

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

NATHÁLIA PORTUENSE PEREIRA

**DISSIPACÃO DE ENERGIA DA REDE URBANA DO PERÍMETRO DO
MUNICÍPIO DE LUIZIANA-PR**

CAMPO MOURÃO

2019

NATHÁLIA PORTUENSE PEREIRA

**DISSIPÇÃO DE ENERGIA DA REDE URBANA DO PERÍMETRO
DO MUNICÍPIO DE LUIZIANA-PR.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof^a. Dr(a). Paula Cristina de Souza.

CAMPO MOURÃO

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

**DISSIPACÃO DE ENERGIA DA REDE URBANA DO PERÍMETRO DO MUNICÍPIO DE
LUIZIANA-PR**

por

Nathália Portuense Pereira

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 17h30min do dia 05 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eudes José Arantes

(UTFPR)

Prof. Dr. Helton Rogério Mazzer

(UTFPR)

Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza

(UTFPR)

Orientadora

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr(a). Paula Cristina de Souza

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer a Deus, por ter me fortalecido nos momentos que achei que não conseguiria mais concluir essa graduação.

Aos meus familiares, pelo amor incondicional e por sempre me apoiarem em todas as decisões que tomei até chegar aqui. Sei que muitas vezes estive ausente e, mesmo com a distância, vocês me deram o suporte necessário nos dias que mais precisei. Serei eternamente grata a vocês pai, mãe, irmã, tia, sobrinhos, primos e cunhado. Enfim, todos vocês tiveram um papel fundamental nessa conquista.

Meus queridos amigos, que foram minha família ao longo destes anos. Com vocês pude contar nos momentos de tristeza, felicidade, doença e necessidade. Vocês foram essenciais nesta conquista. Hoje sei que mais do que amigos eu fiz irmãos.

À minha companheira Geane, que durante os três últimos anos esteve ao meu lado e, com muita paciência e amor, passou comigo por todas as dificuldades e ajudou a me tornar uma pessoa mais forte. Obrigada por tudo que fez e faz por mim!

Agradeço ainda, aos meus professores de graduação, principalmente a minha orientadora Prof.^a Dra. Paula Cristina de Souza, que me ensinou e auxiliou no decorrer desses anos de faculdade e no presente estudo.

Por último, e não menos importante, gostaria de agradecer a mim mesma, que sempre tive esperança e força para enfrentar as várias noites sem dormir e me dediquei inteiramente aos estudos para, enfim, me tornar engenheira.

RESUMO

A intensa urbanização e ocupação dos solos juntamente com a falta de planejamento urbano ambiental, resultaram em graves consequências em relação ao curso natural da drenagem. Elementos naturais como rios, riachos e coberturas vegetais que auxiliavam no percurso natural da água foram substituídos por elementos artificiais que contribuem para a impermeabilidade do solo. A drenagem urbana busca solucionar os problemas causados pela ocupação nos centros urbanos e diante da alta energia piezométrica da água ao ser descartada em leitos de rios surge a necessidade do dimensionamento de um dissipador de energia. O método estudado por Carlos A. Gonçales e Hubert Chanson é empregado no presente trabalho para o dimensionamento de uma escada hidráulica de pequeno porte em conjunto com um dissipador de energia do Tipo I. Em resposta, obteve-se a eficiência do modelo dimensionado, pois constatou-se através dos cálculos a perda de 76,08 % de energia reduzindo a velocidade a jusante para 1,08 m/s contribuindo para um escoamento sem agredir o terreno.

Palavras-chave: Dissipador de energia. Drenagem Urbana. Escada hidráulica.

ABSTRACT

The intense urbanization and occupation of soils together with the lack of environmental urban planning, resulted in serious consequences in relation to the natural course of drainage. Natural elements such as rivers, streams and plant roofs that assisted in the natural water path were replaced by artificial elements that contribute to soil impermeability. Urban drainage seeks to solve the problems caused by occupation in urban centers and in the face of the high piezometric energy of water when discarded in river beds arises the need to dimension an energy sink. The method studied by Carlos A. Gonçalves and Hubert Chanson is used in the present work to dimension a small hydraulic ladder together with a Type I energy sink. In response, the efficiency of the scaled model was obtained, as it was verified through calculations the loss of 76.08 % of energy reducing downstream speed to 1.08 m/s contributing to a flow without assaulting the terrain.

Keywords: Power sink. Urban Drainage. Hydraulic ladder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrograma Vazão x Tempo.	16
Figura 2 - Boca de lobo.	17
Figura 3 - Etapas do PDDU.	20
Figura 4 - Processos erosivos.	22
Figura 5 – Voçoroca.	22
Figura 6 - Esquema dissipador de energia do tipo escada hidráulica com Bacia de dissipação do Tipo I ou III.	26
Figura 7 - Esquema em corte lateral do dissipador de energia do tipo escada hidráulica com Bacia de dissipação do Tipo I ou II.	26
Figura 8 - Dissipador de energia do tipo escada hidráulica.	26
Figura 9 - Localização do Município de Luiziana.	27
Figura 10 - Escada hidráulica em conjunto com bacia de dissipação do Tipo I	42
Figura 11 - Alturas dos níveis de água na seção y_1 e y_2	43
Figura 12 - Trecho da Área Central de Luiziana.	47
Figura 13 - Lagoas de dissipação.	48
Figura 14 - Formação de Ravinas.	49

LISTA QUADROS

Quadro 1 - Valor limite das áreas para o cálculo racional.	30
Quadro 2 - Quadro resumo	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores dos coeficientes de Runoff.....	19
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comprimento do ressalto hidráulico L em função de y_2	44
Gráfico 2- Perda de energia no ressalto hidráulico na bacia de dissipação de fundo plano Tipo I do USBR.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
USBR	United States Bureau of Reclamation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	15
4.1	Urbanização e Drenagem urbana	15
4.2	Microdrenagem	16
4.3	Macro drenagem	18
4.4	Coeficiente de Runoff	18
4.5	Plano diretor de drenagem urbana (PDDU)	19
4.6	Processos erosivos	21
4.7	Controle da erosão urbana	23
4.8	Dissipador de energia do tipo escada hidráulica	24
5	METODOLOGIA	27
5.1	Localização	27
5.2	Levantamento teórico	28
5.3	Caracterização das redes de drenagem	28
5.3.1	Visitas <i>in loco</i>	28
5.4	Dados da bacia	28
5.4.1	Coeficiente de Runoff	28
5.4.2	Intensidade de precipitação	29
5.4.3	Área de contribuição	29
5.4.4	Vazões de pico	30

5.5 Método Racional	30
5.6 Dissipadores de energia.....	31
5.7 Dimensionamento do dissipador de energia do tipo escada hidráulica.....	32
5.7.1 Determinação da vazão de pico	32
5.7.2 Largura da escada hidráulica.....	32
5.7.3 Comprimento do Canal de transição (L)	32
5.7.4 Cálculo da velocidade média na distância L a partir da saída da tubulação (m/s)	33
5.7.5 Cálculo altura da água no canal de transição	34
5.7.6 Altura da parede do canal de transição	34
5.7.7 Estimativa da altura do degrau, comprimento do piso e número de degraus .	35
5.7.8 Verificação do regime <i>skimming flow</i>	36
5.7.9 Cálculo da posição do início da aeração	36
5.7.10 Cálculo da altura água + ar.....	36
5.7.11 Cálculo da velocidade de escoamento da mistura água + ar quando está se encontra na posição L_a	37
5.7.12 Cálculo da concentração média de ar presente na posição L_a	38
5.7.13 Cálculo da profundidade apenas da água na posição L_a	38
5.7.14 Velocidade da água no ponto L_a	38
5.7.15 Cálculo da velocidade de cavitação e comparação entre as velocidades V_{cr} X $V(L_a)$ água	39
5.7.16 Altura da parede da escada hidráulica	39
5.7.17 Cálculo da distância vertical para ocorrência do movimento uniforme (MU) ..	40
5.7.18 Profundidade apenas da água caso ocorra Movimento Uniforme	40
5.7.19 Cálculo da profundidade da mistura água + ar	41
5.7.20 Valor da profundidade média quando o escoamento se encontra em movimento uniforme ou não uniforme	41
5.7.21 Cálculo da velocidade “ V_1 ”	41

5.7.22 Cálculo do Número de Froude.....	42
5.8 Cálculo da Bacia de Dissipação do Tipo I	42
5.8.1 Cálculo da altura y_2 na bacia de dissipação de fundo plano do Tipo I	43
5.8.2 Cálculo da velocidade "V2" na bacia de dissipação	43
5.8.3 Cálculo do comprimento da bacia de dissipação	44
5.8.4 Cálculo da parede da bacia de dissipação do Tipo I	44
5.8.5 Cálculo da dissipação de energia somente da escada hidráulica.....	45
5.8.6 Cálculo da dissipação de energia somente no ressalto da bacia de dissipação de fundo plano.....	45
5.8.7 Cálculo da perda total de energia	46
5.9 Riprap.....	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
6.1 Obtenção dos dados.....	47
6.2 Tubulação dimensionada	48
6.3 Análise ambiental	48
6.4 Dimensionamento do dissipador de energia.....	49
7 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Os mais antigos processos de formação das cidades reportam-se ao período neolítico. Inicialmente as cidades cresciam às margens dos rios tornando-se mais complexas conforme o crescimento populacional daquela área. Os primeiros indícios de comércio surgiram com a utilização de escambo e pedras preciosas como moeda de pagamento, nascendo assim os primeiros centros urbanos. Em busca de novas oportunidades e melhores condições de vida as cidades desde então, experimentaram inúmeros processos de êxodo rural (IBEAS,2016).

No Brasil o desenvolvimento urbano se intensificou após o ano de 1950, surgindo uma concentração populacional em pequenas áreas destinadas ao comércio. As consequências da falta de infraestrutura no qual cresceram esses centros é notável no ecossistema, pois em decorrência da falta de controle do espaço urbano houve uma deterioração do espaço natural implicando em inúmeros efeitos ao meio ambiente e ao bem-estar do indivíduo (TUCCI,2008).

A eliminação da cobertura vegetal, impermeabilização do solo e a topografia do terreno, influenciam na velocidade de escoamento da água. A formação de erosões é uma consequência da alta energia da água nos emissários e por isso, há uma deterioração da infraestrutura ao redor e a degradação do solo, expondo a população a riscos. Deste modo, visando evitar possíveis catástrofes e a drenagem apropriada de água das ruas é imprescindível a elaboração de planos de drenagem urbana para o escoamento da água pluvial, assim como o dimensionamento de um dissipador de energia (MARTINS,2012).

Neste trabalho foi realizado o dimensionamento de um dissipador de energia do tipo escada hidráulica para redução do processo de erosão situada na cidade de Luiziana-PR. Para a elaboração dos cálculos, foi utilizado o método de Carlos A. Gonçalves e Hubert Chanson com escoamento do tipo *skimming flow*.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem da região central da cidade de Luiziana-PR.

2.2 Objetivos Específicos

- Levantamento das características da bacia;
- Analisar os impactos decorrentes do final da rede de drenagem estudada;
- Propor alternativa para redução do impacto observado.

3 JUSTIFICATIVA

A necessidade de ocupação das áreas urbanas transcorreu de modo acelerado e sem planejamento prévio contribuindo de maneira negativa no processo de urbanização dos grandes centros. A consequência do inevitável aumento da área de impermeabilização decorrente da implantação de edificações, ruas, calçadas e o próprio adensamento urbano contribuem para degradação do solo e conseqüentemente para a formação de erosões, causando reflexos prejudiciais ao meio ambiente e a sociedade (JATOBÁ, 2011).

Partindo do pressuposto apresentado, como forma de amenizar os problemas decorrentes da falta de infraestrutura para drenagem é de suma importância a elaboração de um sistema de drenagem urbana adequado e efetivo.

Diante do problema da erosão na cidade de Luiziana, houve a necessidade de estudar e conhecer mais sobre os processos erosivos e os meios de detenção e prevenção, assim como o dimensionamento de um dissipador de energia para a região em análise.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Urbanização e Drenagem urbana

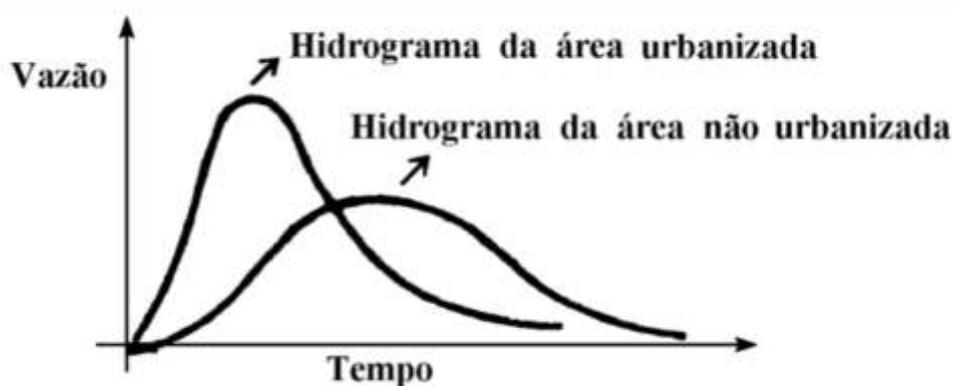
O processo de urbanização, descrito por Santos (1993), floresceu no Brasil em meados do século XVIII e se propagou no fim do século XIX nas grandes capitâneas brasileiras com o surgimento das primeiras máquinas. Somente em 1950, devido a industrialização, o fenômeno se intensificou de maneira acelerada e generalizada no qual houve uma expansão populacional em áreas urbanas de aproximadamente sete vezes e meia.

De acordo com o IBGE (2015), os brasileiros que vivem nos centros urbanos representam 84,72% da população. O processo desordenado e intenso de crescimento culminou no fenômeno de macrocefalia urbana, ocasionado quando há um número superior a capacidade da infraestrutura planejada para suportar a população de algumas cidades.

Segundo Tucci (1995), as consequências do crescimento urbano em locais impróprios e aleatórios acrescido a falta de planejamento e regulamentação adequadas implicaram em uma situação calamitosa para a infraestrutura das cidades. Um dos agravantes do processo de urbanização é o escoamento das águas pluviais que por vez devido a impermeabilização do solo, altera o caminho de escoamento da água e reduz drasticamente a quantidade de água infiltrada exigindo maior capacidade de escoamento pelos condutos.

O hidrograma unitário da figura 1, representa o comportamento da água em área com maior escoamento de água (área urbanizada) e área com reduzido escoamento de água (área não urbanizada). Observa-se que em áreas urbanizadas o tempo de pico é mais acentuado, isso porque a água pluvial tem maior dificuldade em percolar devido a impermeabilização da área, aumentando assim o volume de escoamento superficial. Já em áreas rurais, como consequência da preservação da vegetação, constata-se a maior facilidade de infiltração hídrica diminuindo deste modo o volume a ser escoado (Paz, 2004).

Figura 1 - Hidrograma Vazão x Tempo.



Fonte: Tucci (1995).

O aprimoramento da drenagem urbana avança desde o século XVIII, pois por motivos de profilaxia médica na Europa constatou-se a ligação entre mortalidade de pessoas e animais ocasionada pelo saneamento precário e o consumo de água insalubre. O conceito higienista se perpetuou pelo mundo, mas em 1960 um conceito mais profundo sobre a drenagem tornou-se preponderante, o conceito de consciência ecológica. A concepção de higiene associada com a preservação ambiental é a premissa para a realização das obras nos países desenvolvidos, porém nos países subdesenvolvidos os altos custos desse modelo ainda é um empecilho para sua implantação (DA SILVEIRA, 2002).

4.2 Microdrenagem

O planejamento de drenagem pluvial urbana tem o objetivo de conduzir o escoamento das águas da chuva de forma efetiva sem causar impactos ao ambiente.

Em Botelho (2011), encontra-se os principais dispositivos de captação de águas pluviais para o dimensionamento de obras do sistema pluvial e suas definições, das quais pode-se citar:

- As Guias também chamadas de “meios-fios”, são feitas de concreto simples ou pré-moldado. Sua fixação está disposta paralelamente as calçadas com a função de limitar as sarjetas.

- As sarjetas são canaletas receptoras de águas pluviais, limitadas pelas guias, que conduzem o escoamento das águas de vias públicas até o posterior desague em uma boca de lobo.
- A Boca de lobo consiste em uma caixa feita de alvenaria ou bloco de concreto onde há a captação horizontal da água de sarjeta. Sempre que necessário as bocas de lobo devem ser inspecionadas para a retirada de possíveis sujeiras arrastadas evitando a retenção de resíduos e o possível entupimento. Normalmente a localização desse dispositivo é feita nos cruzamentos das ruas e sua capacidade de engolimento é fixada em 40 a 60 l/s por unidade.

Figura 2 - Boca de lobo.



Fonte: Tucci (1993).

A água que escoar pela boca de lobo é direcionada através dos tubos de ligação aos poços de inspeção, onde é permitida a entrada de funcionários e maquinários para inspecionar, limpar e desobstruir o canal.

4.3 Macrodrenagem

O sistema de macrodrenagem é projetado de acordo com Miguez, Veról e Rezende (2016), para coletar o escoamento resultante dos condutos pluviais de microdrenagem e conduzir até as galerias e bacias mais próximas. Visto a necessidade de adaptar-se ao desenvolvimento urbano, os canais de drenagem naturais foram modificados pelos projetos de drenagem ao adotar estruturas hidráulicas artificiais para expandir a capacidade de escoamento da água.

4.4 Coeficiente de Runoff

Coeficiente de escoamento superficial, coeficiente de deflúvio ou coeficiente de Runoff (C) é a relação entre a quantidade total de água escoada superficialmente pela seção e a quantidade total de água precipitada pela bacia hidrográfica. (PINTO et al, 2010).

$$C = \frac{\text{Volume total escoado}}{\text{Volume total precipitado}} \quad (1)$$

Para Tomaz (2012), quando a ocupação da bacia for muito variada deve-se usar a média ponderada dos coeficientes e das áreas da bacia.

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3 + \dots + C_i \cdot A_i}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i} \quad (2)$$

no qual,

$C_1, C_2, C_3 \dots C_i$ = Coeficientes de escoamento superficial para as respectivas áreas $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i$;

$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i$ = Áreas que possuem coeficientes $C_1, C_2, C_3 \dots C_i$;

C = Coeficiente de Runoff.

Outro método empregado para a determinação do coeficiente de escoamento é a utilização de tabelas que apresentam os coeficientes para cada tipo de ocupação do solo.

Tabela 1 - Valores dos coeficientes de Runoff.

Ocupação do solo	C
EDIFICAÇÃO MUITO DENSA: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com rua e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSA: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
EDIFICAÇÃO COM POUCAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
EDIFICAÇÃO COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes	0,25 a 0,50
SUBÚRBIOS COM ALGUMA EDIFICAÇÃO: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esporte sem pavimentação	0,05 a 0,20

Fonte: Reis (2017).

4.5 Plano diretor de drenagem urbana (PDDU)

O apressurado e desorganizado processo de urbanização observado nos últimos 60 anos no Brasil tem causado graves consequências a qualidade de vida nas grandes e médias cidades. A falta de um planejamento adequado para o desenvolvimento urbano aliado a ocupação de áreas de preservação por parte da população tem contribuído para um cenário de catastróficas inundações, aumentando os riscos de insalubridade da água e epidemias (TAKAYAMA, MIYAZAWA, YAMASAKI, 2009).

De acordo com Pinheiro (2010),

O principal objetivo de um plano de drenagem urbana e manejo de águas pluviais é criar mecanismos de gestão para a bacia hidrográfica, o zoneamento urbano e as estruturas de macro e microdrenagem. Esta gestão deve estar baseada em um planejamento prévio, que vise evitar perdas econômicas, melhorar as condições de saneamento e melhorar a qualidade do meio ambiente da cidade.

Conforme Tucci (1997), um PDDU deve abranger os seguintes requisitos:

- O projeto de abastecimento de água deve considerar a expansão das cidades e a infraestrutura apropriada para articular o desenvolvimento urbano com a preservação ambiental;
- Monitorar as áreas de preservação ambiental e de várzea alertando a população dos possíveis riscos de alagamento;
- Planejamento das áreas de macro e microdrenagem para um escoamento eficaz das vias públicas.

O Plano Diretor de Drenagem Urbana deve abordar as etapas descritas a seguir:

Figura 3 - Etapas do PDDU.



Fonte: Takayama, Miyazawa, Yamasak (2009).

As medidas de controle de inundação da PDDU são classificadas como estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são definidas como aquelas nos quais é necessária uma obra de engenharia como por exemplo a ampliação, modificação e retificação de canais. As não estruturais em contrapartida são medidas

mais econômicas que promovem as diretrizes referentes ao controle, intervenção e prevenção de cheias (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA,2012).

Em suma o Plano Diretor de Drenagem Urbana busca atenuar os danos causados ao ser humano e ao ambiente de modo econômico buscando projetar e planejar medidas para prevenção de inundações.

4.6 Processos erosivos

Erosão é um processo de origem física, através do qual existe uma degradação, remoção e transporte do solo da superfície modificando a paisagem em torno (KENITIRO, 2003).

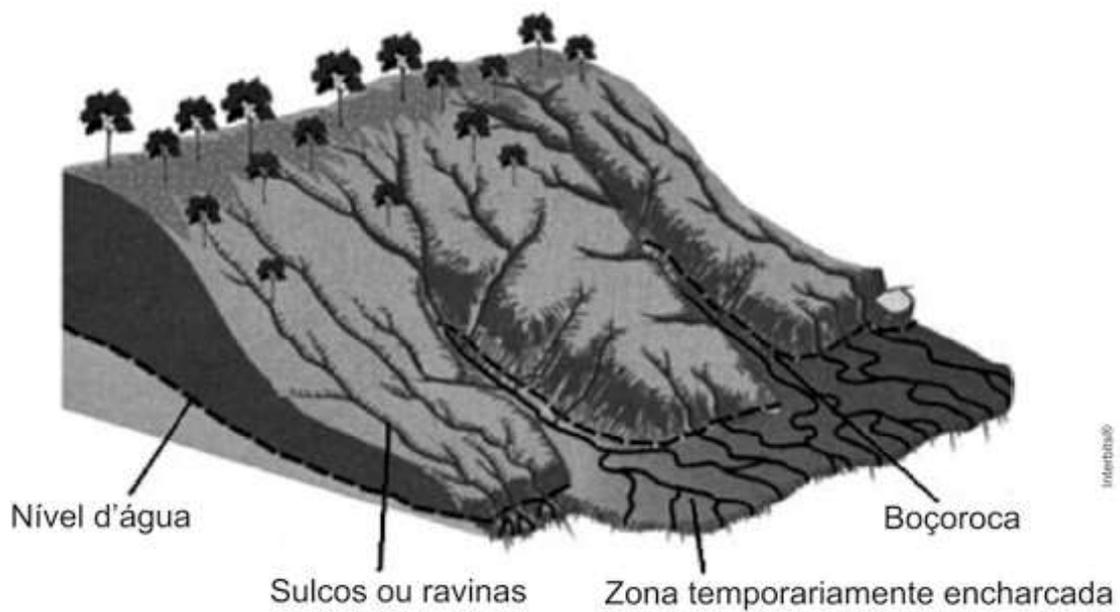
Para Carvalho (2008), os agentes erosivos classificados como ativos e passivo são elementos responsáveis pelos processos erosivos. Os agentes ativos estão representados pela água, temperatura, vento, gelo, neve e a ação humana, já o agente passivo é representado pela gravidade e ambos estão relacionados através da ação gravitacional.

Os principais tipos de erosões são classificados como erosão eólica, erosão pluvial, erosão fluvial, erosão marinha e erosão glacial. Este trabalho aprofundou-se apenas na erosão pluvial que é de essencial entendimento para sequenciar o estudo.

A erosão pluvial caracteriza-se por um processo de escoamento no qual a capacidade de infiltração da água pluvial no solo é menor que a intensidade das precipitações, formando uma erosão superficial denominada erosão laminar, de natureza mais branda que as demais formas de erosão (POLETO, *et al.*,2008).

Segundo Tucci (1995) a erosão em sulco é resultado do aprofundamento das erosões superficiais devido a maior intensidade do fluxo de água por caminhos preferenciais. Quando não há a elaboração de um projeto para tratamento os sulcos podem evoluir para formação de ravinas. A forma mais grave de erosão é designada voçoroca e é originada pelo aprofundamento das ravinas até alcançar nível do lençol freático.

Figura 4 - Processos erosivos.



Fonte: Teixeira et al (2009).

Figura 5 – Voçoroca.



Fonte: Autoria própria (2018).

4.7 Controle da erosão urbana

A erosão é um fenômeno comum ao meio ambiente, porém com o processo de urbanização e o elevado índice de impermeabilização do solo, houve uma redução da capacidade de percolação da água nas áreas urbanas aumentando assim a quantidade de deflúvio.

Os sedimentos oriundos dos processos de erosão podem causar danos a sociedade e ao ambiente. Carvalho (2008), cita os principais problemas causados pelos depósitos de sedimentos dos quais pode-se destacar:

- Assoreamento, reduzindo o nível de coluna d'água do rio diminuindo assim a velocidade da água;
- Danos ao nicho ecológico ao reduzir os alimentos disponíveis para os peixes e impedir o desenvolvimento dos ovos;
- Poluição das águas;
- Aumento da turbidez da água prejudicando a qualidade de água.

Além dos danos causados pelos sedimentos, é necessário acrescentar os danos causados pelos processos de lixiviação que empobrecem o solo reduzindo a capacidade de plantio.

Tucci (1995) sugere que para reduzir os danos causados pelo processo de erosão mantendo a integridade física das cidades, faz-se necessário a elaboração de planos de controle da erosão urbana que devem levar em consideração as características geomorfológicas (formas e dinâmica do relevo), geológicas (tipos de rocha, modos de ocorrência) e geotécnicas (características dos terrenos, propriedades dos solos e rochas). Além de um estudo sobre o aumento populacional nos próximos anos.

Depois de determinada as características da bacia são necessários o planejamento e elaboração do projeto executivo de contenção das micro e macrodrenagens, analisando as melhores opções e adequando as necessidades do local. As microdrenagens devem ser dimensionadas para captar e conduzir a água até o lançamento nos canais de macrodrenagem e seu custo é diretamente ligado ao volume de água drenado. Em compensação as macrodrenagens por se tratar de obras de maior porte possuem o custo financeira mais alto que as drenagens primarias (FILHO,2015).

Abaixo destaca-se as mais importantes obras de controle de erosão urbana citadas por Tucci (1995):

- Estabilização de taludes: normalmente realizadas através de serviços de terraplanagem, plantação de vegetação, aterramento, gabião, entre outras. Utilizado para evitar a erosão causada pelo escoamento superficial ou subterrâneo.
- Plantio de vegetação: com leguminosas ou outras plantas que se adequam a região. O plantio facilita a infiltração da água e diminui os impactos causados pela chuva no solo.
- Dissipadores de energia: são dispositivos com o propósito de conter a velocidade da água nas entradas, saídas ou ao longo da canalização reduzindo seu impacto com solo e a energia de arraste.

Para solucionar os efeitos da erosão na propriedade em estudo, neste trabalho foram realizados os cálculos do dissipador de energia do tipo escada hidráulica.

4.8 Dissipador de energia do tipo escada hidráulica

De acordo com DNIT 021/2004,

Descidas d'água são dispositivos que possibilitam o escoamento das águas que se concentram em talwegues interceptados pela terraplenagem, e que vertem sobre os taludes de cortes ou aterros. Nestas condições, para evitar os danos da erosão, torna-se necessária à sua canalização e condução, através de dispositivos, adequadamente construídos, de forma a promover a dissipação das velocidades e com isto, desenvolver o escoamento em condições favoráveis até os pontos de deságue, previamente escolhidos.

Conforme Tomaz (2012), existem três métodos para o dimensionamento da escada hidráulica. Um deles é baseado no número de Manning e o outros baseados no método *nappe flow* e *skimming flow*.

Tomaz (2012), também cita em seus estudos que existem três tipos de escoamento básicos em escada hidráulica:

- Escoamento em quedas sucessivas (*nappe flow*);
- Escoamento intermediário ou misto (zona de transição);
- Escoamento deslizante sobre turbilhões (*skimming flow*).

O escoamento do tipo *nappe flow* por necessitar de um grande espaço para a sua aplicação se torna impraticável aos fins necessários.

Da mesma maneira o escoamento de transição deve ser evitado, pois o seu comportamento não pode ser previsto totalmente.

O DNIT utiliza para os cálculos da escada hidráulica de pequeno porte uma fórmula empírica baseada na equação de Manning, porém se trata de uma simplificação do método. Para os posteriores cálculos foi empregado o escoamento *skimming flow* para o dimensionamento da escada hidráulica, pois além de ser um modelo completo e mais econômico também se mostrou, por meio de estudos, o método mais eficaz já que considera a incorporação na interface ar-água.

Para a otimização dos resultados obtendo uma maior dissipação de energia uma escada hidráulica deve conter:

- I. Canal de transição;
- II. Escada hidráulica propriamente dita;
- III. Dissipador de energia de fundo plano Tipo I ou Tipo III;
- IV. Riprap.

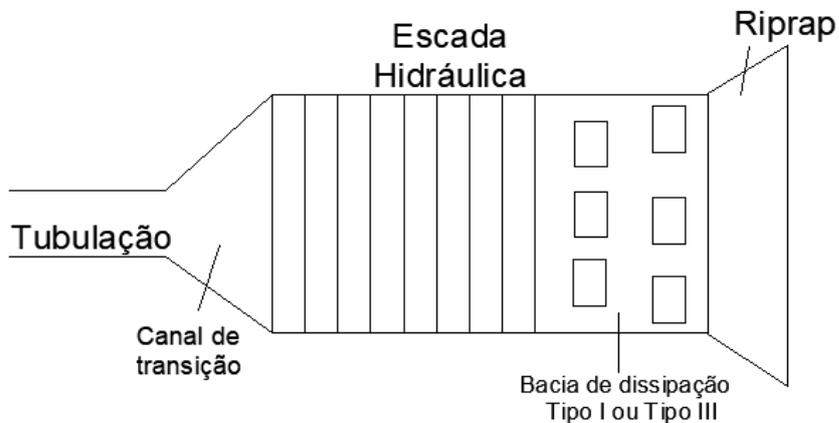
Canal de transição compreende a calha de ligação entre a saída da tubulação até o início da escada.

A escada hidráulica foi dimensionada, como citado anteriormente, de acordo com o escoamento *skimming flow*.

O dissipador de energia de fundo plano foi dimensionado de acordo com o Tipo I.

Riprap é um dissipador de energia constituído por pedras colocadas no final da Bacia de fundo plano. Conforme o valor obtido com os cálculos da energia dissipada pela escada hidráulica e pelo dissipador de fundo plano Tipo I, foi feita uma análise sobre a necessidade do dimensionamento do Riprap.

Figura 6 - Esquema dissipador de energia do tipo escada hidráulica com Bacia de dissipação do Tipo I ou III.



Fonte: adaptado de Tomaz (2012).

Figura 7 - Esquema em corte lateral do dissipador de energia do tipo escada hidráulica com Bacia de dissipação do Tipo I ou II.



Fonte: adaptado de Tomaz (2012).

Figura 8 - Dissipador de energia do tipo escada hidráulica.



Fonte: Silva Leme Engenharia Ltda, (2015).

5 METODOLOGIA

5.1 Localização

O município de Luiziana está localizado ao sul do Brasil na região Centro ocidental do estado do Paraná situado a 440 Km da capital do estado, Curitiba. Com uma população de aproximadamente 7450 pessoas ocupando uma área territorial de 906 km² e densidade demográfica de 8,2 hab./km² (IBGE 2017). Caracterizado pelo clima subtropical úmido mesotérmico com chuvas frequentes no verão. (PREFEITURA MUNICIPAL DE LUIZIANA,2014).

A hidrografia do município se caracteriza pela presença de vários efluentes dos quais destacam-se o Rio Peixinho que é responsável por banhar o Sul de Luiziana fornecendo recursos hídricos a comunidade, e os Rios Sem Passo e Campina responsáveis pelo fornecimento de água para a Usina Mourão I. (PREFEITURA MUNICIPAL DE LUIZIANA,2014).

Figura 9 - Localização do Município de Luiziana.



Fonte: IPARDES (2018).

5.2 Levantamento teórico

Para a caracterização da rede de drenagem urbana realizada neste trabalho foram utilizadas informações baseadas em livros e artigos científicos sobre drenagem urbana e dimensionamento de dissipadores de energia, sendo Carlos E. M. Tucci e Plínio Tomaz os principais atores consultados. Também foi necessário a consulta de mapas e informações adicionais para complementação do assunto abordado.

5.3 Caracterização das redes de drenagem

As redes de drenagem são canais conectados pelos quais a água pluvial escoar. Para a verificação da efetividade da rede de drenagem é necessária uma análise dos pontos no qual a água percorre até desembocar no rio. Como até o presente período o município não possui levantamento dos emissários foi necessária uma sondagem dos dados baseado em visitas *in loco* na região de Luiziana.

5.3.1 Visitas *in loco*

Foram realizadas visitas ao município de Luiziana com o objetivo de conhecer a localização e as características dos emissários de águas pluviais. Observou-se a dimensão da erosão e a preservação da vegetação, assim como a infraestrutura e a ocupação ao entorno da região estudada. Para análise dos dados foram utilizadas fotografias, vídeos e a aferição da dimensão da voçoroca com o intuito de auxiliar nos cálculos do dissipador de energia.

5.4 Dados da bacia

5.4.1 Coeficiente de Runoff

Consultando a Tabela 1, no presente trabalhado foi aplicado para os futuros cálculos um coeficiente de Runoff igual a 0,65.

5.4.2 Intensidade de precipitação

Intensidade precipitação é a relação entre a quantidade de chuva precipitada por unidade de tempo, usualmente dada em mm/h. Para cada região a intensidade de precipitação varia, pois, a mesma é influenciada pelas características locais (AZEVEDO NETTO, 1998).

Utilizando os dados fornecidos pelo software Pluvio 2.1 para as variáveis “k”, “a”, “b” e “c” foi possível calcular a equação de intensidade de precipitação a seguir:

$$I = \frac{K \cdot (Tr)^a}{(T + b)^c} \quad (3)$$

no qual,

I = intensidade média de precipitação (mm. h⁻¹);

k, a, b, c = variáveis extraídas do Pluvio 2.1;

Tr = Período de retorno (anos);

T = Duração da precipitação (minutos).

Neste trabalho de conclusão de curso foram adotados os seguintes valores para Tr e T:

Tr = 5 anos;

T = 5 minutos.

5.4.3 Área de contribuição

A bacia de contribuição é delimitada pela topografia do terreno e é determinada após a localização das redes de drenagem de acordo com o mapa de Luiziana. Foi atribuído regiões onde supostamente existam poços de visita não ultrapassando o limite de 100 metros entre cada poço de visita. Também foram atribuídos três emissários para o lançamento da água pluvial.

Para o levantamento das áreas de contribuição foi desenvolvido as etapas descritas por Costa, Siqueira e Filho (2007).

Uma observação relevante no processo do levantamento das áreas de contribuição é que foi respeitado a topografia do terreno, deste modo o desague nos emissários estão diretamente ligadas as áreas que vertem sobre ele.

5.4.4 Vazões de pico

As vazões de pico são vazões máxima provocadas por uma chuva de intensidade uniforme e constante, ocorrendo quando todas as partes da bacia contribuem simultaneamente com escoamento na seção de desague. (SILVA e CARVALHO, 2006).

Foi aplicado neste trabalho o método Racional para determinação da vazão de pico do município de Luiziana.

5.5 Método Racional

Segundo Tomaz (2012), o método racional também denominado método Lloyd-Davies é utilizado para dimensionar as tubulações de acordo com o cálculo das vazões de pico de uma bacia. O método racional deve ser empregado apenas em pequenas bacias, sendo relativo ao modo de avaliação. Portanto, as áreas de drenagem máximas são diversificadas para cada região do mundo de acordo com diferentes estudos de autores conceituados.

Quadro 1 - Valor limite das áreas para o cálculo racional.

Autores	Área	
	(ha)	(km ²)
David H. Pilgrim e Ian Cordery (Austrália) Método probabilístico, 1993	de 2000 a 50.000	20 a 500
Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo (FCTH) 1998 (*)	300	3
Wanielista et al., 1997	20 a 40	0,2 a 0,4
Ven Te Chow	40 a 81	0,4 a 0,81
DAEE, 2005 para pequenas barragens	200	2
DAEE-Cetesb	até 100	1
Porto, 1995	até 300	3
Linsley et al.	40 a 486	0,4 a 4,86
Paulo Sampaio Wilken	até 500	5
Linsley e Franzini	até 500	5
Osman Akan, 1993	até 1300	13
Califórnia Hihgways	até 4.050	40,5
Otto Pfafstetter	até 20.000	200
ASCE, 1992	até 80	0,8
Debo e Reese, 1995	até 40	0,4
Regulamento do sul da Califórnia proibe acima de oito hectares.	até 8	0,08
McCuen, 1998	Pequenas Bacias	

Fonte: Tomaz (2010).

No presente trabalho foi utilizado o valor limite de 3 km² empregado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo.

De acordo com Reis (2017), para utilização do método racional são necessárias as seguintes ponderações:

- O tempo de duração da precipitação deve ser igual ou maior que o tempo de concentração da bacia.
- A chuva tem a mesma intensidade em toda a área da bacia.
- As perdas de carga serão contabilizadas ao utilizar o coeficiente de Runoff (C) que será o mesmo para toda a área analisada.

A equação (4) a seguir expressa a fórmula do cálculo racional:

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (4)$$

no qual,

Q = Vazão de pico da bacia (m³/s);

C = Coeficiente de Runoff;

I = Intensidade média da chuva (mm/h);

A = Área da bacia em análise (ha).

5.6 Dissipadores de energia

Para evitar os danos das erosões torna-se necessário a construção adequada de dispositivos, de maneira a promover a dissipação de energia ocasionada pela velocidade e deste modo, desenvolver o escoamento sem causar danos ao meio e aos pontos de desague previamente escolhidos. (TOMAZ, 2012).

Dentre as estruturas de dissipação a Agência Nacional de Águas (2016), cita as principais bacias propostas pela USBR das quais destacam as bacias do tipo I, bacias do tipo II, Bacias do tipo III, bacias do tipo VI e as bacias do tipo IX. Outros dois tipos de dissipadores também citados pela agência são a caixa de dissipação por impacto e o vertedor em degraus que é o objeto de estudo nesse trabalho.

5.7 Dimensionamento do dissipador de energia do tipo escada hidráulica

Para os Cálculos do dimensionamento do dissipador de energia foi utilizado o modelo de Calos A. Gonçalves e Hubert Chanson da Austrália publicado pela *Dam Engineering Volume XVII*, página 223 a 244 e escrito por Tomaz (2012).

5.7.1 Determinação da vazão de pico

Para determinação da vazão de pico, velocidade de escoamento e dimensão da tubulação foi utilizado o método racional descrito anteriormente e calculado por Lanuti (2018) em seu trabalho de conclusão de curso sobre a avaliação da rede de drenagem urbana da área central do município de Luiziana-PR

5.7.2 Largura da escada hidráulica

Para garantir o regime *skimming flow* a largura da escada hidráulica deve atender a condição $B \geq 2,0 \times D$, no qual B é a largura da escada hidráulica (m) e D é o diâmetro da tubulação de chegada. Para os cálculos o valor de D é igual a 1200mm, porém é necessário atentar para obedecer ao seguinte critério $L \leq 3,60$.

5.7.3 Comprimento do Canal de transição (L)

O canal de transição é uma estrutura, com formato trapezoidal, presente entre o tubo de desague final até a entrada da escada.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

no qual,

A = Área da tubulação de chegada (m²);

D = Diâmetro da tubulação de chegada (m).

$$V = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

no qual,

V = Velocidade na tubulação (m/s);

Q = Vazão de pico (m³/s);

A = Área da tubulação de chegada (m²).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{(gd_0)}} \quad (7)$$

$$\frac{d_0}{D} = 0,433^1 \quad (8)$$

no qual,

Fr = Número de Froude;

V = Velocidade na tubulação (m/s);

$g = 9,81(\text{m/s}^2)$;

d_0 = Altura do nível de água na tubulação (m);

D = Diâmetro da tubulação de chegada (m).

$$L = \frac{(3Fr)(B - D)}{2} \quad (9)$$

no qual,

L = Comprimento de transição (m);

Fr = Número de Froude;

B = Largura da escada hidráulica (m);

D = Diâmetro da tubulação de chegada (m);

sendo $L \leq 3D$.

5.7.4 Cálculo da velocidade média na distância L a partir da saída da tubulação (m/s)

$$\frac{V_0}{V} = 1,65 - 0,45 \frac{Q}{\sqrt{gD^5}} \quad (10)$$

¹ O valor referente a relação $\frac{d_0}{D} = 0,433$ é pertinente ao valor encontrado por Lanuti (2018) e foi adotado nos cálculos.

no qual,

V = Velocidade na tubulação (m/s);

V_0 = Velocidade Média na distância L (m/s);

Q = Vazão de pico (m^3/s);

$g = 9,81(m/s^2)$;

D = Diâmetro da tubulação de chegada (m).

5.7.5 Cálculo altura da água no canal de transição

$$Q = h_2 \times B \times V_0 \quad (11)$$

no qual,

h_2 = Altura da água no canal de transição (m);

V_0 = Velocidade Média na distância L (m/s);

Q = Vazão de pico (m^3/s);

B = Largura da escada hidráulica (m);

5.7.6 Altura da parede do canal de transição

$$Fb = (Kh_2)^{0,5} \quad (12)$$

no qual,

Fb = *Freeboard* (m);

K = Varia de 0,8 a 1,4 para vazão de 0,5 (m^3/s) a 85 (m^3/s);

h_2 = Altura do nível de água no canal de transição;

$$H_{tr} = h_2 + Fb \quad (13)$$

no qual,

H_{tr} = Altura da parede do canal de transição (m);

h_2 = Altura do nível de água no canal de transição;

Fb = *Freeboard* (m).

5.7.7 Estimativa da altura do degrau, comprimento do piso e número de degraus

O Primeiro passo é o cálculo da profundidade crítica ou altura crítica (d_c) da água no início da escada hidráulica.

$$d_c = \left[\frac{Q^2}{gB^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

no qual,

d_c = Profundidade crítica (m);

Q = Vazão de pico (m^3/s);

$g = 9,81(m/s^2)$;

B = Largura da escada hidráulica (m).

A altura do degrau(h) não causa significativa diferença na dissipação de energia, variando de 0,2 a 1,0 metro de tal modo satisfaça à $1,0 < d_c/h < 3,2$ para assegurar o regime *skimming flow*

Para o cálculo do número de degraus foi necessário o valor altura total do dissipador de energia

$$n^\circ \text{ de degraus} = \frac{H_{de}}{h} \quad (15)$$

no qual,

H_{de} = Altura total do dissipador de energia (m);

h = Altura do degrau (m^3/s).

Para o cálculo do comprimento do piso do degrau (b) foi necessário o valor da projeção horizontal total do dissipador

$$b = \frac{\text{Projeção horizontal}}{\text{n}^\circ \text{ de degraus}} \quad (16)$$

5.7.8 Verificação do regime *skimming flow*

Verifica-se que o regime de escoamento é *skimming flow* segundo Chanson (1994) quando:

$$d_c/h > 1,057 - 0,465 \times h/B \quad (17)$$

Já para Boes e Hager (2003) é considerado regime *Skimming* quando:

$$d_c/h > 0,91 - 0,14 \times h/B \quad (18)$$

no qual,

B = Largura da escada hidráulica (m).

d_c = Profundidade crítica (m);

h = altura do degrau (m).

5.7.9 Cálculo da posição do início da aeração

$$L_a = \frac{\left[5,9d_c^{\frac{6}{5}} \right]}{\left[\text{sen}(\theta)^{\frac{7}{5}} \times h^{\frac{1}{5}} \right]} \quad (19)$$

no qual,

L_a = Cálculo da posição no início da aeração(m);

d_c = Profundidade crítica (m);

θ = $\text{atan}(h/b)$ (graus);

b = Comprimento do degrau (m);

h = altura do degrau (m).

5.7.10 Cálculo da altura água + ar

Primeiro, deve-se calcular o número de Froude conforme a USBR (2006)

$$Fr = \frac{\frac{Q}{B}}{\sqrt{g \operatorname{sen}(\theta) h^3}} \quad (20)$$

no qual,

Fr = Número de Froude;

Q = Vazão de pico (m³/s);

B = Largura da escada hidráulica (m);

g = 9,81(m/s²);

θ = atan(h/b) (graus);

h = Altura do degrau.

Com o número de Froude calculado prossegue-se o dimensionamento da altura da água + ar do seguinte modo:

$$y_a = 0,4hFr^{0,6} \quad (21)$$

no qual,

y_a = Altura do nível de água + ar (m);

h = Altura do degrau (m);

Fr = Número de Froude.

5.7.11 Cálculo da velocidade de escoamento da mistura água + ar quando está se encontra na posição La.

$$V(La) = \frac{q}{y_a} \quad (22)$$

no qual,

V(La) = Velocidade na posição La (m/s);

q = (Q/B) (m³/s/m);

Q = Vazão de pico (m³/s);

B = Largura da escada hidráulica (m);
 y_a = Altura do nível de água + ar (m).

5.7.12 Cálculo da concentração média de ar presente na posição La

$$C_i = 0,0012(240^\circ - \theta) \quad (23)$$

no qual,

C_i = Concentração média de ar presente na água na posição La ;
 $\theta = \text{atan}(h/b)$ (graus).

5.7.13 Cálculo da profundidade apenas da água na posição La

$$DA = y_a(1 - C_i) \quad (24)$$

no qual,

DA = Profundidade apenas da água na posição La (m);
 y_a = Altura do nível de água + ar;
 C_i = Concentração média de ar presente na água na posição La .

5.7.14 Velocidade da água no ponto La

$$V(La)_{\text{água}} = \frac{q}{DA} \quad (25)$$

no qual,

$V(La)_{\text{água}}$ = Velocidade da água no ponto La (m/s);
 $q = (Q/B)$ ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$);
 Q = Vazão de pico (m^3/s);
 B = Largura da escada hidráulica (m);
 DA = Profundidade apenas da água na posição La (m).

5.7.15 Cálculo da velocidade de cavitação e comparação entre as velocidades V_{cr} X

$$V(La)_{\text{água}}$$

O fenômeno de cavitação segundo Tomaz (2011) se caracteriza pela formação de bolhas ou cavidades em um líquido preenchidas com vapor de ar. Isso ocorre quando a água evapora devido à redução de pressão a um determinado valor. A queda de pressão é ocasionada devido a irregularidades na superfície da estrutura ou devido à alta velocidade de escoamento da água.

Deste modo, há a necessidade de se atentar para o estudo do cálculo da velocidade de cavitação para que mais adiante seja comparado com a velocidade da água no ponto La.

$$V_{cr} = \frac{16,29 + 9,91}{\left\{1 + \exp \left[\left(\frac{X}{La} - 0,60 \right) \left(\frac{1}{0,23} \right) \right] \right\}} \quad (26)$$

no qual,

V_{cr} = Velocidade crítica da qual ocorre o fenômeno da cavitação (m/s);

La = Cálculo da posição no início da aeração (m);

X = posição ao longo da calha (m);

em que o valor de “X” obedeça à $0,35La \leq X \leq 1,20La$.

Para o cálculo do referido valor de “ V_{cr} ” foi fixado a condição de que $X=0,35La$, pois nessa premissa encontra-se a maior velocidade de cavitação.

Deve-se então verificar, se $V(La)_{\text{água}} < V_{cr}$, evitando o fenômeno de cavitação.

5.7.16 Altura da parede da escada hidráulica

$$Fb = (Ky_a)^{0,5} \quad (27)$$

no qual,

Fb = *Freeboard* (m);

K = Varia de 0,8 a 1,4 para vazão de 0,5 (m³/s) a 85 (m³/s);

y_a = Altura do nível de água + ar (m);

$$H_1 = y_a + Fb \quad (28)$$

no qual,

H_1 = Altura da parede da escada hidráulica (m);

y_a = Altura do nível de água + ar (m);

Fb = *Freeboard* (m).

5.7.17 Cálculo da distância vertical para ocorrência do movimento uniforme (MU)

$$H_{dam_u} = 24d_c(\text{sen}\theta)^{\frac{2}{3}} \quad (29)$$

no qual,

H_{dam_u} = Distância vertical para ocorrência do movimento uniforme (m);

d_c = Profundidade crítica (m);

θ = $\text{atan}(h/b)$ (graus).

Não haverá ocorrência de movimento uniforme caso o valor de H_{dam_u} for maior que o valor da distância vertical estabelecida no projeto por meio do desnível entre o topo e o fim da escada (H_{de}) do local analisado.

O seguinte passo considera que foi possível a ocorrência de movimento uniforme, ficando mais adiante a partir da equação 32 o procedimento a ser seguido caso não ocorra MU.

5.7.18 Profundidade apenas da água caso ocorra Movimento Uniforme

$$h_u = d_c(0,215)(\text{sen}\theta)^{-\frac{1}{3}} \quad (30)$$

no qual,

h_u = Profundidade da água no Movimento Uniforme (m);

d_c = Profundidade crítica (m);

θ = $\text{atan}(h/b)$ (graus).

5.7.19 Cálculo da profundidade da mistura água + ar

$$d_{90} = h(0,5)Fr^{[0,1(\text{tg}\theta)+0,5]} \quad (31)$$

no qual,

d_{90} = Profundidade água-ar (m);

h = Altura do degrau (m);

Fr = Número de Froude;

θ = $\text{atan}(h/b)$ (graus).

5.7.20 Valor da profundidade média quando o escoamento se encontra em movimento uniforme ou não uniforme

$$d_1 = \frac{y_a + DA}{2} \quad (32)$$

no qual,

d_1 = Profundidade média (m);

y_a ou d_{90} = Altura do nível de água + ar (m).

DA ou h_u = Profundidade apenas da água na posição La (m).

5.7.21 Cálculo da velocidade “ V_1 ”

$$V_1 = \frac{q}{d_1} \quad (33)$$

no qual,

V_1 = Velocidade (m/s);

q = (Q/B) ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$);

d_1 = Profundidade média (m).

5.7.22 Cálculo do Número de Froude

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{(gd_1)}} \quad (34)$$

no qual,

F_{r1} = Número de Froude;

$g = 9,81(m/s^2)$;

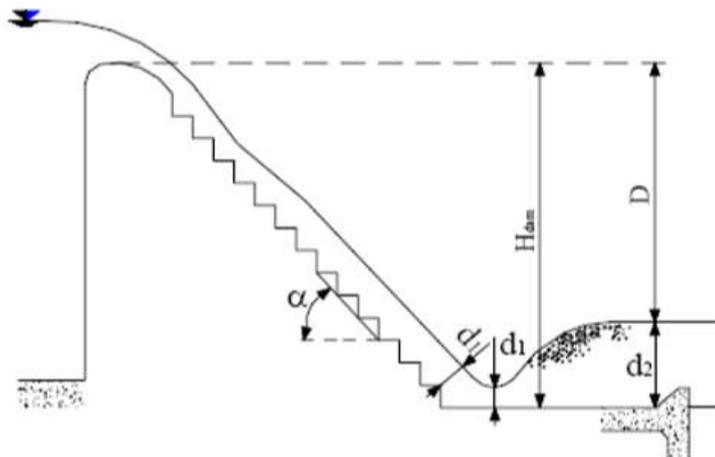
d_1 = Profundidade média (m).

A efetividade da dissipação de energia é intensificada quando se constrói um dissipador de fundo plano após a escada hidráulica, que de acordo com a USBR são classificados como Bacia de Dissipação do Tipo I e Bacia de Dissipação do Tipo III.

O presente estudo desenvolveu os cálculos para Bacia de dissipação do Tipo I que foi adaptado de Tomaz (2012).

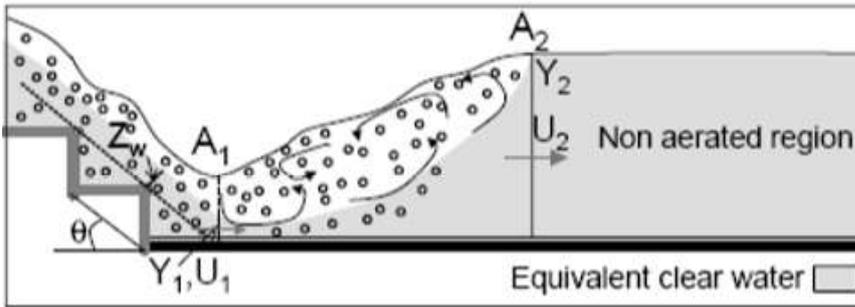
5.8 Cálculo da Bacia de Dissipação do Tipo I

Figura 10 - Escada hidráulica em conjunto com bacia de dissipação do Tipo I



Fonte: Tomaz (2012).

Figura 11- Alturas dos níveis de água na seção y_1 e y_2



Fonte: Tomaz (2012).

5.8.1 Cálculo da altura y_2 na bacia de dissipação de fundo plano do Tipo I

$$y_2 = 0,5y_1 \left[\sqrt{(1 + 8F_{r1}^2)} - 1 \right] \quad (35)$$

no qual,

y_2 = Profundidade do conjugado de y_1 na bacia de dissipação do Tipo I (m);

$y_1 = d_1$ (m);

F_{r1} = Número de Froude.

5.8.2 Cálculo da velocidade " V_2 " na bacia de dissipação

$$V_2 = \frac{q}{y_2} \quad (36)$$

no qual,

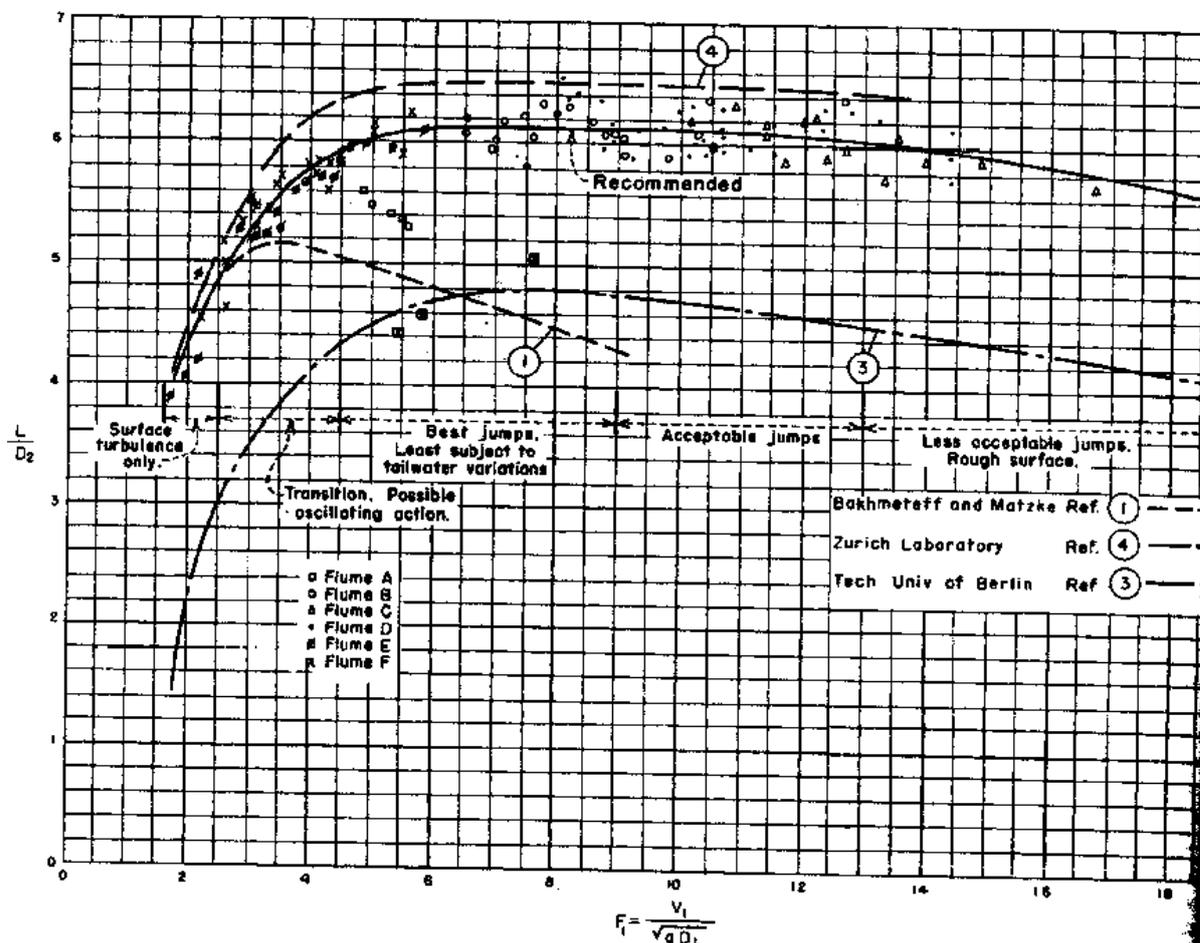
V_2 = Velocidade no final da bacia de dissipação (m/s);

y_2 = Profundidade do conjugado de y_1 na bacia de dissipação do Tipo I (m);

$q = (Q/B)$ Cálculo do comprimento da bacia de dissipação ($m^3/s/m$).

5.8.3 Cálculo do comprimento da bacia de dissipação

Gráfico 1 - Comprimento do ressalto hidráulico L em função de y_2



Fonte: Tomaz (2012).

Com o número de Froude calculado na equação 34, obteve-se o valor da relação $\frac{L}{D_2}$ de acordo com o gráfico anterior, considerando $D_2 = y_2$.

5.8.4 Cálculo da parede da bacia de dissipação do Tipo I

$$F_b = (Ky_2)^{0,5} \quad (37)$$

no qual,

F_b = Freeboard (m);

K = Varia de 0,8 a 1,4 para vazão de 0,5 (m³/s) a 85 (m³/s);

y_2 = Profundidade do conjugado de y_1 na bacia de dissipação do Tipo I (m);

$$H1 = y_2 + Fb \quad (38)$$

no qual,

$H1$ = Altura da parede da bacia de dissipação do Tipo I (m);

y_2 = Profundidade do conjugado de y_1 na bacia de dissipação do Tipo I (m);

Fb = *Freeboard* (m).

5.8.5 Cálculo da dissipação de energia somente da escada hidráulica

$$\frac{\Delta H}{H_{m\acute{a}x}} = 1 - \exp \left[\left(-0,045 \left(\frac{K}{D_H} \right)^{0,1} \text{Sen}(\theta)^{-0,8} \right) \frac{H_{de}}{d_c} \right], \text{ para } \frac{H_{de}}{d_c} < 15 \text{ a } 20 \quad (39)$$

no qual,

$\frac{\Delta H}{H_{m\acute{a}x}}$ = Dissipação de energia na escada hidráulica;

$K = h \times \cos(\theta)$;

D_H = raio hidráulico = $4d_1$ (m);

$\theta = \text{atan}(h/b)$ (graus);

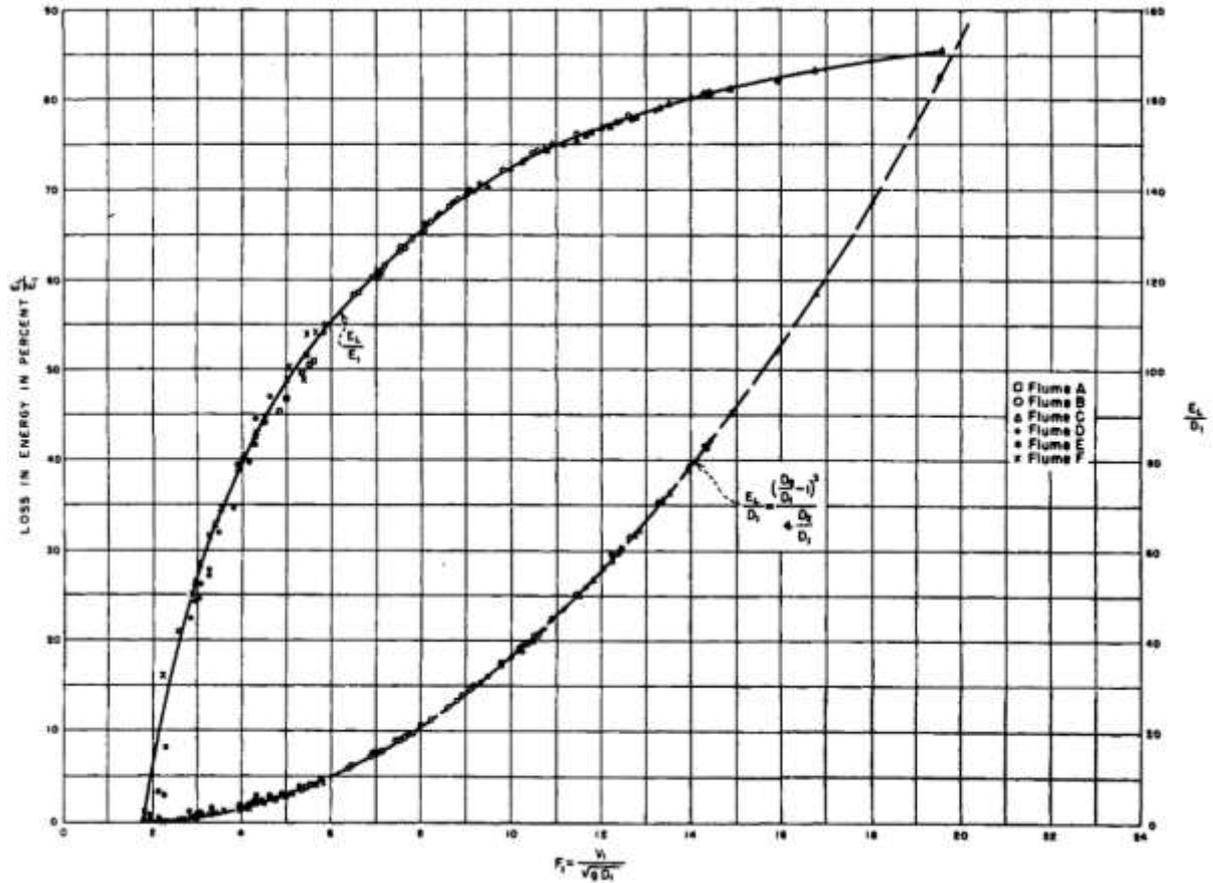
H_{de} = Altura total do dissipador de energia (m);

d_c = Profundidade crítica (m).

5.8.6 Cálculo da dissipação de energia somente no ressalto da bacia de dissipação de fundo plano.

Com o valor calculado de F_{r1} de acordo com a equação 34, obteve-se através do gráfico abaixo consultando os valores de $\frac{E_L}{E_1}$ na curva a esquerda, o valor da dissipação referente ao ressalto.

Gráfico 2- Perda de energia no ressalto hidráulico na bacia de dissipação de fundo plano Tipo I do USBR..



Fonte: Tomaz (2012).

5.8.7 Cálculo da perda total de energia

$$E_t = 1 - [(1 - \text{perda da escada})(1 - \text{perda do ressalto})] \quad (40)$$

no qual,

E_t = Energia total dissipada.

5.9 Riprap

Verificar se há necessidade do cálculo de Riprap de acordo com o valor da energia dissipada.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Obtenção dos dados

Para análise do estudo foi realizado visitas in loco ao município de Luiziana, no qual analisou-se o terreno a fim de obter um coeficiente de Runoff adequado ao solo.

Também foi empregado os dados fornecidos pelo software Pluvio 2.1 para o cálculo da intensidade de precipitação.

Para a delimitação das áreas de contribuição da bacia de drenagem assim como os valores de altitude, foram utilizadas informações fornecidas pelo software Google Earth Pro.

Figura 12 - Trecho da Área Central de Luiziana.



Fonte: Google Earth Pro (2018).

Devido à falta de um projeto de drenagem do local e conseqüentemente a supressão da informação sobre a localização exata das tubulações, fez-se necessário a simulação de uma rede de drenagem com três emissários de acordo com a figura 12.

6.2 Tubulação dimensionada

Neste estudo o resultado do cálculo da rede de drenagem foi fundamentada de acordo com o trabalho de conclusão de curso de Lanuti (2018), no qual foi determinado que para o emissário estudado a tubulação implantada deve ser de 1200mm.

6.3 Análise ambiental

O processo de ocupação e apropriação da área em análise por não possuir um planejamento adequado em relação ao modo de exploração do solo influenciou o curso da água e os processos geomorfológicos naturais.

Para a análise dos processos de impactos ambientais foram considerados não apenas os danos causados no final da rede de drenagem, mas também a deterioração do solo ao entorno do local com o objetivo de contemplar e compreender todo o processo do fenômeno geológico estudado.

A priori observou-se processos de lixiviação de parte do solo e a formação de ravinas, ocasionadas pelo percurso da água, anteriormente a voçoroca. Foi verificado também que a prefeitura do município com o propósito de atenuar o problema em questão construiu pequenas lagoas de dissipação de energia no decorrer do trajeto da água.

Figura 13 - Lagoas de dissipação.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 14 - Formação de Ravinas.



Fonte: Autoria própria (2018).

Por conseguinte, encontra-se a formação da voçoroca que é objeto do estudo. O local no qual possui o acidente geográfico, trata-se de uma propriedade particular cujo proprietário ocupa grande parte do solo com a plantação de leguminosas tornando a exploração do solo algo rentável a família, o que impossibilita de aplicar métodos de dissipação de energia que necessite de uma área maior para sua construção. É notável também que depois da queda, quando a água atinge o solo, grande parte da sua energia é dissipada e essa segue seu fluxo de forma amena e natural até o rio.

6.4 Dimensionamento do dissipador de energia

De acordo com o método racional empregado por Lanuti (2018) o valor da vazão de pico e área molhada calculada é de:

$$Q = 2,135 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_m = 0,469 \text{ m}^2$$

- Comprimento do canal de transição(L):

$$V = \frac{2,135}{0,469}$$

$$V = 4,552 \text{ m/s}$$

$$\frac{h}{1,20} = 0,433$$

$$h = 0,5196$$

$$Fr = \frac{4,552}{\sqrt{9,81 \times 0,5196}}$$

$$Fr = 2,018$$

Não há regra determinada para o melhor valor do comprimento do degrau (B). O cálculo é feito por tentativa e usualmente para garantir o regime *skimming flow* utiliza-se como valor inicial $B = 2 \times D$, porém deve-se atentar para obedecer a inequação $L \leq 3,60$.

$$B = 2 \times 1,20$$

$$B = 2,40\text{m}$$

$$L = \frac{(3 \times 2,018)(2,4 - 1,20)}{2}$$

$$L = 3,63$$

Verificando a inequação:

$$3,63 \geq 3,60$$

Portando descarta-se o valor encontrado, pois não respeita a inequação citada.

Adotando $B = 1,90 \times D$

$$B = 1,90 \times 1,20$$

$$B = 2,28\text{m}$$

$$L = \frac{(3 \times 2,018)(2,28 - 1,20)}{2}$$

$$L = 3,26$$

Por facilidade de execução adota-se os seguintes valores:

$$B = 2,30\text{m}$$

$$L = 3,30\text{m}$$

- Cálculo da velocidade média na distância L a partir da saída da tubulação:

$$\frac{V_0}{4,552} = 1,65 - 0,45 \times \frac{2,135}{\sqrt{9,81 \times 1,20^5}}$$

$$V_0 = 6,63 \text{ m/s}$$

- Cálculo da altura da água no canal de transição:

$$2,135 = h_2 \times 2,30 \times 6,63$$

$$h_2 = 0,14\text{m}$$

- Altura da parede do canal de transição

$$Fb = (1 \times 0,14)^{0,5}$$

$$Fb = 0,374\text{m}$$

$$H_{tr} = 0,14 + 0,374$$

$$H_{tr} \cong 0,52\text{m}$$

- Estimativa da altura do degrau e comprimento do degrau:

$$d_c = \left[\frac{2,135^2}{9,81 \times 2,30^2} \right]^{1/3}$$

$$d_c = 0,445\text{m}$$

Para garantir o regime *skimming flow* é necessário que a inequação seja respeitada,

$$1 \leq \frac{d_c}{h} \leq 3,20$$

$$\frac{0,445}{3,20} \leq h$$

$$0,139 \leq h$$

Portanto o valor adotado para h deve pertencer ao seguinte intervalo:

$$0,139 \leq h \leq 0,445$$

Deste modo adota-se para o dimensionamento da altura do degrau o valor de $h = 0,35\text{m}$.

- Número de degraus:

Através de visitas *in loco* foi mensurado o valor referente à altura da voçoroca em estudo e foi estabelecido que esta altura será a mesma da altura da escada hidráulica.

$$H_{de} = 5,60\text{m}$$

$$n^{\circ} \text{ de degraus} = \frac{5,60}{0,35}$$

$$n^{\circ} \text{ de degraus} = 16$$

- Comprimento do piso do degrau:

Foi estabelecido uma projeção horizontal de 12m

$$\frac{12}{16} = 0,75\text{m}$$

- Verificação do regime *skimming flow*:

Segundo Chanson (1994), para garantir o regime *skimming flow* é necessário assegurar a seguinte inequação:

$$\frac{d_c}{h} > 1,057 - 0,465 \times \frac{0,35}{2,30}$$

$$\frac{0,445}{0,35} > 1,057 - 0,465 \times \frac{0,35}{2,30}$$

$$1,30 > 0,986$$

Já para Boes e Hager (2003), para garantir o regime *skimming flow* é necessário assegurar a seguinte inequação:

$$\frac{d_c}{h} > 0,91 - 0,14 \times \frac{0,35}{2,30}$$

$$\frac{0,445}{0,35} > 0,91 - 0,14 \times \frac{0,35}{2,30}$$

$$1,30 > 0,889$$

Portanto, confirma-se através de ambos estudos que o fluxo da água se encontra no regime *skimming flow*.

- Cálculo da posição no início da aeração:

$$\theta = \arctg\left(\frac{0,35}{0,75}\right)$$

$$\theta = 25,017^\circ$$

$$La = \frac{\left[5,90 \times 0,445^{\frac{6}{5}}\right]}{\text{sen}(25,017)^{\frac{7}{5}} \times 0,35^{\frac{1}{5}}}$$

$$La = 9,19\text{m}$$

- Cálculo da altura água + ar:

$$Fr = \frac{0,928}{\sqrt{9,81 \times \text{sen}(25,017) \times 0,35^3}}$$

$$Fr = 2,20$$

$$y_a = 0,4 \times 0,35 \times 2,20^{0,6}$$

$$y_a = 0,224\text{m}$$

- Cálculo da velocidade de escoamento da mistura água + ar quando esta se encontra na posição La :

$$q = \frac{2,135}{2,30}$$

$$q = 0,93$$

$$V(La) = \frac{0,93}{0,224}$$

$$V(La) = 4,15 \text{ m/s}$$

- Cálculo da concentração média do ar presente na posição La:

$$C_i = 0,0012 \times (240 - 25,017)$$

$$C_i = 0,258$$

- Cálculo da profundidade apenas da água na posição La:

$$D_a = 0,224 \times (1 - 0,258)$$

$$D_a = 0,1662 \text{ m}$$

- Velocidade da água no ponto La:

$$V(La)_{\text{agua}} = \frac{0,93}{0,1662}$$

$$V(La)_{\text{agua}} = 5,60 \text{ m/s}$$

- Cálculo da velocidade de cavitação e comparação entre $V(cr)$ x $V(La)$:

$$0,35 \times 9,19 = 3,2165$$

$$V(cr) = \frac{16,29 + 9,91}{1 + \exp\left[\left(\frac{3,2165}{9,19} - 0,60\right) \times \left(\frac{1}{0,23}\right)\right]}$$

$$V(cr) = 19,59 \text{ m/s}$$

$$5,60 < 19,59$$

Portando não haverá cavitação.

- Altura da parede da escada hidráulica:

De acordo com Tomaz (2012), usualmente admite-se $K=1$ para os seguintes cálculos.

$$F_b = (1 \times 0,224)^{0,5}$$

$$F_b = 0,47 \text{ m}$$

$$H_1 = 0,224 + 0,473$$

$$H_1 \cong 0,70\text{m}$$

- Cálculo da distância vertical para ocorrência de Movimento Uniforme:

$$H_{dam_u} = 24 \times 0,445 \times \text{sen}(25,017)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_{dam_u} = 6,01\text{m}$$

Não ocorre Movimento Uniforme pois H_{dam_u} é maior que a altura da projeção vertical da escada.

- Profundidade média:

$$d_1 = 0,1662 + 0,224$$

$$d_1 = \frac{0,3902}{2}$$

$$d_1 = 0,1951\text{m}$$

- Cálculo da velocidade " V_1 ":

$$V_1 = \frac{0,93}{0,1951}$$

$$V_1 = 4,77 \text{ m/s}$$

- Número de Froude:

$$F_{r1} = \frac{4,77}{\sqrt{9,81 \times 0,1951}}$$

$$F_{r1} = 3,448$$

- Cálculo da altura y_2 na bacia de dissipação de fundo plano Tipo I:

$$y_2 = 0,50 \times 0,1951 \times \sqrt{(1 + 8 \times 3,448^2)} - 1$$

$$y_2 = 0,859\text{m}$$

- Cálculo da velocidade " V_2 " na bacia de dissipação:

$$V_2 = \frac{0,93}{0,859}$$

$$V_2 = 1,08 \text{ m/s}$$

- Cálculo do comprimento da bacia de dissipação:

Utilizando a equação $y_2 = D_2$ e consultando o gráfico 1 da página 44 tem-se a relação:

$$\frac{L}{y_2} = 5,90$$

$$L = 5,90 \times 0,859$$

$$L \cong 5,10\text{m}$$

- Cálculo da altura da parede da bacia de dissipação do tipo I:

$$F_b = 1 \times 0,859^{0,5}$$

$$F_b = 0,927$$

$$H_1 = 0,859 + 0,927$$

$$H_1 = 1,786$$

Por facilidade de execução adota-se $H_1 = 1,80\text{m}$.

- Cálculo da dissipação de energia somente da escada hidráulica:

$$k = 0,35 \times \cos(25,17)$$

$$k = 0,317$$

$$DH = 4 \times 0,1951$$

$$DH = 0,78\text{m}$$

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 1 - \exp \left\{ \left[\left(-0,045 \times \left(\frac{0,317}{0,78} \right)^{0,1} \times \text{sen}(25,017)^{-0,8} \times \frac{5,60}{0,445} \right) \right] \right\}$$

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 0,643$$

$$\frac{\Delta H}{H_{\max}} = 64,3\%$$

- Cálculo de dissipação apenas da bacia de fundo plano:

Com o número de Froude $F_{r1} = 3,445$ e consultando a curva a esquerda no gráfico

2, encontra-se a porcentagem da perda de energia no valor de $\frac{E_L}{E_1} \cong 33\%$.

- Cálculo da perda total de energia:

$$E_t = 1 - [(1 - 0,643) \times (1 - 0,33)]$$

$$E_t = 0,7608$$

$$E_t = 76,08\%$$

Riprap:

A quantidade de energia dissipada apenas com a escada hidráulica e a bacia de dissipação serão suficientes para redução de energia, não sendo necessário o cálculo de um Riprap.

Portanto o dissipador de energia terá as seguintes especificidades:

Quadro 2 - Quadro resumo

Quadro resumo das dimensões do dissipador de energia	
Altura total da escada hidráulica	5,60m
Projeção horizontal da escada hidráulica	12,00m
Comprimento do canal de transição	3,30m
Altura da parede do canal de transição	0,52m
Comprimento do degrau	2,30m
Altura do degrau	0,35m
Nº de degraus	16
Comprimento do piso do degrau	0,75m
Altura da parede da escada hidráulica	0,70m

Comprimento da Bacia de Dissipação do Tipo I	5,10m
Altura da parede da Bacia de Dissipação do Tipo I	1,80m
Dissipação de energia somente da escada hidráulica	64,3%
Dissipação de energia somente da Bacia de Dissipação do Tipo I	33%
Dissipação de energia Total	76,08%
Velocidade de escoamento final	1,08m/s

Fonte: Autoria própria (2019).

7 CONCLUSÃO

Após visitas realizadas a cidade de Luiziana observou-se a necessidade de implementar um novo sistema de drenagem no local de estudo, visando garantir um adequado escoamento da água, reduzindo o processo erosivo causado ao solo.

Através de visitas *in loco*, determinou-se um Coeficiente de Runoff igual a 0,65 e empregando o método racional com o auxílio dos softwares *Google Earth Pro*, *Autocad*, *Pluvio 2.1*, foi possível realizar uma análise da rede de drenagem urbana do perímetro do município de Luiziana.

Obteve-se de acordo com os resultados do trabalho de conclusão de curso do aluno Yohan Vinícius Rocha Lanuti, o valor de 1200mm referente ao redimensionamento da tubulação da rede de drenagem do emissário em estudo. Também se constatou uma alta velocidade de escoamento da água no trecho em análise justificando a erosão encontrada e a necessidade do dimensionamento de um dissipador de energia para o local.

Após análise dos vários tipos de dissipadores de energia existentes, definiu-se por questões econômicas e físicas que o dimensionamento de um dissipador do tipo escada hidráulica seguido por um dissipador de energia do Tipo I, para maior efetividade na redução da velocidade de escoamento, seria o mais adequado para o local estudado.

Os cálculos do dimensionamento dos dissipadores foram fundamentados no modelo de Carlos A. Gonçalves e Hubert Chanson e descrito pelo engenheiro Tomaz (2012), no qual salienta a importância do regime *skimming Flow* para escoamento da água.

O resultado obtido mostra que ao final dos dissipadores a energia é reduzida em 76,08% o que implica em uma redução da velocidade de escoamento de 4,552 m/s para aproximadamente 1,08 m/s atenuando o impacto causado pela água no solo, evitando o aumento e a formação de erosão e favorecendo o processo de percolação da água.

REFERÊNCIAS

BOES; HAGER. **Guidelines for Hydraulic Design of Stepped Spillways**. Disponível em: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/pubs/HL/HL-2015-06.pdf>. Acesso em: nov.2019.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de Chuva: Engenharia das águas pluviais nas cidades**. 3 ed. Editora Blucher, 2011.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia: Prática**. 2 ed. Editora Interciência Ltda. 2008.

COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E.Q.; FILHO, F.C.M.M. **Águas Pluviais: Guia do profissional em treinamento**. 2007. Disponível em: <https://www.pseau.org/outils/ouvrages/unb_curso_basico_de_hidrologia_urbana_nivel_3_2007.pdf>. Acesso em: mai. 2018.

DA SILVEIRA, A. L. L. **Drenagem Urbana: Aspectos de gestão**. Instituto de pesquisas hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1 ed. 2002.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Drenagem - Entradas e descidas d'água – Especificações de serviço**. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit021_2004_es.pdf>. Acesso em: jun. 2018

FILHO, G. S. A. **Controle de erosões**. Revista Fundações e obras Geotécnicas, vol. 54. Pág. 66. março, 2015. Disponível em: <http://abge.org.br/uploads/arquivos/archivoseccion_244_emfococontrolederos.pdf>. Acesso em: abr. 2018.

IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. **Drenagem urbana de águas pluviais: Cenário atual do sistema da cidade de Assún/RN**. 2016. Disponível

em:<<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/IX-040.pdf>>Acesso em: abr.2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <<https://educa.ibge.gov.br/> > Acesso em: mai. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades@, Paraná > Luiziana**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>> Acesso em: mai. 2018.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. 2018. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87290>>. Acesso em: mai. 2018.

JATOBÁ, S. U. S. **Urbanização Meio Ambiente e Vulnerabilidade Social**. Instituto de Pesquisa Urbano e Ambiental. 2011.

KENITIRO, S. **Geologia Sedimentar**. 1 ed. Editora Blucher Ltda. 2003.

MARTINS, Karla Gonçalves. **Expansão urbana desordenada e o aumento dos riscos ambientais à saúde humana: O caso brasileiro**. 2012. Disponível em:<http://bdm.unb.br/bitstream/10483/4135/1/2012_KarlaGoncalvesMartins.pdf> Acesso em: Abr. 2018.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem Urbana: Do projeto tradicional a sustentabilidade**. Rio de Janeiro, editora Elsevier Ltda. 2016.

NETTO, A. **Manual de Hidráulica**. Editora Blucher Ltda. 8ª edição atualizada. 1998.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. Setembro, 2004.

PINHEIRO, L. **Plano Diretor De Drenagem Urbana De Porto Alegre**. 2010. Disponível em:

<http://www.solucoesparacidades.com.br/wpcontent/uploads/2013/07/AF_Inic%20Ins p03_pl%20drenagem_web.pdf>. Acesso em: abr. 2018.

PINTO, N. L. S et al. **Hidrologia Básica**. 1 ed. Editora Blucher Ltda,1976.

POLETO, C. **Ambiente e Sedimentos**. 1 ed. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano diretor de drenagem urbana de Curitiba**. Vol. 2. 2012. Disponível em: <<http://multimedia.curitiba.pr.gov.br/2017/00211750.>>. Acesso em: abr. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LUIZIANA. **Dados Gerais**. Disponível em: <<http://luiziana.pr.gov.br/site/menu/dadosgerais>>. Acesso em: mai. 2017.

REIS, F. **Método Racional**. 2017. Disponível em: <<http://www.hidromundo.com.br/metodo-racional/>>. Acesso em: mai. 2018.

SANTOS, M. **A Urbanização Brasileira**. 1 ed. Editora Hucitec, 1993.

SILVA LEME ENGENHARIA LTDA. **Escada hidráulica**. 2015. Disponível em: <<http://silvalemeeng.wixsite.com/silvaleme/hidraulica>>. Acesso: jun.2018.

SILVA, L. D. B; CARVALHO, D.F. **Escoamento superficial, cap. 7**. Editor Daniel Fonseca de Carvalho e Leonardo Duarte Batista da Silva, agosto/2006.

TAKAYAMA, C.; MIYAZAWA, F. L.; YAMASAKI, W. **Exemplos de Planos Diretores de Drenagem Urbana**. Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo. 2009.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. 2 ed. Editora Nacional, 2009.

TOMAZ, Plínio. **Curso de manejo de águas pluviais, cap. 18. Escada hidráulica em obra de pequeno porte** Editor Plínio Tomaz,2012.

TOMAZ, Plínio. **Curso de manejo de águas pluviais, cap. 2. Método Racional.** Editor Plínio Tomaz, 2012.

TOMAZ, Plínio. **Curso de manejo de águas pluviais, cap. 91. Cavitação, abrasão e ataque químico em vertedouros e dissipadores de energia.** Editor Plínio Tomaz, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana.** 1 ed. Editora da universidade - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciências E Aplicação.** Editora da universidade - Associação Brasileira De Recursos Hídricos.1993.

TUCCI, C. E. M. **Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. V.2, nº.2, jul./dez.1997.

TUCCI, Carlos E. M. **Águas urbanas.** Estudos Avançados, vol. 22, nº 63. São Paulo. 2008.

USBR – United States Bureau of Reclamation.**Research state-of-the-art and needs for hydraulic design of stepped spillways.2006.** Disponível em: <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/hydraulics_lab/pubs/HL/HL-2005-06.pdf>. Acesso em: mai.2018.