



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS MOSSORÓ

JÚNIOR CARDOSO DE PAULA

**APLICAÇÃO DA CURVA INTENSIDADE DURAÇÃO E FREQUÊNCIA
PARA O DIMENSIONAMENTO DE MICRORESERVATÓRIO EM LOTES
URBANOS NA CIDADE DE MOSSORÓ/RN**

Mossoró/RN
2017

JÚNIOR CARDOSO DE PAULA

**APLICAÇÃO DA CURVA INTENSIDADE DURAÇÃO E FREQUÊNCIA
PARA O DIMENSIONAMENTO DE MICRORESERVATÓRIO EM LOTES
URBANOS NA CIDADE DE MOSSORÓ/RN**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao
Conselho de Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, para obtenção de Título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Thales Henrique
Silva Costa - UFERSA

Mossoró/RN
2017

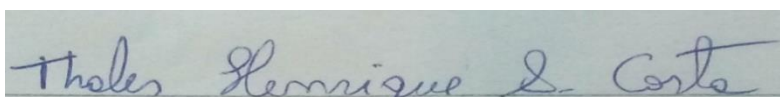
JÚNIOR CARDOSO DE PAULA

**APLICAÇÃO DA CURVA INTENSIDADE DURAÇÃO E FREQUÊNCIA
PARA O DIMENSIONAMENTO DE MICRORESERVATÓRIO EM LOTES
URBANOS NA CIDADE DE MOSSORÓ/RN**

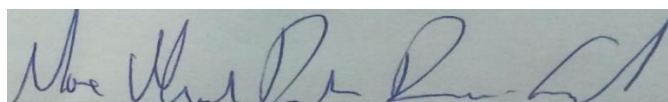
Trabalho Final de Graduação apresentado ao
Conselho de Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, para obtenção de Título de Bacharel
em Engenharia Civil.

APROVADO EM: 16/10/2017

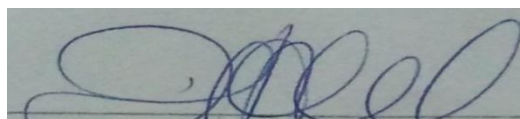
BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Thales Henrique Silva Costa
Presidente



Prof. Esp. Max Weden Pinto Diógenes Filho
Primeiro Membro



Prof. Duilio Assunção Marcal de Araujo
Segundo Membro

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

d268a de Paula, Junior.
APLICAÇÃO DA CURVA INTENSIDADE DURAÇÃO E
FREQUÊNCIA PARA O DIMENSIONAMENTO DE
MICRORESERVATÓRIO EM LOTES URBANOS NA CIDADE DE
MOSSORÓ/RN / Junior de Paula. - 2017.
67 f. : il.

Orientador: Prof. Esp. Thales Henrique Silva
Costa.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2017.

1. curva intensidade duração e frequência. 2.
Drenagem urbana. 3. Microreservatório de detenção.
I. Henrique Silva Costa, Prof. Esp. Thales ,
orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AGRADECIMENTOS

Esta conquista não é mérito exclusivamente meu. Outras pessoas contribuíram explicita ou anonimamente para minha caminhada. Com elas desejo partilhar esses momentos de vitória e alegria.

Minha gratidão a minha mãe, referências da minha vida, pelos incentivos e acompanhamento em mais essa fase.

A Lícia Naiara Borges Nunes Santos pela ajuda e colaboração nesta pesquisa e companheirismo para toda a vida.

A Universidade Federal Rural do Semi-Arido (UFERSA).

Ao professor Thales Henrique Silva Costa, por ter aceitado o desafio de me orientar.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil os quais tenho muita admiração. Muito obrigada pelo auxílio e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos grandes amigos do curso de Engenharia Civil. Muita obrigada de coração por compartilharem sentimentos, emoções e aprendizado durante este tempo.

Meus agradecimentos a todos que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Buscando uma forma de retardar a propagação de cheias no sistema de drenagem urbana o presente trabalho apresenta como forma de solução o uso de microreservatórios. Estes reservatórios de pequeno porte armazenam o excedente da água pluvial gerada nos lotes urbanos e lançam pequenas vazões no sistema de drenagem, o que ajuda a promover a redução do risco de inundação.

O dimensionamento do microreservatório de retenção foi fundamentado no Método Racional e associado a relações intensidade duração e frequência, que permitem o cálculo do volume de armazenamento do dispositivo.

Para o dimensionamento do reservatório de retenção considerou-se as informações de projeto de uma futura residência, com área de contribuição de 240m². A metodologia de dimensionamento baseou-se no Método Racional, sendo que o volume de retenção obtido foi de 2m³ para uma chuva de projeto de 145,9mm/h com 5 minutos de duração e tempo de retorno de 5 anos.

Tendo em vista que um requisito fundamental para a aplicação do Método Racional em dimensionamento de obras de drenagem urbana é o conhecimento das chuvas intensas, houve a necessidade de determinar para Mossoró-RN a equação que relaciona Intensidade-Duração-Frequência (IDF). Para tanto, considerou-se os dados pluviométricos diários, com uma série histórica de 23 anos, da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN. Aplicou-se a distribuição estatística de Gumbel para estimar as alturas de chuvas e, a partir destas, empregou-se o método de desagregação de chuvas diárias para a obtenção de intensidades pluviométricas com durações de 5 a 1440 minutos para períodos de retorno de 2 a 100 anos. Ao comparar as precipitações observadas pelo método de Gumbel com as estimadas pela equação IDF, gerou-se um coeficiente de correlação (r^2) de 0,997, indicando coerência entre a curva Intensidade duração e frequência determinada e a análise realizada pela distribuição de Gumbel.

Palavras chave: drenagem urbana, microreservatório de retenção, curva IDF.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	14
Figura 2 - Cenários de modificação de uso do solo e hidrogramas correspondentes.....	19
Figura 3 - Croqui de microrreservatório enterrado.....	23
Figura 4 - Microrreservatório (Paris, França).....	25
Figura 5 - Croqui de um sistema com microrreservatório enterrado.....	25
Figura 6 - Microrreservatório com câmaras on-line e off-line.....	26
Figura 7 - Microrreservatório subterrâneos desenvolvidos em Sydney	27
Figura 8 - Localização geográfica do município de Mossoró-RN	35
Figura 9 - Gráfico da reta de ajuste dos dados de precipitação máxima em relação ao tempo de retorno.	45
Figura 10 - Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de I_m (mm min ⁻¹) e como abscissas os valores de (t+b) utilizados para a determinação do parâmetro b para a cidade de Mossoró/RN.	47
Figura 11 - Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de log I_m e como abscissas os valores de log (t+b) utilizados para a determinação do coeficiente angular (c) e o linear (log D) para a cidade de Mossoró/RN	47
Figura 12 - Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de log D e como abscissas os valores de log T, utilizados para a determinação do coeficiente angular (a) e o linear (log K) para a cidade de Mossoró/RN.	48
Figura 13 - Gráfico da Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN, determinada pela distribuição de Gumbel de 1993 a 2016.	49
Figura 14 - Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN, determinada pela equação IDF de 1993 a 2016.....	50
Figura 15 - Gráfico de Intensidade de chuva observada pelo método de Gumbel vs estimada pela equação IDF	51
Figura 16 - Croqui do funcionamento de um microrreservatório enterrado	54

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 2-1 - Vantagens e desvantagens no emprego das diferentes medidas estruturais	21
Tabela 3-1 - Média (y_n) e desvio padrão (S_n) da variável reduzida (y) em função do número de observações, conforme Gumbel:	38
Tabela 3-2 - Fatores de desagregação de chuva de 1 dia	39
Quadro 3-3 - Coeficientes de escoamento superficial em função do uso e cobertura do solo	42
Tabela 4-1 - Série selecionada de chuvas máximas diárias em ordem cronológica e decrescente	43
Tabela 4-2 - Variável "y" de Gumbel e o respectivo Tempo de Retorno	44
Tabela 4-3 - Tempo de Retorno e respectiva Altura de Chuva	45
Tabela 4-4 - Intensidades de chuva máximas médias em mm/h para Mossoró/RN	46
Quadro 4-5 - Dados e valores de entrada para o dimensionamento do reservatório	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Considerações iniciais	10
1.2 Justificativa	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Geral	12
1.3.2 Específicos	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Ciclo Hidrológico	13
2.2 Precipitação	15
2.3 Eventos pluviométricos extremos	16
2.4 Urbanização e os impactos da impermeabilização na drenagem urbana	17
2.5 Drenagem Urbana	19
2.6 Medidas de controle	20
2.7 Microrreservatórios para retenção de água pluvial	22
2.7.1 Tipos de microrreservatórios	24
2.7.2 Exemplos de utilização	27
2.7.3 Dimensionamento de microreservatórios	29
2.7.4 Determinação da vazão de saída	30
2.7.5 Determinação do volume de armazenamento	32
2.7.6 Dimensões do microreservatório e estruturas de descarga	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Localização e caracterização da área de estudo	35
3.2 Determinação da equação Intensidade – Duração – Frequência	36
3.3 Dimensionamento do microreservatório de retenção	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 Equação Intensidade – Duração – Frequência	43
4.2 Microreservatório de retenção	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
ANEXO	68

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A urbanização descontrolada das cidades brasileiras tem provocado, dentre outros impactos, o agravamento das enchentes naturais e a ampliação de sua frequência, além de criar novos pontos de alagamento. Estes impactos provêm da crescente impermeabilização do solo com aumento do volume pluvial escoado e redução de amortecimento, causando aumentos nas vazões máximas, que podem representar seis vezes a vazão de pré-urbanização (Tucci & Genz, 1995).

Os principais impactos decorrentes desta urbanização estão diretamente ligados à forma de ocupação do solo e ao aumento das superfícies impermeáveis, causando um impacto sobre o ciclo hidrológico através do aumento das vazões de pico e dos volumes escoados durante os eventos de chuva, trazendo como consequência a superação da capacidade do sistema de drenagem pluvial das cidades. Isso tem tornado mais frequentes as ocorrências de inundações e enchentes que trazem prejuízos sociais e financeiros à população. (ALMEIDA 2008)

No que se refere à drenagem urbana, o impacto da urbanização pode ainda ser transferido para jusante, ou seja, quem sofre as consequências pode não ser necessariamente quem produz o impacto. Por isso, a tendência atual é a busca por soluções que visam à manutenção das vazões geradas antes da urbanização, atuando na fonte de geração do escoamento. (MARTINS 2004)

Uma forma de retardar a propagação de cheias no sistema de drenagem é o uso de dispositivos de controle de drenagem na fonte, como por exemplo, microreservatórios. Estes reservatórios de pequeno porte armazenam o excedente da água pluvial gerada nos lotes urbanos e lançam pequenas vazões no sistema de drenagem, o que ajuda a promover a redução do risco de inundação. (Cruz & Tucci, 1998)

Essas medidas consistem em não mais evacuar o escoamento das águas, tampouco em dispensá-las o mais rápido possível, mas sim retardá-las ou fazê-las

infiltrarem no solo. Conforme as características de cada ambiente, empregar essas tecnologias, distribuindo-as espacial e adequadamente, possibilita várias vantagens, como, por exemplo, diminuir o risco das inundações. No entanto, vale ressaltar que o uso destas técnicas também apresenta algumas desvantagens, como por exemplo o uso recente e escarces de informações, dependência das condições e características do solo e risco de contaminação de aquífero. (Ohnuma 2008).

1.2 Justificativa

De acordo com o Censo do IBGE (2010) nessa última década a população brasileira cresceu 12,3%, chegando ao total de 190.732.694 habitantes. Sendo que desse total 84% vive no meio urbano.

Atualmente o Brasil tem demonstrado ser incapaz de administrar eficientemente os centros urbanos. Sendo notória a ausência de um planejamento eficaz, explanado através da precariedade de infraestrutura sofrida pelas classes menos favorecidas. Implicando na degradação da qualidade do meio ambiente em suas diversas formas, como as ocupações de áreas irregulares, onde não existe planejamento habitacional algum, sendo que famílias vivem sem o direito de se beneficiarem de serviços básicos como água tratada, esgoto sanitário, coleta de lixo, entre outros (Dias, 2003).

Como princípio básico referente aos serviços de saneamento, segundo a Lei nº11.445 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a sua respectiva política federal. O conjunto de mecanismos dispostos como instalações operacionais incluem além do abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas, sendo este último principalmente na detenção e retenção do escoamento.

As alternativas configuram instalações de caráter hidrológico, especialmente na escala de lote domiciliar, entretanto estão fortemente integradas com a questão ambiental e ecológica devido à introdução de conceitos e metodologia com

resultados expressivos quantos aos aspectos eco-hidrológicos, embora tratado de maneira peculiar. (Ohnuma 2008)

Com o intuito de verificar a viabilidade técnica dessas alternativas, propõe-se analisar hidrologicamente a eficiência das instalações a partir da capacidade de reservação de água com análise de dados de cada uma delas e na sua integração.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Este trabalho tem por objetivo geral elaborar uma proposta de implementação de microrreservatório de retenção em lotes na cidade de Mossoró para a redução dos riscos de alagamentos e inundações a jusante.

1.3.2 Específicos

Para atingir o objetivo geral do trabalho, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Estimar, a partir dos dados pluviométricos, a curva de intensidade-duração-frequência local;
- Aplicação do método racional para o dimensionamento de microrreservatórios;
- Dimensionar um microrreservatório de retenção para armazenamento temporário das precipitações para lotes residências na cidade de Mossoró.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico pode ser definido como “as relações entre as várias formas do comportamento das águas em um ciclo fechado” (BIGARELLA E SUGUIO, 1990), mas que “não constitui uma simples sequência de processos, mas sim em um conjunto de fases que representam os diversos caminhos através dos quais a água circula na natureza” (LOPES, 2007). O ciclo hidrológico, segundo Varejão-Silva (2006), é dividido em duas partes: o ramo aéreo, objeto de estudo da Meteorologia, e o ramo terrestre, estudado pela Hidrologia.

A água no planeta pode ser encontrada em três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) e em diversos locais (superfície, subsuperfície, atmosfera, e biosfera), e constantemente em transição entre os estados físicos e localidades. (COELHO NETTO, 1995; MENDONÇA E DANNI-OLIVEIRA, 2007).

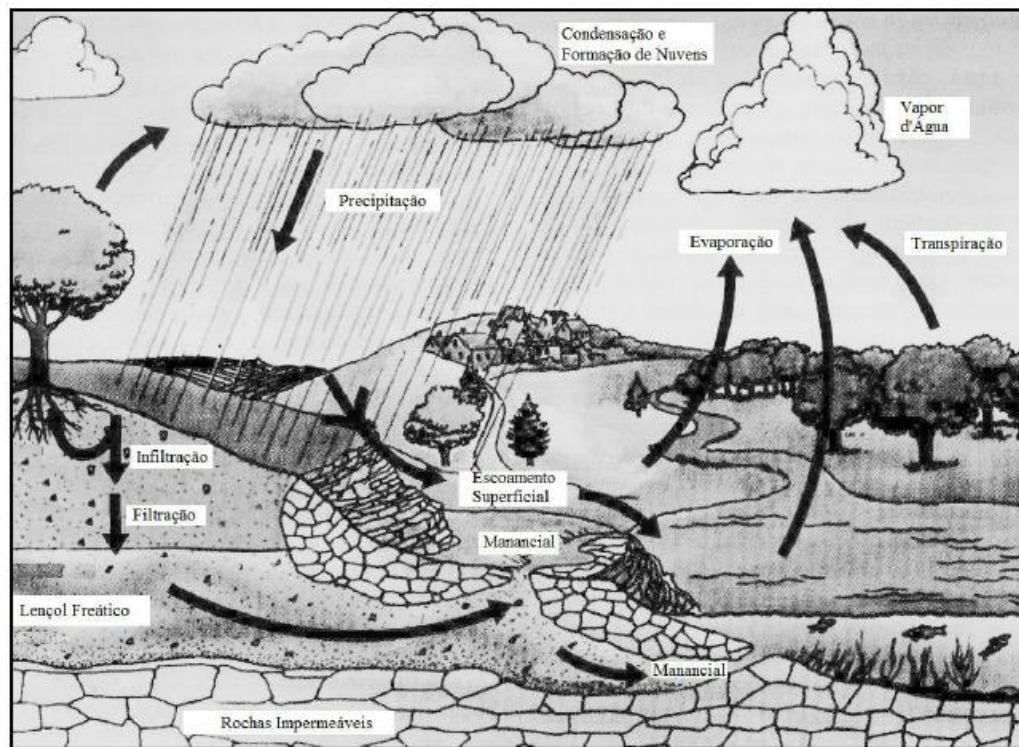
De acordo com Rossa (2006), a água do planeta distribui-se por três reservatórios principais: os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação constante, denominada ciclo da água ou ciclo hidrológico. O autor ainda acrescenta que a energia solar é a fonte de energia térmica necessária para a passagem da água das fases líquida e sólida para a fase de vapor e é também, a origem da circulação atmosférica que transporta o vapor de água e desloca as nuvens.

Gribbin (2009) descreve que apesar de seu complexo funcionamento, o ciclo hidrológico pode ser explicado simplesmente como as seguintes etapas:

- A água sofre evapotranspiração dos oceanos, lagos e vegetação;
- A água evapotranspirada forma as nuvens;
- As nuvens deslocam-se pela atmosfera em padrões climáticos globais;
- O vapor da água se condensa e se precipita em forma de chuva, neve ou granizo;
- A água precipitada chega ao solo e pode escoar superficialmente por ele até os corpos d'água superficiais ou infiltrar-se no solo alimentando os aquíferos

ou ainda escoar subsuperficialmente e abastecer os cursos d'água. A Figura 1 esquematiza o Ciclo Hidrológico.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



FONTE: Puyol e Villa (2006)

Assim definido, Feltrin (2009) afirma que o ciclo hidrológico pode ser entendido como o balanço hídrico cujo resultado fornecerá a água disponível no sistema, após os vários processos que envolvem o fluxo da água.

O balanço hídrico é representado pela Equação 1, sendo que a precipitação é a principal entrada de água do sistema e que a partir dela são obtidas as outras variáveis, a exemplo do escoamento superficial. Assim, a determinação pluviométrica apresenta interesse, especialmente de ordem técnica, nos projetos de obras hidráulicas (FELTRIN, 2009).

$$P = Ev + Q + \Delta S \quad (1)$$

Onde:

P : Precipitação (mm);

Ev : Evapotranspiração (mm);

Q : Escoamento superficial (mm);

ΔS : Taxa de água que infiltra ou submerge no sistema (mm).

2.2 Precipitação

Ayoade (1986) entende a precipitação como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre, contudo somente a chuva e a neve contribuem significativamente para os totais de precipitação.

Segundo Tucci (2000), a precipitação em forma de chuva pode ser classificada como convectiva, frontal ou ciclônica e orográfica.

Conforme Teixeira (2010), as chuvas convectivas são também chamadas de chuvas de verão. De acordo com o autor, elas ocorrem quando o ar úmido é aquecido na vizinhança do solo, criando-se uma camada de ar quente que se mantém em equilíbrio instável. Essa camada sobe sendo resfriada rapidamente, condensando o vapor atmosférico, formando nuvens e, em muitas vezes, precipitações. Grande parte das enchentes urbanas é ocasionada por esse tipo de chuva.

As chuvas frontais ou ciclônicas são provenientes do encontro de extensas massas de ar frias e quentes. As frentes de ar frio, que vêm dos pólos da Terra, ao interagirem com as frentes de ar quente elevam estas bruscamente. Esse processo provoca a condensação do vapor d'água presente em grande quantidade e ocasiona chuvas de intensidade média, porém que abrangem grandes áreas e por um longo período de tempo (VIOLA, 2008).

As chuvas orográficas são as que têm sua formação frequentemente ligada às características geográficas. As massas de ar que seguem do oceano para o continente trazem junto a umidade proveniente do mar. Ao chegarem à superfície e

encontrarem relevos montanhosos, a massa de ar quente e úmido se eleva como se fosse para superar a barreira geográfica. Assim, ela se resfria e se condensa formando nuvens e então chuvas com intensidades menores que as chuvas convectivas sendo, portanto, de grande duração e atingindo áreas pequenas (Ayoade, 1986).

2.3 Eventos pluviométricos extremos

As chuvas intensas são aquelas que precipitam grandes volumes de água em um curto intervalo de tempo. As equações de chuvas intensas são essenciais no processo de drenagem urbana de águas pluviais, pois contribuem para a diminuição da margem de erros, diminuindo-se o risco de enchentes dos canais urbanos, pois a vazão desses canais é calculada, proporcionalmente, ao volume de chuva que precipita, porém nenhum modelo é livre de imperfeições. (MATOS, 2006).

Tucci (2001), diz que a precipitação máxima é entendida como a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma área ou bacia hidrográfica, sendo que a precipitação pode atuar sobre a erosão do solo. O autor comenta que a disponibilidade de longas séries de precipitações é, em geral, muito mais frequente que a de vazão e que o estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para se conhecer a vazão de enchente de uma bacia.

Os problemas de engenharia, relacionados com a hidrologia são, em sua grande maioria, consequência de chuvas de grande intensidade ou volume e da ausência de chuva em longos períodos de estiagem.

Segundo Villela & Mattos (1975), a primeira análise a ser feita se refere a variação da intensidade (ou do volume) da chuva com a sua duração, a segunda análise é a da variação da intensidade (ou volume) com o período de retorno e por fim a expressão dessas relações na forma de equações IDF.

De acordo com Pinto et al. (1976), se os resultados da análise anterior forem colocados num gráfico pode-se observar que a intensidade média máxima cresce com o período de retorno e que a intensidade máxima média de um mesmo período

de retorno decresce com a respectiva duração, de modo que, essas duas observações estão sempre presentes nas expressões empíricas, conforme apresentado na equação 2 (CECÍLIO et al., 2009).

$$I_m = \frac{K \cdot TR^a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

Em que:

I_m : intensidade máxima média de precipitação (mm/h);

t : duração do evento chuvoso (minutos);

TR : tempo de retorno (anos);

K, a, b, c : parâmetros de ajuste relativos à localidade.

De acordo com Souza et al., (2012), para a obtenção dessas equações são necessários dados pluviográficos, de caráter local e com um longo período de observações disponíveis. Para Cardoso, Ullmann e Bertol (1998) é em virtude destes critérios que o conhecimento das características de chuvas intensas é bastante escasso no território brasileiro, pois são raras as localidades que apresentam medidores do tipo pluviógrafo e onde estes são realidade, os registros não são suficientes.

Como forma de contornar essa dificuldade algumas metodologias foram desenvolvidas no Brasil, como o método da desagregação de chuvas diárias, proposto por CETESB (1979) e citado por Gonçalves (2011). Essa técnica é bastante difundida e consiste no emprego de coeficientes para transformar a chuva de um dia medida por pluviômetros em chuvas de menor duração.

2.4 Urbanização e os impactos da impermeabilização na drenagem urbana

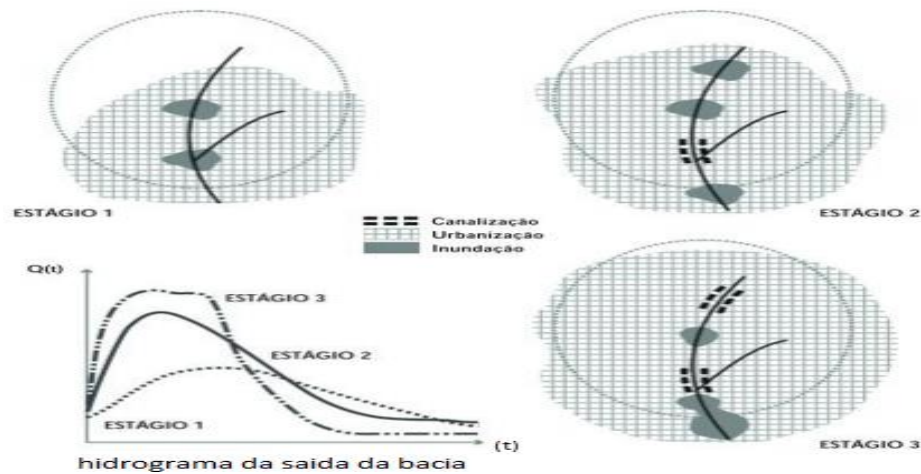
O grande desenvolvimento urbano no Brasil ocorreu no final dos anos 1960 até o final dos anos 1990, quando o país passou de 55% de população urbana para 76%. Esta concentração de população ocorreu principalmente em grandes

metrópoles com aumento da poluição e da frequência das inundações em função da impermeabilização e da canalização. Nos últimos anos, o aumento da população urbana ocorre principalmente na periferia das metrópoles, ocupando áreas de mananciais, de risco de inundação e de escorregamento.

Segundo Tucci (2008), o crescimento urbano no Brasil tem ocorrido, principalmente, em regiões metropolitanas e em cidades que são polos regionais de forma irregular e com pouco planejamento, apesar da existência dos Planos Diretores Urbanos. Ademais, de acordo com Rezende e Heller (2008) o perfil de ocupação das cidades é determinado pelo caráter profundamente desigual e antidemocrático da sociedade brasileira, que continua forçando as populações pobres a morarem em áreas de urbanização precária, muitas vezes em condições de risco, ocupando encostas íngremes, margens de cursos d'água e áreas de proteção de mananciais. Para Bastos (2009), o grande contingente populacional ocupando estas áreas também favorece o gradativo aumento do volume de escoamento superficial e as consequentes enchentes.

Ainda, segundo Tucci (1995), com o desenvolvimento urbano, ocorre à impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela de água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. Os efeitos principais da urbanização são: o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico de máxima e o aumento do volume do escoamento superficial. Gerando como consequência, conforme mostra a Figura 2, o aumento dos volumes escoados, das vazões de pico e a redução do tempo de concentração da bacia (TUCCI, 2004). O resultado disso é um aumento na frequência e magnitude das inundações.

Figura 2 – Cenários de modificação de uso do solo e hidrogramas correspondentes



FONTE: Tucci (2004)

2.5 Drenagem Urbana

A drenagem urbana de águas pluviais por muito tempo teve como objetivo, apenas remover o excesso das águas do escoamento superficial resultado da impermeabilização do solo, para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações (TUCCI, 2009), dessa forma, aumenta não apenas a capacidade condutora da rede, como também, a transferência do problema para outro lugar, que no futuro necessitaria de uma nova intervenção, acarretando mais gastos públicos e transtornos como novas obras de engenharia.

As inundações trazem vários prejuízos à população, dentre eles os de ordem sanitária e ambiental. Corpos hídricos receptores sofrem contaminação, impedindo que o equilíbrio natural seja restabelecido no meio aquático, em função do esgoto lançado nas redes de drenagem, devido às ligações clandestinas, e a elevada quantidade de resíduos sólidos e poluentes que seguem com o escoamento superficial das águas pluviais. Durante um evento pode ocorrer extravasamento do sistema de drenagem, favorecendo a proliferação de vetores e expondo a população às doenças de veiculação hídrica.

Partindo do exposto anteriormente, uma nova perspectiva é dada a drenagem urbana, envolvendo os cuidados com o meio ambiente e à saúde pública, e não

apenas aos de ordem técnica. Desse modo, introduz-se a tomada de medidas compensatórias associadas à infraestrutura de drenagem urbana.

O manejo das águas pluviais urbanas apresentam dois sistemas clássicos de drenagem. São definidos em dois principais: microdrenagem e macrodrenagem (TUCCI, 2009). Os sistemas são formados por um conjunto de obras e dispositivos que recebem parte do escoamento superficial de águas afetadas pela urbanização com o objetivo de evitar a ocorrência de inundações.

A microdrenagem é definida pelo traçado das ruas, por fontes de deflúvios em que não se tem um escoamento natural preciso, e o sistema de pequenas galerias, composto de condutos e coletores de águas pluviais como as bocas de lobo.

O sistema de macrodrenagem formado por canais abertos ou condutos de maiores dimensões tem a função de receber as águas pluviais dos sistemas de microdrenagem e conduzir essas águas a um corpo d'água principal com capacidade para escoar todo o deflúvio gerado pela bacia de drenagem. Este sistema é projetado para comportar precipitações maiores que as da microdrenagem.

2.6 Medidas de controle

O princípio de funcionamento das medidas de controle do escoamento superficial é baseado na retenção temporária e na infiltração do excesso de escoamento provocado por ações antrópicas, promovendo a restauração parcial do ciclo hidrológico natural. Ao se planejar a drenagem, é necessário considerar a integração entre os dispositivos tradicionais de drenagem para o controle do escoamento superficial com medidas de controle estruturais e não estruturais (FCTH, 2012).

As medidas estruturais são medidas físicas de engenharia desenvolvidas com intuito de reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As extensivas são aquelas que agem na bacia hidrográfica, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como modificação da cobertura

vegetal no solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. Já as intensivas agem no rio e podem focar na aceleração, retardamento ou desvio do escoamento (BARBOSA, 2006). O quadro 2-1 apresenta as principais medidas estruturais com suas respectivas vantagens e desvantagens.

Quadro 2-1 - Vantagens e desvantagens no emprego das diferentes medidas estruturais

Medidas Estruturais	Vantagens	Desvantagens
Microreservatório	Água pode ser utilizada para proteção contra fogo, rega de terras, processos industriais, refrigeração; reduz o deflúvio superficial direto, ocupando pequenas áreas; o terreno, acima da microreservatório, pode ser usado para outros fins.	Custos relativamente altos de instalação; custo pode ser restritivo, se o microreservatório receber água de grandes áreas de drenagem; requer manutenção; acesso restritivo; reduz o espaço no subsolo para outros usos.
Jardim suspenso.	Esteticamente agradável; redução do deflúvio superficial direto e dos níveis de ruído; valorização da vida animal.	Elevadas cargas nas estruturas de cobertura e de construção; alto custo de instalação e manutenção.
Reservatório com espelho d'água permanente.	Controla grandes áreas de drenagem, liberando pequenas descargas; esteticamente agradável; benefícios à recreação; habitat para a vida aquática; aumenta o valor dos terrenos adjacentes.	Requer grandes áreas; possível poluição pelas enxurradas e sedimentação; possível área de proliferação de mosquitos; eutrofização; pode ocorrer de afogamentos ; problemas de manutenção.
Armazenamento em telhado, com tubos condutores verticais estreitos.	Retardo do deflúvio superficial direto; efeito de isolamento térmico do edifício (água no telhado e através de circulação); pode facilitar o combate a incêndios.	Carga estrutural elevada; a tomada d'água dos tubos condutores requer manutenção; formação de ondas e cargas; infiltração de água do telhado para o edifício.
Telhado com alta rugosidade.	Retardamento do deflúvio superficial direto e redução do mesmo	Carga estrutural relativamente elevada
Pavimento permeável.	Redução do deflúvio superficial direto; recarga do lençol freático; menor custo.	Entupimento dos furos ou poros; Compactação da terra abaixo do pavimento ou diminuição da permeabilidade do solo; dificuldade de manutenção; crescimento de gramas e ervas daninhas
Canais gramados e faixas do terreno cobertas com vegetação.	Retardo do deflúvio superficial direto; redução do deflúvio superficial direto; recarga do lençol freático; esteticamente agradável.	Sacrifica-se alguma área do terreno para faixas de vegetação; áreas gramadas devem ser podadas ou cortadas periodicamente
Armazenamento e detenção em pavimentos impermeáveis.	Retardo do deflúvio superficial direto; redução do deflúvio direto.	Restringe movimento de veículos; interfere com o uso normal; depressões juntam sujeira e entulho.

Reservatório ou de bacias de retenção.	Retardo do deflúvio superficial direto; benefício recreativo: quadras poliesportivas; esteticamente agradável; pode controlar extensas áreas de drenagem, liberando descargas relativamente pequenas	Requer grandes áreas; custos de manutenção (poda da grama, herbicidas e limpeza periódica); proliferação de mosquitos sedimentação no reservatório.
Tanque séptico transformado para armazenamento e recarga de lençol freático.	Custos de instalação baixos; redução do deflúvio superficial direto (infiltração e armazenamento); a água pode ser usada para: proteção contra incêndio, rega de gramados e jardins, e recarga do lençol freático.	Requer manutenção periódica (remoção de sedimentos); possíveis danos à saúde; algumas vezes requer um bombeamento para o esvaziamento após a tormenta.

Fonte: Adaptado de FCTH (1999).

2.7 Microrreservatórios para retenção de água pluvial

Microrreservatórios, ou caixas de retenção ou retenção, são dispositivos de controle na fonte de águas pluviais desenvolvidos para compensar a perda da capacidade de armazenamento de terrenos com solos impermeabilizados. Sua função é reservar temporariamente as precipitações, retardar a velocidade do escoamento superficial e proporcionar o amortecimento de picos de cheias, de maneira que a vazão máxima de saída após a impermeabilização seja próxima a das condições naturais.

O sistema de drenagem pluvial em uma residência com esse dispositivo funciona com o encaminhamento das águas precipitadas nos telhados e nos pavimentos impermeáveis ao microrreservatório, como é mostrado na Figura 4. No microrreservatório a água é direcionada a uma tubulação de saída, que pode estar conectada ou não à rede pública de drenagem urbana e deve possuir seção inferior a de entrada, de maneira a restringir a vazão de saída do escoamento. A partir do momento em que a vazão de chegada é superior à de saída, as águas precipitadas começam a ser armazenadas, retardando e diminuindo o pico do hidrograma de saída.

Figura 3 - Croqui de microrreservatório enterrado



FONTE: Disponível em< <http://desentupidor.blogspot.com.br/2012/08/reuso-da-agua-de-chuva-com-tecnologia.html>>, acesso em 20 de Agosto de 2017.

No projeto de um microrreservatório é necessário prever a instalação de um extravasor, ou de um vertedor de emergência, de forma a prevenir o colapso do sistema para casos em que o volume de acumulação seja inferior ao necessário para amortecer um evento chuvoso superior ao de projeto.

Apesar de na língua inglesa serem denominados on-site stormwater detention – OSD (detenção de águas pluviais no local), se referindo a implantação em lotes e terrenos com áreas relativamente pequenas, esses dispositivos podem também ser instalados no sistema de microdrenagem. Para Cruz et al. (1999), a aplicação de detenção na microdrenagem tem a vantagem de uma implementação mais simples, podendo ser aplicada em pequenos espaços livres, como praças, jardins e abaixo do nível de passeios.

Para Cabral et al. (2009), a construção de microrreservatórios em determinados pontos da rede de drenagem pluvial pode corrigir problemas de insuficiência do sistema, preservando a utilização da rede já existente.

Cruz et al. (1998) salientam que o controle no nível do lote permite a redução de apenas parte dos impactos devido à urbanização, pois no cálculo da quantidade necessária para reservação não são consideradas as contribuições de ruas,

calçadas e áreas públicas. Mesmo assim, a redução da vazão máxima de saída dos lotes pode proporcionar economia na rede pública de drenagem.

Um dos problemas que podem ser encontrados durante a implantação desses dispositivos é o lançamento irregular de esgotos sanitários nas redes domiciliares de água pluvial. Durante a execução das obras essas irregularidades devem ser ajustadas.

Os microreservatórios não devem ser necessariamente enterrados, podem se encontrar acima do nível do solo, sua localização fica a critério do projetista. No tópico 2.7.1 são descritos alguns tipos de microreservatórios.

2.7.1 Tipos de microrreservatórios

A adaptação do microreservatório a diferentes configurações do sistema de drenagem de água pluvial de um terreno e a possibilidade de construção com vários tipos de materiais fazem com que ele seja uma estrutura com grande potencial de utilização.

Os microreservatórios podem ter formatos cilíndricos, retangulares ou quadrangulares, podem ser abertos, fechados, superficiais ou enterrados e construídos com diferentes materiais, como concreto, alvenaria, metal, fibrocimento e acrílico. A Figura 5 ilustra um microreservatório do tipo fechado e superficial, que recebe a contribuição de um telhado de um prédio.

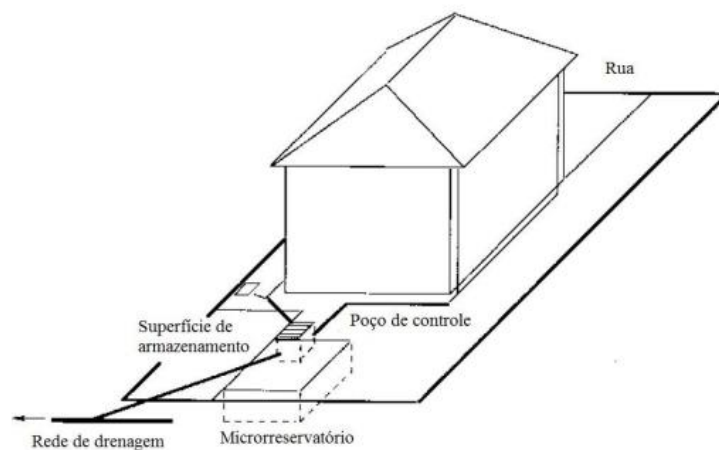
Figura 4 - Microrreservatório (Paris, França)



FONTE: Baptista et al. (2005)

A Figura 6 ilustra um típico sistema com microrreservatório retangular enterrado implantado em um lote na cidade de Sydney, Austrália.

Figura 5 - Croqui de um sistema com microrreservatório enterrado



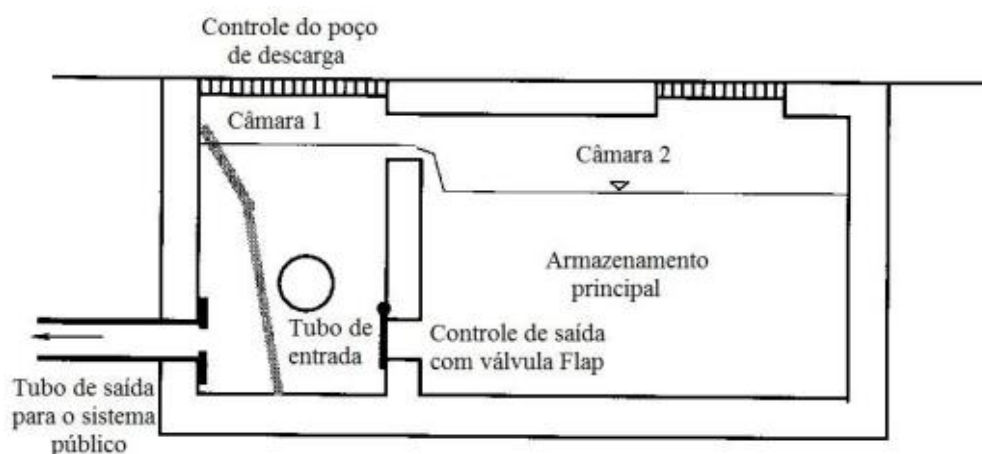
FONTE: O'Loughlin et al. (1995)

Segundo Urbonas e Stahre (1993), os reservatórios podem ser classificados conforme o seu posicionamento no sistema de drenagem, on-line e off-line. Os reservatórios on-line encontram-se na linha principal do sistema de drenagem com

disposição em série e os reservatórios off-line retêm volumes de água desviada da rede de drenagem principal, estão localizados em posição paralela ao sistema.

O'Loughlin et al.(1995) apresentam um formato de microreservatório com duas câmaras, uma funcionando on-line e outra off-line. As câmaras estão separadas por uma parede que possui um vertedor na parte de cima e uma válvula flap na parte de baixo, como pode ser observado na Figura 7. Após a câmara principal ser totalmente preenchida, a água afluente é encaminhada a segunda câmara pelo vertedor. Quando há uma redução do nível d'água da primeira câmara e conseqüentemente um alívio de pressão, a válvula flap se abre e permite que haja o escoamento da segunda câmara.

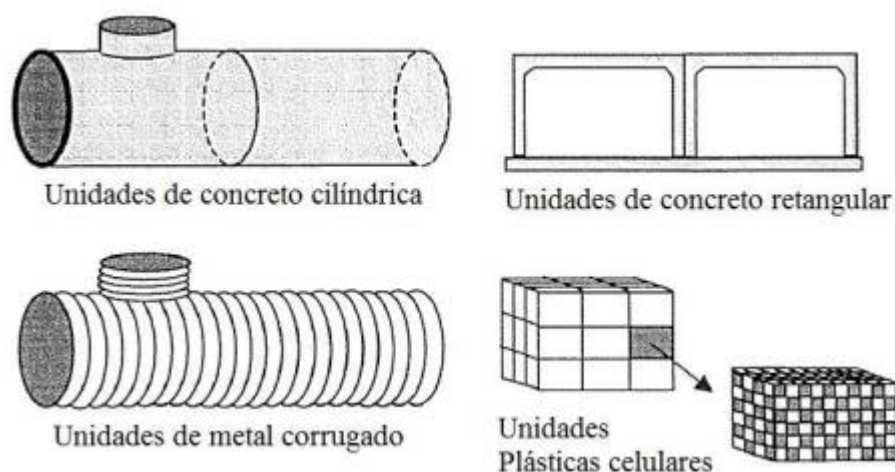
Figura 6 - Microreservatório com câmaras on-line e off-line



FONTE: Adaptado de O'Loughlin et al. (1995)

Posteriormente O'Loughlin et al.(1998) descreve que um grupo de fabricantes de Sydney desenvolveu produtos com materiais pré-moldados, aço galvanizado e polipropilenos para fornecer armazenamentos subterrâneos em sistemas de drenagem com microreservatórios, como mostra a Figura 8.

Figura 7 - Microreservatório subterrâneos desenvolvidos em Sydney



FONTE: O'Loughlin et al. (1998)

Um local para a instalação de microreservatórios, que poderia facilitar o seu escoamento por gravidade, é a laje de telhados. Entretanto, Tucci et al. (1995) descrevem que a dificuldade de executar a manutenção e a necessidade de reforços nas estruturas das edificações complica a sua implementação nesse lugar.

A definição do local em que será implantado o microreservatórios, assim como suas dimensões, o tipo de estruturas de descarga e de vertedor ficam a critério do projetista que baseará sua concepção no custo de implantação e na cota de lançamento no sistema público de drenagem urbana.

2.7.2 Exemplos de utilização

Agra (2001) descreve que os microreservatórios vêm sendo propostos por vários autores ao longo do tempo e para várias cidades do mundo, tais como: Tsuchiya (1978) e Sugio et al., (1995) no Japão, Schilling (1982) e Fuchs (1984) na Alemanha, Holmstrand (1984) na Suécia, O'Loughlin et al.; (1995) e Nicholas (1995) em Sydney na Austrália.

No Brasil ainda são escassos os trabalhos sobre a utilização e a modelagem dos microrreservatórios. Nesta linha de pesquisa destacam-se os estudos de Cruz (1998) citado por Costa Jr. e Barbassa (2006), Agra (2001), Tassi (2002) e Drumond (2012), os quais são brevemente descritos a seguir.

Cruz (1998 apud Costa Jr. e Barbassa, 2006), em simulações de uso de microrreservatórios em lotes de 300m² a 600m², com períodos de retorno (TR) de 2 a 5 anos, onde os volumes escoados eram de 39% a 109% superiores aos das condições de pré-urbanização, obteve com a utilização de um microrreservatório de 2,5 m³ e com ocupação de 1% da área total do lote, resultados em volumes iguais aos de pré-urbanização.

Agra (2001), com um módulo experimental de retenção de 1,0 m³, instalado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, recebendo contribuições de uma área de 337,5m², obteve reduções de pico das vazões de 7% a 50% para TR de 5 anos.

Em simulações matemáticas sobre a redução de vazões com o uso desse dispositivo em lotes hipotéticos de 300m² e 600m², Tassi (2002) obteve, para precipitações com TR de 5 anos, reduções de 50% nas vazões de pico de saída da bacia em relação às vazões de pico sem controle, e para chuvas com TR de 10 anos, a redução foi de 45%.

Drumond (2012) ao simular a implantação de microrreservatórios em lotes em Belo Horizonte obteve, para chuvas com duração de 45 e 60 minutos, redução de 50% da vazão de pico em comparação ao cenário sem controle.

Os resultados dos trabalhos mencionados demonstram que os microrreservatórios apresentam um desempenho significativo, contudo, como afirma Agra (2001) existe a necessidade de mais estudos experimentais sobre o assunto.

2.7.3 Dimensionamento de microreservatórios

O projeto de microreservatórios deve ser desenvolvido considerando-se dois aspectos principais: a vazão máxima que se pretende permitir para ser lançada na rede pública de drenagem e o volume necessário para armazenar temporariamente a quantidade de água excedente entre o hidrograma de entrada e o hidrograma de saída desejado.

Para Nascimento e Baptista (2009), a definição da capacidade de uma estrutura compensatória e de seus órgãos de controle hidráulico implica o estabelecimento, a priori, do risco hidrológico de projeto e da vazão de restrição.

Ainda de acordo com os autores, o risco adotado é definido tendo-se como referência a probabilidade de ocorrência ou de superação de um dado evento tomado como crítico. Assim, para se determinar o Período de Retorno a ser adotado é necessário realizar uma análise dos eventos hidrológicos e dos custos de implantação, operação e de manutenção dos sistemas em estudo.

Segundo Cruz et al. (1999), o dimensionamento de um microreservatório deve assumir o risco correspondente ao de um projeto comum de microdrenagem, devendo ser utilizada uma precipitação com Tempo de Recorrência de cinco anos.

A NBR 10.844/1989 da ABNT, norma sobre instalações prediais de águas pluviais, define que o Tempo de Retorno deve ser fixado segundo as características da área a ser drenada, respeitando-se o que se segue:

- TR = 1 (um) ano, para áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados;
- TR = 5 (cinco) anos, para coberturas e/ou terraços;
- TR = 25 anos, para coberturas e áreas onde empoçamento ou extravasamento não possam ser tolerados.

No estudo realizado por Tassi (2002), foi avaliado o funcionamento de microreservatórios dimensionados com Tempos de Retorno de 5 e 10 anos e

verificou-se que os dispositivos projetados para TR de 5 anos funcionam próximo ao limite de sua capacidade com maior frequência.

2.7.4 Determinação da vazão de saída

A implantação de microreservatório em lotes tendo como princípio a manutenção das condições naturais do terreno exige que a vazão máxima de saída após a impermeabilização do solo não ultrapasse a vazão máxima nas condições com o solo natural. Outra possibilidade de se determinar a vazão de restrição é baseá-la nos valores de vazão que o sistema de drenagem a jusante possa suportar.

Para a determinação da vazão de saída é necessário que sejam realizadas análises hidrológicas da área em estudo e análises hidráulicas da estrutura de descarga do microreservatório.

De acordo com Tassi (2002), a vazão permissível na saída do lote pode estar prevista no Plano Diretor de Drenagem Urbana Municipal ou ser determinada pelo Método Racional.

Segundo Garotti (2005), o Método Racional é o mais difundido e utilizado, frequentemente para pequenas bacias (área inferior a 2 km²) e, de acordo com Tucci (2002), assume os seguintes princípios básicos:

- Considera a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração (t_c). Admitindo-se que a bacia seja suficientemente pequena para que tal situação possa ser admitida e
- Adota um coeficiente único de perdas representado por C , estimado com base nas características físicas da bacia.

Assim, a vazão máxima ou limite segue o Método Racional é obtida segundo a Equação 3.

$$Q = 0,278.C.I.A \quad (3)$$

Onde:

Q : vazão limite ou máxima (m^3/s);

0,278: fator para correção de unidade;

C : coeficiente de escoamento;

A : área da bacia (km^2).

I : intensidade da precipitação de projeto em mm/h para o TR pré-definido.

De acordo com Fendrich (2008), o coeficiente de escoamento superficial representa a parcela da chuva total que se transforma em escoamento de superfície. Em razão disso, o coeficiente de escoamento depende de uma série de fatores e deve ser determinado em função do tipo e ocupação do solo (TASSI, 2002).

Para determinação da intensidade da chuva de projeto, faz-se o uso da relação intensidade-duração-frequência (IDF) descrita no tópico 3.2.

Tendo em vista que o Método Racional parte do princípio que o tempo de duração (td) da chuva é o mesmo do tempo de concentração da bacia, faz-se necessário determinar o tempo de concentração da área de contribuição em questão (AGRA, 2001). Segundo Menezes Filho e Costa (2012), o tempo de concentração é definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo.

Na literatura especializada encontram-se diversas definições para o tempo de concentração, juntamente com processos de estimativa relacionados. Segundo Chow et al (1988), o tempo de concentração corresponde ao tempo gasto para a gota de chuva se deslocar do ponto mais afastado da bacia até sua foz. Eagleson (1970) define como o tempo necessário para o escoamento superficial atingir o estado de equilíbrio. Mc Cuen et al. (1984) afirma que é o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante (em percurso hidráulico) da bacia até seu exutório.

Pesquisadores desenvolveram fórmulas empíricas através de métodos experimentais e analíticos para determinar o tempo de concentração (Kirpich, 1940; Wong 2001; entre outros). Estudiosos aplicam a equação unidimensional da onda

cinemática para estimar o tempo de fluxo ao longo da bacia hidrográfica e consideram o resultado como sendo o tempo de concentração. A evolução dessa aplicação foi verificada por Wong (2009). Apesar da importância do tempo de concentração nos projetos hidrológicos, os projetistas ficam, muitas vezes confusos com a variabilidade de fórmulas disponíveis na literatura por desconhecerem a aplicação adequada de cada fórmula.

A equação da onda cinemática é a solução teórica das equações que regem o escoamento turbulento em um plano e é de se esperar que funcione bem em pequenas bacias, onde prevalece esse tipo de escoamento. A tendência, entretanto, é de que o valor de tc seja superestimado à medida que a bacia aumenta (PORTO et al., 2000). A equação é apresentada a seguir:

$$tc = 477 \cdot \frac{(Ln)^{0,6}}{i_m^{0,4} S_t^{0,3}} \quad (4)$$

Em que:

tc = tempo de concentração, min;

L = comprimento do talvegue, km;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, $s \, m^{-1/3}$;

S_t = declividade da superfície, $m \, m^{-1}$;

i_m = precipitação efetiva, $mm \, h^{-1}$.

2.7.5 Determinação do volume de armazenamento

Várias metodologias, simples ou mais complexas foram e vem sendo propostas para estimar os volumes a serem reservados em dispositivos de retenção. Os métodos, bem como os critérios utilizados e os resultados obtidos, encontram-se disponíveis na literatura de diversos trabalhos e permitem realizar

comparações entre as metodologias e as situações onde elas podem ser aplicadas (TASSI, 2002).

McCuen (1989 apud Assunção, 2012) citou que em vários estados da América do Norte é comum determinar o volume de reservação de maneira que a vazão máxima efluente seja igual à vazão do local nas condições anteriores à urbanização. Deste modo, o autor propôs uma equação simplificada (Equação 5).

$$V = (Q_d - Q_a) \cdot t_d \cdot 60 \quad (5)$$

Onde:

V : volume de retenção (m^3);

Q_d : vazão de pico após a urbanização (m^3/s);

Q_a : vazão de pico antes a urbanização (m^3/s);

t_d : tempo de duração da chuva (minutos);

60: fator de correção de unidade.

2.7.6 Dimensões do microreservatório e estruturas de descarga

O dimensionamento dos microreservatórios tem a rede pública de drenagem pluvial como uma limitação relevante, haja vista que a altura destes dispositivos de controle depende da localização da rede e, portanto, da não necessidade de uma estação elevatória para a drenagem do lote (AGRA, 2001). Em virtude disso, o autor ainda descreve que o formato dos microreservatórios geralmente são retangulares e assim o dimensionamento dos mesmos passa a ser área superficial, que é obtida pela razão entre o volume de armazenamento e a altura do dispositivo.

As dimensões das estruturas de descarga consistem simplesmente na determinação da área e do número de orifícios (AGRA, 2001). De acordo com Azevedo Netto *et al.*, (1998) para o cálculo da vazão de saída de orifícios e bocais, descarregando livremente para a atmosfera utiliza-se a Equação 6.

$$Q = Cd.A.\sqrt{2gH} \quad (6)$$

Onde:

Q : vazão de descarga (m^3/s);

Cd : coeficiente de descarga;

A : área da seção transversal do tubo (m^2);

H : carga total sobre o eixo do tubo (m);

g : aceleração da gravidade (m/s^2).

O coeficiente de descarga representa as perdas de carga contínuas e localizadas e se aconselha obtê-lo experimentalmente. Contudo, a bibliografia clássica recomenda para orifícios em geral o valor médio de Cd de 0,61 e para bocais Cd de 0,82 (DRUMOND, 2012).

Por fim deve ser previsto um vertedor de emergência que permita extravasar a água, na ocorrência de eventos que superem o volume de armazenamento disponível, para a superfície do lote, sarjetas ou diretamente para a rede pluvial (AGRA, 2001; TASSI, 2002; OHNUMA, 2008).

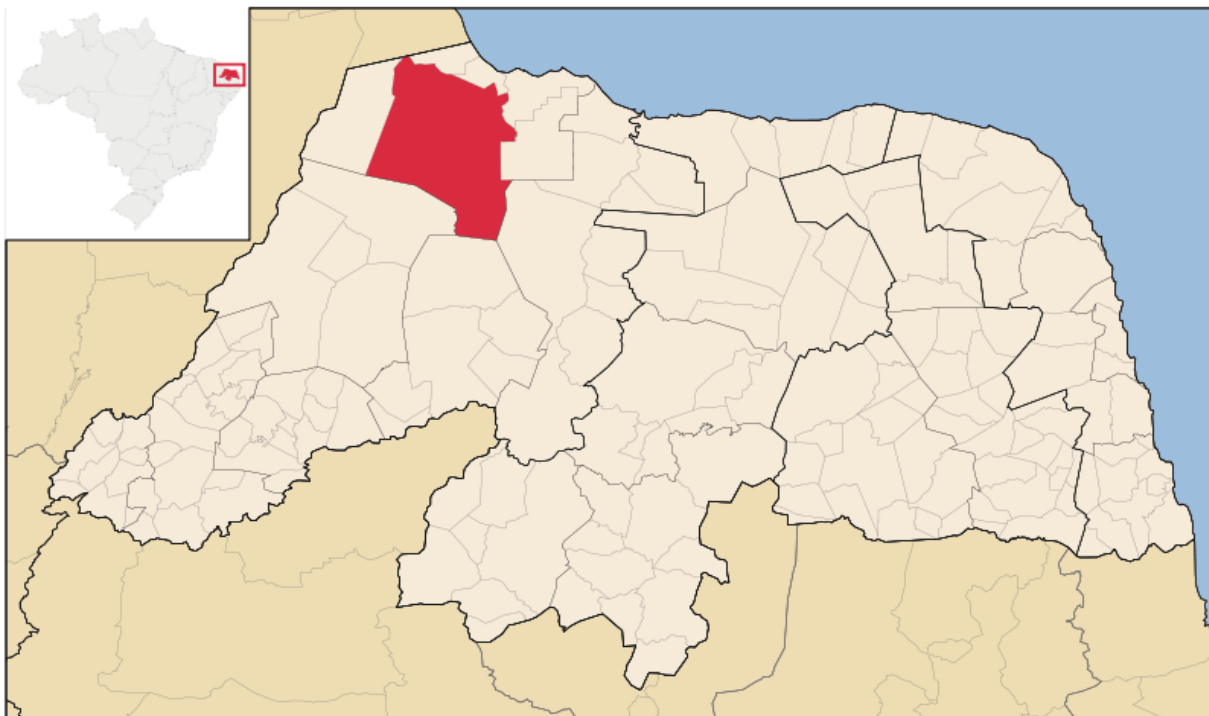
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A cidade de Mossoró pertence à mesorregião do Oeste Potiguar e à microrregião homônima, localizando-se a uma distância de 285 km a noroeste da capital do estado, Natal. Ocupa uma área de 2 110,207 km² (o maior município do estado em área), sendo que 11,5834 km² estão em perímetro urbano.

Localizada entre Natal e Fortaleza, às quais é ligada pela BR-304, Mossoró é uma das principais cidades do interior nordestino. Atualmente vive um intenso crescimento econômico e de infraestrutura, considerada uma das cidades de médio porte brasileiras mais atraentes para investimentos no país.

Figura 8 - Localização geográfica do município de Mossoró-RN



Fonte: Disponível em < http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:RioGrandedoNorte_Municip_Mossoro.svg >, acesso em 15 de Agosto de 2017

Em 2010, a população do município recenseada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi 259.815 habitantes, sendo o segundo mais populoso do estado (depois de Natal) e apresentando uma densidade populacional de 123,76 habitantes por km². Neste mesmo ano, 125.747 habitantes eram homens e 134.068 eram mulheres. Ainda segundo o mesmo censo, 237.241 habitantes viviam na zona urbana e 22.574 na zona rural. Já em 2012 a população total estimada pelo IBGE é de 266.758 habitantes, o que ainda classifica Mossoró como a segunda cidade mais populosa do estado do Rio Grande do Norte.

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de Mossoró era considerado médio pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) no ano de 2000 (valor de 0,735). No ranking, Mossoró aparece na sexta posição (em 166 municípios).

3.2 Determinação da equação Intensidade – Duração – Frequência

Com base na necessidade e importância dos dados de precipitação e da relação intensidade-duração-frequência (IDF), foi ajustada a função cumulativa de probabilidade de Gumbel para obter as precipitações máximas esperadas para diferentes períodos de retorno e obter a equação de intensidade-duração-frequência, por meio da desagregação da chuva de 24h, para dados de precipitação máxima diária anual da cidade de Mossoró-RN.

Os dados foram coletados no município de Mossoró que está situado na região semiárida do Nordeste brasileiro, no Estado do Rio Grande do Norte, localizado pelas coordenadas geográficas 5°11' de latitude sul, 37°20' de longitude oeste e 18 m de altitude, com uma temperatura média anual em torno de 27,5 °C, umidade relativa de 68,9%, nebulosidade média anual de 4,4 décimos e precipitação média anual de 673,9 mm. Segundo classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró-RN é do tipo BSw^h, ou seja, quente e seco, tipo estepe, com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono (Carmo Filho et al., 1987).

Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica máxima anual de 1993 a 2016 (23 anos), fornecidos por meio das informações qualificadas presentes na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN.

Na sequência, os dados foram organizados em ordem decrescente e calculou-se a média aritmética e o desvio-padrão da amostra. Com isso foi possível estabelecer uma análise estatística da probabilidade e o tempo de retorno das chuvas intensas empregando o método da distribuição de Gumbel, tendo em vista que este método, em geral, permite ajustar satisfatoriamente os valores extremos das grandezas hidrológicas, sendo o mais bem aceito e empregado na literatura.

Deste modo, considerando o método de Gumbel, o tempo de retorno, definido como o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado pelo menos uma vez foi estimado pela Equação 7. Constata-se pela equação que o tempo de retorno é matematicamente correspondente ao inverso da probabilidade de ocorrência de um evento.

$$TR = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}} \quad (7)$$

Em que:

TR : Tempo de Retorno (anos);

y : variável reduzida de Gumbel.

A variável reduzida de Gumbel (y) foi obtida por meio da Equação 8.

$$y = \left(\frac{S_n}{S_x}\right) \left[x_i - \left(xm - S_x - \frac{y_n}{S_n} \right) \right] \quad (8)$$

Onde:

S_x : desvio-padrão da amostra;

x_i : valor de um elemento da amostra;

xm : média da amostra;

S_n : desvio padrão da variável reduzida (y), conforme Tabela 3-1;

y_n : média da variável reduzida (y), conforme Tabela 3-1.

Tabela 3-1 - Média (y_n) e desvio padrão (S_n) da variável reduzida (y) em função do número de observações, conforme Gumbel:

n	y_n	S_n	n	y_n	S_n	n	y_n	S_n
8	0,4843	0,9042	35	0,5403	1, 1285	64	0,5533	1, 1793
9	0,4902	0,9288	36	0,5410	1, 1313	66	0,5538	1, 1814
10	0,4952	0,9497	37	0,5418	1, 1339	68	0,5543	1, 1834
11	0,4996	0,9676	38	0,5424	1, 1363	70	0,5548	1, 1854
12	0,5053	0,9833	39	0,5430	1, 1388	72	0,5552	1, 1873
13	0,5070	0,9972	40	0,5436	1, 1413	74	0,5557	1, 1890
14	0,5100	1, 0095	41	0,5442	1, 1436	76	0,5561	1, 1906
15	0,5128	1, 0206	42	0,5448	1, 1458	78	0,5565	1, 1923
16	0,5157	1, 0316	43	0,5453	1, 1480	80	0,5569	1, 1938
17	0,5181	1, 0411	44	0,5458	1, 0150	82	0,5572	1, ,1953
18	0,5202	1, 0493	45	0,5463	1, 1519	84	0,5576	1, 1967
19	0,5220	1, 0566	46	0,5468	1, 1538	86	0,5580	1, 1980
20	0,5236	1, 0628	47	0,5473	1, 1557	88	0,5583	1, 1994
21	0,5252	1, 0696	48	0,5477	1, 1574	90	0,5586	1, 2007
22	0,5268	1, 0754	49	0,5481	1, 1590	92	0,5589	1, 2020
23	0,5283	1, 0811	50	0,5485	1, 1607	94	0,5592	1, 2032
24	0,5296	1, 0864	51	0,5489	1, 1638	96	0,5595	1, 2044
25	0,5309	1, 0915	52	0,5493	1, 1653	98	0,5598	1, 2055
26	0,5320	1, 0961	53	0,5497	1, 1667	100	0,5600	1, 2065
27	0,5332	1, 1004	54	0,5501	1, 1681	150	0,5646	1, 2253
28	0,5343	1, 1047	55	0,5504	1, 1696	200	0,5672	1, 2360
29	0,5353	1, 1086	56	0,5508	1, 1708	250	0,5688	1, 2429
30	0,5362	1, 1124	57	0,5511	1, 1721	300	0,5699	1, 2479
31	0,5371	1, 1159	58	0,5515	1, 1734	400	0,5714	1, 2545
32	0,5386	1, 1193	59	0,5518	1, 0000	500	0,5724	1, 2588
33	0,5388	1, 1226	60	0,5521	1, 1747	750	0,5738	1, 2651
34	0,5396	1, 1255	62	0,5527	1, 1770	1000	0,5745	1, 2685

FONTE: Carvalho (2007)

Após esse procedimento, foram plotados os dados de tempo de retorno e intensidade de chuva em um gráfico com as mesmas características do papel log-probabilístico. Assim, os pontos correspondentes às alturas máximas de chuva (im) ficaram na ordenada, em escala aritmética, e o tempo de retorno, em anos, correspondente na abscissa, em escala logarítmica. Foi ajustada uma reta para os dados do gráfico, que compreendeu a amplitude dos dados analisados, sendo assim possível estimar para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos as precipitações máximas com duração de “um dia”.

Os dados diários de precipitação foram organizados de maneira a obter por meio da série histórica, as chuvas máximas diárias anuais que em seguida foram desagregadas em chuvas de diferentes durações (1h, 2h, 3h, 6h, 8h, 10h, 12h, 24h, 5min, 10min, 15min, 20min, 25 e 30min) de acordo com a metodologia proposta pela (CETESB, 1986), conforme os coeficiente de proporcionalidade apresentados na Tabela 3-1, para diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos), que segundo Porto et al. (2000) variam em virtude do tipo de estrutura hidráulica construída em uma determinada área.

Essa metodologia é uma alternativa para determinação das equações IDF (intensidade, duração e frequência) por meio da desagregação de dados diários obtidos de pluviômetros a partir dos fatores de proporcionalidade, para locais como o estado do Rio Grande do Norte que não dispõe de registros de chuva de várias durações obtidos de pluviógrafos, que nem sempre são disponíveis, (ANA, 2011).

Tabela 3-2 - Fatores de desagregação de chuva de 1 dia

Relação	Constante	Multiplicado por	Desagrega para
24h/1d	1,14	$x(dia, T_r)$	$x(24h, T_r)$
12h/24h	0,85	$x(24h, T_r)$	$x(12h, T_r)$
10h/24h	0,82	$x(24h, T_r)$	$x(10h, T_r)$
8h/24h	0,78	$x(24h, T_r)$	$x(8h, T_r)$
6h/24h	0,72	$x(24h, T_r)$	$x(6h, T_r)$
4h/24h	0,63	$x(24h, T_r)$	$x(4h, T_r)$
2h/24h	0,52	$x(24h, T_r)$	$x(2h, T_r)$
1h/24h	0,42	$x(24h, T_r)$	$x(1h, T_r)$
30min/1h	0,74	$x(1h, T_r)$	$x(30min, T_r)$
25min/30min	0,91	$x(30min, T_r)$	$x(25min, T_r)$
20min/30min	0,81	$x(30min, T_r)$	$x(20min, T_r)$
15min/30min	0,70	$x(30min, T_r)$	$x(15min, T_r)$
10min/30min	0,54	$x(30min, T_r)$	$x(10min, T_r)$
5min/30min	0,34	$x(30min, T_r)$	$x(5min, T_r)$

Fonte: Carvalho (2007)

Por meio dos coeficientes apresentados na Tabela 3-2, as precipitações de diferentes durações são desagregadas, conforme as relações entre as alturas das precipitações (h) para determinadas durações e o respectivo coeficiente.

A intensidade de uma precipitação qualquer representa a relação entre a altura precipitada e sua duração. Para a estimativa da vazão máxima, a intensidade máxima da precipitação é a variável de interesse, levando-se em consideração o tempo de concentração da bacia, sendo definido como o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia escoe até o ponto de controle, exultório ou local de medição associado a um determinado período de retorno (Aragão et al., 2013).

Considerando a dificuldade em obter os parâmetros desta equação, Pruski et al. (1997) desenvolveram um procedimento para a regionalização dos parâmetros K, a, b e c para amplas áreas de abrangência.

Para determinação dos parâmetros da equação IDF, a equação 2 foi reescrita conforme a equação 9, em que o coeficiente D é descrito pela equação 10, em seguida a equação 9 foi transformada na equação da reta segundo as propriedades dos logaritmos, conforme a equação 10, já os parâmetros K e a foram determinados de acordo com a equação 11.

$$I_m = \frac{D}{(t+b)^c} \quad (9)$$

$$D = K \cdot T_r^a \quad (10)$$

$$\log l_m = \log D - c \cdot \log(t + b) \quad (11)$$

Em que: log D e c = são os coeficientes linear e angular da reta, respectivamente.

$$\log D = \log K + a \cdot \log T_r \quad (12)$$

A obtenção do parâmetro b foi feita por tentativas através da análise de regressão, buscando determinar o melhor modelo de equação de acordo com o coeficiente de determinação (R^2), sendo aplicada aos valores dos logaritmos da

intensidade de chuva ($\log l_m$) para um dado período de retorno, com relação aos logaritmos das durações ($\log t$), de acordo com (Villela & Mattos, 1975).

Em uma segunda etapa, foram gerados gráficos de dispersão, empregando-se a análise de regressão linear simples tendo como ordenadas os valores de ($\log l_m$) e como abscissas os valores de $\log(t + b)$, e assim foi estimado o coeficiente angular (c) e o linear ($\log D$), para cada período de retorno analisado, (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 500 anos). Os parâmetros K e α , também foram estimados pelo método dos mínimos quadrados, que consiste em adotar os estimadores que minimizam a soma dos quadrados dos desvios entre valores estimados e observados na amostra, empregando-se a análise de regressão linear simples.

3.3 Dimensionamento do microreservatório de retenção

Como área de contribuição do escoamento, considerou-se a área total do telhado da residência. A mesma já estava definida em planta baixa com 240 m² (Anexo A).

O tempo de concentração do telhado foi determinado pela Equação da Onda Cinemática apresentada na equação 4. O comprimento do escoamento (L) foi definido como a soma dos comprimentos laterais de um dos lados do telhado, sendo este também já estabelecido em planta com 68 metros (Anexo A). A declividade média do escoamento adotada foi a inclinação do telhado recomendada pela NBR 8039 / 1983 – (Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas) para telhas de cerâmica, sendo de 35%.

A vazão de pré e pós-urbanização foi determinada pelo Método Racional (Equação 3). O coeficiente de escoamento (C_p) de pré-ocupação adotado foi a média de C para matas, parques e campos de esporte, enquanto que o coeficiente de escoamento (C_i) para as condições atuais da bacia foi a média de C para edificação muito densa (Quadro 3-3). Para a determinação da intensidade da chuva (I_m),

utilizou-se a IDF elaborada com os dados da EMPARN. Adotando-se um TR de 5 anos por ser valor normativo de praxe em projetos de drenagem pluvial.

Quadro 3-3 - Coeficientes de escoamento superficial em função do uso e cobertura do solo

Zonas	C
Edificação muito densa: partes centrais densamente construídas, além de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
Edificação não muito densa: partes não adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: partes residenciais com construções cerradas e ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma edificação: partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção.	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Horn, et al.; (2011)

Referente à estrutura de descarga, para a determinação da área da seção transversal do orifício de saída, empregou-se a Equação 6, seguindo as recomendações de Agra (2001), adotou-se um coeficiente de descarga (C_d) de 0,61. A vazão considerada foi de pré-urbanização e a carga total sobre o eixo do tubo (H) se refere à altura do reservatório.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Equação Intensidade – Duração – Frequência

A Tabela 4-1 apresenta a série selecionada, de 23 anos, de chuvas máximas diárias registradas na Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN em ordem cronológica e decrescente. A média e o desvio padrão dos dados de precipitação foram de 73,06mm e 39,03mm, respectivamente.

Tabela 4-1 - Série selecionada de chuvas máximas diárias em ordem cronológica e decrescente

Ordem Cronológica		Ordem Decrescente	
Ano	Precipitação (mm)	Ano	Precipitação (mm)
1993	19,4	2013	203,5
1994	69,8	2010	137,5
1995	90	2002	99
1996	65,6	2011	97,5
1997	89	2004	96
1998	45	1995	90
1999	73	1997	89
2000	63	2009	86,6
2001	50	2014	80
2002	99	1999	73
2003	54	2005	71,1
2004	96	1994	69,8
2005	71,1	2007	65,6
2006	48,5	1996	65,6
2007	65,6	2000	63
2008	48,2	2015	54,6
2009	86,6	2003	54
2010	137,5	2001	50
2011	97,5	2006	48,5
2012	21,5	2008	48,2
2013	203,5	1998	45
2014	80	2016	25,1
2015	54,6	2012	21,5
2016	25,1	1993	19,4

Como a série histórica (n) foi de 23 anos, a média (y_n) e o desvio padrão (S_n) da variável reduzida (y) de Gumbel, conforme a Tabela 1 foram de 0,5283 e 1,081, respectivamente.

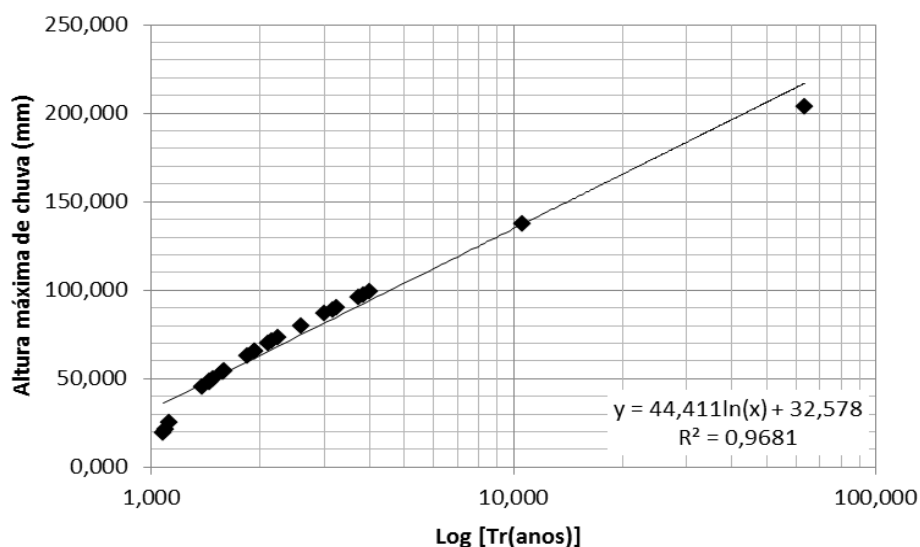
A média e o desvio padrão da amostra, bem como a média e o desvio padrão da variável reduzida de Gumbel e cada uma das precipitações máximas de um dia ao serem inseridas na Equação 8, geraram os valores da coluna 1 da Tabela 4. Empregando-se os valores da variável de Gumbel na Equação 7 foi possível obter o tempo de retorno (valores da coluna 2 da Tabela 4-2).

Tabela 4-2 - Variável "y" de Gumbel e o respectivo Tempo de Retorno

Variável Reduzida (y)	Tempo de Retorno (anos)
4,141	63,338
2,313	10,611
1,247	4,002
1,205	3,862
1,164	3,727
0,997	3,242
0,970	3,169
0,903	3,001
0,720	2,596
0,527	2,242
0,474	2,158
0,438	2,103
0,322	1,939
0,322	1,939
0,250	1,848
0,017	1,598
0,000	1,582
-0,110	1,487
-0,152	1,454
-0,160	1,448
-0,249	1,384
-0,800	1,121
-0,900	1,094
-0,958	1,080

O tempo de retorno, juntamente com suas respectivas alturas máximas de chuva foram plotados em um gráfico com as mesmas características do papel log-probabilístico e geraram a reta de ajuste apresentada na Figura 10.

Figura 9 - Gráfico da reta de ajuste dos dados de precipitação máxima em relação ao tempo de retorno.



FONTE: Autoria própria (2017)

A partir da equação do gráfico foi possível determinar as alturas de chuvas (Tabela 4-3) para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, sendo que “x” na equação corresponde ao tempo de retorno e “y”, a altura de chuva.

Tabela 4-3 - Tempo de Retorno e respectiva Altura de Chuva

Tempo de Retorno (anos)	Altura de Chuva (mm)
2	63,36067
5	104,0531
10	134,8358
15	152,8425
20	165,6185
25	175,5283
50	206,3109
100	237,0936

Depois de obtidas as alturas de chuva de 1 dia para os períodos de retorno mencionados, estimou-se as prováveis intensidades máximas médias para as durações de chuva de 5 a 1440 minutos pelo método da desagregação proposto por CETESB (1979).

Tabela 4-4 - Intensidades de chuva máximas médias em mm/h para Mossoró/RN

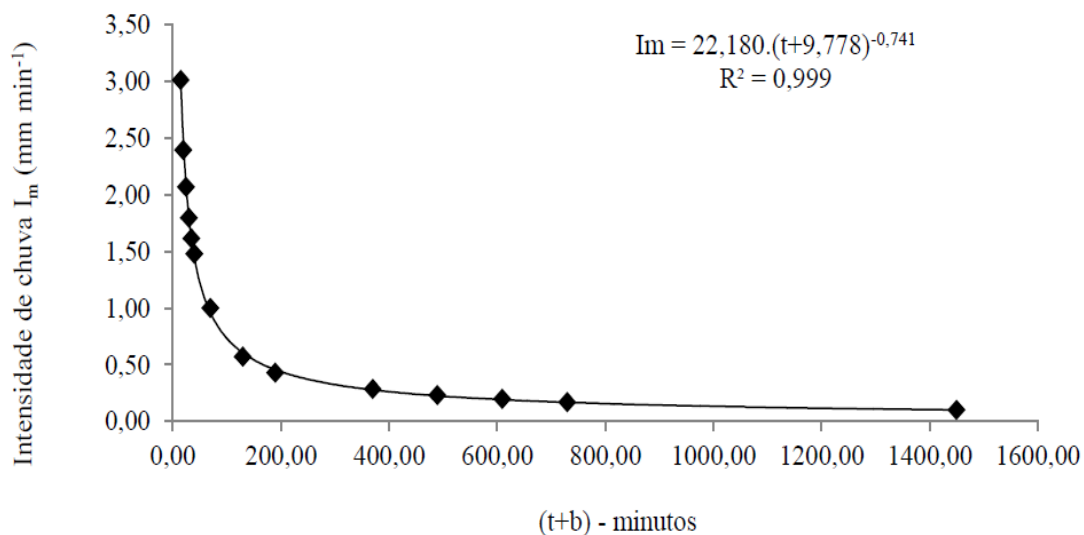
Duração (min.)	Tempo de Retorno (anos) / Intensidade máxima (mm/h)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
1 dia	2,640	4,336	5,618	6,368	6,901	7,314	8,596	9,879
1440	3,010	4,943	6,405	7,260	7,867	8,338	9,800	11,262
720	5,116	8,402	10,888	12,342	13,374	14,174	16,660	19,145
600	5,923	9,727	12,604	14,288	15,482	16,408	19,286	22,164
480	7,043	11,566	14,987	16,988	18,408	19,510	22,931	26,353
360	8,668	14,234	18,446	20,909	22,657	24,012	28,223	32,434
240	11,376	18,683	24,210	27,443	29,737	31,516	37,043	42,570
120	18,780	30,841	39,965	45,303	49,089	52,027	61,151	70,275
60	30,337	49,821	64,559	73,181	79,298	84,043	98,782	113,520
30	44,899	73,735	95,548	108,308	117,361	124,384	146,197	168,010
25	49,030	80,518	104,338	118,272	128,158	135,827	159,647	183,467
20	54,552	89,587	116,091	131,594	142,594	151,126	177,629	204,132
15	62,858	103,228	133,767	151,631	164,306	174,137	204,676	235,214
10	72,736	119,450	154,788	175,459	190,125	201,501	236,839	272,177
5	91,594	150,418	194,918	220,948	239,417	253,742	298,242	342,741

Com a obtenção dos dados intensidade de chuva, duração e tempo de retorno foi possível estimar os parâmetros K,a,b e c.

Na Figura 11, verifica-se o gráfico de dispersão que demonstra como foi determinado o parâmetro b para a cidade de Mossoró/RN, em que $b = 9,778$, sendo determinado por tentativas visando determinar o melhor modelo da equação de regressão com base no coeficiente de determinação (R^2) para um período de retorno de 10 anos, já a Figura 12, representa o gráfico da equação de regressão para a determinação dos coeficientes angular (c), em que $c = 0,741$ e o linear log D, sendo $\log D = 1,346$.

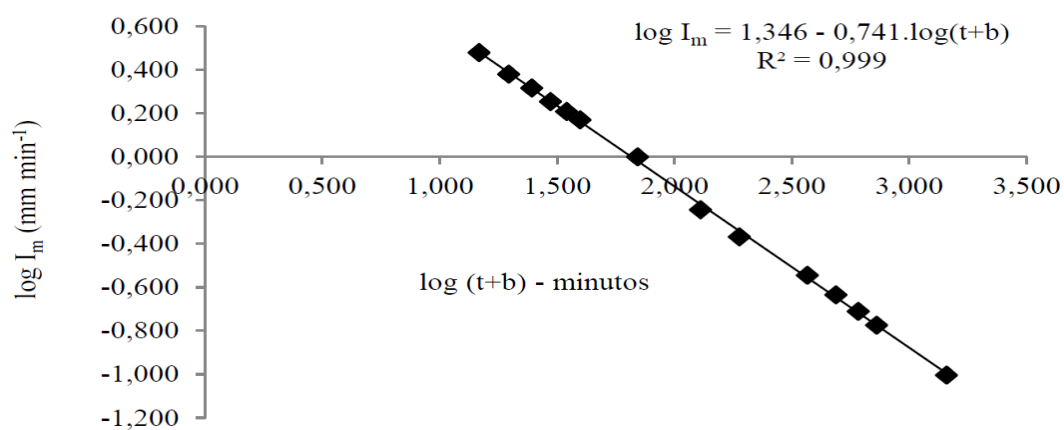
Na Figura 13, pode-se observar o gráfico de dispersão utilizado para determinar os parâmetros K e a, em que $\log K = 1,099$, portanto, $K = 10^{1,099} = 12,548$ ou $K = 12,548 \times 60 = 752,889$ horas e $a = 0,221$.

Figura 10 - Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de I_m (mm min⁻¹) e como abscissas os valores de (t+b) utilizados para a determinação do parâmetro b para a cidade de Mossoró/RN.



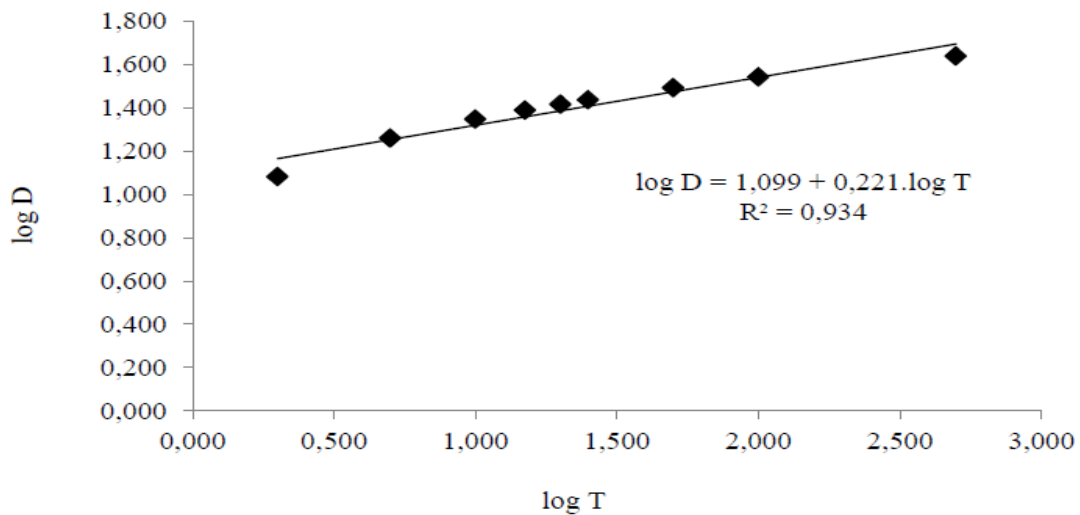
FONTE: Autoria própria (2017)

Figura 11 - Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de $\log I_m$ e como abscissas os valores de $\log (t+b)$ utilizados para a determinação do coeficiente angular (c) e o linear ($\log D$) para a cidade de Mossoró/RN



FONTE: Autoria própria (2017)

Figura 12 - Gráfico de dispersão tendo como ordenadas os valores de log D e como abscissas os valores de log T, utilizados para a determinação do coeficiente angular (a) e o linear (log K) para a cidade de Mossoró/RN.



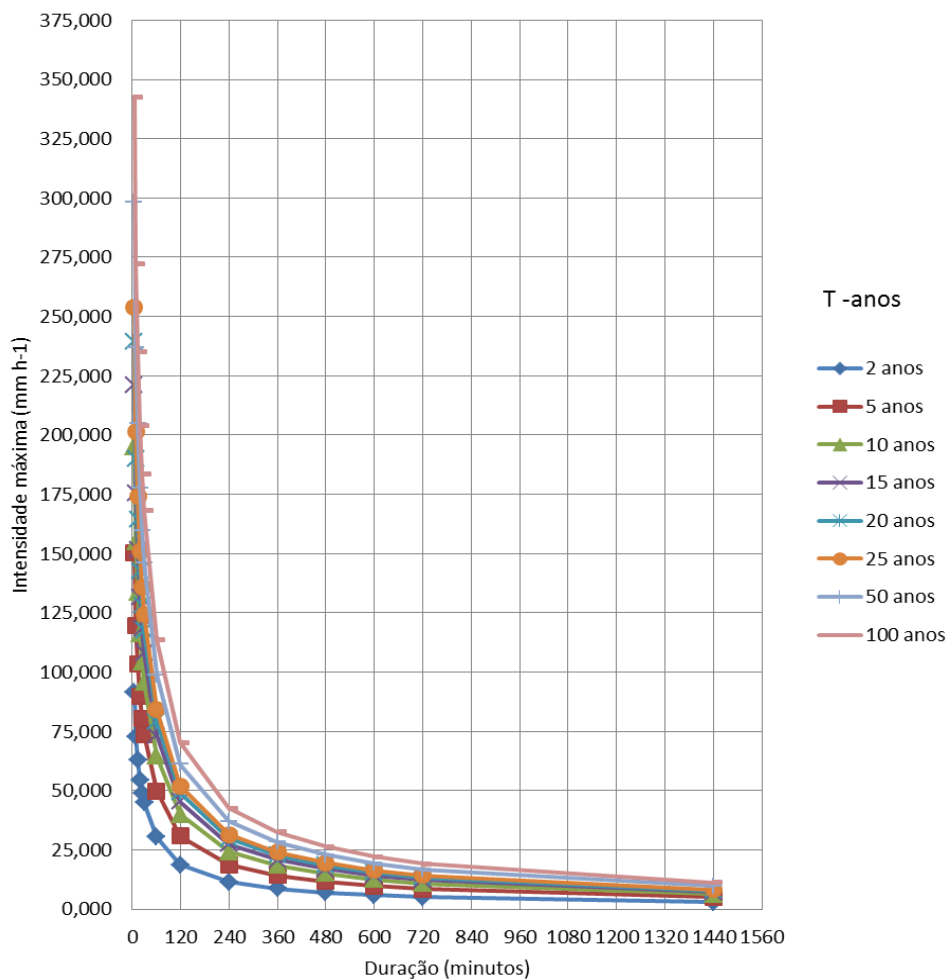
FONTE: Autoria própria (2017)

Com os parâmetros adquiridos após a análise gráfica foi possível obter a curva IDF para a cidade de Mossoró sendo válida para um período de retorno de 2 anos a 100 anos conforme a equação.

$$Im = \frac{752.889 \cdot TR^{0,221}}{(t + 9,778)^{0,7414}} \quad (12)$$

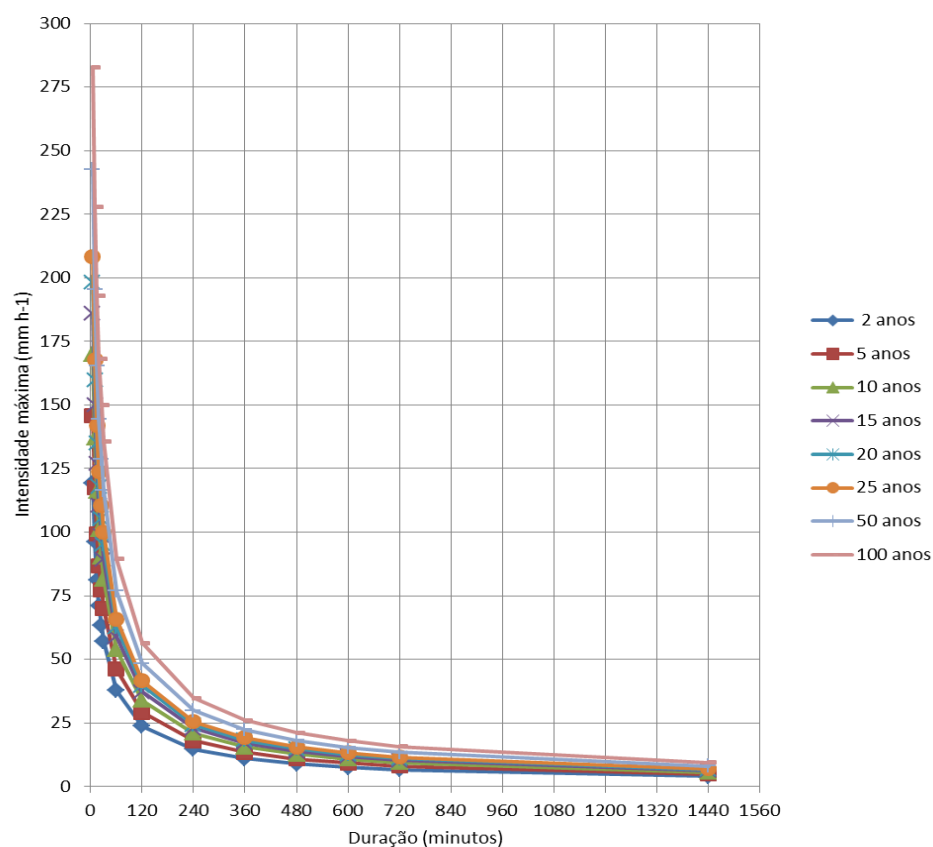
Na Figura 14, pode-se verificar a intensidade da precipitação máxima estimada pela distribuição de Gumbel para diferentes períodos de retorno para a cidade de Mossoró de 1993 a 2016. Já a Figura 15 representa a intensidade da precipitação máxima média estimada pela equação IDF - para a cidade de Mossoró com os mesmos períodos de retorno.

Figura 13 - Gráfico da Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN, determinada pela distribuição de Gumbel de 1993 a 2016.



FONTE: Autoria própria (2017)

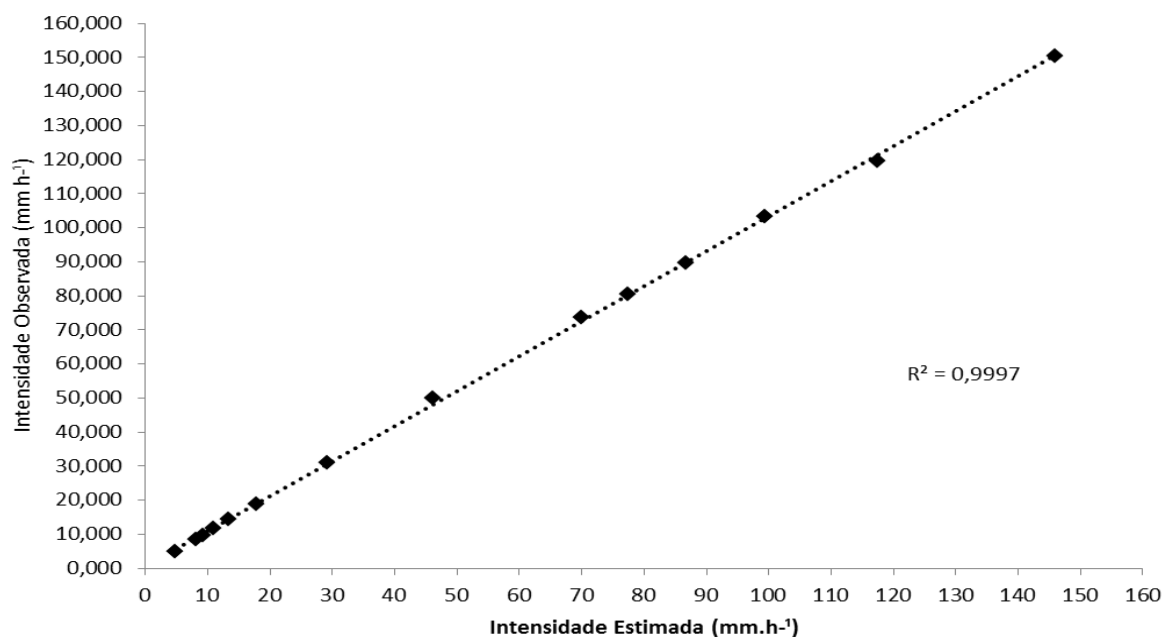
Figura 14 - Relação intensidade-duração-frequência de chuva para a cidade de Mossoró/RN, determinada pela equação IDF de 1993 a 2016.



FONTE: Autoria própria (2017)

Ao correlacionar as intensidades observadas pela distribuição de Gumbel pelas intensidades estimadas, a equação IDF apresentou, de acordo com a Figura 16, um coeficiente de regressão de 0,997 indicando uma correlação positiva elevada entre a intensidade, duração e o tempo de retorno.

Figura 15 - Gráfico de Intensidade de chuva observada pelo método de Gumbel vs estimada pela equação IDF



FONTE: Autoria própria (2017)

4.2 Microreservatório de retenção

O Quadro 4-5 apresenta os valores admitidos, necessários para o dimensionamento do microrreservatório de retenção, Segundo (PORTO et al., 2000) e apresenta também as características da residência em planta baixa. Ao associar as informações constantes no referido quadro com as equações, foi possível dimensionar o microrreservatório.

Quadro 4-5 - Dados e valores de entrada para o dimensionamento do reservatório

Dados	Valores
Área do telhado (A)	240m ²
Comprimento (L) do telhado	68 m
Declividade (S) do telhado	35%
Coeficiente de escoamento superficial para pré-urbanização (C ₁)	0,125
Coeficiente de escoamento superficial para pós-urbanização (C ₂)	0,825
Coeficiente de Manning para superfícies de concreto (η)	0,013
Tempo de Retorno (TR)	5 anos

O tempo de concentração foi determinado pelo Método da Onda Cinemática, conforme a equação 5. Substituindo os valores de L, S, η e I_m (sendo I_m a Equação 12) e resolvendo os cálculos, obteve-se a Equação 13.

$$tc = 477 \cdot \frac{(Ln)^{0,6}}{S_t^{0,3} I_m^{0,4}} \Rightarrow tc = 477 \cdot \frac{(0,013 \cdot 0,068)^{0,6}}{0,35^{0,3} \left[\frac{752.889 \cdot 5^{0,221}}{(t + 9,778)^{0,7414}} \right]^{0,4}}$$

$$t_c - 0,097 \cdot (t_c + 9,778)^{0,2965} = 0,2 \quad (13)$$

Ao obter a solução para t_c , foi possível verificar um tempo de concentração de 0,2 minutos. Moreira e Guimarães Jr. (2001) e Campos (2007) em seus trabalhos também obtiveram este valor para o tempo de concentração. Porém, de acordo com Agra (2001) o Método Racional não recomenda um tempo de duração (t_d) inferior a 5 minutos. De forma semelhante, Drumond (2012) afirma que como não existem muitos estudos sobre o tempo de concentração nos sistemas de microdrenagem, normalmente, adota-se nos projetos um tempo de concentração que varia de 5 e 10 minutos. O Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005) recomenda que no dimensionamento de microrreservatórios adote-se um tempo de concentração igual a 5 minutos. Em razão disso, utilizou-se 5 minutos para a duração da chuva de projeto.

A Curva IDF (Equação 12), associada ao TR de 5 anos e ao t_d , de 5 minutos gerou uma chuva de projeto de 145,9mm/h, conforme o desenvolvimento de cálculo:

$$I_m = \frac{752.889 \cdot TR^{0,221}}{(t + 9,778)^{0,7414}} = \frac{752.889 \cdot 5^{0,221}}{(5 + 9,778)^{0,7414}} = 145,9 \text{ mm/h}$$

As vazões de pré e pós-urbanização são, respectivamente:

$$Q_a = 0,278 \cdot C_1 \cdot I_m \cdot A \Rightarrow Q_a = 0,278 \cdot 0,125 \cdot 145,9 \cdot 240 \Rightarrow Q_a = 1,2168 \text{ l/s}$$

$$Q_d = 0,278 \cdot C_2 \cdot I_m \cdot A \Rightarrow Q_d = 0,278 \cdot 0,825 \cdot 145,9 \cdot 240 \Rightarrow Q_d = 8,0309 \text{ l/s}$$

Portanto, o volume de retenção obtido foi:

$$V = (Q_d - Q_a) \cdot t_d \cdot 60 \Rightarrow V = (8,0309 - 1,2168) \cdot 5 \cdot 60 \Rightarrow V = 2m^3$$

Este volume de armazenamento está situado na faixa de volumes determinados por outros autores, como Agra (2001), Tassi (2000) e Andrade Filho, Széliga e Szesz (2000) e Viola (2008) que obtiveram volumes de retenção entre $1m^3$ e $2,5m^3$. Para os autores a variação dos volumes pode se dar em função das diferentes taxas de ocupação, coeficientes de deflúvio, da área dos lotes e também do tempo de retorno considerado. Agra (2001) sugere que a altura do microrreservatório leve em consideração a profundidade da rede pública coletora de águas pluviais. Porém, o lote em questão não é, até o momento, assistido pela rede. Mesmo assim, limitou-se a altura do reservatório em $1m$ e, portanto o microrreservatório tem uma configuração quadrada de dimensões de $1,4m \times 1,4m \times 1m$.

Para a área da estrutura de descarga obteve-se:

$$A = \frac{Q}{C_d \sqrt{2 \cdot g \cdot H}} \Rightarrow A = \frac{0,00121}{0,61 \sqrt{2 \cdot 9,81}} \Rightarrow A = 4,47cm^2$$

A configuração de tubo que atende essa área é de aproximadamente 25 mm, porém com a finalidade de evitar problemas com entupimentos, Agra (2001) sugere que seja instalado um cesto ou uma tela de coleta de materiais grosseiros logo na entrada do microrreservatório ou numa caixa de passagem de modo a facilitar a remoção para limpeza.

No projeto de um microrreservatório é necessário prever a instalação de um extravasor de emergência. Neste projeto, foi adotado para a tubulação extravasora um diâmetro comercial de 75mm e optou-se por ligar a mesma à futura rede pluvial, haja vista que o sistema coletor de águas pluviais é uma exigência legal.

A Figura 16 apresenta o croqui de funcionamento do microrreservatório projetado como forma de permitir uma melhor visualização e entendimento do sistema.

Figura 16 - Croqui do funcionamento de um microrreservatório enterrado



FONTE: Autoria própria (2017)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste trabalho é possível fazer as seguintes considerações:

É importante que as cidades, no caso deste trabalho Mossoró/RN repensem a forma de crescimento e a necessidade concomitante de implantação de infraestrutura, em especial no que se refere ao sistema de drenagem urbana. É necessário, incorporar ao plano diretor urbano medidas de controle de águas pluviais na fonte, de modo a não haver transferência espacial de problemas, evitando o agravamento dos impactos gerados pela urbanização crescente. Neste sentido, dentre as técnicas estruturais não convencionais, os microreservatórios de retenção são dispositivos que podem ser adaptados ao meio urbano, especialmente os já consolidados.

A equação de chuvas intensas local é um subsídio imprescindível para o dimensionamento de obras de drenagem urbana. Neste estudo, verificou-se que a equação IDF proposta apresentou um coeficiente de correlação (r^2) 0,997, indicando que existe uma relação perfeitamente positiva entre a intensidade de chuva em relação à duração e o tempo de retorno. O que torna viável a utilização da curva IDF para os processos que a mesma se destina.

O microreservatório de retenção projetado, por meio do Método Racional em razão do mesmo ser o método mais simplificado e difundido no meio científico, para uma residência urbana com área de contribuição de 240 m^2 considerando um TR de 5 anos e para uma chuva de duração de 5 minutos forneceu um volume de 2 m^3 , valor compatível com a literatura consultada, demonstrando, portanto, ser uma metodologia passível de adoção.

Para trabalhos futuros existe ainda a necessidade de se fazer uma relação custo/benefício avaliado em termos da eficiência do sistema e o custo de implantação da estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, L. A., 2005. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

AGRA, S. G. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle do escoamento superficial**. 2001. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8039**: projeto e execução com telhas cerâmicas tipo francesas. Rio de Janeiro, 1983.

ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. Indicadores populacionais. 2010. ASSUNÇÃO, V. R. de. A. **Proposta de metodologia de cálculo para reservatórios de detenção em bacias hidrográficas urbanizadas**. 2012. Dissertação. (Mestrado em Engenharia)- Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986. ANDRADE FILHO, A. G. de., SZÉLIGA, M. R., SZESZ, J. R. S. Utilização de microrreservatórios de detenção para atenuação de inundações em bacias urbanas. **Revista Publicatio UEPG**. v 6, n. 01, p. 47-68, 2000.

AZEVEDO NETTO, J. M., ARAÚJO, R., FERNANDEZ, M. F., ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8ª. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BACK, A. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n. 2, p. 170-175, set. 2009.

BASTOS, P. C. **Efeitos da urbanização sobre as vazões de pico de enchente**. 2009. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

BATISTA, Marie Eugénie Malzac; SILVA, Tarciso Cabral da. O modelo ISA/JP – Indicador de Performance para diagnóstico do saneamento ambiental urbano. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro: ABES, v. 11, n. I, p. 5564, jan./mar. 2006.

BEIJO, L. A.; MUNIZ, J. A.; CASTRO NETO, P. Tempo de retorno das precipitações máximas em Lavras (MG) pela distribuição de valores extremos tipo I. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 657-667, 2005.

BERNARDES, R. S.; SCÁRDUA, M. P.; CAMPANA, N. A. **Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.

BIGARELLA, J.J. & SUGUIO, K. **Ambientes Fluviais**. Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná, Florianópolis, 2.ed, 1990.

BRASIL. Lei n. 10.257 de 10 de julho de 2001. Estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. 11 de julho de 2001.

BRASIL. Lei n. 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. 08 de janeiro de 2007.

BRASIL. Lei n. 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Brasília. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. 20 de dezembro de 1979.

BRASIL. Lei n. 9433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. 09 de janeiro de 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Avaliação de impacto na saúde das ações de saneamento: marco conceitual e estratégia metodológica**. Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Política e Plano Municipal de Saneamento Ambiental, Experiências e recomendações**. Brasília, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 01 de 23 de janeiro de 1986. Estabelece os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. 17 de fevereiro de 1986.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 237 de 19 de dezembro de 1997. Estabelece a revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental, instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. 22 de dezembro de 1997.

CAMPOS, J. B. N. de. **Análise hidrológica experimental de lotes urbanos sob formas diferenciadas de ocupação e controle da inundação**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. **Análise de chuvas intensas a partir da desagregação das chuvas diárias de Lages e Campos Novos (SC)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa. v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.

CARVALHO, R. G. de. **Obtenção da curva de intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas para a Bacia Hidrográfica do Igarapé Murupu**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2007.

CECÍLIO, R. V. ET AL.,. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Revista Ambiente e Água**. V.4, n. 3, p. 82-92, dez. 2009.

COELHO NETTO, A.L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. (orgs). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2.ed. 1995.

COSTA JÚNIOR, L. L. da.; BARBASSA, A. P. Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Brasília, v. 11, n.1, p. 46-54, jan./mar. 2006.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais do XVII SBRH**. 2007, Recife.

CRUZ, M., ARAUJO, P., AGRA, S., SOUZA, V., COLLISCHONN, W. Valorização da água no meio urbano: um desafio possível. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais ABRH**. Aracaju, 2001.

CRUZ, M.A.S., TUCCI, C.E.M., SILVEIRA, L.L. Controle do escoamento com Detenção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 3, n.4, p.10-31, 1998.

DAEE/CETESB (1980) Drenagem Urbana, Manual de Projeto, Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento. 466p. São Paulo.

DIAS, M. C. **Índice de Salubridade Ambiental em Áreas de Ocupação Espontânea: Estudo em Salvador, Bahia**. Dissertação de Mestrado. Pós graduação em engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia, 2003.

DRUMOND, P.de. P. **Estudo da influência da reservação de águas pluviais em lotes no município de Belo Horizonte, MG**: Avaliação hidráulica e hidrológica. 2012. Dissertação. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

DUARTE, F. **Planejamento Urbano**. Curitiba: Ibpx, 2007. 177p.

EMPESA – Empresa Pernambucana de Engenharia e Construções Ltda. **Estudos E Projetos Para Estruturação De Parceriapúblico Privada Ou Concessão Comum Para Implantação, Operação E Manutenção Da Central De Tratamento De Resíduos De Mossoró/Rn**. 2015.

FELTRIN, R. M. **Comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico do solo em lisímetros de drenagem**. 2009. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

FENDRICH, R. **Canais de drenagem em pequenas bacias hidrográficas**. Curitiba-PR. 121p. 2008. 62

FERNANDES, C. A **Direito Urbanístico: o Estatuto da Cidade e seus instrumentos de política urbana**. Monografia. Universidade de Brasília. Centro Integrado de Ordenamento Territorial. Brasília – DF. 2007.

FUCHS, L. Comparison of renovation alternatives for urban storm sewers. In: **International Conference on Urban Storm Drainage**. p. 1181-1190, 1984.

GANDOLFI, Nilson. A cartografia Geotécnica no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. In: CHASSOT, Attico; CAMPOS, Heraldo (Orgs.). **Ciências da terra e meio ambiente: diálogos para (inter)ações no Planeta**. São Leopoldo: UNISINOS, 1999. p. 113-127.

GARCIAS, Carlos Mello. **Indicadores de Qualidade dos Serviços e InfraEstrutura Urbana de Saneamento**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1992. Disponível: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BTs_Petreche/BT75-%20Garcias.pdf>. Acesso em: 25. Out. 2016

GAROTTI, L. M. **Caracterização urbanística e hidrológica do uso e ocupação do solo urbano da cidade de Ribeirão Preto-SP**. 2008. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

GONÇALVES, L. S. **Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite**. 2011. 9 f. Dissertação. (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GRIBBIN, J.B. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 153 p. HOLANDA, M. A. A. G. de. **Medição individualizada em edifícios residenciais: controle e redução do consumo de**

água potável. 2007. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.

HOLMSTRAND, O. Infiltration of stormwater research at chalmers University of Technology, results and examples of application. **In: International Conference on Urban Storm Drainage**. p. 1057-1066, 1984.

HORN, J. F. C.; et al.;. Coeficientes de escoamento superficial: estudo comparativo entre dados observados e literatura. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais do XIX SBRH**. 2011, Maceió.

IBGE 2010. Disponível em: <<https://ibge.org.br>> acesso em 13 out 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico de 2010, Mossoró – RN 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados históricos de precipitações**. 2013.

JUNIOR, P. R. **Aplicação Do Indicador De Salubridade Ambiental No Conjunto Habitacional Buba – Foz Do Iguaçu – PR**. Trabalho Final De Graduação. Faculdade Dinâmica Das Cataratas. 2011.

LEVATE, MORGANA. **Aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) Para Áreas Urbanas**. Estudo de Caso: Criciúma, SC. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Extremo Sul Catarinense. 2009.

LIMA, W.P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2.ed. 2008.

MAGALHÃES JR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência Francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688p.

MARQUES, C. E. B. **Proposta de método para a formulação de planos diretores de drenagem urbana**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MENDONÇA, F.A. & DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2007.

MENEZES FILHO, F. C. M. de.; COSTA, A. R. da. Verificação do dimensionamento das galerias de águas pluviais em uma sub-bacia do córrego Botafogo na cidade de Goiânia-GO. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. v. 1, n. 4, p. 1-11, 2012.

MENEZEZ, G. O. **Aplicação do Índice de Salubridade Ambiental em Comunidades Carentes e sua comparação com Comunidades Padrão: Instrumentos para Plano de Gestão Municipal**. Dissertação de Mestrado. Pós graduação em Engenharia Ambiental. Faculdade Federal de Ouro Preto, 2007.

MISSIO, E. **Proposta conceitual de zoneamento ecológico-econômico para o município de Frederico Westphalen-RS**. 2003. Tese. (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

MORAIS, L. M. F. A. **Expansão Urbana e Qualidade Ambiental no Litoral de João Pessoa – PB**. Dissertação de Mestrado. Pós graduação em Ciências Exatas e da Natureza. Universidade Federal da Paraíba. 2009.

MOREIRA, L. F. F.; GUIMARÃES, Jr., J. A. **Dimensionamento de reservatório de retenção**. In: Soluções para a drenagem urbana em países América Latina. I Seminário de 64 Drenagem Urbana do Mercosul e V Seminário Nacional de Drenagem Urbana. Porto Alegre, ABRH, 2001.

MOTA, SUETÔNIO. **Urbanização e Meio Ambiente**. 3 ed. – Rio de Janeiro: ABES, 2003 356p.

NAKAZONE, L. M. **Implantação de reservatórios de retenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU**. 2005. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B. Técnicas compensatórias em águas pluviais. In: **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

NICHOLAS, D. Techniques for on-site stormwater detention in Sydney, Austrália: quantity and quality control mechanisms for frequency staged storage. In: **International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage**. p. 503-510, 1995.

O'LOUGHLIN, G.; BEECHAM, S.; LEES, S.; ROSE, L.; NICHOLAS, D. On site Stormwater Detention System in Sydney. In: **International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage**. p. 549-556. 1995.

OLIVEIRA, L. F. C. de. et al.,. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 12, n. 6, p. 620-625, abr. 2008.

OLIVEIRA, V. de P. S. de. **Modelo para geração de séries sintéticas de precipitação**. 2003. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ONHUMA JÚNIOR, A. A. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares**. 2008. Tese. (Doutorado em Ciência da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PEREIRA, C. E.; SILVEIRA, A.; SILVINO, A. N. O. **Estudos de chuvas intensas e estimativas da equação IDF para a cidade de Barra do Bugres-MT**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. ABRH. Cuiabá, 2007.

PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo; MALHEIROS, Tadeu Fabrício. Saneamento e Saúde Pública: Integrando Homem e Ambiente. In: PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo (Ed.). **Saneamento, Saúde e Meio Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Manole, 2005. p. 3-3

PINTO, L. P. C. A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 2011. Tese. (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PIZA, F. J. T. **Indicador de salubridade ambiental. Seminário sobre indicadores de Sustentabilidade**. São Paulo. Anais, 2000.

PREFEITURA DE MOSSORÓ. Disponível em <<https://prefeiturademossoro.com.br>> acesso em 20 out 2016.

PUYOL, A. F. B.; VILLA, M. A. J. Principios y fundamentos de La hidrología superficial. Cidade do México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2006.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. **O Saneamento no Brasil: políticas e interfaces**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. p. 387.

RIBEIRO, M. F. C. **Avaliação do Índice de Salubridade Ambiental por setores urbanos dentro do conceito de Cidades Saudáveis: o caso de João Pessoa – PB**, Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. UFPB, 2004.

ROSSA, S. R. L. G. S. **contribuições para um uso mais eficiente da água no ciclo urbano: poupança de água e reutilização de águas cinzentas**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2006.

SAMPAIO, M. V. **Espacialização dos coeficientes das equações de chuvas intensas em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul**. 2011. 25 f. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de textos, 2004. 184 p.

SCHILLING, W. Cisterns against storms. In: **Featherstone, R.E. Urban systems drainage**. p. 449-460, 1982.

SILVA, N. V. S. **As condições de Salubridade Ambiental das Comunidades Periurbanas da Bacia do Baixo Gramame: Diagnóstico e Proposição de Benefícios**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 2006.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Drenagem Urbana**: aspectos de gestão. 1 ed. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2002. SYSTAT SOFTWARE INC. Sigmaplot- Scientific graphing software. Version 12.5, 2012.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<https://www.snis.gov.br>> . Acesso em 19 Out 2016.

SOSTIZZO, Ivo. Planejamento Urbano e Geografia. **Revista Tecnologia e Ambiente**. Criciúma: UFSC, v. 6, n. 2, p. 75-90, jul./dez. 2000.

SOUZA, M. C. A. **Análise das condições de Salubridade Ambiental Intra-Urbana em Santa Rita-PB**. Dissertação de Mestrado. Pós graduação em Geografia. Universidade Federal da Paraíba, 2010.

SOUZA, R. O. R. de M. et al.,. Equações de chuvas intensas para o estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n. 9, p. 999-1005, jun.2012.

SOUZA, T. F. de. **Drenagem urbana sob cenários de longo prazo visando incentivos ambientais**. 2008. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SOUZA, V. A. S. de. **Eventos de precipitação extremas na Amazônia Ocidental, Rondônia, Brasil**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Rondônia, Ji- Paraná, 2012.

SUGIO, S.; DEGUCHI, C.; KUNITAKE, M.; SUHARYANTO, A.; YAMAKAWA, Y. Use of house storage to decrease an delay te peak point in storwater discharge from small urbanized basin. In: **International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage**. 437-444, 1995.

TASSI, R. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. 2002. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e

Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TEIXEIRA, C. A. **Apostila de Hidrologia Aplicada**. 2010. 133f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

TEIXEIRA, J. C. & GUILHERMINO, R. L. **Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, empregando dados secundários do banco de dados indicadores e dados básicos para a saúde 2003**– idb 2003. Revista engenharia Sanitária e ambiental, Vol.11 - Nº 3 - jul/set 2006, 277-282.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional - IBEP, v. 1, 2009.

TSUCHIYA, A. Evaluation of on-site stormwater detention methods in urbanized areas. In: **Helliwell, P.R. Urban Storm Drainage**. p. 470-478. 1978.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: **Livro Água Doce**. Cap.14. Instituto de pesquisa hidráulica. UFRGS – Porto Alegre- RS: 1997.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 7, n.1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora UFRGS. ABRH, EDUSP, 2000.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Drenagem Urbana e Controle de Inundações. In: CHASSOT; CAMPOS, Heraldo (Orgs.). **Ciências da terra e meio ambiente: diálogos para interações no Planeta**. São Leopoldo: Attico UNISINOS, 1999. p. 151-174

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital, Recife. 2.ed, 2006.

VILLABONA, S. E. B. **Aplicabilidade de um sistema de retenção distribuída das águas pluviais na drenagem urbana**: estudo de caso na Colômbia. 2013. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

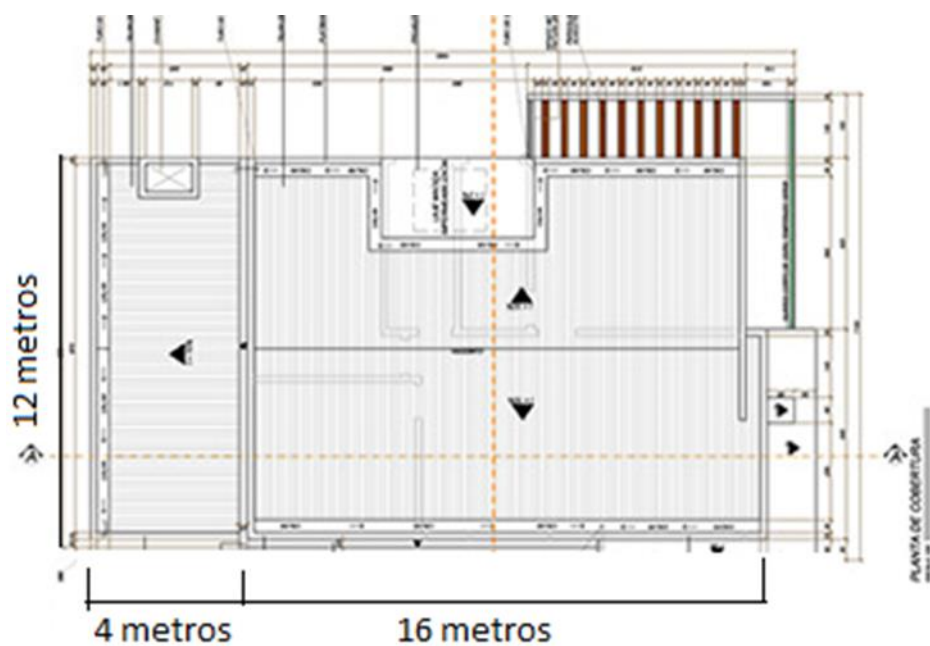
VILLANUEVA, A. O. N. et al.,. Gestão da drenagem urbana: da formulação à implementação. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. V. 8, n.1, p. 5-18, jan./jun. 2011.

VIOLA, H. **Gestão de águas pluviais em áreas urbanas**: o estudo de caso da cidade do Samba. 2008. Dissertação. (Mestrado em Ciência em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

VIRGILIIS, A. L. C. de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 6 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANEXO

Anexo A - Projeto da residência de estudo. Planta baixa.



FONTE: Autoria própria (2017)