

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

AMANDA PAULA DA SILVA WEI

**PLANEJAMENTO DE MEDIDAS ESTRUTURAIS PARA O
MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO ESCOAMENTO DO
ESTACIONAMENTO DO EDIFÍCIO VASCONCELOS
SOBRINHO (CEAGRI II) NA UNIVERSIDADE FEDERAL
RURAL DE PERNAMBUCO – CAMPUS DOIS IRMÃOS**

RECIFE – PE
JULHO/2017

AMANDA PAULA DA SILVA WEI

**PLANEJAMENTO DE MEDIDAS ESTRUTURAIS PARA O
MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO ESCOAMENTO DO
ESTACIONAMENTO DO EDIFÍCIO VASCONCELOS
SOBRINHO (CEAGRI II) NA UNIVERSIDADE FEDERAL
RURAL DE PERNAMBUCO – CAMPUS DOIS IRMÃOS**

Relatório apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção de nota da disciplina Estágio Supervisionado Obrigatório, sob orientação do Professor Dr. Vicente de Paulo Silva.

RECIFE – PE

JULHO/2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

W415p Wei, Amanda Paula da Silva
Planejamento de medidas estruturais para o manejo de águas pluviais no escoamento do estacionamento do edifício Vasconcelos Sobrinho (Ceagri II) na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos / Amanda Paula da Silva Wei. – 2017.
36 f. : il.

Orientador: Vicente de Paulo Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2018.
Inclui referências.

1. Escoamento urbano 2. Drenagem 3. Bueiros 4. Controle de inundações I. Silva, Vicente de Paulo, orient. II. Título

CDD 631

SUMÁRIO

1. IDENTIFICAÇÃO.....	1
2. TÍTULOS DO PROJETO E DO PLANO DE TRABALHO.....	1
3. RESUMO.....	2
4. INTRODUÇÃO.....	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1 Objetivo geral.....	4
5.2 Objetivos específicos.....	4
6. METODOLOGIA.....	5
6.1 Revisão bibliográfica.....	5
6.1.1 Ciclo hidrológico.....	5
6.1.1.1 Precipitação.....	5
6.1.1.2 Escoamento superficial.....	6
6.1.2 Bacia hidrográfica.....	6
6.1.3 Drenagem urbana.....	7
6.2 Área de estudo.....	10
6.3 Levantamento topográfico planialtimétrico.....	13
6.4 Determinação da declividade.....	16
6.5 Determinação da velocidade de escoamento superficial.....	16
6.6 Determinação do tempo de concentração.....	16
6.7 Determinação da intensidade de precipitação.....	17
6.8 Determinação da vazão máxima.....	17
6.9 Determinação do risco.....	18
6.10 Dimensionamento das bocas de lobo.....	18
6.10.1 Comprimento das bocas de lobo.....	18
6.10.2 Espaçamento entre as bocas de lobo.....	18
6.11 Dimensionamento da galeria.....	19
6.11.1 Diâmetro da galeria.....	19
6.11.2 Velocidade de escoamento na galeria.....	19
6.11.3 Fator hidráulico.....	20
6.11.4 Relação R_h/D e raio hidráulico.....	20
6.11.5 Tempo de percurso.....	20
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22

8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	29
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
11. PARECER DO ORIENTADOR	32

1. IDENTIFICAÇÃO

Discente: Amanda Paula da Silva Wei

Curso: Engenharia Agrícola e Ambiental

Programa: () PIBIC () PIC (X) PET IC

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Departamento: Departamento de Tecnologia Rural (DTR)

Relatório: () Parcial (X) Final

2. TÍTULO DO PROJETO

Avaliação de alternativas para o manejo de águas pluviais provenientes do escoamento superficial da área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho (CEAGRI II) na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos.

TÍTULO DO PLANO DE TRABALHO

Planejamento de medidas estruturais para o manejo de águas pluviais no escoamento do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho (CEAGRI II) na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos.

3. RESUMO

O crescimento acelerado da urbanização conjunto à ausência de um planejamento de infraestrutura urbana e de uma gestão dos recursos hídricos têm contribuído para o aumento da frequência de inundações, gerando impactos negativos no meio e na população. O estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco é um exemplo de área acometida por essas inundações, que afeta a paisagem local e causa desconforto aos seus usuários. Esta pesquisa objetivou, portanto, avaliar alternativas de esgotamento pluvial da área do estacionamento e suas formas de destino final. Para tal, foi realizado um levantamento topográfico planialtimétrico da área em estudo; calculado declividades, velocidades de escoamento, tempos de concentração, intensidades de precipitação e vazões máximas; e dimensionado as estruturas adequadas para a drenagem do estacionamento. Os resultados obtidos apontaram para a utilização de duas bocas de lobo de comprimento padrão e 0,10 metros de altura e uma galeria de 0,40 metros de diâmetro. O sistema de microdrenagem dimensionado nesta pesquisa corrige o problema das inundações na área estudada e do impacto visual que estas causam e contribui para a melhoria da qualidade de vida dos usuários do estacionamento.

Palavras-chave: boca de lobo, microdrenagem, precipitação.

4. INTRODUÇÃO

De acordo com o Atlas do Censo Demográfico, em 2010, aproximadamente 84,4% da população do Brasil ocupava o espaço urbano (IBGE, 2013). A urbanização mal planejada gera impactos negativos no meio e na população, como a deterioração da qualidade de vida, devido, entre outros fatores, ao aumento da frequência e do nível de inundações (CRUZ; TUCCI, 2008).

Diversos são as causas e efeitos da urbanização sobre as inundações. A impermeabilização do solo, por exemplo, decorrente da construção de edificações e das pavimentações, implica na redução dos processos de infiltração e retenção da água na bacia, causando aumento significativo dos deflúvios superficiais nas áreas situadas a jusante (RIGHETTO, 2009).

A drenagem urbana é um conjunto de medidas que visam minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável (BIDONE; FILHO; PORTO; TUCCI, 2013).

No entanto, a implantação de projetos de drenagem urbana inadequados, que têm como filosofia remover as águas pluviais em excesso o mais rápido possível da área projetada, agrava ainda mais a situação (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

Neste contexto, a pesquisa objetivou avaliar alternativas de esgotamento pluvial da área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos, e suas formas de destino final.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo geral

Avaliar alternativas de esgotamento pluvial da área de drenagem do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho (CEAGRI II) e suas formas de destino final.

5.2 Objetivos específicos

- (a) Caracterizar a geração do escoamento superficial existente na microbacia de contribuição do estacionamento;
- (b) Planejar medidas estruturais para o manejo de águas pluviais provenientes do escoamento superficial; e
- (c) Avaliar a sustentabilidade do sistema de drenagem no ambiente urbano.

6. METODOLOGIA

6.1 Revisão bibliográfica

6.1.1 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 2013).

De forma simplificada, pode ser descrito a partir do vapor d'água presente na atmosfera que, sob determinadas condições, se condensa formando microgotículas de água. Essas por sua vez, suspensas no ar, agrupam-se a outras partículas (gelo ou poeira) e a vapor d'água, formando aerossóis (SILVEIRA, 2013). Gradativamente, as microgotículas adquirem um volume no qual seu peso se torna maior do que as forças que as mantêm em suspensão e uma velocidade de queda superior às componentes verticais ascendentes dos movimentos atmosféricos, e precipitam (BERTONI; TUCCI, 2013).

No trajeto em direção à superfície terrestre ou após a interceptação em folhas e caules, parte da água sofre evaporação e parte infiltra no solo. Uma parcela da água infiltrada é absorvida pelos vegetais e, posteriormente, devolvida à atmosfera na forma de vapor pelo processo de transpiração; outra abastece os reservatórios subterrâneos. A partir do momento em que a superfície do solo atinge o estado de saturação, ocorre o escoamento superficial do excesso de água não infiltrado (SILVEIRA, 2013).

O ciclo hidrológico finaliza com a evaporação da água que circula nos continentes e nos oceanos para a atmosfera (SILVEIRA, 2013).

6.1.1.1 Precipitação

A precipitação é entendida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Chuva, granizo, orvalho, neve, entre outros, são formas diferentes de precipitações, que se diferenciam pelo estado em que a água se encontra (BERTONI; TUCCI, 2013).

A determinação da intensidade da precipitação é importante para o controle de inundação. Por sua capacidade de escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (BERTONI; TUCCI, 2013).

Segundo BERTONI e TUCCI (2013), as grandezas que caracterizam uma chuva são:

(a) Altura pluviométrica: espessura média da lâmina de água precipitada que recobriria a região atingida pela precipitação admitindo-se que essa água não se infiltrasse, não se evaporasse, nem se escoasse para fora dos limites da região;

(b) Duração (t): período de tempo durante o qual a chuva cai;

(c) Intensidade (i): precipitação por unidade de tempo, obtida com a relação altura pluviométrica/duração;

(d) Tempo de retorno (T_R): número médio de anos durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada. O seu inverso é a probabilidade de um fenômeno igual ou superior ao analisado se apresentar em um ano qualquer (probabilidade anual).

O estudo das precipitações máximas, entendidas como ocorrências extremas, é um dos caminhos para conhecer a vazão máxima de uma área ou bacia hidrográfica (BERTONI; TUCCI, 2013).

Para projetos de obras hidráulicas, como sistemas de drenagem, é necessário conhecer as três grandezas que caracterizam as precipitações máximas: intensidade, duração e frequência (BERTONI; TUCCI, 2013).

6.1.1.2 Escoamento superficial

O escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida, ou seja, a combinação do fluxo de pequena profundidade na superfície com escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem da bacia hidrográfica (TUCCI, 2013).

O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas (SILVEIRA, 2013). É representado quantitativamente por variáveis como vazão, profundidade e velocidade (TUCCI, 2013).

6.1.2 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente (SILVEIRA, 2013).

As técnicas hidrológicas de estudos de drenagem urbana aplicam-se a bacias hidrográficas de pequeno ou médio porte. A bacia hidrográfica de pequeno porte, ou microbacia, é aquela cuja área de drenagem é inferior a 2,5 km² ou o tempo de concentração inferior a 1 hora.

6.1.3 Drenagem urbana

A drenagem urbana inicia-se em edificações com os coletores pluviais ligados à rede pública; na drenagem superficial das sarjetas que recebe a parcela superficial das ruas, calçadas, pátios e outras áreas impermeáveis ou permeáveis que geraram o escoamento superficial (BIDONE; FILHO; PORTO; TUCCI, 2013).

A drenagem urbana é dimensionada em dois níveis principais: microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em um loteamento ou na rede primária urbana projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado. E a macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem projetados com capacidade superior aos de microdrenagem, com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

Na tabela 1 encontram-se os componentes principais do sistema de microdrenagem (BIDONE; FILHO; PORTO; TUCCI, 2013).

Tabela 1. Principais componentes do sistema de microdrenagem.

Termo	Definição
Galerias	Canalizações públicas destinadas a conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações privadas.
Poços de visita	Dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitir mudanças de direção, declividade e diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações.
Trechos	Porções de galerias situadas entre dois poços de visita.
Bocas de lobo	Dispositivos localizados em pontos convenientes nas sarjetas para captação de águas pluviais.
Tubos de ligação	Canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas de lobo para as galerias ou para os poços de visita.
Meios-fios	Elementos de pedra ou concreto colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio.
Sarjetas	Faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam.
Sarjetões	Calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas.
Condutos forçados	Obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas de maneira segura e eficiente, sem preencher completamente a seção transversal dos condutos.
Estações de bombeamento	Conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem, quando não mais houver condição de escoamento por gravidade, para outro canal em nível mais elevado ou receptor final da drenagem em estudo.

Na elaboração de um projeto de rede pluvial de microdrenagem, sugere-se, para evitar a criação de zonas mortas com alagamentos e águas paradas, que as bocas de lobo sejam localizadas em ambos os lados da via, quando a saturação da sarjeta o requerer ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de engolimento; e nos pontos mais baixos da área (BIDONE; FILHO; PORTO; TUCCI,

2013).

O diâmetro mínimo das galerias de seção circular deve ser de 0,30m. Os diâmetros comerciais correntes são: 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 1,00; 1,20 e 1,50m. (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

As bocas de lobo podem ser classificadas em bocas de guias, de sarjetas (com grelhas) e combinadas, como indica a figura 1 (BIDONE; FILHO; PORTO; TUCCI, 2013).

Figura 1. Tipos de bocas de lobo.



Cada tipo inclui variações quanto ao seu número (simples ou múltipla) e a depressões em relação ao nível da superfície normal do perímetro, como ilustra a figura 2 (BIDONE; FILHO; PORTO; TUCCI, 2013).

Figura 2. Variações dos tipos de boca de lobo.



6.2 Área de estudo

A pesquisa foi conduzida na área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho (CEAGRI II) pertencente à Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos (figura 3).

Figura 3. Área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho.



As figuras 4 e 5 ilustram a área do estacionamento inundada após um período de chuva, tornando o espaço inutilizado para seus devidos fins, reflexo da implantação de estruturas inadequadas à drenagem do local (figura 6) e da ausência de manutenção dessas estruturas (figura 7).

Figura 4. Área inundada do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho.



Figura 5. Área inundada do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho.



Figura 6. Estrutura implantada na área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho.



Figura 7. Estrutura obstruída e inundada na área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho.



6.3 Levantamento topográfico planialtimétrico

Foi realizado o levantamento topográfico planialtimétrico detalhado da área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho com espaçamento entre curvas de nível de 0,10 em 0,10 metros.

As coordenadas dos pontos que constituem a área foram coletadas percorrendo-se toda a área em zigue-zague com um receptor de sinal GNSS (Global Navigation Satellite System) (figura 8 e 9), de frequência L1 – o TechGeo, da linha Zênite 2 –, com tempo de rastreamento mínimo de 30 segundos.

O software de coleta utilizado foi o Coleta Fácil e os dados coletados foram pós-processados por meio do software GTR Processor.

A partir disso, foi elaborada uma planta topográfica planialtimétrica, na escala 1:500, utilizando o programa computacional AutoCAD.

Figura 8. Receptor de sinal GNSS – TechGeo, linha Zênite 2.



Figura 9. Receptor de sinal GNSS – TechGeo, linha Zênite 2.



Realizou-se também o nivelamento geométrico do trecho que equivale ao comprimento da calçada mais o comprimento que une a calçada ao centro de uma galeria próxima à área do estacionamento, e, a partir disso, elaborou-se um perfil longitudinal deste trecho.

Para tal, foram utilizados: um nível óptico acoplado a um tripé de alumínio, três balizas, mira de alumínio, trena e giz (para marcar os pontos).

6.4 Determinação da declividade

A declividade do trecho onde ocorre o escoamento superficial foi determinada a partir da média aritmética simples de declividades calculadas por meio da equação:

$$S = \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

Em que,

S = declividade, em m.m⁻¹;

ΔH = diferença de cota entre dois pontos, em metros;

ΔL = distância horizontal entre os mesmos dois pontos, em metros.

6.5 Determinação da velocidade de escoamento superficial

A velocidade de escoamento superficial foi determinada por meio da equação:

$$V = K \times S^{1/2}$$

Em que,

V = velocidade de escoamento, em m.s⁻¹;

K = fator de escoamento em função do tipo de superfície;

S = declividade, em m.m⁻¹.

6.6 Determinação do tempo de concentração

Para a determinação do tempo de concentração foram utilizados dois métodos:

Soil Conservation Service – método cinemático:

$$t_c = \frac{L}{V}$$

Em que,

t_c = tempo de concentração, em segundos;

L = comprimento do trecho onde ocorre o escoamento, em metros;

V = velocidade de escoamento, em m.s⁻¹.

Equação de Onda Cinemática-Manning:

$$t_c = \frac{5,474 \times (n \times L)^{0,8}}{P_{24}^{0,5} \times S^{0,4}}$$

Em que,

t_c = tempo de concentração, em minutos;

S = declividade do trecho onde ocorre o escoamento, em $m.m^{-1}$;

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

L = comprimento do escoamento, em metros;

P_{24} = precipitação com 24 horas de duração, em milímetros.

6.7 Determinação da intensidade de precipitação

Para a determinação da intensidade de precipitação foi utilizada a equação IDF para o município de Recife obtida por meio de estudos realizados por Silva e Araújo (2013):

$$i = \frac{1380,2176 \times T_R^{0,19369}}{(t + 22)^{0,78201}}$$

Em que,

i = intensidade de precipitação, em $mm.h^{-1}$;

T_R = tempo de retorno, em anos;

t = duração da chuva, em minutos.

6.8 Determinação da vazão máxima

A vazão máxima, necessária para o dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana, foi determinada pela equação do método racional:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{360}$$

Em que,

Q = vazão máxima, em $m^3.s^{-1}$;

C = coeficiente de escoamento;

i = intensidade de precipitação, em $mm.h^{-1}$;

A = área da bacia, em hectares.

6.9 Determinação do risco

O risco de ocorrer uma precipitação superior em um dado intervalo de tempo para a vida útil da obra, e, portanto, o projeto apresentar falhas, foi mensurado por meio da equação:

$$R = 100 \times \left[1 - \left(1 - \frac{1}{T_R} \right)^N \right]$$

Em que,

R = risco, em %;

T_R = tempo de retorno, em anos;

N = vida útil, em anos.

6.10 Dimensionamento das bocas de lobo

6.10.1 Comprimento das bocas de lobo

O comprimento das bocas de lobo foi determinado utilizando a equação de capacidade de engolimento adaptada:

$$L_{BL} = \frac{Q}{1,7 \times y^{3/2}}$$

Em que,

L_{BL} = comprimento da boca de lobo, em metros;

Q = vazão, em $m^3 \cdot s^{-1}$;

y = altura de água próxima à abertura na guia, em metros.

6.10.2 Espaçamento entre as bocas de lobo

A distância entre as bocas de lobo foi determinada utilizando a equação:

$$\Delta X = \frac{2000 \times Q}{60 \times C \times i \times L}$$

Em que,

ΔX = distância entre as bocas de lobo, em metros;

Q = vazão, em $L \cdot s^{-1}$;

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade de precipitação, em $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$;

L = comprimento do escoamento, em metros.

6.11 Dimensionamento da galeria

6.11.1 Diâmetro da galeria

O diâmetro da galeria foi dimensionado por uma expressão deduzida utilizando-se a equação da continuidade e fazendo-se, na equação de Manning, $R = \frac{D}{4}$ (seção plena):

$$D = 1,55 \times \left(\frac{Q \times n}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

Em que,

D = diâmetro, em metros;

Q = vazão, em $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$;

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

S = declividade, em $\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$.

6.11.2 Velocidade de escoamento na galeria

Para a determinação da velocidade de escoamento na galeria utilizou-se a equação:

$$V = \frac{R_h^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

Em que,

V = velocidade de escoamento, em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;

R_h = raio hidráulico, em metros;

S = declividade, em $\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$;

n = coeficiente de rugosidade de Manning.

6.11.3 Fator hidráulico

Para determinar o raio hidráulico real e, portanto, a velocidade efetiva de escoamento na galeria, foi calculado o fator hidráulico (F_h) da seção circular por meio da equação:

$$F_h = \frac{Q \times n}{D^{8/3} \times S^{1/2}}$$

Em que,

F_h = fator hidráulico;

Q = vazão, em $m^3 \cdot s^{-1}$;

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

D = diâmetro da galeria, em metros;

S = declividade, em $m \cdot m^{-1}$.

6.11.4 Relação R_h/D e raio hidráulico

A partir do valor calculado de fator hidráulico obteve-se o valor tabelado correspondente para a relação R_h/D a partir da tabela 2.

Tabela 2. Relações para fator hidráulico de seções circulares (F_h de 0.251 a 0.333)

F_h	R_h/D
0,2511	0,2933
0,2560	0,2948
0,2610	0,2962
0,2658	0,2975
0,2705	0,2988
0,2752	0,2998
0,2798	0,3008
0,2842	0,3017
0,2886	0,3024
0,2928	0,3031
0,2969	0,3036
0,3009	0,3040
0,3047	0,3042
0,3083	0,3043
0,3118	0,3043
0,3151	0,3041
0,3183	0,3038
0,3212	0,3033

0,3239	0,3026
0,3264	0,3018
0,3286	0,3007
0,3305	0,2995
0,3322	0,2980
0,3335	0,2963
0,3345	0,2944
0,3351	0,2921
0,3353	0,2895
0,3349	0,2865
0,3339	0,2829
0,3222	0,2787
0,3294	0,2735
0,3248	0,2666
0,3117	0,2500

O raio hidráulico foi obtido por meio da multiplicação da relação R_h/D pelo diâmetro calculado.

6.11.5 Tempo de percurso

O tempo de percurso do escoamento na galeria foi obtido pela equação de movimento uniforme:

$$t_p = \frac{L}{V}$$

Em que,

t_p = tempo de percurso, em segundos;

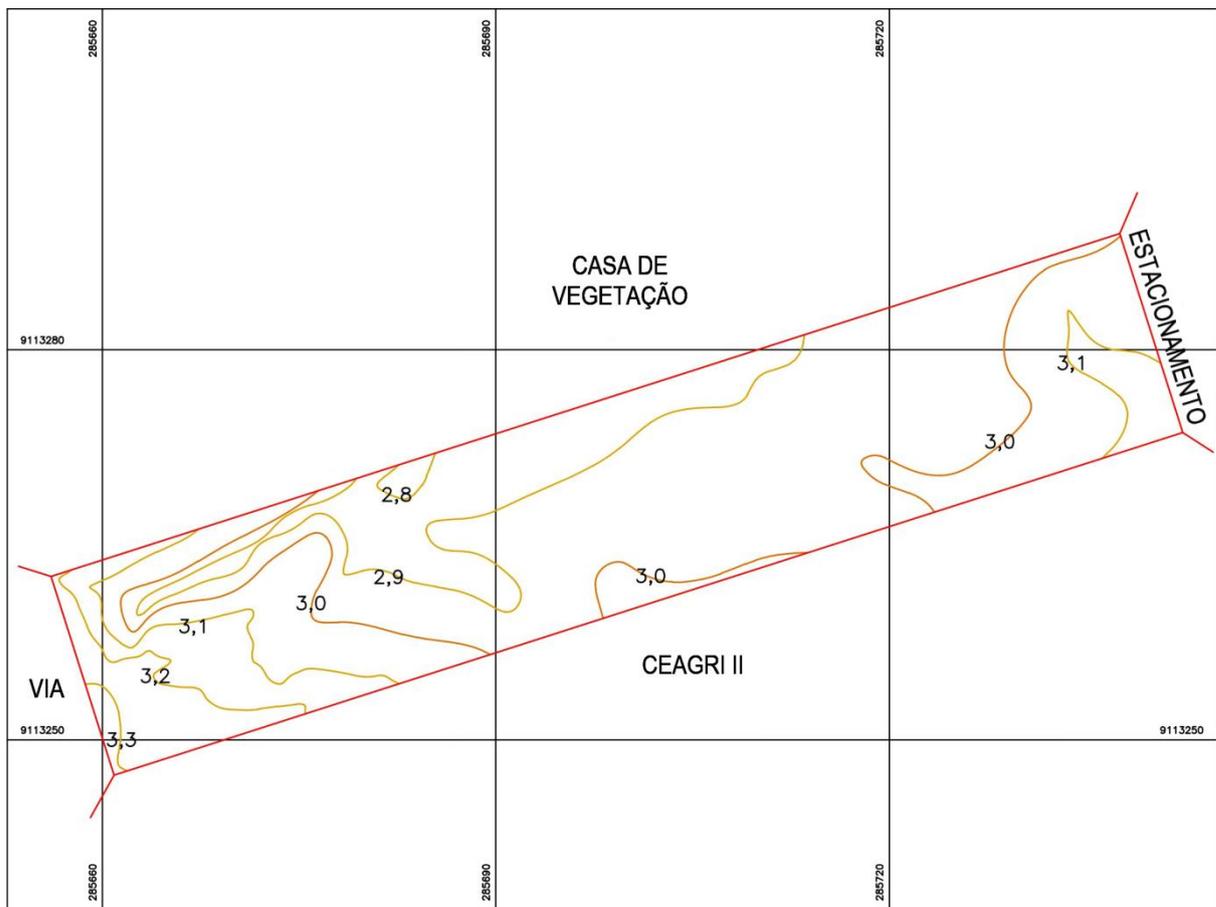
L = comprimento do trecho, em metros;

V = velocidade de escoamento no trecho, em $m.s^{-1}$.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 10 apresenta a planta topográfica planialtimétrica da área em estudo, elaborada na escala 1:500 e com espaçamento entre curvas de nível de 0,10 em 0,10 metros.

Figura 10. Planta topográfica planialtimétrica da área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho.



LEGENDA

— LIMITE - POLIGONAL DE CONTORNO

— CURVA MESTRA

— CURVA AUXILIAR

⊕ MARCO

Na tabela 3 estão apresentados os dados da bacia de contribuição, isto é, da

área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho, identificados na planta (área, perímetro e comprimentos do estacionamento e do trecho onde ocorre o escoamento) e os determinados por meio de equações (declividade do trecho onde ocorre o escoamento e velocidade de escoamento).

Tabela 3. Dados da bacia de contribuição em estudo.

Dados	Valor
Área do estacionamento (m ²)	1372,4
Perímetro do estacionamento (m)	203,37
Comprimento do estacionamento (m)	87,5
Comprimento do trecho onde ocorre o escoamento (m)	16
Declividade do trecho onde ocorre o escoamento (m.m ⁻¹)	0,007
Velocidade de escoamento (m.s ⁻¹) *	0,05

* Para fator de escoamento igual a 0,61.

Como a área do estacionamento é uma microbacia ($\leq 2 \text{ km}^2$), o valor utilizado de duração da chuva (t) para a determinação da intensidade de precipitação corresponde ao tempo de concentração (t_c) da bacia (TUCCI, 2013).

Para a determinação das vazões máximas de escoamento superficial pelo método racional foi utilizado o tempo de concentração calculado por dois métodos diferentes e o tempo de concentração padrão de 10 minutos.

A tabela 4 ilustra os resultados obtidos para as vazões máximas em função do tempo de concentração, da intensidade de precipitação para os respectivos tempos de concentração e tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos, que é o intervalo aplicado para sistemas de microdrenagem (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

Tabela 4. Valores de tempo de concentração, intensidade de precipitação e vazão máxima para tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos.

Métodos	t_c (min)	i (mm.h ⁻¹)	i (mm.h ⁻¹)	i (mm.h ⁻¹)	Q (L.s ⁻¹)	Q (L.s ⁻¹)	Q (L.s ⁻¹)
		$T_R = 2$ (anos)	$T_R = 5$ (anos)	$T_R = 10$ (anos)	$T_R = 2$ (anos)	$T_R = 5$ (anos)	$T_R = 10$ (anos)
Padrão	10	105,01	125,40	143,42	38,03	45,41	51,94

SCS Cinemático	5,12	119,51	142,72	163,23	43,28	51,69	59,12
Onda Cinemática- Manning [P ₂₄ (T _R = 2) = 126,90 mm]	0,87	136,57	163,09	186,52	49,46	59,06	67,55
Onda Cinemática- Manning [P ₂₄ (T _R = 5) = 151,54 mm]	0,79	136,91	163,50	186,99	49,58	59,21	67,72
Onda Cinemática- Manning [P ₂₄ (T _R = 10) = 173,31 mm]	0,74	137,15	163,79	187,32	49,67	59,32	67,84

A P₂₄, utilizada na equação de Onda Cinemática-Manning, foi determinada utilizando a equação IDF correspondente ao município de Recife, considerando o tempo de retorno do projeto.

O valor do coeficiente de escoamento adotado para o cálculo da vazão máxima foi de 0,95, visto que a área do estacionamento apresenta uma superfície de pavimentação asfáltica (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

O risco de ocorrer uma precipitação superior em tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos para uma vida útil da obra de 50 anos, e, portanto, o projeto apresentar falhas, está apresentado na tabela 5.

Tabela 5. Risco em função do tempo de retorno.

Risco	Valor
T _R = 2 anos	100%
T _R = 5 anos	99,999%
T _R = 10 anos	99,485%

A partir dos valores estipulados, foi dimensionado o comprimento da boca de lobo (tabela 6) utilizando-se, por questões de segurança, na equação de capacidade de engolimento da boca de lobo, o maior valor de vazão máxima de escoamento

(59,32 L.s⁻¹) para um tempo de retorno de 5 anos, que é o valor frequente adotado para sistema de microdrenagem característico de áreas de prédios públicos.

O valor do coeficiente de escoamento adotado no dimensionamento da boca de lobo também foi de 0,95, devido ao revestimento da superfície.

O espaçamento entre as bocas de lobo calculado foi de 47,65 metros, aproximado para 48,0 metros por questões de praticidade.

Por apresentar um comprimento de aproximadamente 85,7 metros, o estacionamento comporta duas bocas de lobo, levando em conta a distância entre elas.

Visto que apenas uma boca de lobo de 1,10 metros é suficiente para atender à vazão da área e, no entanto, o espaçamento calculado entre bocas permite a inserção de mais uma boca de lobo na área do estacionamento, adotou-se para o projeto em questão duas bocas de lobo de comprimento de 1,0 metro cada, por ser um comprimento padrão e mais fácil de trabalhar, com abertura na guia de 0,10 metros.

Tabela 6. Valores de comprimento da boca de lobo e distância entre bocas.

Dados	Valor	Valor adotado
Comprimento da boca de lobo (m)	1,10	1,0
Distância entre bocas de lobo (m)	47,65	48,0

A distribuição das bocas de lobo ao longo do comprimento da área do estacionamento seguiu conforme a figura 11.

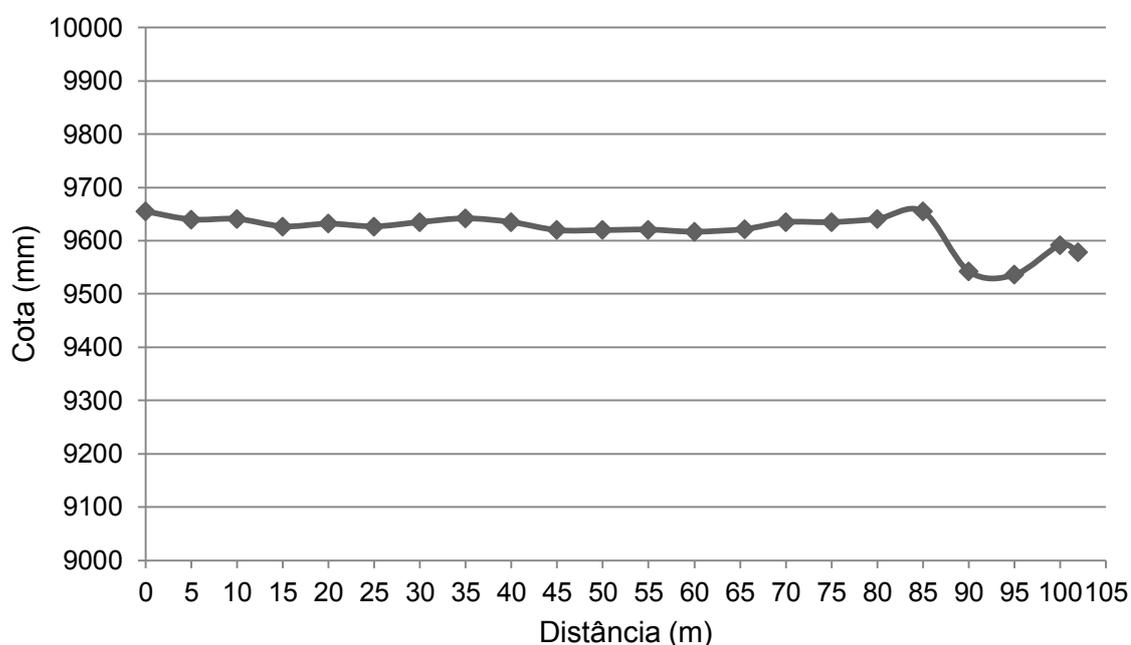
Figura 11. Ilustração da localização das bocas de lobo.*



* Ilustração fora de escala.

O cálculo da declividade para a determinação do diâmetro da galeria se deu por meio da interpolação dos pontos situados a uma distância de 15 e 20 metros do ponto inicial (figura 12) para descobrir a altura do ponto após o espaço onde está situada a primeira boca de lobo, e do ponto situado a 102 metros de distância do ponto inicial.

Figura 12. Perfil longitudinal do trecho da calçada mais o comprimento que une a calçada ao centro de uma galeria próxima à área do estacionamento.



A tabela 7 ilustra os valores obtidos de declividade do trecho que equivale ao comprimento da calçada mais o comprimento que une a calçada ao centro de uma galeria próxima à área do estacionamento e de diâmetro da galeria, adotando o coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,013.

Tabela 7. Declividade do trecho que equivale ao comprimento da calçada mais o comprimento que une a calçada ao centro de uma galeria próxima à área do estacionamento e diâmetro da galeria.

Dados	Valor	Valor adotado
Declividade ($m.m^{-1}$)	0,0006	-
Diâmetro da galeria (m)	0,42	0,50

O diâmetro adotado foi de 0,50 metros por se tratar do diâmetro comercial corrente mais próximo do diâmetro calculado.

A determinação do diâmetro da galeria adotou o valor de vazão máxima que uma única boca de lobo consegue receber, considerando toda a área do estacionamento como área de contribuição. Entretanto, em virtude da possibilidade

de implantação de mais uma boca de lobo neste sistema, foi dimensionado um novo diâmetro, considerando a metade da área do estacionamento como área de contribuição para o trecho entre a primeira (BL1) e a segunda (BL2) bocas de lobo, e a outra metade como área de contribuição para o trecho entre a segunda boca de lobo e a galeria pluvial (GP).

Os valores correspondentes à área de contribuição por trecho estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Valores de área de contribuição por trecho.

Trecho	Área (ha)	
	Trecho	Acumulado
BL1 – BL2	0,07	0,07
BL2 – GP	0,07	0,14

Na tabela 9 encontram-se os valores correspondentes ao comprimento (L) e à declividade (S) dos trechos.

Tabela 9. Valores de comprimento e declividade por trecho.

Trecho	L (m)	S (m.m ⁻¹)
BL1 – BL2	48	0,0001
BL2 – GP	34,15	0,0015

O tempo de concentração do trecho BL1–BL2 foi adotado como tempo equivalente ao tempo de concentração padrão de 10 minutos. O tempo de concentração do trecho BL2–GP equivale ao somatório dos tempos de concentração e de percurso do primeiro trecho.

Os valores calculados por trecho de tempos de concentração e de percurso, intensidade de precipitação, vazão máxima, diâmetro da galeria, relação entre o raio hidráulico e o diâmetro, e a velocidade de escoamento estão apresentados na tabela 10.

Tabela 10. Valores de tempo de concentração (t_c), tempo de percurso (t_p), intensidade de precipitação (i), vazão máxima (Q), diâmetro da galeria (D), relação R_h/D e velocidade de escoamento (V) por trecho.

Trecho	t_c (min)	t_p (min)	i (mm.h ⁻¹)	Q (L.s ⁻¹)	D (m)*	R_h/D	V (m.s ⁻¹)*
BL1 – BL2	10	4,30	125,40	23,16	0,43	0,3043	0,186
BL2 – GP	14,30	0,98	113,62	41,98	0,32	0,3043	0,583

* Para coeficiente de Manning igual a 0,014.

O resultado obtido para o fator hidráulico (F_h) foi de 0,3108. Logo, a relação R_h/D foi obtida por meio da interpolação entre os valores tabelados de 0,3083 e 0,3118 de F_h e o raio hidráulico calculado foi de 0,129 metros.

De acordo com os valores calculados, o dimensionamento aponta para a utilização de galerias de diâmetro comercial de 0,50 e 0,40 metros ao longo do primeiro e segundo trecho, respectivamente. No entanto, dado que a diferença entre o diâmetro calculado dessas galerias e o diâmetro comercial de 0,40 metros é pouco significativa, e que o aumento de diâmetro de 0,32 para 0,40 metros no segundo trecho atenderia eventuais problemas devido à redução de diâmetro do primeiro trecho, indica-se a utilização de uma galeria de diâmetro único de 0,40 metros.

Por fim, a tabela 11 apresenta as cotas à montante e jusante do terreno e do greide, e a profundidade necessária para a implantação dos condutos.

Tabela 11. Valores de cotas do terreno e do greide, e de profundidade.

Trecho	Cotas do terreno (m)		Cotas do greide (m)		Profundidade (m)	
	Montante	Jusante	Montante	Jusante	Montante	Jusante
BL1 – BL2	9,631	9,626	8,831	8,826	0,8	0,8
BL2 – GP	9,629	9,579	8,829	8,779	0,8	0,8

8. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

	2016					2017						
	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J
Revisão Bibliográfica	■	■	■	■								
Levantamento Topográfico		■	■	■								
Análise de Dados de Precipitação			■	■	■	■	■					
Avaliação de Modelos Chuva-Vazão			■	■	■	■	■	■				
Concepção de Sistemas de Drenagem Pluvial			■	■	■	■	■	■	■			

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A drenagem urbana é uma técnica de engenharia ainda empregada de forma inadequada, que se reflete no frequente aparecimento de áreas inundadas em períodos de chuvas.

O sistema de microdrenagem dimensionado e apresentado nesta pesquisa é adequado para atender à vazão de águas pluviais na área do estacionamento do Edifício Vasconcelos Sobrinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Campus Dois Irmãos.

A implantação deste sistema corrige o problema das inundações e do impacto visual que este fenômeno causa no ambiente, e contribui para a melhoria da qualidade de vida dos usuários do estacionamento, à medida que evita o desconforto causado na sua utilização.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.13, n.3, jul./set. 2008. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/abb19115d83c96bf49afa9c199f7fb64_0ad22f3d319c6cb84588fa97a05d96cf.pdf>.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006. 32p. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 156p. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/d_detalhes.php?id=264529>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: MMA, 2006. 302p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf>.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo**. 1999. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS (DEP). **Plano Diretor de Drenagem Urbana – Manual de Drenagem Urbana**. v.6. Porto Alegre, 2005. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manualdedrenagem.pdf>.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_4.pdf>.

SILVA, S. R. da; ARAÚJO, G. R. de S. Algoritmo para determinação da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.6, n.5, jul./set. 2013. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/760>>.

SWITCH. **O Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade de Porto Alegre**. Disponível em: <http://www.switchtraining.eu/fileadmin/template/projects/switch_training/files/Modules/Modules_Portuguese/Case_studies/Estudo_de_caso_Porto_Alegre.pdf>.

TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, A. L. L. DA; BENETTI, A.; LANNA, A. E. L.; BIDONE, F.; SEMMELMAN, F.; LOUZADA, J. A.; BERTONI, J. C.; FILHO, K. Z.; BELTRAME, L. F. S.; BORDAS, M. P.; PESSOA, M. L.; CAICEDO, N. L.; CHEVALLIER, P.; PORTO, R. L.; CLARKE, R. T. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. 5ª reimpr. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. 943p.

VILLANUEVA, A. O. N.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; BEMFICA, D.; TUCCI, C. Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação. **Revista REGA**, v.8, n.1, p. 5-18, jan./jul. 2011. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/73df4ffae7c67637fed63d1dc71dc43e_834c8074f62eefdeb0e9f8057c372154.pdf>.

VILLELA, S. M. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/villela-s-m-matos-a-hidrologia-aplicada-caps-1-2-e-3.pdf>>.

ZANETTI, S. S. **Modelagem hidrológica em microbacia hidrográfica da bacia do rio Paraíba do Sul**. 2007. 135 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/zanetti,ss.pdf>>.

11. PARECER DO ORIENTADOR

A estagiária desenvolveu com bastante interesse todo o trabalho, tendo obtido resultados satisfatórios para seus objetivos específicos.

Recife, 14 de julho de 2017.

Assinatura do Orientador

Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Assinatura da Discente

Amanda Paula da Silva Wei