	10,50
	4	Rua Com. Jerônimo Pimentel	76,60	10,50
	5	Av. Senador Lemos	171,28	10,45
	6	Rua Municipalidade	187,27	20,70
	7	Comportas do Canal	268,35	20,30
General Magalhães	1	Do início ao fim do Canal	270,00	9,95

#### 6.3.1. Seções dos canais

O canal da Doca possui seção trapezoidal, com “m” (talude) de 1,42 m, este dado foi alcançado por meio de medições em campo, pois os projetos dos canais não foram encontrados em nenhum dos órgãos competentes no município de Belém. O canal General Magalhães no Reduto possui seção retangular. Na Figura 10 apresentam-se as seções do final de cada trecho do canal da Doca e do canal General Magalhães. Onde “a” é final do trecho 1, “b” é final do trecho 2, “c” é final do trecho 3, “d” é final do trecho 4, “e” é final do trecho 5, “f” é final do trecho 6 e “g” é final do trecho 7 no canal da Doca, e “h” representa o trecho 8 no canal General Magalhães.



Figura 10 – Seções do final de cada trecho das unidades de macrodrenagem.

As dimensões dos canais estão apresentadas na Tabela 02.

Tabela 02 – Dimensões dos Canais.

Canal	Trecho	h total (m)	h (borda livre) (m)	Pm total (m)	Pm (borda livre) (m)	h (estrangulada) (m)	Seção total (m²)	Seção (borda livre) (m²)	Seção (estrangulada) (m²)
Doca	1	2,65	2,25	13,45	12,65	0,90	23,69	19,45	4,98
	2	2,52	2,12	13,08	12,28	1,09	21,87	17,66	6,80
	3	2,40	2,00	12,98	12,18	0,97	21,10	16,90	6,10
	4	2,50	2,10	13,04	12,24	1,35	21,66	17,45	8,35
	5	2,88	2,48	13,25	12,45	1,84	23,46	19,28	10,98

	6	3,05	2,65	23,76	22,96	1,92	56,13	47,85	32,87
	7	2,95	2,55	22,88	22,08	2,75	53,43	45,34	34,57
General Magalhães	1	2,66	2,26	15,27	14,47	-	26,47	22,49	-

### 6.3.2. Declividade dos canais

As declividades dos trechos foram alcançadas por meio do levantamento topográfico, os dados estão apresentados na Tabela 03.

Tabela 03 – Declividades dos Canais.

Canal	Trecho	Declividade (m/m)
Doca	1	0,00443
	2	0,00198
	3	0,00207
	4	0,00141
	5	0,00199
	6	0,00123
	7	0,00067
General Magalhães	1	0,00058

### 6.4. Capacidade de escoamento dos Canais

As irregularidades nas dimensões do canal da Doca, devido principalmente a construção das passarelas (pontes) sobre o Canal, dificultaram a coleta de dados hidráulicos em campo, assim como a falta de manutenção acumula sólidos no fundo dos Canais dificultando o escoamento da água.

Na Tabela 04 apresentam-se as estimativas de vazões calculadas por formulações hidráulicas a partir dos dados alcançados em campo.

Tabela 04 – Estimativas de vazões dos Canais.

Canal	Trecho	Vazão total (m <sup>3</sup> /s)	Vazão com borda livre (m <sup>3</sup> /s)	Vazão com estrangulamento (m <sup>3</sup> /s)
Doca	1	127,77	95,82	4,56
	2	76,26	55,69	8,95
	3	73,73	53,14	7,41
	4	63,43	46,15	13,34
	5	85,16	64,01	21,64
	6	193,84	152,00	82,40
	7	135,32	105,39	91,01
General Magalhães	1	51,10	40,37	Não há estrangulamento

Compreende-se que no último trecho esteja contida a vazão de referência, pois nele percorre a água de toda a extensão do Canal. Por meio da análise dos trechos sem considerarmos a presença de seções estranguladas pelas passarelas, percebeu-se que o último trecho (Trecho 7) tem características que indicam a finalidade de reservação da água para controle de vazão, e o Trecho 6 teria a vazão de referência para o canal da Doca. Porém, para análise final, devemos considerar a situação atual do canal da Doca, deste modo os valores de

vazão com estrangulamento serão tomados como base, assim o Trecho 7, último trecho do canal, será tratado como referência.

Deste modo, considerando a interligação das unidades de macrodrenagem, a capacidade de escoamento dos canais é igual a soma da vazão do canal General Magalhães e do último trecho do canal da Doca, ou seja, de 142,11 m<sup>3</sup>/s.

### 6.5. Estimativa do Coeficiente de escoamento superficial das bacias envolvidas

Por meio da delimitação das áreas das bacias, foram atribuídos valores de C de acordo com os tipos de ocupação conforme apresentado na metodologia, para o cálculo da média ponderada.

Os valores do coeficiente de escoamento superficial das bacias estão apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 – Valores do coeficiente de escoamento superficial das bacias.

Bacia	C
Reduto	0,91
Sub-bacia do Una	0,94

### 6.6. Determinações

A análise das bacias hidrográficas envolvidas (Reduto e Sub-bacia do Una) possibilitou o alcance de dados sobre os tempos de concentração, período de retorno para projetos de reservatórios de retenção, índices pluviométricos e vazões de pico. A bacia do Reduto possui área aproximada de 0,98 km<sup>2</sup> e a sub-bacia do Una possui área aproximada de 1,86 km<sup>2</sup>.

#### 6.6.1. Tempos de concentração

Como visto em capítulos anteriores, o tempo de concentração é o tempo de deslocamento de uma partícula de água do ponto mais distante de uma bacia até o ponto de saída desta, assim utilizando-se a formulação de Kirpich, foram calculados os seguintes tempos de concentração para as duas bacias envolvidas, conforme apresentado na Tabela 06.

Tabela 06 – Tempo de concentração das bacias.

Bacia	TC (h)	TC (min)
Reduto	0,2749	16,4986
Sub-bacia do Una	0,2189	13,1342

#### 6.6.2. Períodos de retorno utilizados em projeto

Com base nos projetos de drenagem urbana elaborados, foram adotados tempos de retorno de 10 (considerando projetos de microdrenagem), 25 e 50 anos (considerando projetos de macrodrenagem), para análise comparativa dos resultados.

#### 6.6.3. Índices pluviométricos (equação da chuva)

De acordo com a equação de chuvas intensas de Belém, utilizando os valores dos tempos de concentração das bacias hidrográficas e os períodos de retorno adotados, estimaram-se índices pluviométricos conforme apresentados na Tabela 07.

Tabela 07 – Índices pluviométricos das bacias.

Bacia	Tr (anos)	i (mm/h)
Reduto	10	138,06
Sub-bacia do Una		150,76
Reduto	25	165,82
Sub-bacia do Una		181,08
Reduto	50	190,48
Sub-bacia do Una		208,00

#### 6.6.4. Vazões de pico - Método racional

Com base no Método Racional, as vazões de pico para projetos estão representadas na Tabela 08.

Tabela 08 – Vazões de pico das bacias de acordo com o Método Racional.

Bacia	Tr (anos)	Q (m <sup>3</sup> /s)	ΣQ (m <sup>3</sup> /s)
Reduto	10	34,17	107,34
Sub-bacia do Una		73,17	
Reduto	25	41,04	128,92
Sub-bacia do Una		87,88	
Reduto	50	47,14	148,09
Sub-bacia do Una		100,95	

#### 6.6.5. Vazões de pico - Método NRCS

Por meio do Método NRCS, adotando-se um CN (número de curvas) de 95 levando em conta a Condições III de umidade antecedente do solo e a variação entre os tipos de solo, as vazões de pico para projetos estão representadas conforme a Tabela 09.

Tabela 09 – Vazões de pico das bacias de acordo com o Método NRCS.

Bacia	Tr (anos)	Q (m <sup>3</sup> /s)	ΣQ (m <sup>3</sup> /s)
Reduto	10	22,50	69,00
Sub-bacia do Una		46,50	
Reduto	25	28,60	87,50
Sub-bacia do Una		58,90	
Reduto	50	33,70	103,60
Sub-bacia do Una		69,90	

#### 6.6.6. Comparação entre vazões de pico

Na comparação entre os resultados da vazão máxima do Método Racional e do Método NRCS, o primeiro método superestima o valor da vazão de pico possibilitando maior segurança a projetos, assim como maiores custos. Numa cidade como Belém, onde os índices pluviométricos são altos e mesmo assim os alagamentos são frequentes, a utilização desse método é aceitável, mesmo que ele seja considerado ultrapassado dependendo de sua aplicabilidade.

## 4. CONCLUSÕES

Os projetos de sistema de drenagem (micro e macro) não foram encontrados em órgãos públicos ou privados de Belém. No decorrer da etapa de pesquisas levantou-se a informação de que possivelmente os projetos do DNOS encontram-se na Biblioteca do CEFET-RJ (campus Maracanã). Não houve tempo hábil para o acesso a esses documentos.

O Canal da Doca possui seções irregulares, provenientes de obras posteriores a sua construção, o que desconfigurou sua execução original. As passarelas de veículos (pontes) são exemplos de obras que não levam em consideração estudos de remanso e interferência no fluxo, configurando falha na execução e/ou no projeto. Partindo deste princípio, recomenda-se evitar obras inadequadas como pontes, passarelas, lajes ou estruturas semelhantes, principalmente devido a falta de rotinas de operação e manutenção nas unidades de macrodrenagem que garantam o controle hidráulico, hidrológico, sanitário e ambiental.

Comparando diretamente a capacidade de escoamento dos canais e as vazões de pico das bacias hidrográficas, considerando a seção plena do canal General Magalhães e a seção estrangulada do canal da Doca, com base no Método Racional as unidades de macrodrenagem garantem aproximadamente 96% do escoamento máximo. Do mesmo modo, baseando-se no Método NRCS os canais garantem todo o escoamento máximo com folga de aproximadamente 37% na vazão máxima.

As unidades de macrodrenagem atuam no escoamento e também com retardamento de fluxo, porém, constantes inundações ocorrem à jusante do sistema de drenagem, pois estas não suportam todo o contingente de águas quando chuvas intensas ocorrem concomitantes com marés altas, devido à ineficiência das comportas.

A criação de uma estrutura ou organização responsável pelo manejo das águas pluviais urbanas é crucial para a gestão deste importante serviço de saneamento que possui problemas históricos e decorrentes na cidade de Belém, ou analisando de maneira integrada, para a RMB que carece da elaboração de um programa de regularização da manutenção e operação dos canais, enfatizado em mitigar os problemas com resíduos sólidos e matéria orgânica acumulados no fundo dos dispositivos de macrodrenagem. Isto permitiria determinar o momento ideal para limpeza dos canais, além de garantir o funcionamento de tecnologia para o bombeamento de excessos de água dos canais em caso de transbordamentos se as comportas estiverem devidamente em funcionamento, além de garantir a destinação final adequada dos resíduos removidos.

A área de estudo necessita do emprego de tecnologias atuais e rotinas de manutenção para solução dos problemas do sistema de drenagem urbana. A maior dificuldade para a implantação destas soluções é o direcionamento sobre a quem caberá tal responsabilidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão da bolsa de estudo.

## **REFERÊNCIAS**

**FERNANDES, N. M. G.** *Apostila de Hidráulica II*. Curso Saneamento Integrado. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Tucuruí. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/75256105/APOSTILA-DE-HIDRAULICA-II-SANEAMENTO-2011>>. Acesso em: 29 set. 2015.

**FESTI, A. V.** *Coletânea das equações de chuvas do Brasil*. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. São Paulo. 2007.

**FORGIARINI, F. R.** *Incentivos econômicos à sustentabilidade da drenagem urbana: o caso de Porto Alegre-RS*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. 2010.

**GRIBBIN, J. E.** *Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais*. Tradução 3ª edição norte-americana. São Paulo. Cengage Learning: 2009.

**HAFNER, A. V.** *Conservação e Reúso de Água em Edificações – experiências nacionais e internacionais*. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2007.

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).** *Cidades*. Belém-PA. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=150140>>. Acesso em: 30 set. 2015.

**MATIAS, M. G. B.** *Bacias de retenção – estudo de métodos de dimensionamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, Porto, 2006.

**MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B.; MAGALHÃES, L. P. C. de.** *Multifunctional landscapes for urban flood control in developing countries*. In: Second International Conference on Sustainable Planning & Development, 2005, Bologna/Italy. Proceedings of the Sustainable Planning 2005. Southampton and Boston: WITpress - Wessex Institute of Technology. 2005.

**SILVEIRA, A. L. L.** *Problems of Modern Urban Drainage in Developing Countries*. Water Science & Technology. V 45. N 7. pp 31–40. 2002.

**TOMAZ, P.** *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*. São Paulo. Navegar Editora. 2011.

**TUCCI, C. E. M.** *Gestão das Águas Pluviais Urbanas: Saneamento para todos*. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, Brasília, DF. 197 p. 2005.

**TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C.** *Inundações Urbanas da América do Sul*. 1 ed. Porto Alegre, RS, Ed. Universidade / UFRGS: ABRH. 2003.

**TUCCI, C.E.M., GENZ, F.** *Controle do Impacto da Urbanização*. In Drenagem Urbana, Porto Alegre, Editora da Universidade. 1995.

**TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L; BARROS, M. T.** *Drenagem Urbana*. Editora da Universidade, ABRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1995.

**PINTO, N. L de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S.** *Hidrologia Básica*. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 8. reimp.