

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
CAMPUS DO SERTÃO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GRAZIELLY SILVA ALVES

**PROJETO PARA O VERTEDOR NO RIACHO OLHO D´AGUINHA, LOCALIZADO  
NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA – AL.**

Delmiro Gouveia – AL  
2016/2

GRAZIELLY SILVA ALVES

**PROJETO PARA O VERTEDOR NO RIACHO OLHO D´AGUINHA, LOCALIZADO  
NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA – AL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva

Coorientadora: Dr<sup>a</sup> Rafaela Faciola Coelho de Souza

GRAZIELLY SILVA ALVES

PROJETO PARA O VERTEDOR NO RIACHO OLHO D'AGUIHA LOCALIZADO  
NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA - AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Colegiado do Curso de Engenharia de Civil da  
Universidade Federal de Alagoas - Campus do  
Sertão, como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheira Civil.

Orientado por: Thiago Alberto Pereira da  
Silva  
Tutora: Rafaela Faciola Coelho de Souza

**A474p Alves, Grazielly Silva**  
**Projeto para o vertedor no riacho Olho D'aguinha localizado  
no município de Delmiro Gouveia - AL / Grazielly Silva Alves. -**  
2016.  
49f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de  
Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016.  
Orientação: Prof. Me. Thiago Alberto Pereira da Silva.

1. Dimensionamento. 2. Souza, Rafaela Faciola Coelho de.  
3. Vertedor. II. Título.

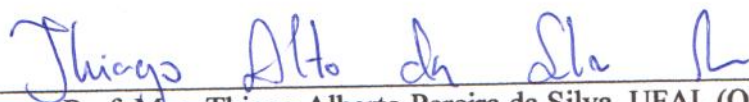
CDU 624

**Folha de Aprovação**

AUTORA: GRAZIELLY SILVA ALVES

**PROJETO PARA O VERTEDOR NO RIACHO OLHO D'AGUINHA, LOCALIZADO  
NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA – AL.**

O presente trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final banca examinadora da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, em 13 de Junho de 2017.

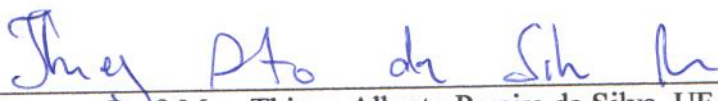


Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva, UFAL (ORIENTADOR)




Prof. Dr<sup>a</sup>. Rafaela Faciola Coelho de Souza, UFAL (COORIENTADORA)

**Banca Examinadora:**



Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva, UFAL (Orientador)



Prof. Msc. Vinicius Costa Correia, UFAL (Examinador Interno)



Eng. Antônio de Araújo Carvalho Santa Cruz (Examinador Externo)

Aos meus avôs Cícero Soares (*in memoriam*), Isabel Soares (*in memoriam*) e Vírgilio Silva (*in memoriam*) que sempre se orgulharam de mim e me ensinaram a ser humilde. Tenho certeza que estão muito felizes com essa conquista.

## AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus por ter me concedido o dom da sabedoria e força de vontade para lutar pelos meus sonhos, mesmo em meio às dificuldades que encontrei durante essa etapa da minha vida. Aos meus pais, José Alves e Isabel Cristina, e aos meus irmãos, José Gabriel e Isabelly, que sempre acreditaram em mim e, com muita dedicação e amor, não mediram esforços para a construção desse sonho.

Agradeço a todo o corpo docente da Universidade Federal de Alagoas que fez parte da minha graduação, repassando-me os seus conhecimentos e experiências, em especial ao meu orientador Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva e minha coorientadora Dr<sup>a</sup> Rafaela Faciola Coelho de Souza, que me auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho. Ao projeto ECOBEER, pela oportunidade e confiança que me foi dada para a realização desse estudo.

Agradeço a minha família do Sertão, em especial a Ana Maria Torres, Karla Carnaúba, Klívia Rêgo, Maurício Júnior, Renata Vale e Viviane Regina que, durante pouco mais de 5 anos, estiveram ao meu lado compartilhando conhecimento, experiências, risadas, choros e noites de estudo. Obrigada pelos ensinamentos e pela cumplicidade.

Agradeço ao meu namorado Rafael Santana, pela paciência, apoio e incentivo que me foi dado durante a fase de elaboração desse trabalho e durante a reta final da minha graduação, sempre estando ao meu lado em todos os momentos, me motivando a não desistir do meu sonho.

Por fim, agradeço aos meus amigos Isabelle Amorim, Jonas Valeriano e Marília Rodrigues, a toda minha família e amigos da minha cidade natal, Batalha – AL, pelo apoio e incentivo, mesmo estando longe.

## RESUMO

A região Nordeste do Brasil apresenta uma variabilidade espacial e temporal de água decorrente de longos períodos de secas, o que limita o desenvolvimento socioeconômico. Dessa forma, é fundamental conhecer os processos hidrológicos na região, a fim de minimizar o desperdício de água durante períodos chuvosos. Nesse contexto, a fim de obter informações que caracterizem o balanço hídrico na região semiárida alagoana, desenvolveu-se o projeto ECOBEER, que faz essas análises por meio de bacias experimentais. O projeto utiliza-se de vários procedimentos e equipamentos para monitorar pequenas bacias hidrográficas, dentre eles o vertedor, que irá analisar a vazão do riacho Olho D'Aguiha, pertencente à Bacia Hidrográfica do riacho Olho d'Água. A realização desse trabalho objetiva conceber o projeto para esse vertedor, baseado em metodologias e medidas que garantam o máximo de confiança. Para isso, são apresentados alguns conceitos relevantes para a compreensão do trabalho, a metodologia utilizada no estudo, as etapas seguidas para o dimensionamento hidráulico do vertedor, suas características construtivas e o custo para sua implantação.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; dimensionamento; vertedor; riacho Olho D'Aguiha.

## **ABSTRACT**

The Brazil Northeast region presents a spatial and temporal variety of water caused by a long periods of drought, it is a limitant factor to social and economic development. In this way, the regional hydrological process knowledge is crucial to minimize water wastage during rainy time. In this context, the ECOBEER project was developed with the objective to obtain information to characterize the semi-arid region of Alagoas state. The project uses a diverse procedures and equipment to monitore small watersheds, among them the weir, will analyze the flow of the Olho D'Aguinha stream, it belongs to Hydrographic Basin of Olho d'Água stream. The project design for this spillway was based on methodologies and measures that guarantee the maximum of confidence. For this, some relevant concepts to understanding the project and the methodology used in the study are presented. Then, the hydraulic dimensioning of the weir, its constructive characteristics and the cost for its implantation are shown.

Key words: watershed; dimensioning; weir; stream Olho D'Aguinha.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. OBJETIVOS .....	12
2.1 Objetivo geral .....	12
2.2 Objetivos específicos .....	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	13
3.1 Método Racional .....	13
3.2 Vertedores .....	16
3.2.1 Nomenclatura .....	18
3.2.2 Classificação .....	18
3.2.3 Vertedor retangular .....	22
3.2.4 Vertedor triangular .....	24
3.2.5 Vertedor trapezoidal .....	25
3.2.6 Vertedor misto .....	26
4. METODOLOGIA .....	27
4.1 Área de Estudo .....	27
4.2 Atividade de campo .....	28
4.3 Estudo Hidrológico .....	31
4.3.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica .....	31
4.3.2 Chuvas intensas .....	32
4.3.3 Vazão Máxima .....	34
4.4 Dimensionamento Hidráulico .....	36
4.5 Concepção construtiva do vertedor .....	36
4.6 Orçamento para construção do vertedor .....	37
5. RESULTADOS OBTIDOS .....	38
5.1 Atividade de campo .....	38

5.2 Estudo Hidrológico .....	39
5.3 Dimensionamento Hidráulico .....	41
5.4 Concepção construtiva .....	42
5.5 Orçamento.....	42
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	45
7. REFERÊNCIAS .....	46
ANEXO A .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural não renovável e indispensável para a sobrevivência do homem, porém sua quantidade e qualidade variam a depender do lugar e do tempo. Em várias regiões do Brasil, a escassez hídrica está cada vez mais comum, se fazendo necessário o gerenciamento desses recursos para uma harmonização entre a demanda e a oferta de água (Mota *et al*, 2003).

Como alternativa para suprir a falta d'água, a população perfura poços e constrói açudes e cisternas, muitas vezes sem um planejamento adequado, ocasionando o desperdício e a degradação da qualidade da água, devido ao aumento da concentração de substâncias químicas dissolvidas na água, provocando a salinização do solo.

Tais circunstâncias retardam o crescimento socioeconômico, trazendo constantes riscos à saúde pública e causando significativas perdas econômicas, devido a perdas na agricultura e pecuária, os quais são as principais fontes de renda da população local. Mostra-se imprescindível, portanto, uma melhor gestão dos recursos hídricos, como tentativa de minimizar os desperdícios causados durante os períodos chuvosos.

Cada vez mais, pesquisadores estão interessados em obter mais conhecimentos sobre as condições hídricas em pequenas bacias hidrográficas e, para isso, são necessárias práticas de estudo mais estratégicas e elaboradas. (Costa; Baccellar; Silva, 2007).

As condições de fluxo de um rio, riacho ou córrego, é primordial nessa análise hidrológica e pode ser estabelecida através de vários instrumentos, como por exemplo, os vertedores, que são mais utilizados em cursos d'água que apresentam pequenas vazões. A vazão é estimada com base no nível d'água que é medido a montante com o auxílio de uma régua ou linígrafo.

A fim de monitorar a precipitação, a evaporação, o escoamento quali-quantitativo em rio e açude, além de outras variáveis meteorológicas, desenvolveu-se o projeto Processos Eco-hidrológicos na Bacia Experimental e Representativa de Santana do Ipanema da Rede de Hidrologia do Semiárido (ECOBBER)<sup>1</sup>, que visa propor medidas e/ou soluções que ajudem

---

<sup>1</sup> O ECOBBER, que teve vigência inicial em Fevereiro de 2011 a Fevereiro de 2014, com prorrogação até Dezembro de 2017, é realizado com recursos FINEP e em rede cooperativa constituída por cinco grupos de pesquisa, vinculado às instituições UFRPE (coordenadora geral), UFAL, UFPE, UnB e UFS.

na gestão das águas, bem como a sua qualidade, com base no aprimoramento do conhecimento sobre os processos hidrossedimentológicos do semiárido alagoano. Escolheu-se essa área devido a vários fatores, dentre eles, a acessibilidade em períodos chuvosos, a proximidade do Campus do Sertão á área de estudo, possibilitando integração de alunos e professores ao projeto, e pelo fato da área ser segura para a instalação dos equipamentos.

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral realizar o projeto de um vertedouro que será utilizado para medir o escoamento do Riacho Olho d'Aguinha, situado no município de Delmiro Gouveia, Alagoas.

### 2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Estudo hidrológico da região em análise;
- Dimensionamento hidráulico do vertedor;
- Concepção construtiva do vertedor;
- Orçamento para a construção.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo abordará o conteúdo teórico sobre o método escolhido para a análise hidrológica na Bacia Hidrográfica do Riacho Olho D'Água, a fim de estimar vazão escoada, necessária para o dimensionamento do vertedouro. Também, serão abordados alguns conceitos sobre vertedores, tais como: definição, nomenclatura, classificação e tipos, que foram utilizados para escolher qual a geometria mais apropriada para o vertedor.

#### 3.1 Método Racional

O estudo das vazões em pequenas bacias hidrográficas tornou-se cada vez mais importante, pois para o dimensionamento de estruturas hidráulicas, é necessário conhecer a vazão máxima que a estrutura terá que suportar. Além disso, devido à carência de água na região semiárida do Brasil, o aproveitamento de recursos hídricos de pequenas bacias para o abastecimento em pequenas comunidades e em sistemas de irrigação, tem se tornado cada vez mais importante (Genovez, 1991).

Vários métodos utilizam dados de precipitação para estimar a vazão em bacias hidrográficas, dentre eles o Método Racional. Segundo Gribbin (2009), esse foi o primeiro método desenvolvido para o cálculo de escoamento superficial. Ele leva esse nome porque, diferente de métodos que se baseiam no empirismo para a análise das relações entre área de drenagem, tempo de concentração, intensidade, dentre outros, ele originou-se do puro raciocínio, como o próprio nome já sugere.

Esse método foi apresentado pela primeira vez por Mulvaney, no ano de 1851 e utilizado por Emil Kuichling no ano de 1889, nos Estados Unidos, e determina uma relação entre a precipitação e o escoamento superficial para a determinação da vazão de pico (vazão máxima) de uma pequena bacia hidrográfica, considerando uma determinada seção de estudo. O Método Racional também é conhecido como Método de Lloyd-Davies, devido à criação de um método semelhante na Inglaterra, no ano de 1850, por Lloyd-Davies (Tomaz, 2009).

Tomaz (2009) destacou as seguintes hipóteses nas quais o Método Racional se baseia:

- a) Toda a bacia contribui com o escoamento superficial e é por isso que o tempo de duração da tormenta deve ser igual ou exceder ao tempo de concentração da bacia;
- b) A chuva é distribuída uniformemente sobre toda a área da bacia;
- c) Todas as perdas estão incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial.

Portanto, o método considera que a vazão máxima ocorrerá quando toda a bacia hidrográfica estiver contribuindo para a secção em estudo, implicando que o deflúvio seja decorrente de uma precipitação média de duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica.

A princípio, a equação (1) para o cálculo da vazão, desprezava a parcela de água que infiltrava no solo, ou seja, considerava que a bacia de drenagem era totalmente impermeável, onde toda a água precipitada era convertida em escoamento (Gribbin, 2009).

$$Q_P = 0,28. i. A \quad (1)$$

Em que:

$Q_P$  = vazão máxima, m<sup>3</sup>/s;

$A$  = área de drenagem da bacia, Km<sup>2</sup>;

$i$  = intensidade da precipitação, em mm/h.

Posteriormente, adicionou-se um coeficiente ( $c$ ) à equação, que leva em consideração a infiltração da água no solo e a evapotranspiração, chamado de coeficiente de deflúvio ou *runoff*, e que representa o grau de impermeabilização da bacia. Dessa forma, a equação (2) do Método Racional, passou a ser:

$$Q_P = 0,28. c. i. A \quad (2)$$

Quanto menor a possibilidade da água precipitada infiltrar-se no solo, ou de ficar retida pela vegetação, maior será a parcela que se transformará em Escoamento Superficial Direto, resultando um valor mais elevado para o coeficiente  $c$ . A tabela 1 mostra os valores mais utilizados para o coeficiente  $c$ , em função do tipo de solo, declividade e cobertura vegetal.

**Tabela 1.** Valores do coeficiente de escoamento superficial *C*.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Solo Arenoso</b>	<b>Solo Franco</b>	<b>Solo Argiloso</b>
	<b>Florestas</b>		
0 – 5	0,10	0,30	0,40
5 – 10	0,25	0,35	0,50
10 – 30	0,30	0,50	0,60
	<b>Pastagens</b>		
0 – 5	0,10	0,30	0,40
5 – 10	0,15	0,35	0,55
10 – 30	0,20	0,40	0,60
	<b>Terras Cultivadas</b>		
0 – 5	0,30	0,50	0,60
5 – 10	0,40	0,60	0,70
10 – 30	0,50	0,70	0,80

Fonte: Carvalho; Silva (2006).

Autores como Tomaz (2009) e Gribbin (2009) recomendam a utilização desse método em bacias que apresentem uma área menor ou igual a 3 km<sup>2</sup>, porém outros autores estabelecem limites para a área que variam de 0,08 km<sup>2</sup> a 200 km<sup>2</sup>, conforme apresentado na tabela 2. Logo, para uma maior precisão do método, recomenda-se sua aplicação em bacias hidrográficas que apresentem área de drenagem pequena, tendo em vista que o método envolve diversas simplificações e um coeficiente (coeficiente de deflúvio) de avaliação subjetiva.

**Tabela 2.** Valores limites de área para utilização do Método Racional.

<b>Autores</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
David H. Pilgrim e Ian Cordery (Austrália) Método probabilístico, 1993	20 a 500
Regulamento do sul da Califórnia	0,08
Porto, 1995	3
Otto Pfafstetter	200
Paulo Sampaio Wilken	5
Linsley ET al.	0,4 a 4,86

Fonte: Autor, adaptado de Tomaz (2017).

Além da área da bacia, outras restrições à aplicação desse método devem ser levadas em consideração. Deve-se optar por bacias hidrográficas que não apresentem características da superfície excessivamente desproporcionais, já que o coeficiente de deflúvio leva em consideração apenas um tipo de urbanização da bacia. Ademais, tem-se que evitar possíveis pontos na bacia que apresentem alagamento significativo, pois tal acontecimento alteraria o valor da vazão máxima (Gribbin, 2009).



### 3.2 Vertedores

Um vertedor é uma estrutura hidráulica que, quando colocada ou construída perpendicularmente ao curso d'água, ocasiona seu represamento. Essas estruturas apresentam uma abertura de formato apropriado, a depender da sua finalidade, por onde a água verte, continuando seu fluxo (Fábio, 2009).

Os vertedores podem ser utilizados para diversas finalidades, como por exemplo, controle do volume de água em barragens, do fluxo de entrada em canais e de níveis em obras hidráulicas, em unidades de tratamento de água e esgoto, e como dispositivos de medição da vazão em pequenos cursos d'água.

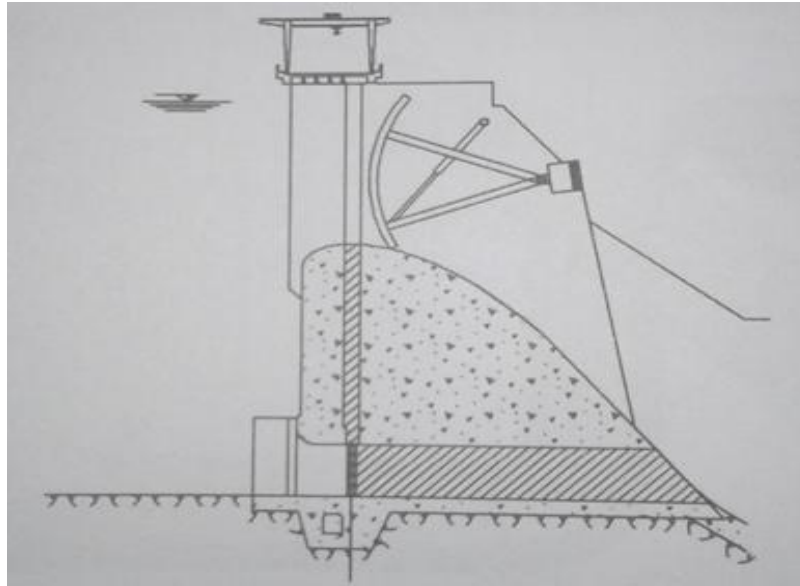
A escolha do material é importante num projeto de um vertedor, pois esse deve ser feito de modo que suporte a carga da água, evitando assim que ocorra o colapso da estrutura. Vários materiais podem ser utilizados para construir um vertedor, como por exemplo: concreto, painéis de aço ou madeira e pedras rachão, que podem ser fixos ou portáteis (utilizados para medição de pequenas vazões).

Segundo Martins e Dutra [2013], antes de se projetar um vertedor é necessário realizar um estudo detalhado tanto em modelo matemático como em modelos físicos reduzidos, a fim de checar a estabilidade da estrutura, das comportas, da operação do vertedor, dentre outros.

Um vertedor não eficaz pode conduzir ao galgamento e, eventualmente, colapso de uma barragem. Além disso, níveis exagerados de água podem vir a causar alagamentos a montante e mesmo no caso de passagem de vazões maiores, prejuízos à jusante.

Em usinas hidroelétricas, os vertedores são utilizados para manter o nível do reservatório durante os períodos chuvosos, pois, devido ao aumento no nível das barragens, é necessário descartar a água que não será utilizada para geração de energia, de maneira segura. Esses vertedores são classificados como vertedores-extravasadores, podendo ser divididos em controlados ou de soleira livre. A diferença entre eles é que o primeiro apresenta um sistema de fechamento que controla a vazão por meio de comportas, como representado na figura 1, enquanto no segundo esse dispositivo é ausente.

**Figura 1.** Representação de um vertedor com comporta.



Fonte: Baptista; Lara (2010, p. 390).

Para coincidir a velocidade com a qual a água escoar com a resistência do local a jusante, é necessária a construção de estruturas que dissipem a energia cinética oriunda do escoamento d'água, que são conhecidas como dissipadores de energia hidráulica, como mostra a figura 2. Essas estruturas podem ser de diferentes tipos, dentre eles: bacias de dissipação, dissipadores de jato e dissipadores de impacto (Baptista; Lara, 2010).

**Figura 2.** Exemplo de um vertedor-extravasador.



Fonte: <http://mapio.net/pic/p-18210973/>

Os vertedores são empregados também na medição da vazão em pequenos cursos d'água, canais ou nascentes, a fim de monitorar pequenas e grandes bacias hidrográficas. As

estruturas são instaladas de tal forma que permitem quantificar a disponibilidade hídrica da bacia, bem como a variação de vazões em função de fatores climáticos, uso de solo da bacia, uso da água, entre outros (Martins; Dutra, [2013]).

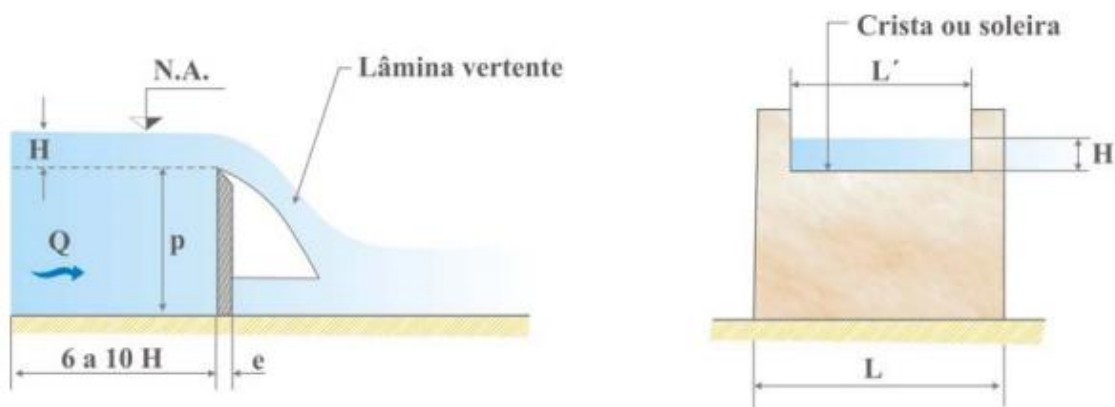
### 3.2.1 Nomenclatura

Segundo Porto (1998), os principais elementos que constituem um vertedor, são:

- Crista ou soleira: borda horizontal onde há contato com a lâmina d'água vertente.
- Carga hidráulica sobre a soleira (H): é a diferença entre a cota do nível d'água a montante, onde a velocidade do curso d'água seja pequena, e o nível da soleira.
- Altura da soleira (P): é a diferença entre a cota do fundo do canal a montante e a cota da soleira.
- Largura da soleira (L): é a dimensão da abertura longitudinal da soleira por onde a lâmina d'água verte.

A figura 3 representa um desenho esquemático de um vertedor de soleira delgada e com contração lateral. Nela, estão representadas as principais partes constituintes de um vertedor.

**Figura 3.** Vertedor de soleira delgada.



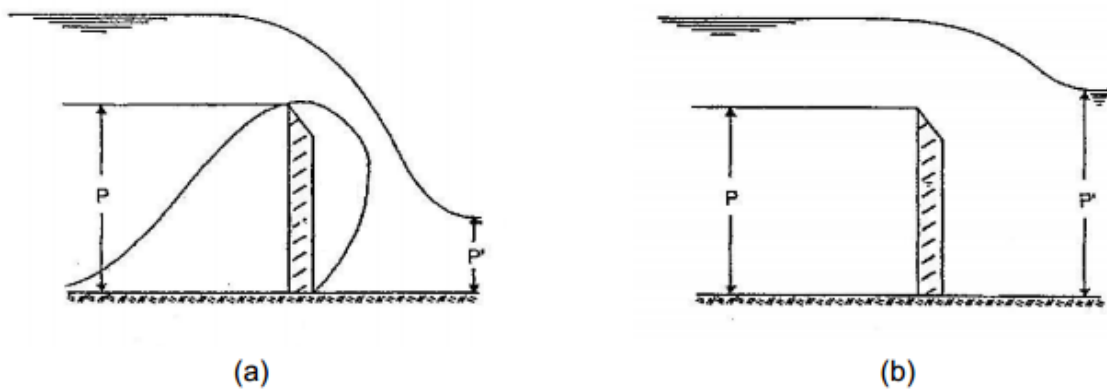
Fonte: Raimundo, (2007) adaptado de Porto (2006, p. 382).

### 3.2.2 Classificação

Para Raimundo (2007), a escolha do tipo do vertedor depende da vazão de projeto, dos custos envolvidos e do arranjo geométrico. Porto (2006) classifica os vertedores quanto a:

- a) Forma geométrica da abertura: os vertedores mais usuais possuem formas de seção retangular, triangular, circular e trapezoidal. Eles podem também apresentar formato parabólico ou ser composto de mais de uma forma geométrica, que são os de seção composta.
- b) Altura relativa da soleira: *descarga livre* quando o escoamento acontece livremente à jusante da parede do vertedor ( $P > P'$ ), como representado na figura 4 (a); *descarga submersa* quando a altura da soleira é menor que o nível d'água a jusante ( $P < P'$ ), como mostra a Figura 4 (b).

**Figura 4.** (a) Vertedor de descarga livre ( $P > P'$ ); e (b) Vertedor de descarga submersa ( $P < P'$ ).



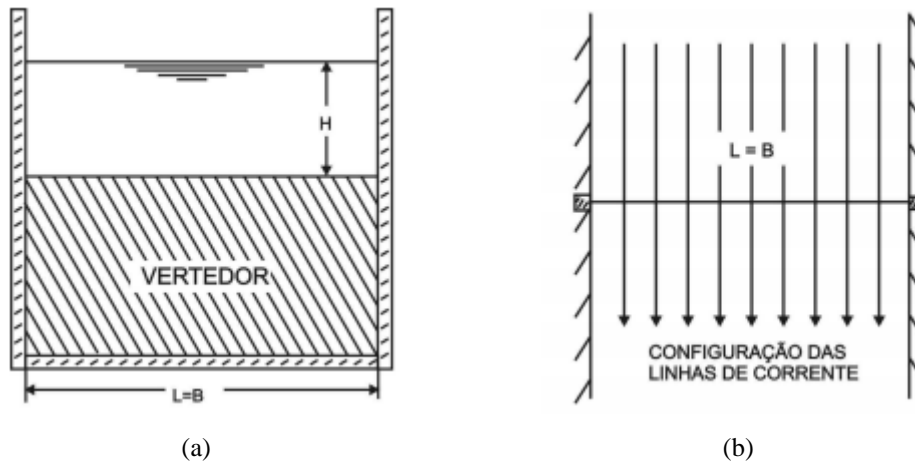
Fonte: Adaptado de Guedes (2015).

Segundo Guedes (2015), vertedores que operam em condições de descarga livre são mais utilizados, pois essa forma é mais prática para a medição da vazão. Já os vertedores afogados devem ser evitados na prática, pois não existem muitos estudos sobre esses e, como é difícil medir a carga hidráulica  $H$ , o cálculo da vazão torna-se mais complicado. Também, o escoamento não cai livremente à jusante do vertedor.

- c) Espessura da parede ( $e$ ): *parede delgada*, quando a espessura da parede é inferior a dois terços da carga ( $e \leq 2/3H$ ) e *parede espessa* no caso contrário ( $e > 2/3H$ ).
- d) Comprimento da soleira ( $L$ ): *sem contração lateral*, quando o comprimento da soleira é igual à largura do canal da soleira ( $L = L'$ ) e *com contração lateral* ( $L < L'$ ) quando o comprimento da soleira é inferior à largura do canal de chegada.

No caso do vertedor sem contração lateral, o escoamento se mantém constante antes e depois de passar pela estrutura hidráulica, como mostra a figura 5.

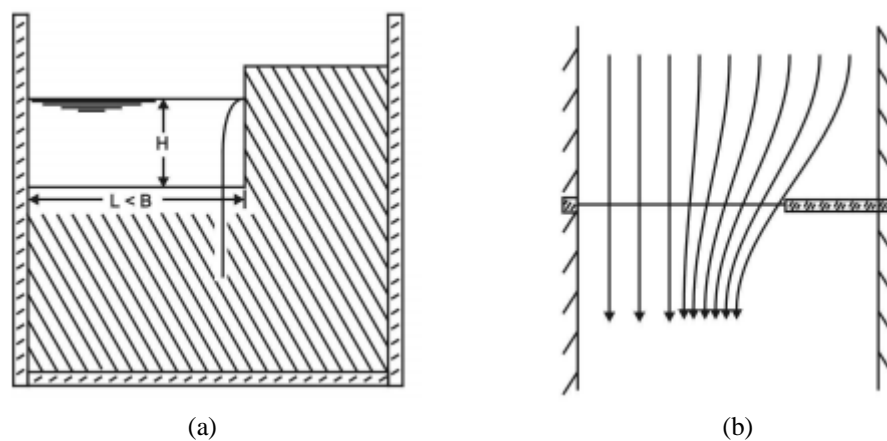
**Figura 5.** Vertedor sem contração lateral: (a) vista frontal; (b) vista de cima.



Fonte: Guedes (2015).

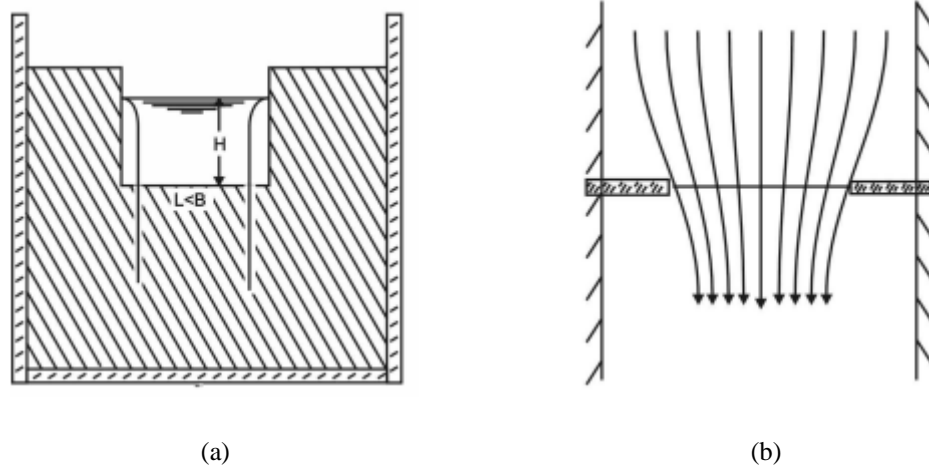
Nos vertedores com contração lateral, o escoamento se deprime ao passar pela soleira, que pode ter uma contração (figura 6) ou duas contrações laterais (figura 7).

**Figura 6.** Vertedor com uma contração lateral: (a) vista frontal; (b) vista de cima – linha de corrente deprimida no lado direito.



Fonte: Guedes (2015).

**Figura 7.** Vertedor com duas contrações laterais: (a) vista frontal; (b) vista de cima – linha de corrente deprimida no lado esquerdo e direito.



Fonte: Guedes (2015).

- e) Natureza da lâmina: *lâmina livre*, quando a parte inferior da lâmina líquida for arejada de modo que a pressão superior seja igual à pressão atmosférica, *lâmina deprimida*, quando a pressão abaixo da lâmina for inferior à pressão atmosférica e *lâmina aderente* quando não há bolsa de ar abaixo da lâmina vertente.

De acordo com Netto (1973), como nos vertedores triangulares não existe soleira horizontal, a ventilação da lâmina vertente é perfeita, como mostra a figura 8.

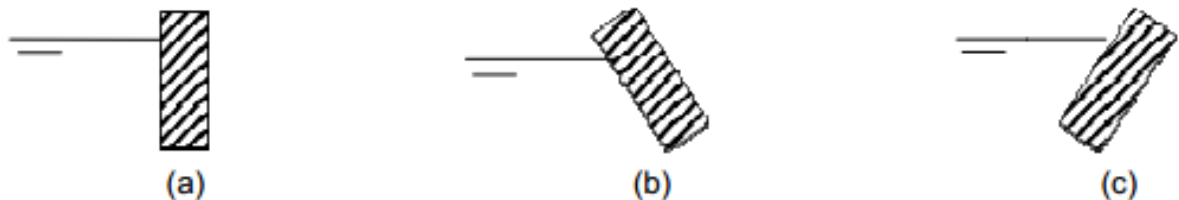
**Figura 8.** Vertedor triangular de lâmina perfeita.



Fonte: <http://www.commetro.com.br/instrumento-detalhes/7/medidores-de-vazao>

- f) Inclinação do paramento com a vertical: o lado da estrutura do vertedor que está em contato com a água pode ser inclinado (a montante ou a jusante) ou vertical, que é mais comum, conforme representado na figura 9.

**Figura 9.** Paramento: (a) na vertical; (b) inclinado a montante; e (c) inclinado à jusante.



Fonte: Guedes (2015).

- g) Forma geométrica da crista: retilínea, poligonal, labirinto, triangular e circular.

### 3.2.3 Vertedor retangular

São vertedores que apresentam a crista reta e horizontal, podendo ter ou não contrações laterais. Quando esses não apresentam supressão, o curso d'água tem a mesma largura do comprimento da crista. Já nos vertedores que apresentam contração lateral (podendo ter uma ou duas contrações), o comprimento da crista ( $L'$ ) é menor que a largura do canal ( $L$ ). Nesse caso, para cada contração, a largura efetiva da lâmina d'água deve ser reduzida em 10% da lâmina vertente, a fim de se obter o comprimento da soleira e calcular a vazão (Daugherty; Finnemore; Franzini, 1989).

A carga hidráulica ( $H$ ) deve ser medida a uma distância a montante da crista do vertedor de pelo menos quatro vezes a carga, pois, ao se aproximar do vertedor, o fluxo d'água sofre um rebaixamento de  $0,15H$ , devido ao aumento da velocidade nesse ponto (Daugherty; Finnemore; Franzini, 1989).

De acordo com Fábio (2009), é recomendado o uso de vertedores retangular para medição de vazões de até 1.500 L/s. A vazão sobre um vertedor de parede delgada, sem contrações laterais, pode ser calculada através da Fórmula de Francis, representada pela equação 3.

$$Q = 1,838 * L * H^{3/2} \quad (3)$$

Em que:

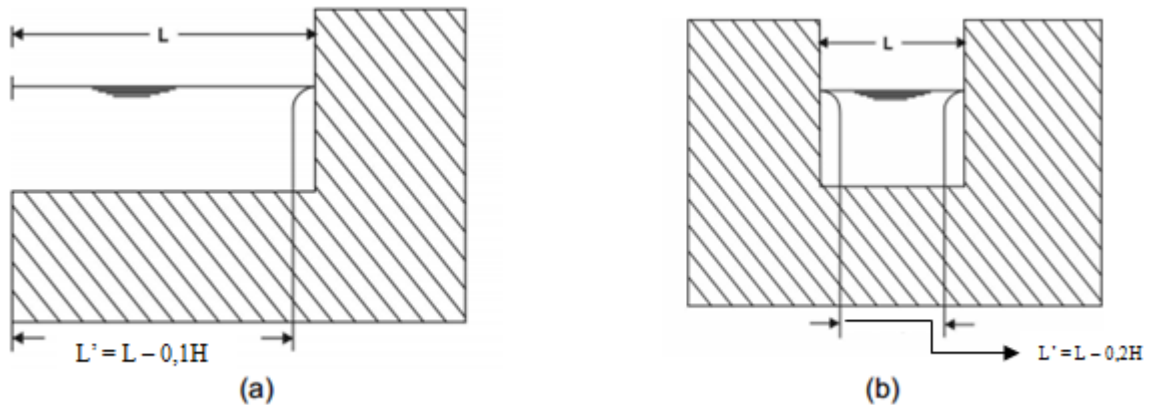
$Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$L$  = comprimento da crista do vertedor (m);

$H$  = carga sobre a crista do vertedor (m).

Para o caso de vertedores com contração lateral, Francis propôs usar a equação anterior (3) substituindo o valor de  $L$  por  $L'$ , onde é considerada a redução da lâmina vertente, a depender da quantidade de contrações, como representado pela figura 10.

**Figura 10.** Vertedor retangular: (a) com uma contração; e (b) com duas contrações.



Fonte: Guedes (2015).

Dessa forma, inserindo a correção proposta por Francis, para o cálculo da vazão em vertedores retangulares de parede delgada com uma e duas contrações laterais, respectivamente, usam-se as equações 4 e 5.

$$Q = 1,838 * (L - 0,1H) * H^{3/2} \quad (4)$$

$$Q = 1,838 * (L - 0,2H) * H^{3/2} \quad (5)$$

Martins e Dutra ([2013]) destacam alguns pontos que devem ser levados em consideração antes de se projetar e construir um vertedor retangular de parede delgada. São eles:

a) A soleira deve ser delgada, reta, em nível com o plano horizontal e normal à direção do fluxo (convém utilizar uma placa de metal);

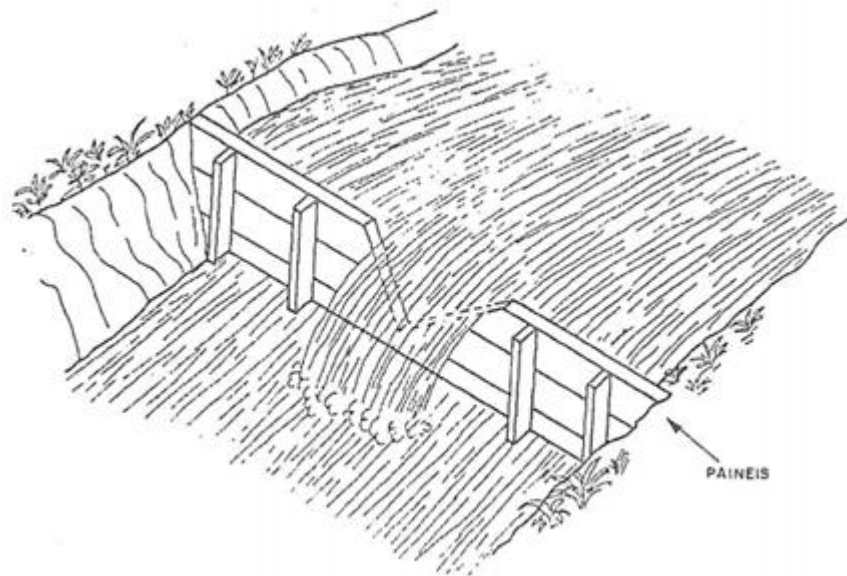


- b) Deve haver livre admissão de ar debaixo da lâmina de água (veia livre);
- c) A carga hidráulica H deve ser maior que 5 cm e menor que 60 cm;
- d) O comprimento da soleira deve ser no mínimo igual a 3H (no mínimo 20 a 30 cm);
- e) A montante do vertedor deve haver um trecho retilíneo para regularizar o movimento da água, de preferência com o fundo em nível.

### 3.2.4 Vertedor triangular

São vertedores que apresentam um entalhe em forma de triângulo isósceles, com ângulo variando entre 10° e 90°, sendo mais utilizado os de 90° (Daugherty; Finnemore; Franzini, 1989). Esse formato é mais utilizado para medir vazão inferior a 300 L/s, pois apresentam maior precisão. Os cortes de abertura do vertedor devem ser chanfrados na direção do fluxo d'água, como representado pela figura 11 (Fábio, 2009).

**Figura 11.** Perfil de um vertedor triangular de parede delgada.



Fonte: Fábio (2009, p. 22).

Para o cálculo da vazão em vertedores nesse formato, adota-se a fórmula de Thompson, representada pela equação 6.

$$Q = 1,4 * H^{5/2} \quad (6)$$

Em que:

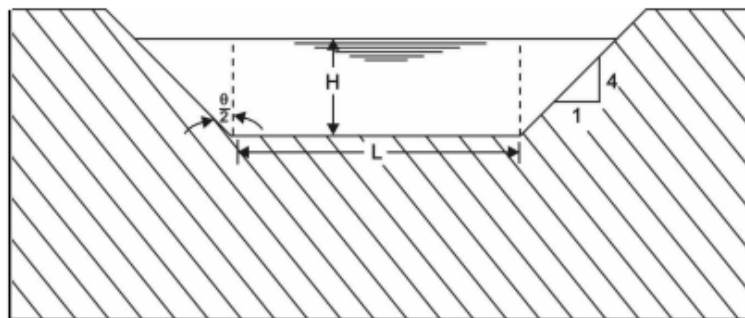
$Q$  = vazão máxima (m<sup>3</sup>/s);

$H$  = carga sobre a crista do vertedor (m);

### 3.2.5 Vertedor trapezoidal

Esse tipo de vertedor é menos utilizado que os vertedores retangular e triangular. Pode ser utilizado para medição de vazão, sendo o vertedor de Cipolletti o empregado. Esse modelo apresenta taludes de 1:4 (1 na horizontal para 4 na vertical) como forma de compensar o efeito da contração lateral da lâmina ao escoar sobre a crista, como representado na figura 12 (Guedes, 2015).

**Figura 12.** Vista frontal de um vertedor trapezoidal de Cipolletti.



Fonte: Guedes (2015).

Para esse caso, o cálculo para determinar a vazão é feito com base na equação 7.

$$Q = 1,86 * L * H^{3/2} \quad (7)$$

Em que:

$Q$  = vazão máxima (m<sup>3</sup>/s);

$L$  = comprimento da crista do vertedor (m);

$H$  = carga sobre a crista do vertedor (m).

### 3.2.6 Vertedor misto

A depender das necessidades de projeto, podem-se associar vários vertedores com formato de abertura diferentes. Na maioria das vezes, usa-se o vertedor triangular combinado com o vertedor retangular, como representado na figura 13, pois, de acordo com a NBR 13.403/95, esses podem estimar vazões estimadas entre 30 L/s e 300 L/s.

**Figura 13.** Vista frontal de um vertedor misto.



Fonte: <http://jararaca.ufsm.br/websites/matassul-furb/7b1e8e82b886b38317fcd4358ccadde3.htm>.

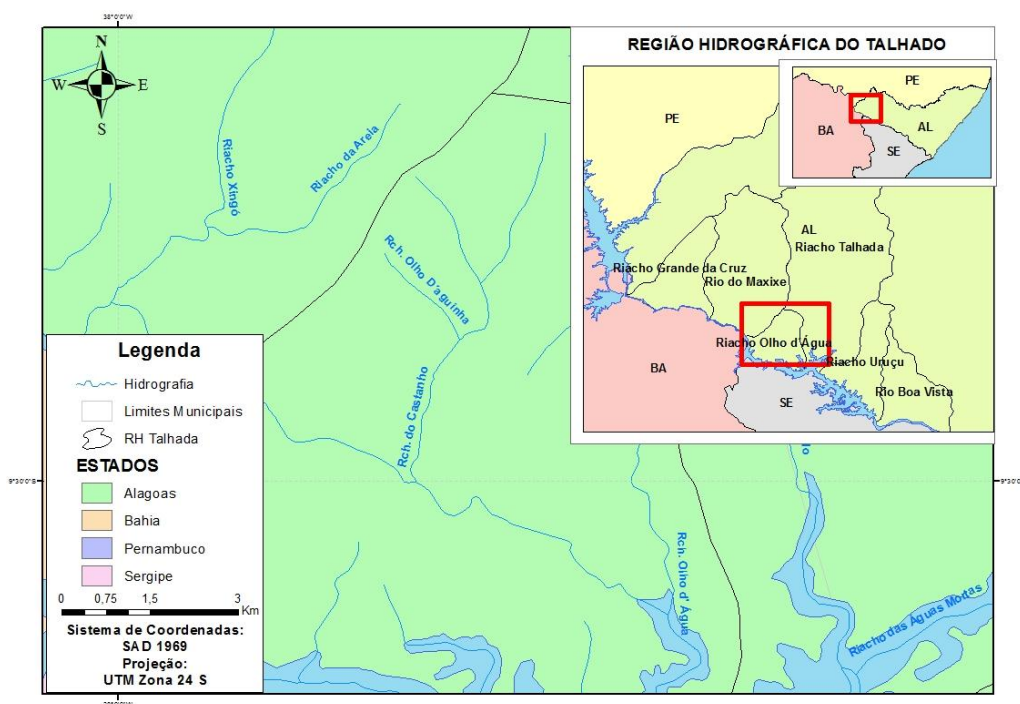
## 4. METODOLOGIA

Este capítulo objetiva demonstrar as etapas metodológicas primordiais utilizadas para a elaboração do projeto para o vertedor. São elas: área de estudo, atividade de campo, estudo hidrológico, dimensionamento hidráulico e orçamento para a construção do vertedor.

### 4.1 Área de Estudo

O riacho Olho D’Aguinha, que é um riacho intermitente, para o qual foi dimensionado o vertedor, está situado na propriedade Fazenda Amarelas, município de Delmiro Gouveia – AL, como se observa na figura 14. Localizada no extremo oeste do estado de Alagoas, alto sertão do Estado, a cidade de Delmiro Gouveia faz fronteira com três estados: Bahia, Sergipe e Pernambuco, apresentando uma extensão territorial 626,69 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 52.306 habitantes, segundo dados do IBGE (2017).

**Figura 14.** Localização de Delmiro Gouveia e da Bacia Hidrográfica do riacho Olho D’Água.



Fonte: Autor (2017).

Essa região localiza-se na Bacia Hidrográfica do riacho Olho D’Água, que por sua vez pertence à Região Hidrográfica do riacho Talhado. Envolvendo sete municípios, a região hidrográfica é constituída por seis sub-bacias hidrográficas, que abrangem a calha de drenagem do Rio São Francisco, e apresenta uma área de 1.452,6 km<sup>2</sup>, dentro dos limites territoriais de Alagoas.

Segundo Nascimento (2011), a Região Hidrográfica do riacho Talhado apresenta média anual de temperatura de 24°C e de precipitação inferior a 700 mm, com exceção do município de Água Branca, que apresenta um valor superior a 900 mm. No que concerne à hidrografia, a bacia é constituída por rios perenes e intermitentes, formando uma rede de drenagem composta em sua maior parte por cursos d'águas temporários, tais como os rios: maxixe, cazumba, uruçu, serra negra, serra d'água, pereira, lajedinho, entre outros.

O relevo é suave-ondulado, possuindo pequenos vales estreitos, com vertentes dissecadas, atingindo altitudes máximas de 240 metros. O solo característico dessa região é dividido em quatro grandes grupos: chernossolos, luvisolos, neossolos e planossolos. A caatinga é a vegetação que se apresenta de forma mais expressiva na Bacia Hidrográfica do riacho Olho D'Água, além de se encontrar, de forma reduzida, a vegetação estacional decidual e semidecidual (Nascimento, et al., 2011).

Ainda que banhado pelo rio São Francisco, o município de Delmiro Gouveia e outras cidades que estão localizadas na região semiárida do Brasil, sofrem com a escassez hídrica causada por longos períodos de estiagem, o que prejudica o desenvolvimento das atividades geradoras de renda da cidade e na qualidade de vida da população, como por exemplo, a agricultura e a pecuária.

Assim sendo, a gestão de recursos hídricos nessa região é fundamental para tentar atender a demanda necessária nos períodos de estiagem e, para que essa gestão possa ser implantada com eficácia, é necessário que se tenha ao menos uma boa estimativa dos processos hidrológicos.

#### 4.2 Atividade de campo

Foram realizadas duas visitas de campo para a obtenção de informações sobre o riacho Olho D'Aguiha, necessárias para a realização do projeto do vertedor. A primeira visita foi feita com o intuito de coletar as coordenadas geográficas do ponto de instalação do vertedor (figura 15), as medidas do riacho (figura 16), analisar em qual profundidade se encontrava rocha (figura 17) e qual o tipo de solo característico da região (através de coletas de amostras para uma análise tátil visual) (figura 18), a fim de escolher qual seria o material mais apropriado para a construção do vertedor.

**Figura 15.** Coleta de coordenadas geográficas através de GPS.



Fonte: Autor (2016).

**Figura 16.** Coleta de medidas do riacho com o auxílio de trena.



Fonte: Autor (2016).



**Figura 17.** Mensuração da profundidade em que se encontrou rocha.



Fonte: Autor (2016).

**Figura 18.** Coleta de amostras de solo.



Fonte: Autor (2016).

Por último, fez-se a visita ao local para fazer uma locação do vertedor e avaliar como se daria o processo construtivo. Na ocasião, foram levados dois pedreiros para que eles avaliassem o valor da mão de obra para construir o vertedor (figura 19), e conferidas às dimensões que haviam sido coletadas na visita anterior.

**Figura 19.** Análise da locação do vertedor.



Fonte: Autor (2016).

### 4.3 Estudo Hidrológico

#### 4.3.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica

O valor da área da bacia hidrográfica é determinado mediante o desenho de seus limites, ou da linha do divisor de águas, em uma planta planialtimétrica. Nesse trabalho, a delimitação da Bacia Hidrográfica do riacho Olho D'Água, na qual está localizado o riacho Olho D'Aguinha, foi realizada por meio da delimitação automática, técnica elaborada através do uso do SIG (Sistemas de Informações Geográficas). Para isso, utilizou-se o Modelo Numérico do Terreno (MNT), que é obtido através da interpolação de curvas de nível, executada em posse das imagens de sensores remotos. No presente projeto, foi usada a imagem ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) de resolução 30 x 30 metros.

Segundo Felgueiras e Câmara (2001), um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que, através da elaboração e criação de um modelo digital (representado por equações analíticas ou uma rede de pontos), transmite as características espaciais do terreno. O MNT pode representar vários fenômenos, como por exemplo, dados de relevo, informações geológicas e levantamentos de profundidades do mar ou de um rio.



Para a delimitação automática da bacia hidrográfica na região de estudo em questão, utilizou-se o software ArcMap 10.1, extensão do software ArcGIS. As etapas que foram utilizadas para a delimitação foram baseadas no trabalho feito por Jenson e Domingue (1988), onde se encontra também uma comparação entre a delimitação automática e a delimitação manual das áreas de drenagem.

#### 4.3.2 Chuvas intensas

Inicialmente, coletaram-se dados no portal hidroWeb (disponíveis no site da Agência Nacional de Águas - ANA), para analisar a série histórica do posto pluviométrico de Delmiro Gouveia – AL (00937013), que está localizado no interior do município. Utilizaram-se dados diários de precipitação desde 1936 até 2006 que servem como base para o cálculo da precipitação em um determinado tempo de retorno.

Em seguida, para o cálculo da máxima precipitação, usou-se a distribuição de Gumbel reduzida (equação 8), pois, de acordo com Tomaz (2002), essa distribuição é a mais utilizada para regiões onde não existe uma equação de chuva intensa definida, apenas dados de precipitação diária através de pluviômetros, que é o caso da área em estudo.

Naghetini e Pinto (2007) atribuem o uso da distribuição de Gumbel para a análise de frequência de variáveis hidrológicas, podendo ser aplicada na determinação de relações intensidade-duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes.

$$X_T = \beta - \left(\frac{1}{\alpha}\right) * \ln \left[ -\ln * \left(\frac{T-1}{T}\right) \right] \quad (8)$$

Em que:

$X_T$  = precipitação máxima para um determinado tempo de retorno T;

T = média da amostra;

$\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros de escala e posição, respectivamente, obtidos através das equações 9 e 10;

$$\alpha = \frac{1,2826}{S_x} \quad (9)$$

$$\beta = \bar{X} - 0,452 * S_x \quad (10)$$

Em que:

$S_x$  = desvio padrão da amostra;

$\bar{X}$  = média da amostra.

Após o cálculo da precipitação máxima para as chuvas diárias máximas anuais para um determinado tempo de retorno, calcularam-se os valores de precipitação para durações menores. Para isso, foi utilizado o método das relações de durações de chuvas, dado pela equação 11, segundo Tucci (2012).

$$r_{i/j} = \frac{P_i}{P_j} \quad (11)$$

Onde:

$r_{i/j}$  = relação entre as precipitações de duração  $i$  e duração  $j$ ;

$P_i$  = precipitação com duração  $i$ ;

$P_j$  = precipitação com duração  $j$ .

A relação entre as precipitações de diferentes durações e tempos de retorno ( $r_{i/j}$ ) foi obtida a partir da curva IDF da cidade de Maceió (pois é a cidade mais próxima da região em estudo que apresenta essa curva), com o auxílio do software Excel 2007. Os valores estão representados na tabela 3.

**Tabela 3.** Taxa de relações para Maceió – AL.

Relação entre as durações ( <i>r</i> )	Tempo de Retorno (anos)							
	2	5	10	25	50	100	500	1000
5min/15min	0,47	0,45	0,44	0,44	0,43	0,45	0,45	0,45
10min/15min	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,76	0,75	0,75
15min/30min	0,67	0,65	0,64	0,63	0,63	0,65	0,64	0,64
20min/30min	0,80	0,78	0,77	0,79	0,75	0,79	0,78	0,78
25min/30min	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89
30min/24h	0,25	0,23	0,21	0,20	0,21	0,23	0,22	0,22
1h/24h	0,37	0,37	0,36	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36
2h/24h	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
4h/24h	0,60	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
6h/24h	0,67	0,68	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	0,68
8h/24h	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,74
10h/24h	0,78	0,79	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79
12h/24h	0,81	0,83	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83
24h/1dia	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13

Fonte: Autor (2016).

#### 4.3.3 Vazão Máxima

Nessa etapa, para o cálculo da propagação do escoamento superficial (vazão máxima) depois de um evento de chuva, utilizou-se a equação 2. Para isso, foi necessária a determinação de alguns parâmetros: tempo de concentração e intensidade da chuva.

##### a) Tempo de concentração

De acordo com Gribbin (2009), o tempo de concentração ( $t_c$ ) é o tempo necessário, contado a partir do início da chuva, para que ocorra escoamento do ponto mais distante da bacia até atingir a seção em estudo.

O cálculo do tempo de concentração pode ser feito através de fórmulas empíricas, entre elas, a fórmula empírica de Kirpich, o método da onda cinemática, a fórmula do *Soil Conservation Service* – SCS, o método do *California Culverts Practice* e a fórmula da *Federal Aviation Agency*.

Nesse trabalho foi utilizado o método do *California Culverts Practice* (equação 12). Esta metodologia possui as mesmas aplicações e limitações da fórmula de Kirpich (declividades de 3% a 10% e áreas de drenagem de até 0,5 km<sup>2</sup>), porém, na prática, ela tem

seja utilizada para áreas de maior magnitude, porém dentro da aplicabilidade do método racional.

$$t_c = 57 * \left( \frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (12)$$

Em que:

$t_c$  = tempo de concentração (min);

$L$  = comprimento do talvegue do curso d'água (km);

$\Delta h$  = diferença de cotas entre o ponto mais distante da bacia e a seção considerada (m).

O comprimento do talvegue do curso d'água e a cota das elevações do ponto mais alto e da seção em estudo da bacia foram obtidos através do software ArcMap 10.1, extensão do software ArcGIS, após a delimitação da bacia hidrográfica.

#### **b) Intensidade da chuva**

As estimativas da intensidade média de precipitação são feitas pela análise estatística de séries de dados pluviométricos relativos à região de estudo. Para Souza Pinto *et al* (1976), a intensidade da precipitação considerada no cálculo do Método Racional é a máxima média analisada num determinado intervalo de tempo, que é igual ao tempo de concentração da bacia, para o período de reincidência escolhido, ou seja, tempo de retorno. Fazendo essa consideração, assume-se que todas as partes da bacia contribuem para área de drenagem e que a intensidade da chuva de projeto tem intensidade constante ao longo do tempo.

De acordo com Tomaz (2009), a intensidade ( $i$ ) pode ser obtida através da equação 13 ou com base em curvas de intensidade-duração-frequência (curvas I-D-F), que variam a depender da região em estudo.

$$i = \frac{P}{t} \quad (13)$$

Em que:

$i$  = intensidade média da chuva (mm/hr);

$P$  = precipitação máxima (mm);

$t$  = duração da chuva (hr).

Logo, para estimar a intensidade da chuva crítica a ser adotada na determinação de uma vazão de projeto, é preciso, inicialmente, definir qual o tempo de retorno (período de recorrência) e duração caracteriza o evento de precipitação.

#### 4.4 Dimensionamento Hidráulico

O formato escolhido para o vertedor foi o misto (triangular combinado com retangular), pois, dessa forma, consegue-se medir pequenas e grandes vazões. Logo, para o cálculo das dimensões da estrutura hidráulica, é necessário somar a vazão característica para cada formato do vertedor, como mostra a equação 14, a fim de se obter uma vazão total.

$$Q_{total} = Q_{retangular} + Q_{triangular} \quad (14)$$

Em que:

$Q_{total}$  = vazão total do vertedor ( $m^3/s$ );

$Q_{retangular}$  = vazão do vertedor retangular ( $m^3/s$ );

$Q_{triangular}$  = vazão do vertedor triangular ( $m^3/s$ ).

Para o cálculo da vazão do vertedor retangular, utilizou-se a equação 5 (projeto para vertedor com duas contrações laterais), e para a vazão do vertedor triangular, a equação 6, ambas referenciadas anteriormente.

#### 4.5 Concepção construtiva do vertedor

Inicialmente, coletou-se uma pequena porção de solo de cada uma das margens do riacho para, em laboratório, fazer uma análise tátil-visual, a fim de identificar as características desse. Para isso, deve-se escavar a cada 1 metro e analisar o tipo de solo em cada nível de camada.

Com base nos resultados obtidos, foi definido o método construtivo do vertedor, bem como os materiais que seriam utilizados para a execução. Prezou-se por aproveitar a maioria dos materiais presentes nos arredores, a fim de baratear o custo do vertedor e tornar mais viável a sua execução, visto que o mesmo será construído num local de difícil acesso.

Ao término dessa etapa, com o auxílio do software AutoCAD 2010, fez-se o desenho do vertedor.

#### 4.6 Orçamento para construção do vertedor

Como complemento do projeto, foi estimado o orçamento para a construção do vertedor, utilizando como base o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos (SINAPI) e o Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE).

Destaca-se que o valor referente à mão de obra foi desconsiderado no orçamento, pois esse foi realizado diretamente com um pedreiro (depois do mesmo visitar o local da obra) e houve alterações significativas no valor após algumas negociações.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos para o estudo realizado na Bacia Hidrográfica do riacho Olho d'Água, a partir dos quais será possível realizar o projeto do vertedor para o riacho Olho D'Aguiha.

### 5.1 Atividade de campo

O vertedor deve ser instalado num trecho retilíneo, que apresente maior representatividade das características hidrológicas e de fácil acesso. Logo, baseado nessas condições, escolheu-se a região mostrada na figura 20 para a construção da estrutura hidráulica.

**Figura 20.** Ponto de instalação do vertedor.

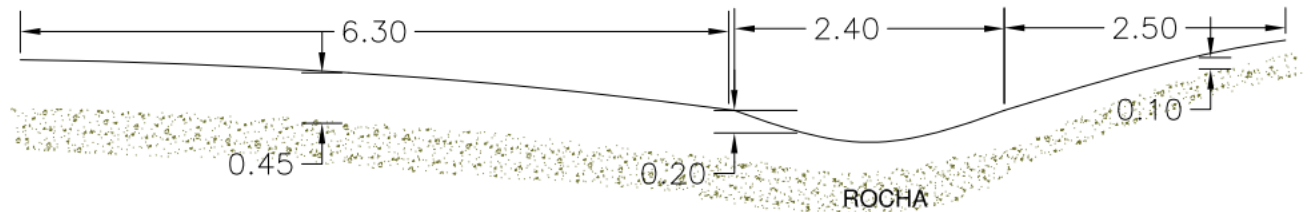


Fonte: Autor (2016).

Com a realização da atividade descrita no tópico 4.2, coletou-se dados importantes para realizar o projeto do vertedor, tais como: as coordenadas geográficas de onde o mesmo será construído (Latitude: 9° 28' 51,48" Sul e Longitude: 37° 57' 26,52" Oeste), largura do leito do riacho (2,40 metros), a altura da margem esquerda (0,20 metros), a profundidade escavada até se encontrar rocha (10 cm na margem direita do riacho e 45 cm na margem esquerda), como mostra a figura 21, a fim de analisar o tipo de fundação da estrutura, e a característica do solo coletado nas margens do riacho (solo arenoso na margem direita, devido

à presença de grãos medianamente arredondados, e de solo arenoso com presença de argila na margem esquerda).

**Figura 21.** Perfil do riacho (todas medidas em metros).



Fonte: Autor (2016).

## 5.2 Estudo Hidrológico

Primeiramente, delimitou-se a bacia hidrográfica da região em estudo pelo método da delimitação automática, seguindo os procedimentos do item 4.3.1, encontrando um valor da área igual a 2,53 km<sup>2</sup>. Em posse desse valor, com base nos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3 descritos na metodologia do presente trabalho, calculou-se a máxima vazão do riacho Olho D'Aguinha.

Após a coleta de dados pluviométricos diários do posto 00937013, disponíveis no portal HidroWeb, calculou-se, com o auxílio do software Excel 2007, o valor médio, o desvio padrão e os parâmetros de escala e posição (equações 9 e 10) para a amostra obtida. Os resultados estão dispostos na tabela 4.

**Tabela 4.** Valores para a amostra obtida.

$\bar{X}$	$S_x$	$\alpha$	$\beta$
62,623	26,620	0,048	50,617

Fonte: Autor (2017).

Posteriormente, calculou-se a chuva máxima diária com auxílio da equação 8 (equação de Gumbel), descrita no item 4.3.2, para um tempo de retorno de 25 anos, obtendo-se um valor para  $X_T = 117,004$  mm. Em posse desse valor, utilizou-se a tabela 3 para calcular a chuva para durações menores, como mostra a tabela 5.



**Tabela 5.** Precipitações para diferentes durações.

<b>Duração</b>	<b>Tempo de Retorno – 25 anos</b>
5 min	7,41
10 min	12,72
15 min	17,19
20 min	20,76
25 min	24,23
30min	27,51
1h	47,41
2h	63,18
4h	80,80
6h	91,07
8h	99,24
10h	105,31
12h	110,63
24h	132,21
1dia	117,004

Fonte: Autor (2017).

O método racional preza que a duração da chuva deve ser igual ao tempo de concentração da bacia, logo com auxílio do *software ArcMap* e do Modelo Numérico do Terreno da bacia, foi possível calcular o tempo de concentração da bacia, conforme a tabela 6.

**Tabela 6.** Tempo de concentração da bacia e seus parâmetros.

<b><math>\Delta h</math> (m)</b>	<b>L (km)</b>	<b><math>t_c</math> (min)</b>	<b><math>t_c</math> (h)</b>
50	2,0	28,148	0,47

Fonte: Autor (2017).

Sabendo-se que o valor do tempo de concentração não está expresso na tabela 5, realizou-se a interpolação com os valores mais próximos da duração do projeto, obtendo o valor de 26,231 mm que corresponde, segundo a equação 13, a um valor de  $i = 55,81$  mm/h.

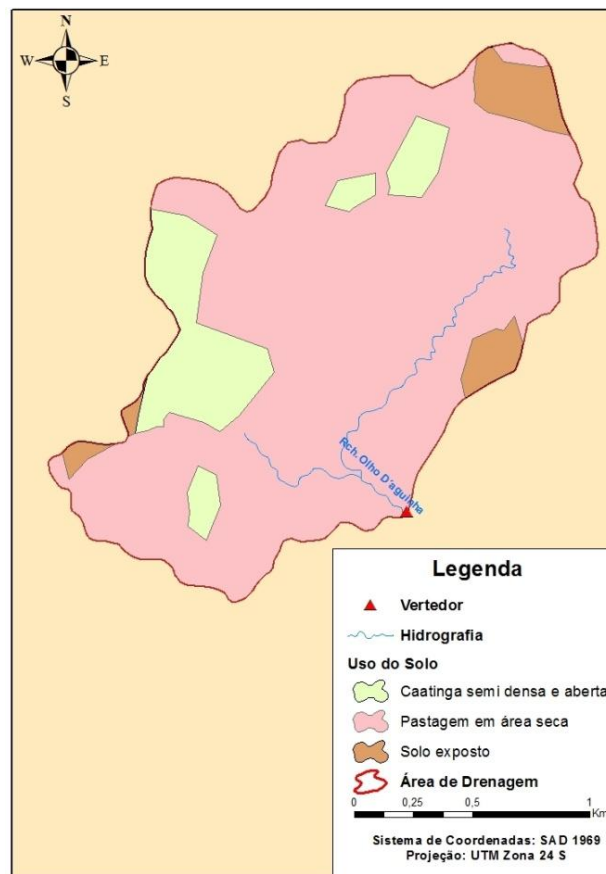
Por fim, para o cálculo do coeficiente de deflúvio (escoamento), é necessário conhecer o uso do solo da bacia. A figura 22 apresenta a Bacia Hidrográfica do riacho Olho d'Água, bem como as características do uso de solo da área de acordo com sistema de informações geográficas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Também, com base nos dados do tipo de solo de Alagoas, disponível na EMBRAPA, identificou-se que o solo característico da maior parte da bacia é o solo arenoso, com uma pequena quantidade de argila. Baseado nessa informação, e sabendo que a declividade média da bacia é de 1,9%, ao consultar a tabela 1, adotou-se um valor para o coeficiente de deflúvio

igual a 0,10 (Solo arenoso, com cobertura vegetal sendo pastagem e declividade entre 0 e 5 %).

Por fim, em posse desses valores, aplicou-se a equação 1, tendo como resultado para a vazão máxima do riacho Olho D'Aguiha (tempo de retorno de 25 anos) um valor de 3,96 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 22.** Mapa de uso de solo da Bacia Hidrográfica do riacho Olho d'Água.

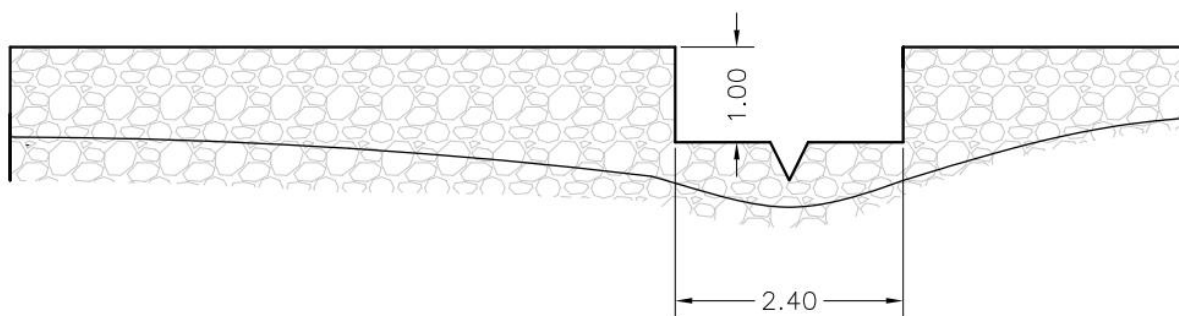


Fonte: Autor (2017).

### 5.3 Dimensionamento Hidráulico

Para encontrar as dimensões da estrutura hidráulica, foi usada a equação 14. Como nesse caso o vertedor triangular irá medir uma vazão pequena, quando comparado à vazão do vertedor retangular, desconsiderou-se a sua contribuição no cálculo do dimensionamento hidráulico, tendo que  $Q_{total} = Q_{retangular}$ . Adotando-se a largura da soleira de 2,40 metros, obteve-se um valor da carga sobre a crista do vertedor (H) igual a 0,85 metros. Por medidas de segurança, adotou-se a altura das faces do vertedor de 1 metro, conforme pode ser vista figura 23.

**Figura 23.** Corte do vertedor (todas as medidas em metros).



Fonte: Autor (2017).

#### 5.4 Concepção construtiva

O solo coletado nas margens do riacho apresenta características distintas, como já apresentado no início desse capítulo, todavia, como se encontrou rocha numa profundidade rasa, a característica do solo não influenciará diretamente na escolha da fundação. Dessa forma, a fundação, bem como o vertedor foram projetados pra serem construídos em pedra rachão e concreto magro, pois, além desses materiais apresentarem uma boa resistência, existe uma disponibilidade dessas pedras nas imediações do riacho, barateando assim a construção.

As paredes do vertedor devem se executadas com 0,50 metros de espessura, com 7 metros de comprimento (lado esquerdo) e 3 metros (lado direito), pois quando o riacho atinge sua máxima vazão, sua largura fica aproximadamente nessas dimensões. Adotaram-se dimensões maiores devido ao represamento do riacho após a execução do vertedor. Todo o detalhamento do projeto (planta baixa e corte longitudinal) encontra-se no ANEXO A desse trabalho.

#### 5.5 Orçamento

Por fim, obteve-se o custo da construção do vertedor com base nos valores unitários encontrados a partir das tabelas SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos) e ORSE (Orçamento de Obras de Sergipe). Para isso, foram levantados e quantificados os materiais necessários para a sua execução, como mostra a tabela 9. Vale ressaltar que, devido à disponibilidade de areia (serão necessários 9,05 m<sup>3</sup>) e de pedra rachão nos arredores do local da obra, não se incluiu esses materiais no orçamento.

Quanto à mão de obra, o custo ficou contabilizado em R\$ 3.000,00, valor esse proposto pelo pedreiro após uma visita no local da obra, como já explicado no tópico 4.6. Logo, tem-se um investimento total de R\$ 4.772,79 para a execução do vertedor.

**Tabela 9.** Materiais e serviço levantados para a construção do vertedor.

<b>Itens</b>	<b>Fonte</b>	<b>Cód.</b>	<b>Descrição do material</b>	<b>Unid.</b>	<b>Custo Unit.</b>	<b>Qnt</b>
1	SINAPI	10511	Cimento Portland composto CP II – 32	50 kg	23,00	64
2	ORSE	10929	Brita 1 (9,5 a 19,0 mm)	m <sup>3</sup>	61,00	1,60
3	ORSE	10930	Brita 2 (19,0 a 25,0 mm)	m <sup>3</sup>	61,00	1,60
4	ORSE	01571	Madeira mista serrada – pinho 3 <sup>a</sup> (tábua) 2,2x30 cm	m	6,72	4
5	SINAPI	02736	Madeira roliça sem tratamento, eucalipto ou equivalente na ração, h=3 m, d=8 a 11 cm (para escoramento)	m	13,88	5
6	SINAPI	34562	Arame recozido 16 bwg, 1,60 mm (0,016 kg/m)	kg	9,31	1
7	-	-	Mão de obra	-	3.000,00	-
<b>Valor total</b>					<b>4.772,79</b>	

Fonte: Autor (2017)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas hidráulicas estão sujeitas à ação de diversos mecanismos que podem colocá-las em situação de risco, associando assim sua segurança ao conhecimento de como elas se comportam sob um máximo escoamento. Esse dimensionamento não é uma ciência exata, uma vez que todos os cálculos dependem das características topográficas, geológicas e da confiabilidade dos dados hidrológicos disponíveis, fazendo assim com que alguns parâmetros e coeficientes sejam adotados de forma subjetiva.

O vertedor do riacho Olho D'Aguiha é apenas uma das ferramentas utilizadas pelo projeto ECOBEER para o monitoramento da Bacia Hidrográfica do riacho Olho D'Água, estudo esse que visa obter dados sobre a disponibilidade hídrica da bacia, permitindo assim que se tenha uma administração mais eficiente dos recursos hídricos, beneficiando a população da região que sofre com a escassez de água devido a longos períodos de estiagem.

Esse trabalho visou apresentar as principais metodologias e medidas determinantes na escolha dos métodos para se elaborar um projeto para um vertedor medidor de vazão. Destaca-se aqui que a escolha dessa metodologia prezou garantir o máximo de confiabilidade em cada etapa dos estudos realizados.

Infelizmente, devido a processos de caráter burocrático, o vertedor ainda não foi executado, impedindo assim um avanço mais rápido da pesquisa, visto que a pluviometria conhecida dos últimos meses poderia fornecer dados para análise, caso os equipamentos já estivessem instalados.

Em trabalho futuros, recomendam-se alguns requisitos a serem levados em consideração, tais como: aplicação de outros métodos para determinação da máxima vazão do riacho, aplicação de outras fórmulas para o cálculo do tempo de concentração da bacia e uma análise da ocupação do solo levando em consideração a declividade e a extensão da bacia, a fim de obter coeficientes mais precisos para a região em estudo.

## 7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/> >. Acesso em: 10 de Janeiro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13403: Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores - Escoamento livre**, 7p. Rio de Janeiro, 1995.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3ª Edição. Editora UFMG. Belo Horizonte, 2010.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. **Hidrologia**. Capítulo 7: Escoamento Superficial. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: < <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf> >. Acesso em: 02 de Maio de 2017.

COSTA, F. M.; BACELLAR, L. de A. P.; SILVA, E. F. **Vertedores portáteis em microbacias de drenagem**. Revista da Escola de Minas, v. 60, p. 213-218, 2007.

DAUGHERTY, R. L.; FINNEMORE, E. J.; FRANZINI, J. B. **Fluid mechanics with engineering applications**. Tata McGraw-Hill Education, 1989.

EMPRAPA. **Uso de solo**. 2005.

FÁBIO, F. M. **Aproveitamentos Hidrelétricos**. USP – Escola de Engenharia de São Carlos, 2009.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G.. **Modelagem numérica de terreno**. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html> >. Acesso em: 11 de Maio de 2017.

GENOVEZ, Abel Maia. **Avaliação dos metodos de estimação das vazões de enchente para pequenas bacias rurais do Estado de São Paulo**. 1991. [241]f. Tese (livre-docencia) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=000071858>>. Acesso em: 29 de Abril de 2017.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. Cengage Learning, 2009.

GUEDES, H. A. S. **Hidráulica**. Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharia Civil. 2015.

IBGE. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/al/delmiro-gouveia/panorama> >. Acesso em: 17 de Maio de 2017.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. **Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis**. Photogrammetric engineering and remote sensing, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

MOTA, S. et al. **Monitoramento comunitário da qualidade da água: uma ferramenta para a gestão participativa dos recursos hídricos no semi-árido**. 2008.

NAGUETTI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística [Statistical Hydrology]**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NASCIMENTO, M. C. et al. **Mapeamento da fragmentação dos remanescentes florestais na Região Hidrográfica do Riacho Talhado, Alagoas - Brasil**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 4570-4577. Curitiba – PR, 2011.

NETTO, A. et al. **Manual de hidráulica**. 1973.

PORTO, R. de M., **Hidráulica Básica**. 4ª Edição. São Carlos: EESC/USP, 2006.

RAIMUNDO, A. P. **Estruturas hidráulicas utilizadas em reservatórios de controle de cheias**. 2007. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo.

SOUZA PINTO, Nelson L. de et al. **Hidrologia básica**. Edgard Blücher, São Paulo, 1976.

TOMAZ, Plínio. **Curso de manejo de águas pluviais**. Guarulhos – SP, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS. Editora, 2005a.

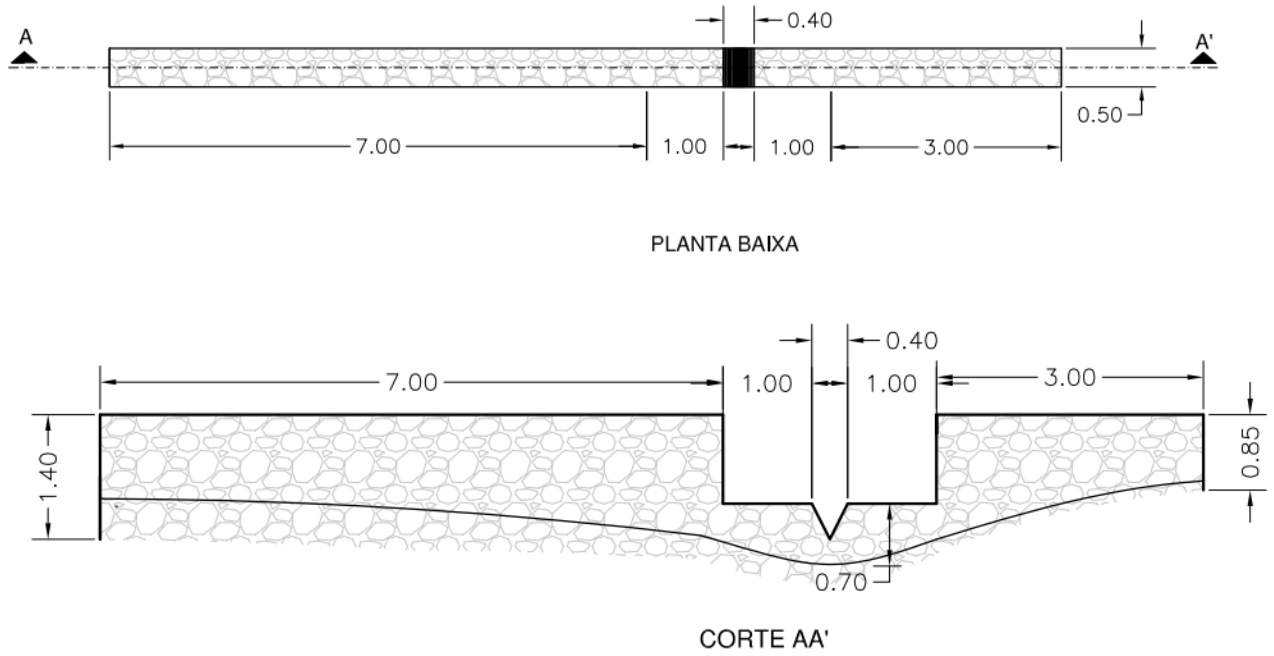
WILKEN, P.S. **Engenharia de drenagem superficial**. 1ª Edição. São Paulo: CETESB, 1978.



MARTINS, W. C.; DUTRA E. **Vertedores**. PUC – Minas Gerais. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgIh0AJ/vertedores> >. Acesso em: 13 de Abril de 2017.

**ANEXO A**

Observação: Todas as unidades em metros.



Fonte: Autor, (2017).