

**REDE DOCTUM DE ENSINO
FACULDADE INTEGRADAS DE CARATINGA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA BARRAGEM PARA REGULARIZAÇÃO DE
ABASTECIMENTO NA CIDADE DE ENTRE FOLHAS - MG**

**TAYRONE HENRIQUE PIRES
VALMIR VIEIRA MENDES**

Trabalho de Conclusão de Curso

Caratinga/MG

2016

**TAYRONE HENRIQUE PIRES
VALMIR VIEIRA MENDES**

**DIMENSIONAMENTO DE UMA BARRAGEM PARA REGULARIZAÇÃO DE
ABASTECIMENTO NA CIDADE DE ENTRE FOLHAS - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Civil das Faculdades Integradas de Caratinga da DOCTUM Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Ricardo Botelho .

Caratinga/MG

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

DIMENSIONAMENTO DE UMA BARRAGEM PARA REGULARIZAÇÃO DE ABASTECIMENTO NA CIDADE DE ENTRE FOLHA - MG

Nome completo do aluno: VALMIR VIEIRA MENDES / TAYRONE HENRIQUE PIRES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Ricardo Botelho Campos, Sidinei Silva Araújo e Luciano da Silva Delgado, às 20 horas do dia 11 de julho de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: APROVADO (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: EXCELENTE (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: SIM () NÃO

Caratinga, 11 de julho de 2016

Ricardo Botelho Campos

Professor Orientador e Presidente da Banca

Sidinei Silva Araújo

Professor Avaliador 1

Luciano da Silva Delgado

Professor Avaliador 2

Valmir Vieira Mendes

Tayrone H. Pires (a)

[Assinatura]

Coordenador(a) do Curso

À Deus por todas as bênçãos desta vida, a nossas famílias, amigos, professores e todos que fizeram parte de nossa formação:

"Nem todos os trabalhos, pela sua natureza, são próprios para serem oferecidos. Este é, certamente, daqueles que não se oferecem, mas o dedicando, só tive em vista compensar-vos um pouco das horas que me afastei do vosso convívio para o concluir."

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por mais esta etapa que se concluirá em breve de forma satisfatória e gratificante, pelos resultados alcançados e principalmente pela realização de um sonho que se torna realidade.

Gostaria de reconhecer o apoio dos meus familiares, principalmente meus avós Geny Pires e José Pires, por todo o apoio e auxílio que me fizeram ser o homem que me tornei. Tios e tias, que sempre me cederam parte de seus lares e vidas para que o resultado hoje alcançado pudesse se tornar possível.

A minha mãe Lourdes Pires, pelo amor incondicional que sempre me apoiou em todas as decisões que possibilitaram realizar um sonho que dará partida a muitos outros.

Aos amigos e colegas de sala, pela compreensão, nas atividades acadêmicas, pelo companheirismo nos trabalhos desenvolvidos neste longo processo que se tornaram parte de meu perfil curricular. A minha namorada que se tornou parte deste desenvolvimento e aprimoramento pessoal e intelectual nos últimos períodos desta realização a qual creio ter apoiado e auxiliado de forma mútua.

Às pessoas que me cederam o privilégio de estagiar em suas empresas sendo elas profissionais e excelentes pessoas, e por todos aqueles que fizeram parte de minha vida pessoal e profissional.

Agradeço aos meus professores, orientadores e coordenadores pelos ensinamentos e sabedorias prestados, que durante a vida profissional permitirá exercer com eficiência e seriedade o que aprendemos.

(Tayrone Henrique Pires.)

Cinco anos se passaram, minha mente já não é tão pequena. Conhecimentos foram adquiridos e desafios foram superados, mas sei que sozinho seria impossível emplacar mais essa vitória em minha vida. Então deixo aqui o meu muito obrigado.

Obrigado Mãe, pela dedicação e apoio ao longo de toda essa minha caminhada. A senhora que sempre incentivou os filhos a estudarem mesmo sabendo da limitação de cada um, mas eis aqui mais um que conseguiu.

Àquelas pessoas que quando deveriam ser simplesmente professores foram mestres. Que quando deveriam ser mestres, foram amigos e com sua amizade nos compreenderam e nos incentivaram a seguir nosso caminho.

Aos meus colegas de curso que fizeram parte dessa nossa trajetória, dividindo momentos de descontração, estudos, discussões, experiências, conquistas e que agora nossos corações se preparam para viver a busca de cada ideal sonhado, e principalmente, a realização do que mais se esperou. O fim de uma história que mal começou.

Ao Programa Universidade para Todos (PROUNI) do governo federal que muito me contribuiu com uma bolsa integral de estudo e a Prefeitura Municipal de Entre Folhas – MG pelo transporte escolar.

(Valmir Vieira Mendes.)

”É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”

(Theodore Roosevelt)

PIRES, Tayrone H. MENDES Valmir V. **DIMENSIONAMENTO DE UMA BARRAGEM PARA REGULARIZAÇÃO DE ABASTECIMENTO NA CIDADE DE ENTRE FOLHAS - MG.** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

RESUMO

A construção de barragens é uma das mais antigas técnicas para aumentar a disponibilidade hídrica em uma região que não tem capacidade de suprir as demandas deste recurso que é essencial para a sociedade. Constitui sua formação no barramento de cursos d'água formando assim lagos artificiais. Estas técnicas visam obter elevação do nível de água e criar, por acumulação, uma reserva capaz de regularizar as vazões demandadas para uma determinada área servida. As Barragens possuem várias funções, sendo as principais: geração de energia elétrica, abastecimento de cidades, barramento de dejetos sólidos e navegação. Devido ao grande impacto causado por uma possível ruptura de uma barragem localizada a montante da cidade que irá ser abastecida, é de grande importância que este sistema, seja calculado e executado por profissionais devidamente habilitados, uma vez que, a barragem se encontra no início do município. Diante disso, este trabalho tem como objetivo dimensionar uma barragem para o abastecimento do município de Entre Folhas-MG, a fim de garantir o abastecimento na cidade nos períodos de seca. A bacia hidrográfica de captação foi delimitada com o auxílio do software desenvolvido pela empresa GOOGLE. O ponto escolhido para o estudo foi determinado de acordo com a topografia favorável do local, além de estar situado próximo a atual estação de captação e tratamento existente na cidade. Como resultado do estudo, a barragem apresentou a altura total de 7 m, sendo composta por: altura no nível normal de 5 m, altura do extravasor de 1 m e altura de folga de 1 m. A base possui uma largura de 40 m e a crista 5 m. O sistema extravasor adotado foi um canal retangular de concreto com largura de 4,5 m e paredes de 1 m de altura tendo como complemento uma escada de dissipação de energia. Foi adotado um sistema desarenador de concreto com diâmetro de 80 cm.

Palavras-chave: Barragem, Seca, Abastecimento Urbano de Água.

PIRES Tayrone H., MENDES Valmir V. **DIMENSIONAMENTO DE UMA BARRAGEM PARA REGULARIZAÇÃO DE ABASTECIMENTO NA CIDADE DE ENTRE FOLHAS - MG.** Caratinga, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

ABSTRACT

The construction of dams is one of the oldest techniques to increase water availability in a region that has no natural way to address the lack of this vital resource. Which is of great importance to society, especially during the dry season. These dams are built at the waterways forming artificial lakes. These techniques aim to get a higher water level and to create for accumulating a reservoir capable of regulating the flow rates demanded for a given area that is being served. Dams have various purposes, and some of their main functions are: generation of electricity, water supply of cities, setting barriers for solid waste and navigation. Due to the great impact caused by a possible rupture of a dam located upstream of a city that will be supplied, it is of great importance that this system should be calculated and executed by trained professionals, once the area reached by the dam includes most of the municipality. Therefore, this study is designed to calculate a dam to supply the city of Entre-Folhas-MG, in order to ensure supply to the city in times of drought. The river catchment was defined with the help of a software developed by the GOOGLE company. The point chosen for the implementation of the study was chosen according to the favorable topography of the site, in addition to being located near the current water capture station and the existing treatment system in the city. As a result the dam study was given a total height of 7 m, of which: the normal level height of 5 m, a 1 m height of the spillway, plus 1 m height as a security break. The base has a width of 40 m and a width of the top of 5 m. The overflow system is a rectangular concrete channel with a width of 4.5 m and walls of 1 m high water, having to supplement a power dissipation ladder. Also, a concrete sand trap system with a diameter of 80 cm was adopted.

Key-words: Dam, Drought, Urban Water Supply.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | – Seção transversal de uma barragem de gravidade. | 17 |
| Figura 2 | – Representação esquemática de uma barragem de contrafortes. | 17 |
| Figura 3 | – Barragem Hoover. | 18 |
| Figura 4 | – Representação esquemática de uma barragem em arco. | 18 |
| Figura 5 | – Representação esquemática de uma barragem de terra. | 19 |
| Figura 6 | – Representação esquemática dos elementos básicos de uma barragem de terra. | 21 |
| Figura 7 | – Representação esquemática do extravasor. | 25 |
| Figura 8 | – Compactação de Solo. | 25 |
| Figura 9 | – Local da Barragem e Delimitação da Área Alagada. | 26 |
| Figura 10 | – Área da Bacia. | 27 |
| Figura 11 | – Mapa de Solos Brasileiros da Localização da barragem | 27 |
| Figura 12 | – Cotas de nível do local da bacia. | 31 |
| Figura 13 | – Seção transversal do maciço (projeção transversal dos taludes e crista). | 33 |
| Figura 14 | – Sistema extravasor com a escada dissipadora e a tubulação de fundo. | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------------|---|----|
| Tabela 1 | – Cotas, Áreas e Volumes do Reservatório | 31 |
| Tabela 2 | – Valores mínimos da folga em função da extensão do espelho de água e da profundidade da barragem | 32 |
| Tabela 3 | – Coeficientes de escoamento em função da vegetação, solos e topografia. . . | 35 |
| Tabela 4 | – Características da bacia em estudo. | 35 |
| Tabela 5 | – Velocidades médias, em função do material das paredes do canal. | 37 |
| Tabela 6 | – Coeficientes de rugosidade (C) de Hazen-Williams. | 39 |
| Tabela 7 | – Balanço Hídrico | 41 |
| Tabela 8 | – Vazão escoada pelo extravasor | 42 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|--|
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| CIGB-ICOLD | Comissão Internacional de Grandes Barragens (International Commission on Large Dams) |
| COPASA | Companhia de Saneamento de Minas Gerais S.A. |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| FAO | Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IGAM | Instituto Mineiro de Gestão das Águas |
| ISF | Instrução de Serviço Ferroviário |
| UFLA | Universidade Federal de lavras |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 OBJETIVO | 15 |
| 1.1.1 Objetivo Geral | 15 |
| 1.1.2 Objetivo Específico | 15 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 16 |
| 2.1 RECURSOS HÍDRICOS | 16 |
| 2.2 TIPOS DE BARRAGENS | 16 |
| 2.2.1 Barragem de Gravidade | 16 |
| 2.2.2 Barragem de Contrafortes | 17 |
| 2.2.3 Barragem de Arco | 17 |
| 2.2.4 Barragem de Terra | 18 |
| 2.3 ELEMENTOS QUE COMPÕEM UMA BARRAGEM DE TERRA | 20 |
| 2.4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS | 22 |
| 2.4.1 Bacia Hidrográfica | 22 |
| 2.4.2 Tempo de Concentração | 22 |
| 2.4.3 Intensidade de Precipitação | 23 |
| 2.4.4 Estimativa da Produção Hídrica da Bacia | 23 |
| 2.4.5 Estimativa da Vazão de Projeto | 23 |
| 2.5 ESTUDOS HIDRÁULICOS | 24 |
| 2.5.1 Extravasor | 24 |
| 2.5.2 Compactação do solo | 25 |
| 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 26 |
| 3.1 DADOS DO PROJETO | 26 |
| 3.2 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM | 28 |
| 3.2.1 Produção hídrica da bacia | 28 |
| 3.2.2 Vazão necessária | 29 |
| 3.2.3 Balanço hídrico | 29 |
| 3.2.4 Volume de água Armazenada | 30 |
| 3.2.5 Altura da barragem | 31 |
| 3.2.6 Largura da Crista e Comprimento da Projeção dos Taludes | 32 |
| 3.2.7 Vazão máxima | 33 |
| 3.2.8 Extravasor | 35 |
| 3.2.9 Escada de dissipação | 38 |
| 3.2.10 Desarenador | 38 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 4.1 BARRAGEM DE TERRA | 41 |
| 4.2 SISTEMA EXTRAVASOR | 42 |
| 4.3 DESARENADOR | 43 |
| 5 CONCLUSÃO | 44 |
| 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS: | 44 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |
| APÊNDICE A Vazões Mensais da Bacia do Córrego Vai e Vem | 48 |
| ANEXO A - Relatório das vazões do manancial Córrego Entre Folhas. Dados fornecidos pela COPASA. | 49 |
| ANEXO B - Tabela Coeficiente de rugosidade "n" para canais abertos | 52 |

1 INTRODUÇÃO

Para Heller et al. (2006), o papel essencial da água para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades é de conhecimento geral na atualidade. Ao mesmo tempo, sabe-se que a sua disponibilidade na natureza tem sido insuficiente para atender à demanda requerida em muitas regiões do planeta e essa situação vem se agravando crescentemente.

Neste quadro, as instalações para abastecimento de água devem ser capazes de fornecer água com qualidade, com regularidade e de forma acessível para as populações, além de respeitar os interesses dos outros usuários dos mananciais utilizados, pensando na atual e nas futuras gerações.

Segundo FAO (2011), apesar de serem principalmente para regadio¹, estas estruturas podem ser utilizadas, separadamente ou combinadas, para a produção de peixe, armazenamento e abastecimento de água potável, fossa para águas residuais, recargas de águas subterrâneas, controle de cheias e armazenamento de conservação.

A construção de uma barragem na cidade de Entre Folhas- MG será capaz de disponibilizar água para a população principalmente nos períodos de estiagem, onde o manancial não consegue suprir a necessidade local trazendo grandes benefícios a economia do município e o conforto das famílias da cidade. Através de uma revisão bibliográfica aprofundada sobre o tema, partindo de importantes conceitos como o uso de recursos hídricos e suas finalidades, demandas de abastecimento para pequenas cidades, tipos de barragens, estudos hidráulicos e hidrológicos, foi possível a elaboração do estudo apresentado.

Os métodos e a seleção das técnicas empregadas para a construção de uma barragem de terra, seguiram como referência os ensinamentos fornecidos pelo autor Jacinto de Assunção Carvalho em seu livro Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação, publicado pela editora UFLA (Universidade Federal de lavras).

¹ Regadio: Diz-se de campo ou solo que possui água de rega ou se localiza na orla de um fluxo de água.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Dimensionar uma barragem para suportar um volume de água capaz de abastecer a cidade de Entre Folhas - MG durante o período de seca, fornecendo água para a população em quantidades satisfatórias.

1.1.2 Objetivo Específico

- Dimensionar as estruturas hidráulicas da barragem (extravasar, desarenador e dissipadores de energia);
- Dimensionar a largura da crista para que o aterro possa ser utilizado como estrada;
- Delimitar a bacia hidrográfica de captação;
- Obter a vazão resultante das precipitações de maior intensidade;
- Encontrar o valor em metros cúbicos capaz de suprir a cidade no período de seca.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 RECURSOS HÍDRICOS

Para Nieweglowski et al. (2010), a água é fundamental para a existência da vida. Nela surgiram os primeiros organismos, e só mais tarde, a partir das formas aquáticas, é que surgiu a vida no ambiente terrestre.

O acelerado crescimento populacional no mundo tem conduzido o aumento da demanda de água, o que vem ocasionando, em várias regiões, problemas de escassez desse recurso. (SETTI et al., 2001). Tal problema no Brasil, antes evidenciado principalmente no nordeste brasileiro, vem atingindo várias regiões do país com longos períodos de estiagem devido às mudanças climáticas, afetando o abastecimento de pequenas e grandes cidades em todo o território nacional.

De acordo com a Comissão Internacional de Grandes Barragens (CIGB-ICOLD, 2008), historicamente, as barragens têm permitido que as pessoas colem e armazenem água em períodos de abundância e usem-na durante períodos de seca. Assim, elas têm sido essenciais para o estabelecimento e o sustento de cidades e fazendas, e para o abastecimento de alimentos por meio da irrigação de plantações.

2.2 TIPOS DE BARRAGENS

Conforme Filho (2006), uma barragem é uma estrutura construída no caminho das águas e destinada a retê-la para os mais diversos fins, como abastecimento de água, energia hidroelétrica, irrigação, controle das enchentes e da erosão, canalização dos rios, turismo, etc. O Brasil por sua extensão territorial e volume de recurso hídricos disponíveis possui grande potencial para aproveitamento e criação de barragens para os mais diversos fins. Não existe atualmente um modelo construtivo ou técnica de engenharia que possa generalizar um tipo de barragem sendo ideal para todos os usos, cabe aos profissionais da área definir, entre todos os sistemas, o que mais se adéqua às necessidades de um determinado projeto.

2.2.1 Barragem de Gravidade

As barragens de gravidade como na Figura 1 têm, em geral, seção ligeiramente trapezoidal, quase triangular. Seu eixo pode ser uma linha reta ou levemente encurvada para montante ou uma combinação de ambas, tirando a melhor vantagem das condições topográficas FILHO (2006). Este tipo de barramento leva em consideração seu grande peso próprio para suportar os esforços de empuxo gerados pela altura da coluna d'água. Sua construção deve ocorrer sobre solos capazes de suportar grandes tensões a fim de evitar problemas nas fundações.

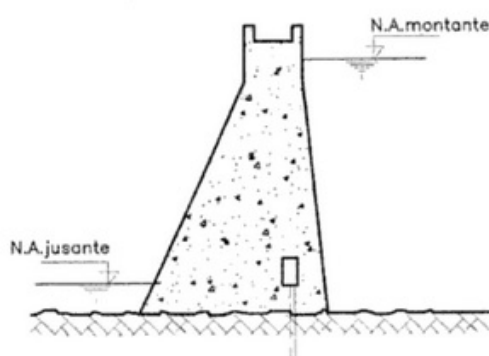


Figura 1: Seção transversal de uma barragem de gravidade.

Fonte: Desempenho de Obras Geotécnicas (2006)

2.2.2 Barragem de Contrafortes

As barragens de contrafortes ilustrada na Figura 2, caracterizada por vãos posicionados entre os apoios, apresentam economia no volume de concreto empregado na estrutura deste tipo de barragem e na fundação, devido a redução do peso próprio do sistema construtivo sobre o solo. Sendo definida por Filho (2006) como:

Uma placa de concreto armado com declive para montante, que toma a carga de água e a transmite aos contrafortes laterais. Estes são paredes verticais com seu eixo normal à placa. A placa pode ser plana ou em abóbada. Os contrafortes podem ser de paredes singelas ou duplas, ou de concreto massa.

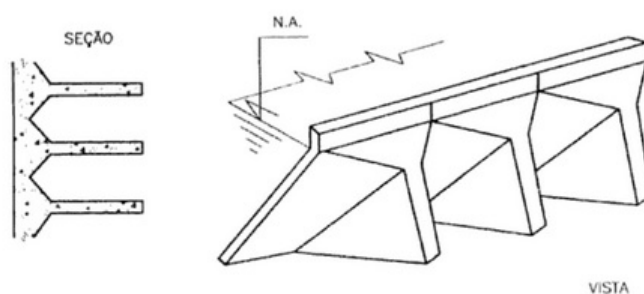


Figura 2: Representação esquemática de uma barragem de contrafortes.

Fonte: Desempenho de Obras Geotécnicas (2006)

2.2.3 Barragem de Arco

A construção deste tipo de barragem requer um local específico onde as ombreiras devem ser formadas por materiais indeformáveis como rochas tendo como grande exemplo a barragem Hoover localizada nos Estados Unidos (Figura 3).



Figura 3: Barragem Hoover.

Fonte: Desempenho de Obras Geotécnicas (2006)

Segundo Filho (2006) uma barragem em arco é composta de uma parede única de concreto, curva em planta, com a sua face convexa voltada para montante, conforme Figura 4. Sendo a distribuição destes esforços divididos entre as ombreiras da rocha adjacente por efeito de arco e a outra parte vai para a fundação, por transmissão direta através da massa da barragem.

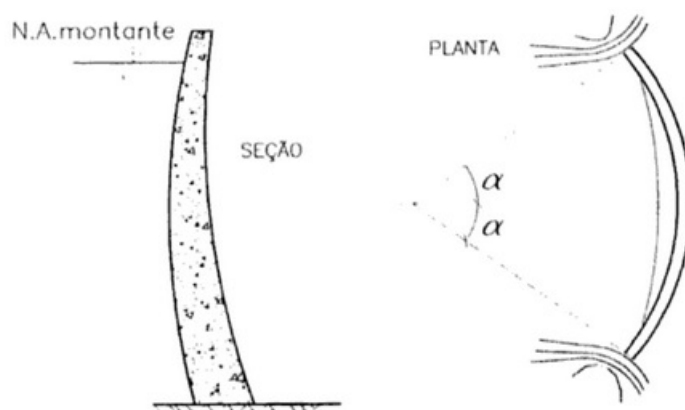


Figura 4: Representação esquemática de uma barragem em arco.

Fonte: Bing (2016)

2.2.4 Barragem de Terra

De acordo com Carvalho (2008), barragens de terra possuem um maciço constituído por solos compactados em camadas sucessivas, com sua estabilidade garantida pelo próprio peso da estrutura (Figura 5).

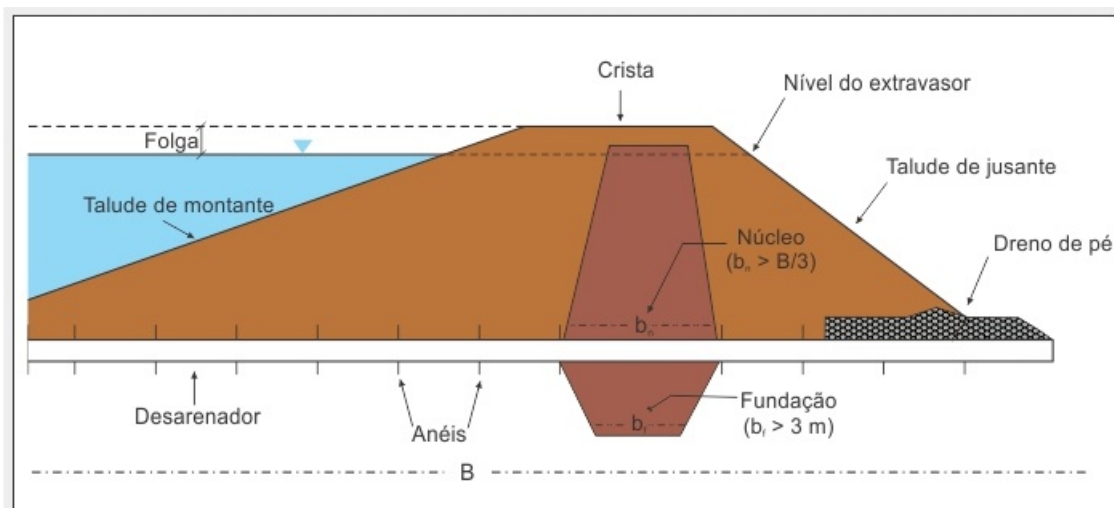


Figura 5: Representação esquemática de uma barragem de terra.

Fonte: Atlas das águas (2013).

Segundo o Atlas Digital das Águas de Minas (2011), os impactos provocados por estes reservatórios, geralmente são de pouca expressividade face aos benefícios que eles podem proporcionar. A manutenção de uma carga hidrostática mais elevada sobre o terreno e o aumento da área para infiltração proporcionam maior recarga de água em direção aos mananciais subterrâneos.

O abastecimento de aquíferos subterrâneos é fundamental para aumentar o escoamento de base, minimizando oscilações de vazão em cursos d'água superficiais. Com a elevação do nível freático, poderá haver maior disponibilidade de água para as plantas, por efeito de ascensão capilar, além de possibilitar fluxo de água subterrânea suficiente para a manutenção da vazão e perenização de pequenos córregos sob influência dessas águas freáticas.

Evidenciando os benefícios, o represamento da água além de abastecer a cidade apresenta alguns aspectos ambientais satisfatórios à sua construção, uma vez que este tipo de empreendimento afeta diretamente o meio ambiente em que é inserido.

Porém em um outro aspecto, apontado no mesmo Atlas, é indicado que: "as pequenas barragens de terra, por serem de fácil construção, muitas vezes têm seus aspectos técnicos, legais e ambientais negligenciados. "

Para um dimensionamento seguro do projeto deverão ser feitos os seguintes estudos:

- Estudos Hidrológicos para conhecimento da bacia hidrográfica de estudo, cálculos para previsão das vazões máximas de cheia e o volume de armazenamento demandado para um período de seca de aproximadamente 3 meses.
- Estudos Hidráulicos para melhor dimensionamento dos elementos da barragem como extravasor e desarenador.

De acordo com as referências apresentadas acima sobre as vantagens que a construção da barragem pode trazer para a localidade, as barragens de terra apresentam também vantagens construtivas para este tipo de projeto em relação às outras apresentadas. Algumas delas são: utilização de matérias naturais encontrados nas proximidades do local, baixo custo de construção, a base alargada distribui melhor as cargas sobre o solo, entre outras.

Entretanto, algumas desvantagens também devem ser abordadas, por exemplo: se as técnicas de compactação e uniformização do solo não forem executada corretamente, pode acarretar em um nível de fragilidade considerável, uma vez que, infiltrações podem ocasionar movimentação de partículas do solo dentro da barragem comprometendo sua estabilidade. Outras dificuldades construtivas podem ser apontadas pela dificuldade de execução do vertedor, pois necessita de manutenções constantes para evitar erosões e outros danos diversos.

De acordo com Matos et al. (2003), apesar de ser a construção de barragens de terra uma obra relativamente simples, que se utiliza de materiais de baixo custo, torna-se imprescindível a observação das normas fundamentais de segurança que tal construção exige, evitando, assim, riscos desnecessários para a população e o meio ambiente.

2.3 ELEMENTOS QUE COMPÕEM UMA BARRAGEM DE TERRA

Segundo Carvalho (2008) os elementos que compõem uma barragem de terra são denominados como:

- **ATERRO:** é o maciço, ou seja, é a estrutura com a função de reter a água;
- **ALTURA:** é a distância vertical entre a superfície do aterro e a parte superior;
- **BORDA LIVRE OU FOLGA:** distância vertical entre o nível da água e a crista do aterro, quando a represa estiver cheia;
- **TALUDES:** são as faces laterais do aterro, sendo o de montante aquele que está em contato com a água, e o de jusante aquele que está do lado seco da barragem;
- **CRISTA:** é a parte superior do aterro;
- **ESPELHO D'ÁGUA:** superfície d'água acumulada no reservatório;
- **BASE OU SAIA DO ATERRO:** projeção dos taludes de montante e jusante;
- **CUT-OFF:** vala construída no eixo da barragem e preenchida com terra de boa qualidade devidamente compactada;
- **NÚCLEO:** construído no centro do aterro para diminuição da infiltração;

- **EXTRAVASOR OU VERTEDOIRO:** estrutura com a finalidade de escoar o excesso de água da represa;
- **DESARENADOR:** também conhecido como tubulação de fundo, tem a função de controle do nível da represa e garantir o escoamento à jusante;
- **DISSIPADOR DE ENERGIA:** tem a função de diminuir a energia cinética da água, ao voltar ao seu leito natural.

Sendo situados conforme a Figura 6 aponta.

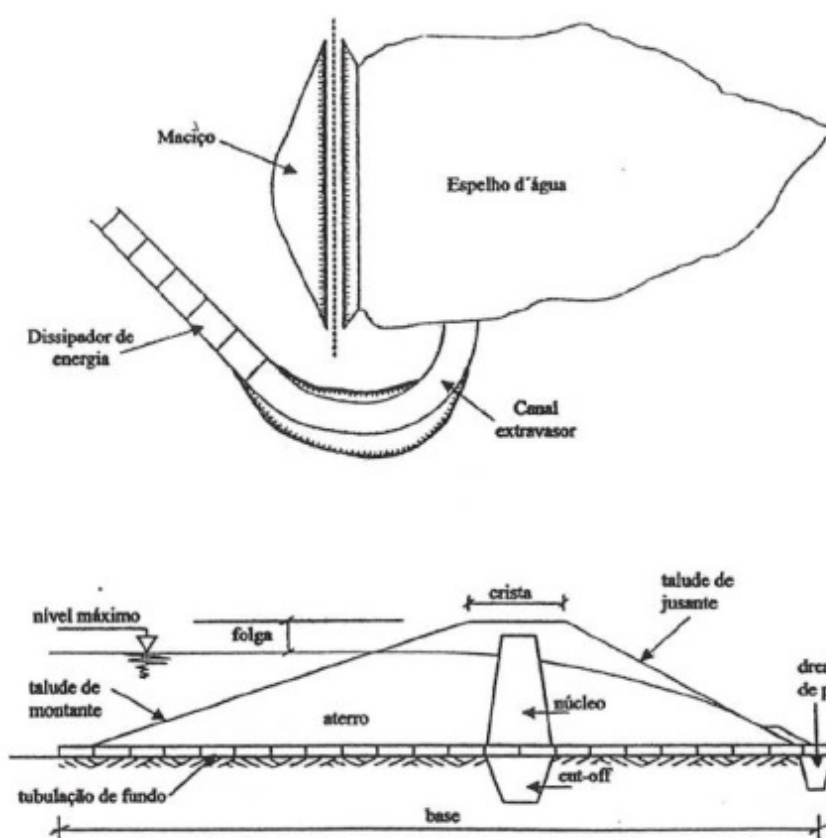


Figura 6: Representação esquemática dos elementos básicos de uma barragem de terra.

Fonte: Carvalho (2008).

Cabe aos profissionais devidamente registrados nos órgãos fiscalizadores, a responsabilidade pelo dimensionamento deste e qualquer outro projeto de engenharia. É importante, também, destacar que:

Obras hidráulicas como barramentos, mesmo sendo de pequeno porte, distinguem-se por interferir nos cursos d'água e estar sujeitas ao poder destruidor das enchentes, envolvendo riscos que jamais podem ser desconsiderados, sendo estes os dizeres muito importantes referenciados no (ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS, 2011).

2.4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Na análise dos estudos hidrológicos serão avaliados importantes aspectos para determinar os cálculos a serem feitos para dimensionamento do lago e da barragem.

Segundo a ISF-208: Estudos Hidrológicos do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) tais estudos devem abranger alguns pontos de interesse no projeto em questão sendo eles definidos como:

- Coleta de dados hidrológicos junto aos órgãos oficiais, estudos existentes, que permitam a caracterização climática, pluviométrica, fluviométrica e geomorfológica da região, e mais especificamente, da área em que se localiza o trecho em estudo;
- Coleta de elementos que permitam a definição das dimensões e demais características físicas das bacias de contribuição (forma, declividade, tipo de solo, recobrimento vegetal), tais como: cartas geográficas, levantamentos radamétricos, levantamentos fitopedológicos e/ou outras cartas disponíveis.

2.4.1 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de um curso de água é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada (PINTO et al., 1976).

Outros sinônimos utilizados na literatura para a referenciar-se a bacia hidrográfica são: bacia de contribuição, bacia de drenagem superficial, bacia de captação entre outros sendo estes os mais utilizados.

Segundo Garcez e Alvarez (1988) pode-se conceituar bacia hidrográfica como sendo uma área definida e fechada topograficamente num ponto do curso de água, de forma que toda vazão afluyente possa ser medida ou descarregada através desse ponto.

2.4.2 Tempo de Concentração

Miguez et al., (2015) assume que o tempo de concentração (T_c) como o intervalo de tempo decorrido a partir do início da precipitação, de forma que toda a bacia hidrográfica considerada passe a contribuir para a vazão na seção definida como referência para o estudo. Pode-se dizer que esse tempo corresponde à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção. Outra forma muito comum de definir o tempo de concentração é considerá-lo como o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica esteja contribuindo para o escoamento superficial numa determinada seção.

2.4.3 Intensidade de Precipitação

Segundo Carvalho (2008), é a quantidade de chuva que cai por unidade de tempo. Está relacionado ao tamanho da bacia: uma precipitação de grande intensidade atinge áreas menores e acontecem de forma rápida com curta duração, já chuvas que atingem grandes áreas ocorrem em períodos de tempo prolongados e são de baixa intensidade. A intensidade de precipitação é fornecida por pluviógrafo, que registra a altura de precipitação em função do tempo.

A partir da coleta de dados e de uma série histórica destes valores obtidos, utilizando-se processos estatísticos, pode-se estimar o grau de intensidade da precipitação e a possibilidade da ocorrência de picos em intervalos de tempo (frequência), além de determinar a duração destas chuvas.

Tempo de retorno é o período, em anos, que picos de precipitação podem ocorrer ou serem superados em volume de chuva e. Este espaço de tempo é utilizado para o dimensionamento de obras hidráulicas que, quanto maior o espaço de tempo, maior será o volume máximo de precipitação. Para obras hidráulicas, o tempo de retorno é de 5 a 10 anos. Para Galvincio et al (s.d.), o tempo de retorno para pequenas barragens de terra é de 50 a 100 anos.

2.4.4 Estimativa da Produção Hídrica da Bacia

Esta estimativa é de grande importância, especialmente quando o estudo de caso em questão destina-se a construção de barragens. Em concordância com ANA (2010), a vazão na bacia deve ser igualitária com seu uso previstos no projeto não consumindo totalmente o recurso hídrico e mantendo uma vazão mínima à jusante do projeto.

O estudo de pequenas bacias hidrográficas é de difícil obtenção de dados relacionados as vazões, quando tais dados existem, muitas das vezes, estão incompletos, pois não são suficientes para a construção de uma série histórica e realizações das estimativas.

Na grande maioria das vezes, a construção de pequenas barragens envolve pequenas bacias hidrológicas para as quais não se tem nenhum registro de vazão. Nestes casos lança-se mão da translação de dados a partir do conhecimento da produção hídrica de bacias vizinhas, consideradas homogêneas, ou da bacia maior, da qual se tem registros e está inserida na área em estudo.

2.4.5 Estimativa da Vazão de Projeto

De acordo com Tucci et al. (2004), a estimativa das vazões máximas possui importância fundamental na determinação dos custos e da segurança dos projetos de engenharia, servindo de base para a aplicação de medidas de ordem estrutural e não estrutural visando o controle e atenuação das cheias. O barramento de recursos hídricos provenientes de grandes bacias hidrográficas requer maior atenção, como consequência do impacto gerado pela ruptura ou falha em seu dimensionamento.

De acordo com Hradilek (2002), em caso de grandes barragens, onde sua ruptura causaria grandes prejuízos à jusante, é necessário o dimensionamento da obra com a máxima cheia provável. Considerando a execução de pequenas barragens onde os prejuízos não são de grande impacto, o uso de cheias menores para o dimensionamento é considerável devido aos aspectos econômicos.

Para Carvalho (2008), a vazão máxima ou vazão de projeto representa um dado de crucial importância, pois dela depende o dimensionamento da obra. As formas para sua estimativa variam de acordo com a disponibilidade dos dados hidrológicos da região em estudo. Devido à grande variedade de ecossistemas, relevos, tipos de solo, cobertura vegetal, entre outros fatores de influências, diversas equações foram adaptadas para cada tipo de local de estudo. Estas equações deveriam ser restritas ao uso apenas para as áreas onde foram desenvolvidas, mas pela falta de dados específicos para todas as regiões, tais equações podem ser reutilizadas em diferentes áreas, desde que, apresentem as mesmas características do local de onde foram comparadas.

Segundo FAO (2011), a vazão de projeto é esperada após a queda de uma chuva de intensidade de duração estimada para um determinado período de retorno, tendo em consideração as características hidrológicas da bacia. Na existência de outras obras hídricas na bacia de estudo, elas não devem ser levadas em consideração para evitar a redução da cheia máxima, contribuindo deste modo para que a segurança da obra não seja comprometida.

2.5 ESTUDOS HIDRÁULICOS

2.5.1 Extravasor

O sistema extravasor de uma barragem corresponde basicamente a construção de duas estruturas objetivando: a) permitir o escoamento da vazão máxima de enchente e b) proteção do local de restituição das águas vertidas ao curso d'água (ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS, 2011). O sistema extravasor busca garantir a segurança no escoamento da água, ou nos dizeres de Carvalho (2008), a finalidade do extravasor, sangradouro, descarregador de superfície ou ladrão é atuar como dispositivo de segurança eliminando o excesso de água quando a vazão assumir valores que tornem perigosa a estabilidade da barragem.

De acordo com Matos et al. (2003), a água que chega em excesso a açudes e represas pode ser oriunda de duas fontes: vazão normal, que ocorre após enchimento do reservatório, para dar passagem a água de rios ou riachos perenes, e vazão de enchentes. O excesso de água pode causar danos na própria estrutura, ou até mesmo alcançar níveis capazes de causar prejuízos as propriedades no entorno ou à montante por meio de alagamentos.

A cinética associada ao escoamento de um fluido em estruturas hidráulicas como os extravasores, podem alcançar altos níveis de energia e ocasionar danos a estrutura à jusante ou no leito do rio. Torna-se então necessário prever a construção de estruturas dissipadoras de energia,

destinadas a compatibilizar a velocidade do escoamento com as características de resistência do meio físico a jusante (BAPTISTA et al., 2003).

Carvalho (2008) sugere que, em barragens de terra, o extravasor deve ser construído fora do aterro, em terreno firme lateral e de preferência ser revestido para evitar o escoamento da água diretamente sobre o solo (Figura 7).

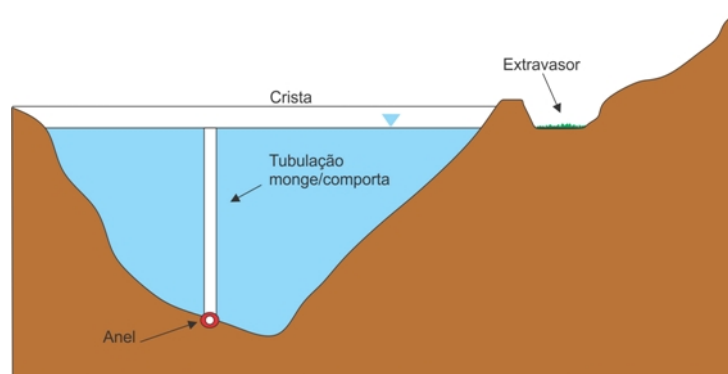


Figura 7: Representação esquemática do extravasor.

Fonte: Atlas das águas (2013).

2.5.2 Compactação do solo

A compactação é definida como sendo o adensamento dos solos pela aplicação de energia mecânica (Holtz & Kovacs, 1981). Com o intuito de minimizar o índice de vazios no solo, a aplicação dessa energia mecânica é de grande importância para construção de uma barragem de terra, pois dificultará a passagem da água pelo maciço de terra. A compactação, além de proporcionar restrição ao crescimento radicular, afeta a infiltração e a condutividade hidráulica, além de promover alterações nos processos químicos e biológicos no solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997). Podendo ser representado pela Figura 8.



Figura 8: Compactação de Solo.

Fonte: ETECON.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DADOS DO PROJETO

O projeto consiste no estudo das condições para construção de uma barragem de terra na cidade de Entre Folhas – MG, para o abastecimento de água potável da população local. A área indicado para a construção da barragem é de propriedade particular e cabe ao poder público as medidas necessárias para a sua apropriação, caso seja de interesse do município a execução da barragem.

O local que se encontra próximo a área urbana, tem sua utilização voltada para pastagem de gado. Na Figura 9 é apresentado a vista aérea do local.



Figura 9: Local da Barragem e Delimitação da Área Alagada.

Fonte: GOOGLE EARTH, adaptada pelo autor, (2016).

A bacia coletora denominada bacia do Córrego Vai e Vem é uma sub-bacia do Córrego Entre Folhas, e deságua a 233 metros à jusante do atual ponto de captação da COPASA.

O software utilizado para o cálculo da área de contribuição da bacia hidrográfica, foi o GOOGLE EARTH PRO devidamente registrado. Com o auxílio da ferramenta (Adicionar Polígono) foi traçado o perímetro responsável pela contribuição da bacia, o que possibilitou, de maneira simples, encontrar o valor da área. A ferramenta (Adicionar Caminho) foi utilizada para demarcar os afluentes. A Figura 10 apresenta a obtenção dos dados da bacia.

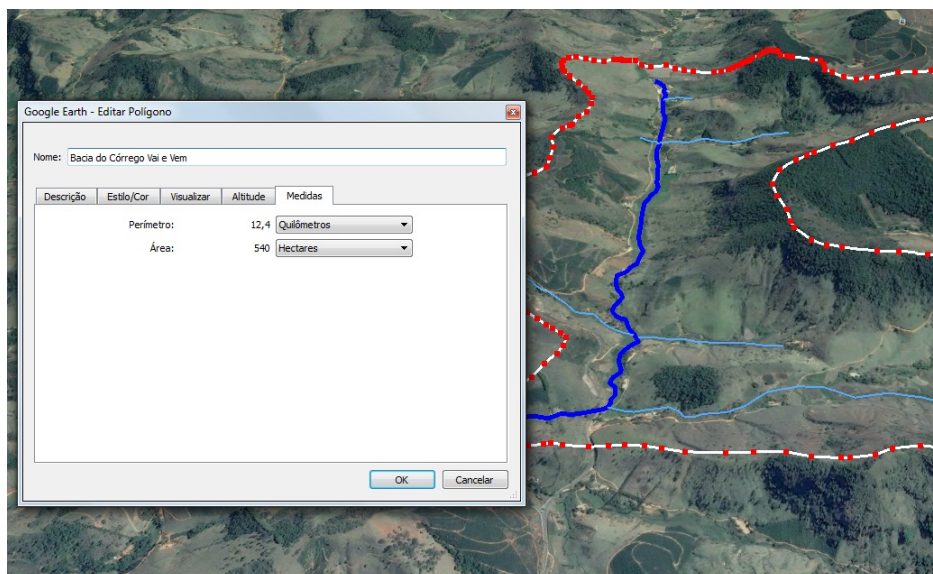


Figura 10: Área da Bacia.

Fonte: Autor (2016).

A área total da bacia hidrográfica do Córrego Vai e Vem à montante do local proposto no estudo para construção da barragem é de 540 ha (hectares), tendo sua vegetação composta principalmente por pastagens (77%), capoeiras e matas (15%) e lavouras de café (8%). A declividade média do terreno é de 22% e o curso d'água da nascente até a barragem é de 3,23 km, com um declive médio de 1,52% ou $15,2 \text{ m.km}^{-1}$.

O solo na região apresenta características argilosas como referenciado no Mapas de Solo do Brasil, produzido pelo IBGE em parceria com a EMBRAPA. Especificamente no entorno do local proposto para a construção da barragem o solo apresenta características de predominância argilosa (PV 33 Argilosos Vermelhos) e sem aflorações rochosas conforme a Figura 11, o que facilita a construção do aterro.

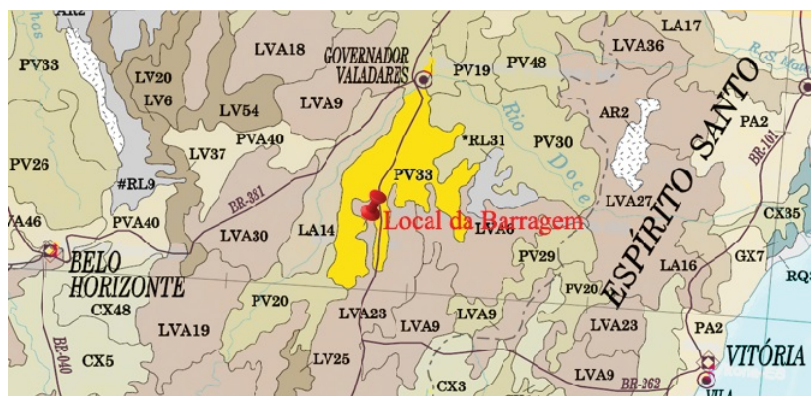


Figura 11: Mapa de Solos Brasileiros da Localização da barragem

Fonte: Adaptado pelo Autor, (2016).

3.2 DIMENSIONAMENTO DA BARRAGEM

Todos os cálculos para o dimensionamento das estruturas hidráulicas da barragem seguem a metodologia proposta por Carvalho (2008).

3.2.1 Produção hídrica da bacia

A construção de uma barragem depende de aprovações dos órgãos ambientais de cada estado. É necessário garantir uma vazão mínima à jusante do barramento, também chamada de vazão ecológica, através de dispositivos de extravasamento como a tubulação de fundo e vertedouro. No estado de Minas Gerais a portaria do IGAM 007/99 que se refere à vazão de outorga e direito para o uso das águas permite uma vazão remanescente mínima de 70% da $Q_{7,10}$, ou seja, relação entre a vazão mínima com 7 dias de duração e período de retorno de 10 anos. Outra referência é a Q_{95} que indica que as vazões são maiores ou iguais a ela durante 95% do tempo. Sendo a vazão de demanda maior que a vazão de outorga justifica-se a necessidade da construção de uma barragem.

A bacia do Córrego Vai e Vem não dispõe de dados de vazões para se compor uma série histórica. Nesse caso, Carvalho (2008) sugere a translação dos dados de vazões de bacias vizinhas para que possam ser empregados na bacia em estudo. Para translação foram utilizados os dados disponibilizados pela COPASA referentes à bacia do Córrego Entre Folhas do período de 1994 a 2014, conforme Equação 1 e 2:

$$Q_E = \frac{Q_{BM}}{A_{BM}} \quad (3.1)$$

$$Q_B = A_B \cdot Q_E \quad (3.2)$$

Onde:

- Q_E é a vazão específica ($L \cdot s^{-1} \text{ km}^2$);
- Q_{BM} é a vazão média da bacia maior ($L \cdot s^{-1}$);
- A_{BM} é a área da bacia maior (km^2);
- Q_B é a vazão da bacia em estudo ($L \cdot s^{-1}$);
- A_B é área da bacia em estudo (km^2).

Para o cálculo da $Q_{7,10}$ foram utilizadas as menores vazões registradas no período de 1994 a 2014, sendo feito da seguinte forma:

- As vazões mínimas foram colocadas em ordem crescente;
- Cada uma das vazões recebeu um índice de ordem (n);
- A cada ordem está associada uma frequência(F) dada por $F = \frac{n}{N + 1}$;
- Determinou-se o tempo de retorno (TR) que é o inverso da frequência, $TR = \frac{1}{F}$.

A $Q_{7,10}$ foi a vazão que apresentou um tempo de retorno de 10 anos, que de acordo com os cálculos foi de 4 l/s.

3.2.2 Vazão necessária

A cidade de Entre Folhas, segundo dados da COPASA, consome atualmente, uma média mensal de 8,75 l/s, o que equivale a 31,5 m^3/h de água potável. Segundo dados da companhia, o Córrego Entre Folhas apresentou em outubro de 2015, devido a falta de chuvas, uma vazão atípica de apenas 3,5 l/s, que dificultou a distribuição, em quantidades satisfatórias, de água potável aos moradores da região.

3.2.3 Balanço hídrico

O dimensionamento de reservatórios baseia-se no volume mínimo de água necessária para atender a demanda durante um período de escassez. Sua construção torna-se necessária quando a demanda ultrapassa o valor máximo outorgável do manancial, como no caso da bacia em estudo.

Para o cálculo do balanço hídrico devem ser utilizadas as vazões médias mensais obtidas da série histórica, as vazões de demanda e a mínima a ser garantida à jusante. Os dados de vazões apresentados pela COPASA referentes ao Córrego Entre Folhas, que podem ser observados no ANEXO A, não foram satisfatórios para determinar a vazão média mensal do Córrego Vai e Vem devido à irregularidade na frequência em que as medições eram realizadas. Por tal motivo, na translação dos dados foram adotados como vazões médias mensais, os menores valores registrados pela COPASA, considerando que esses valores mesmo sendo mínimos atenderiam a capacidade do reservatório nos meses de estiagem. O cálculo do volume total mensal de entrada de água no reservatório pode ser obtido pela Equação 3:

$$V_E = Q_M \cdot 24 \cdot D \quad (3.3)$$

Onde:

- V_E é o volume de entrada, (m^3);

- Q_M é a vazão media mensal, ($m^3.h^{-1}$);
- D é o número de dias do mês.

O cálculo do volume total mensal de saída de água do reservatório pode ser obtido pela Equação 4:

$$V_S = (24.Q_{MJ} + Q_D).D \quad (3.4)$$

Onde:

- V_S é volume de água de saída , (m^3);
- Q_{MJ} corresponde a 70% da vazão $Q_{7,10}$, ($m^3.h^{-1}$);
- Q_D é a vazão de demanda de água potável ($m^3.h^{-1}$);
- D é o número de dias do mês.

Conhecendo-se o volume de entrada e saída do reservatório para cada mês, foi possível fazer o balanço hídrico através da Equação 5. Os resultados obtidos encontram-se no capítulo 4.

$$B_H = V_E - V_s \quad (3.5)$$

Onde:

- B_H = Balanço hídrico (m^3);
- V_E = Volume de entrada, (m^3);
- V_S = Volume de saída, (m^3).

3.2.4 Volume de água Armazenada

Por meio de levantamento planialtimétrico realizado no local, foram traçadas as curvas de níveis de metro a metro da bacia de acumulação, conforme Figura 12.

A altura normal da lâmina de água foi definida pela diferença de altura da cota do nível de água (445) e a cota de fundo da bacia de acumulação (440) totalizando uma altura normal de 05 metros.

O cálculo do volume acumulado (V_u) foi obtido pela Equação 6:

$$V_u = \left(\frac{A_0 + A_n}{2} + A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1} \right).h \quad (3.6)$$

As cotas com suas respectivas áreas estão representadas na Tabela 1.

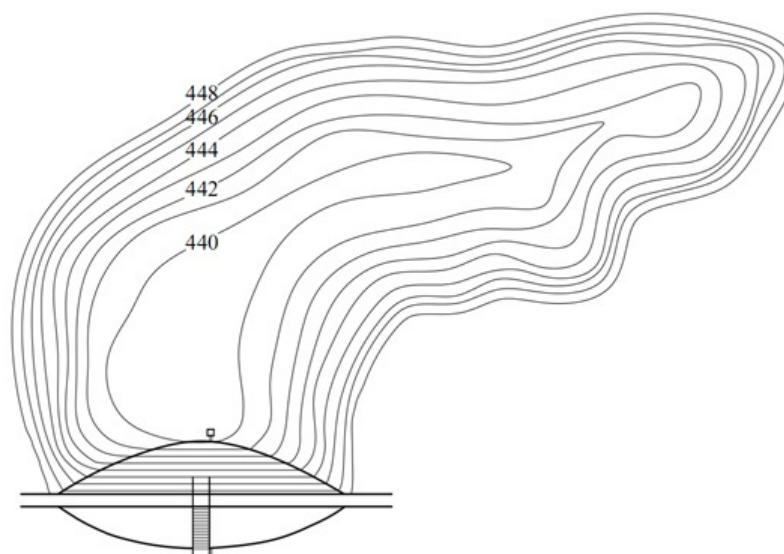


Figura 12: Cotas de nível do local da bacia.

Fonte: Elaborada pelo autor, (2016).

Tabela 1: Cotas, Áreas e Volumes do Reservatório

| Cota | Area (m^2) | Volume (m^3) | Volume acumulado (m^3) | Volume útil (m^3) |
|------|----------------|------------------|----------------------------|-----------------------|
| 440 | 5.113,5 | 0 | 0 | 0 |
| 441 | 10.982,5 | 8048,0 | 8048,0 | 0 |
| 442 | 15.257,0 | 13.119,7 | 21.167,7 | 21.167,7 |
| 443 | 19.784,5 | 17.520,8 | 38.688,5 | 30.640,5 |
| 444 | 23.824,2 | 21.804,4 | 60.492,9 | 52.444,9 |
| 445 | 27.777,6 | 25.801,0 | 86.293,9 | 78.245,9 |
| 446 | 30.656,9 | 29.217,3 | 115.511,2 | - |
| 447 | 33.280,8 | 31.968,8 | 147.480,0 | - |
| 448 | 36.290,7 | 34.785,8 | 182.265,8 | - |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

3.2.5 Altura da barragem

A altura da barragem foi obtida através da Equação 7:

$$H = h_n + h_e + f \quad (3.7)$$

Onde:

- H = a altura da barragem, (m);
- h_n = altura de água normal, ou seja, volume a ser acumulado, (m);

- h_e = altura de água no extravasor, (m);
- f = altura de folga, (m).

Carvalho (2008) sugere como altura de folga para pequenas barragens, incluindo possíveis ondas que poderão se formar ao longo do espelho de água, uma folga entre a 1,0 a 1,5 metros. Para a barragem em estudo foi considerado a folga de 1,0 metro. A Tabela 2 apresenta valores a serem adotados para pequenas barragens.

Tabela 2: Valores mínimos da folga em função da extensão do espelho de água e da profundidade da barragem

| Profundidade(m) | Extensão do espelho de água (km) | | | | | | |
|-----------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 |
| Até 6,0 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,95 | 1,05 | 1,15 | 1,25 |
| 6,1 a 9,0 | 0,85 | 0,90 | 0,95 | 1,05 | 1,15 | 1,25 | 1,35 |

Fonte: Carvalho (2008).

A altura do extravasor foi fixada em 1,0 metros a partir da cota 445 (nível normal) a cota 446 (nível máximo), onde a barragem acumulará um volume denominado volume de amortecimento de cheia, sendo este a diferença entre o volume acumulado entre as cotas 445 e 446. Em dias de precipitação intensa onde o nível de água na barragem tende a subir rapidamente, o nível máximo de acumulação (cota 446) tende a amortecer o volume de água que escoar no extravasor, assegurando uma margem de tempo para que a água não atinja a altura de folga, o que poderia ocasionar, posteriormente, o transbordamento na crista da barragem.

3.2.6 Largura da Crista e Comprimento da Projeção dos Taludes

A largura da crista é calculada em função da altura da barragem e, quanto maior a sua largura, mais estabilidade é conferida ao aterro, porém maiores serão os custos, CARVALHO (2008). Para o cálculo da largura da crista foi utilizado a Equação 8 recomendada pela “U.S. Bureau of Reclamation”. A largura (C) adotada para a crista foi de 5m.

$$C = \frac{H}{5} + 3 \quad (3.8)$$

Onde:

- H = Altura da barragem em metros.

A largura da base foi calculada em função da geometria da barragem conforme Equação 9:

$$B = C + (z_1 + z_2) \cdot H \quad (3.9)$$

Onde:

- B = Largura da base, (m);
- C = largura da crista da barragem, (m);
- z_1 = inclinação do talude de montante;
- z_2 = inclinação do talude de jusante;
- H = altura da barragem, (m).

Conforme CARVALHO (2008), os valores sugeridos de inclinações para barragens de material argiloso com altura entre 5,1 a 10 metros são: 2,75:1 a montante e 2,25:1 a jusante conforme Figura 13.

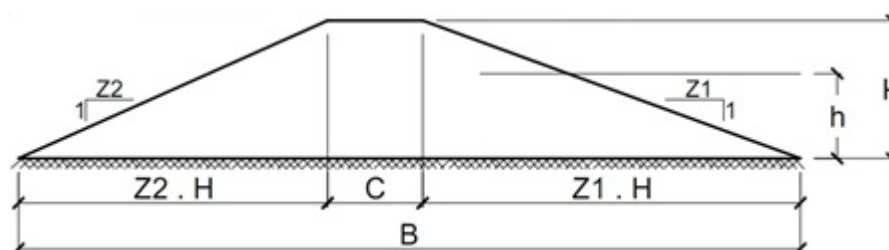


Figura 13: Seção transversal do maciço (projeção transversal dos taludes e crista).

Fonte: Carvalho, (2008).

3.2.7 Vazão máxima

A vazão máxima (vazão de cheia) de escoamento superficial ocorrerá quando a duração da chuva for igual ao tempo de concentração. Para o cálculo foi utilizada a equação de Ven Te Chow recomendada para áreas menores que 2500 ha, conforme Equação 10:

$$tc = 52,64 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,64} \quad (3.10)$$

Onde:

- tc é o tempo de concentração, (minutos);
- L é o comprimento do talvegue principal, (km);

- S_0 é a declividade média do talvegue principal, ($m.km^{-1}$).

O tempo obtido foi de 46,7 minutos.

Para se determinar a chuva de projeto, foram relacionadas as grandezas (intensidade, duração e frequência) por meio da Equação 11:

$$I = \frac{A.T^B}{(t + C)^D} \quad (3.11)$$

Onde:

- I = Intensidade de precipitação, ($mm.h^{-1}$);
- T = Tempo de retorno, (anos);
- t = Tempo de duração da precipitação, (min);
- A, B, C, D = Parâmetros da Equação.

Os valores abaixo utilizados na equação se referem a cidade de Caratinga-MG que se situa em um raio inferior a 19 km, considerando que não existe um estudo de intensidade de precipitação na cidade de Entre Folhas, possuindo apenas registros de precipitação diária. Conforme Carvalho (2008), esses valores são:

- $A = 5069$
- $B = 0,176$
- $C = 35,87$
- $D = 1,048$

Tempo de retorno (T) ou período de recorrência de um determinado evento, é o tempo médio em anos que este evento é igualado ou superado pelo menos uma vez, CARVALHO (2008). Para o tempo de retorno foi escolhido um período de 100, anos devido aos riscos que envolvem o projeto por se tratar de uma obra em perímetro urbano.

Para o cálculo da vazão máxima foi utilizado o método de McMath, recomendada para áreas maiores que 500 ha, conforme a Equação 12:

$$Q = 0,0091.C.I.\sqrt[5]{A^4S} \quad (3.12)$$

Em que:

- Q = Vazão máxima de escoamento superficial ($m^3 \cdot s^{-1}$);
- C = Coeficiente de escoamento superficial de McMath;
- I = Intensidade média máxima de precipitação ($mm \cdot h^{-1}$);
- A = Área da bacia de drenagem (ha);
- S = Declividade média ($m \cdot m^{-1}$).

O coeficiente C , deste método, foi obtido pela soma de três outros coeficientes ($C1$, $C2$, $C3$), correspondentes às características da vegetação, solos e topografia. Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes utilizados para determinação do fator C do método de McMath.

Tabela 3: Coeficientes de escoamento em função da vegetação, solos e topografia.

| VEGETAÇÃO | | SOLO | | TOPOGRAFIA | |
|------------------------|------|----------|------|-----------------|------|
| Cobertura da bacia (%) | C1 | Textura | C2 | Declividade (%) | C3 |
| 100 | 0,08 | Arenosa | 0,08 | 0,0 — 0,2 | 0,04 |
| 80 — 50 | 0,12 | Ligeira | 0,12 | 0,2 — 0,5 | 0,06 |
| 50 — 80 | 0,16 | Média | 0,16 | 0,5 — 2,0 | 0,08 |
| 20 — 50 | 0,22 | Fina | 0,22 | 2,0 — 5,0 | 0,10 |
| 0-20 | 0,30 | Argilosa | 0,30 | 5,0 — 10,0 | 0,15 |

Fonte: Carvalho (2008).

Para o cálculo do coeficiente C , foi feita a média ponderada pela área de cada cobertura em relação à tabela obtida com as características da bacia em estudo, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Características da bacia em estudo.

| Vegetação | Área (%) | Declividade (%) | Textura | C1 | C2 | C3 | C Final |
|-------------------|----------|-----------------|---------|------|------|------|---------|
| Pastagens | 77 | 22 | Média | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,47 |
| Capoeiras e matas | 15 | 22 | Média | 0,30 | 0,16 | 0,15 | 0,61 |
| Lavouras de café | 8 | 22 | Média | 0,30 | 0,16 | 0,15 | 0,61 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

O valor obtido para o coeficiente C foi 0,50 e a vazão máxima foi de $33,85 m^3 \cdot s^{-1}$.

3.2.8 Extravasor

O sistema extravasor foi dimensionado em função da vazão máxima que deverá ser escoada pelo extravasor, levando-se em consideração o volume de amortecimento de cheia para

absorver parte dessa enxurrada. A vazão a ser escoada pelo extravasor foi calculada pela Equação 13:

$$Q_{max}S = \frac{2.Vol_{Es}}{tb_E} \quad (3.13)$$

Sendo:

- $Q_{max}S$ = Vazão máxima escoada pelo extravasor, ($m^3.s^{-1}$);
- Vol_{Es} = Volume escoado, (m^3);
- tb_E = tempo de base de escoamento (s).

O volume escoado foi obtido pela diferença do volume total que entra no reservatório e o volume de amortecimento, conforme Equação 14:

$$Vol_{Es} = V_E - V_A \quad (3.14)$$

Sendo:

- Vol_{Es} = Volume escoado, (m^3);
- V_E = Volume total que entra no reservatório;
- V_A = Volume de amortecimento de cheia.

O volume total que entra no reservatório foi obtido através da Equação 15:

$$V_E = \frac{Q_{max}E.tb_E}{2} \quad (3.15)$$

Sendo:

- $Q_{max}E$ = Vazão máxima que entra no reservatório, ($m^3.s^{-1}$);
- tb_E = tempo de base de escoamento, (s).

O tempo de base de escoamento (Equação 16) é o tempo necessário para que todo o volume de amortecimento, ou seja, volume armazenado entre as cotas 445 e 446 escoe pelo extravasor.

$$tb_E = 3.tc \quad (3.16)$$

Onde:

- tb_E = tempo de base de escoamento, (s);
- tc = tempo de concentração, (s).

A vazão calculada a ser escoada pelo extravasor foi de $26,9 (m^3 \cdot s^{-1})$.

O sistema extravasor adotado foi um canal no centro da barragem. Carvalho (2008) sugere que sua construção seja feita em terreno natural, não sendo aconselhável sua construção no aterro. Devido às condições topográficas do local, a sua construção será feita no aterro utilizando estrutura de concreto armado, conforme Carvalho (2008). Quanto ao tipo de bacia de dissipação, foi adotado a bacia do tipo escada de dissipação, construída no talude a jusante da barragem, conduzindo a água ao leito normal do rio.

Tendo sido fixada a altura do extravasor em 1,0 m, a área molhada do canal, $4,5 m^2$, foi calculada pela razão entre a vazão máxima ser escoada e a velocidade média sugerida para o canal, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Velocidades médias, em função do material das paredes do canal.

| Material do canal | Velocidade ($m \cdot s^{-1}$) |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Areia muito fina | 0,25 |
| Areia grossa pouco compactada | 0,40 |
| Terreno arenoso comum | 0,70 |
| Terreno sílico-arenoso | 0,75 |
| Terreno argiloso compactado | 1,00 |
| Gramado | 1,25 |
| Rocha | 3,00 |
| Concreto | 6,00 |

Fonte: Carvalho (2008).

A largura da base, 4,5 m, foi obtida pela razão entre a área molhada e a altura do canal.

A declividade do fundo do canal, 0,017 m/m, foi obtida pela fórmula de Manning, Equação 17:

$$i = \frac{Q_{max} S \cdot n^2}{A \cdot \sqrt[3]{Rh^2}} \quad (3.17)$$

- i = Declividade do canal, (m/m);
- $Q_{max} S$ = Vazão máxima escoada pelo sistema extravasor, ($m^3 \cdot s^{-1}$);
- n = Coeficiente de rugosidade de Manning;
- A = Área da seção do canal, (m^2);
- Rh = Raio Hidráulico, (m).

O coeficiente de Manning adotado para o canal construído de concreto foi de 0,017, conforme o anexo B. O raio hidráulico de 0,69 m foi obtido pela razão entre a área da seção do canal e o perímetro molhado, calculado pela Equação 1:

$$P = b + 2.h \quad (3.18)$$

Sendo:

- P = Perímetro molhado do canal, (m);
- b = base do canal, (m);
- h = altura da água no canal, (m).

3.2.9 Escada de dissipação

A escada de dissipação é muito utilizada em obras pluviais para diminuir a energia cinética gerada pelas correntes da água da chuva, reduzindo a velocidade de escoamento para que não ocorram danos às estruturas de condução das águas. A largura da escada deve ser igual à largura do vertedor e acompanha a declividade do talude de jusante até o leito do manancial, tendo seus degraus fixados em 1,125 m e altura de 0,5 m, ou seja, com comprimento de 2,25 vezes a sua altura. Na Figura 14 é apresentada a escada dissipadora acompanhada da tubulação de fundo (desarenador).

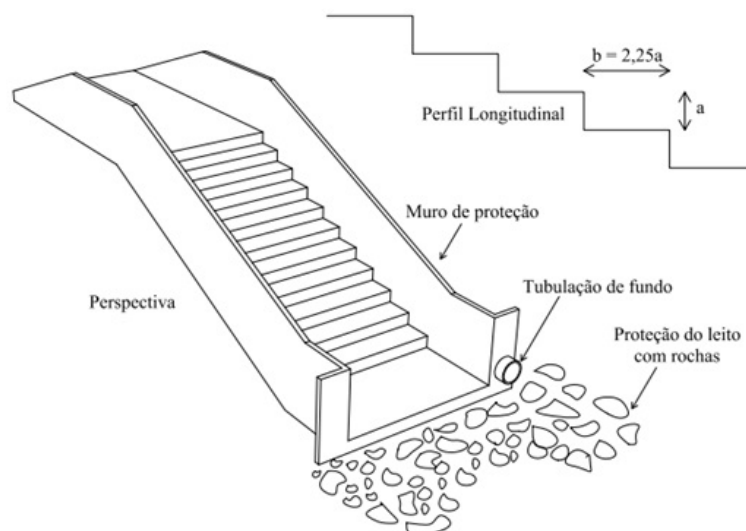


Figura 14: Sistema extravasor com a escada dissipadora e a tubulação de fundo.

Fonte: Adaptada pelo autor, (2016).

3.2.10 Desarenador

O desarenador, também conhecido como tubulação de fundo, é a tubulação que atravessa todo o corpo da barragem. Tem como objetivo o esvaziamento da barragem, a eliminação de

materiais decantados e a passagem controlada do fluxo de água para que o curso a jusante seja mantido, garantindo a vazão ecológica. Para o cálculo da vazão escoada pelo desarenador, foram adotadas manilhas de concreto com diâmetro de 80 cm. A vazão escoada foi de $3,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, calculada pela Equação 19:

$$Q_{es} = 0,279.C.J^{0,54}.D^{2,63} \quad (3.19)$$

Sendo:

- Q_{es} = Vazão escoada, ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);
- C = Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams;
- J = Perda de Carga Unitária, ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$);
- D = Diâmetro da tubulação, (m).

O coeficiente de rugosidade (C) de Hazen-Williams usado foi de 120, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6: Coeficientes de rugosidade (C) de Hazen-Williams.

| Tipo de tubo | C |
|-----------------------------|-----|
| Aço corrugado | 60 |
| Cimento-amianto | 140 |
| Concreto (bom acabamento) | 130 |
| Concreto (acabamento comum) | 120 |
| Plástico | 140 |

Fonte: Carvalho (2008).

O comprimento da tubulação do desarenador foi de 46 m, e, para determinar a perda de carga unitária na tubulação foi utilizada a Equação 20:

$$J = \frac{H_d}{2.B} \quad (3.20)$$

- J = Perda de Carga Unitária, ($\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$);
- H_d = Altura da lâmina de água acima do desarenador, (m);
- B = Comprimento da tubulação do desarenador, (m).

A perda de carga unitária foi de $0,0543 \text{ m/m}$.

O tempo calculado para o esvaziamento da barragem foi de 6,5 horas, obtido pela Equação 21:

$$T = \frac{Vol_{ac}}{Q_{es} - Q_n} \quad (3.21)$$

- T = Tempo de esvaziamento, (s);
- Vol_{ac} = Volume acumulado no nível normal, (m^3);
- Q_{es} = Vazão escoada pelo desarenador, ($m^3 \cdot s^{-1}$);
- Q_n = Máxima vazão média mensal, ($m^3 \cdot s^{-1}$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 BARRAGEM DE TERRA

O balanço hídrico deve ser realizado considerando o ano em que os meses apresentam as menores médias de vazões. Como os valores apresentados pela COPASA não foram satisfatórios para determinar a vazão média mensal do Córrego Vai e Vem devido à irregularidade na frequência em que as medições eram realizadas, o balanço hídrico foi obtido utilizando-se como referência os menores valores de vazões mensais registrados conforme o Apêndice A, e convertidos para $m^3 \cdot h^{-1}$, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Balanço Hídrico

| | Qmédia ($m^3 h^{-1}$) | VE (m^3) | VS (m^3) | Balanço (m^3) | VA (m^3) |
|-----|-------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
| JAN | 59 | 44.194 | 30.936 | 13.258 | 0 |
| FEV | 18 | 11.854 | 27.942 | -16.088 | -16.088 |
| MAR | 72 | 53.568 | 30.936 | 22.632 | 0 |
| ABR | 67 | 47.952 | 29.938 | 18.014 | 0 |
| MAI | 26 | 19.552 | 30.936 | -11.383 | -11.383 |
| JUN | 73 | 52.877 | 29.938 | 22.939 | 0 |
| JUL | 16 | 11.785 | 30.936 | -19.151 | -19.151 |
| AGO | 9 | 6.696 | 30.936 | -24.240 | -43.390 |
| SET | 15 | 10.886 | 29.938 | -19.051 | -62.441 |
| OUT | 28 | 20.624 | 30.936 | -10.312 | -72.753 |
| NOV | 56 | 40.435 | 29.938 | 10.498 | 0 |
| DEZ | 35 | 25.980 | 30.936 | -4.955 | -4.955 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

Analisando os dados do balanço hídrico, é possível notar que o mês de agosto apresenta o maior déficit na relação volume que entra e volume que sai. O volume que entra é o mais baixo durante o ano, chegando a apenas $6.696 m^3$ no mês, e o uso dos recursos ultrapassa os $30.000 m^3$, gerando um balanço negativo de $-24.240 m^3$. A altura total da barragem foi de 7 m, sendo 5 m o nível normal de água no reservatório, 1 m de altura do extravasor e 1 m de folga para segurança.

Através do levantamento topográfico foi determinada a área a ser alagada (nível normal - cota 445 m) totalizando $27.777,6 m^2$. Na cota 441 m, ou seja, 1 m acima do fundo da barragem, será armazenado um volume morto de cerca de 8 mil m^3 , e na cota 445 m um volume útil aproximado de 78 mil m^3 .

O índice crítico na utilização dos recursos ocorre na época da seca devido ao longo período de estiagem na região, levando o reservatório a atingir seu menor índice no volume

acumulado -72.753 m^3 . Através dos dados apresentados, é possível concluir que o volume acumulado pelo lago é capaz de suprir as necessidades de consumo da população neste período crítico.

Em busca de atingir um equilíbrio entre fatores econômicos e de segurança para tornar o estudo viável a definição da largura da crista foi de 5 m, considerando que, quanto mais larga a crista, maior será o maciço da barragem e sua estabilidade, porém maior seria o seu custo de construção, inviabilizando a possível execução do projeto.

A inclinação do talude segue as devidas proporções: a montante foi de 2,75 : 1 (H:V) e a jusante de 2,25 : 1 (H:V). Desta forma, a largura da base a montante atinge 19,25 m e a jusante 15,75 m, formando um maciço com base de 40 m de largura.

4.2 SISTEMA EXTRAVASOR

O sistema extravasor utilizado foi um canal retangular de paredes laterais e de fundo em concreto armado. A área calculada para o canal foi de $4,5 \text{ m}^2$, com largura de 4,5 m e formando um perímetro molhado de 6,5 m. A declividade do canal foi de 0.017m/m e altura máxima de 1m. O canal foi projetado no centro da barragem devido a inviabilidades topográficas para seu posicionamento pelas laterais.

A vazão máxima de entrada foi de $33,85 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o tempo de concentração foi de 46,7 minutos e a intensidade de precipitação 112 mm/h. A Tabela 8 apresenta os resultado das vazões e tempo de base de escoamento para o dimensionamento do sistema extravasor.

Tabela 8: Vazão escoada pelo extravasor

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Volume de entrada | |
| QMÁX.E ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) | 33,85 |
| tbE (h) | 2,33 |
| VoIE (m^3) | 142271 |
| Volume armazenado | |
| VA (m^3) | 103054 |
| Volume escoado | |
| VES (m^3) | 142271 |
| Vazão máxima escoada pelo extravasor | |
| QMÁX.S ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) | 26,9 |

Fonte: Elaborada pelo autor, 2016.

A escada de dissipação utilizada no projeto é formada por degraus com pisos de 1,125 m e altura de 0,5m, revestida por paredes laterais de concreto altura de 0,5m, revestida com paredes laterais de concreto seguindo a inclinação do talude a jusante (2,75:1) e tendo a mesma largura do sistema extravasor.

Ao final da escada de dissipação o leito do rio deve ser protegido por rochas a fim de evitar a erosão do solo no local.

4.3 DESARENADOR

O Comprimento calculado para a tubulação do desarenador sob o maciço da barragem foi de 46 m, utilizando manilhas de diâmetro interno de 80 cm, instaladas na cota 440 m. As manilhas devem ser interligadas e rejuntadas (interna e externamente) com argamassa e mantendo uma declividade em sua execução de 0,0543 m/m. No intuito de evitar vazamentos devem ser colocados anéis de concreto ou outro material compatível entre uma manilha e outra.

O funcionamento correto do desarenador garante a vazão mínima do curso d'água seguindo as diretrizes do IGAM. A vazão de esvaziamento foi de $3,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, com um tempo previsto de 6,5 horas.

5 CONCLUSÃO

O estudo mostrou que a construção de uma barragem na cidade de Entre Folhas – MG pode resolver o problema no fornecimento de água potável ocorrido nos últimos anos na região. Sendo causados, principalmente devido ao crescimento populacional (não sendo o foco deste trabalho a determinação do crescimento populacional da cidade nos próximos anos), longos períodos de estiagem, falta de investimentos em captação, entre outros fatores como o uso da água para irrigação em grande escala.

A cidade é desprovida de grandes rios, tendo suas principais nascentes situadas nas suas proximidades. Sendo assim, a construção da barragem pode ser uma alternativa viável para garantir o suprimento de água nos períodos de seca.

Apesar de não apresentar dados suficientes referentes à vazões do Córrego Entre Folhas, os resultados obtidos foram satisfatórios, entre os quais, as condições topográficas do local proposto para a construção da barragem como: a declividade da área ser alagada, largura do vale e a capacidade de armazenamento.

A altura da barragem ficou relativamente baixa comparada às grandes barragens, sendo 5 m a altura normal de água, 6 m altura máxima de água e 7 metros a altura total da barragem. O Comprimento da base foi de 40 metros e a largura da crista 5m. O volume útil armazenado foi mais de 78 mil metros cúbicos, o que atenderia ao pior déficit acumulado no balanço hídrico, menos de 73 mil metros cúbicos, seguindo as piores condições apontadas pela COPASA para vazões do Córrego Entre Folhas.

Considerando o estudo realizado como uma fonte inicial para implantação de uma barragem no Município estudado, cujo objetivo foi dimensionar uma barragem de terra segura, a fim de formar um lago para abastecimento da cidade nos períodos de seca. Cabe ao poder público zelar pelo bem de sua população garantindo serviços essenciais para sua sobrevivência com água de qualidade e em quantidades regulares.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

A seguir são apresentadas algumas sugestões para outros trabalhos de pesquisa:

- Formas de execução de barragens de terra. (Estudo referente a determinação das técnicas construtivas utilizadas para formação da barragem levando em conta índices ideais para compactação. Estudo aprofundado do comportamento da água no corpo da barragem, linhas de saturação entre outras muitas técnicas necessárias para se construir uma barragem de forma segura);

- Estudos dos impactos ambientais no local da barragem.(Visa dimensionar os impactos gerados na fauna e na flora local devido ao alagamento da área para criação do lago, e quais as medidas poderiam ser tomadas para reduzir o impacto gerado);
- Estudo do crescimento populacional previsto para a cidade de Entre Folhas MG em um período de 30 anos. (Garantir que a população futura também tenha acesso a água potável em quantidades satisfatórias. A partir da determinação deste crescimento, prever outras alternativas para abastecimento da cidade caso a barragem não atenda a uma demanda futura maior.);
- Acompanhamento das bacias da região como alternativas a fontes de abastecimento ou uso na irrigação. (Garantir que uma base de dados concreta possa ser utilizada em outros estudos futuros, determinando possíveis bacias com características favoráveis ao aproveitamento de seus recursos).

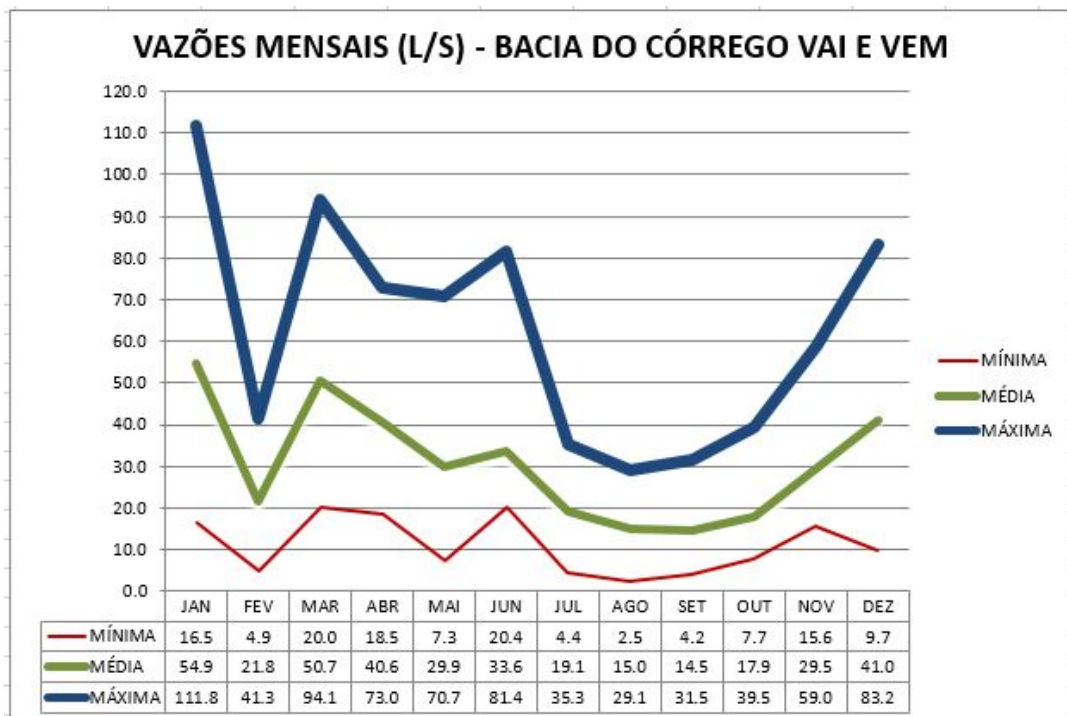
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Manual de estudos de disponibilidade hídrica para aproveitamentos hidrelétricos: manual do usuário. Agência Nacional de Águas, Brasília: ANA, SOF, 2010.71p.
- ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS.Roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG. Disponível em: <<http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos-aplicativos/roteiro-dimensionamento-barragens.html>>. Acesso em: 21 mar. 2016.
- BAPTISTA, M.B.; COELHO, M.M.L.P. Fundamentos de engenharia hidráulica. 2 ed. rev. Belo Horizonte: Ed.UFMG, 2003. 440p.
- CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.
- CARVALHO, J.A. Dimensionamento de pequenas barragens para irrigação. Lavras: UFLA, 2008.
- COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARAGENS – CIGB. As barragens e a agua pelo mundo. Um livro Educativo que Explica como as Barragens Ajudam a Administrar a Agua do Mundo. Paraná, 2008.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. ISF-208: Estudos Hidrológicos. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/ferrovias/instrucoes-e-procedimentos/instrucoes-de-servicos-ferroviarios/isf-208-estudos-hidrologicos.pdf>>. Acesso 23 abr 2016.
- ETECON. Compactação de Solo - Barragem de Rejeito - projeto COLOSSUS - Serra Pelada - PA. Disponível em:<<http://www.etecon.com.br/obras/projeto-colossus/item/271-compactacao-de-solo-obra-barragem-projeto-colossus>>. Acesso em 11 de maio de 2016.
- FAO. Manual sobre pequenas barragens de terra. Guia para a localização, projecto e construção. Roma: Organização das Nações Unidas para a alimentação e a agricultura, 2011. 45 120p. (Publicação da FAO sobre Rega e Drenagem, 64). Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/014/ba0081p/ba0081p.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2016.
- FERREIRA, A. B. H. Aurélio século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- FILHO, Jaime.de A. G. Desempenho de Obras Geotécnicas. Recife: Editora Universitária UFPE, 2006.
- GALVINCIO. J. D.; SOUSA. F. A S. de; MOURA M. S. B. de. Extremo Máximo de Precipitação no Estado da Paraíba. Revista de Geografia, Recife UFPE – DCG/NAPA, v. 22,nº 2, jul/dez.2005.
- GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. Hidrologia. 2 ed. atual. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

- Geo – Conceição. Bacias hidrográficas do Brasil, 2011. Disponível em: <<http://geoconceicao.blogspot.com.br/2011/08/bacias-hidrograficas-do-brasil.html>>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- HRADILEK, P. J. Avaliação de Pequenas Barragens. 2 ed. Brasília: Bureau of Reclamation, 2002. 74p. (Manual de Irrigação, v.6) 120p. (Publicação da FAO sobre Rega e Drenagem, 64).
- HELLER, L.; PADUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. 1º ed. UFMG:Ed. 2006. 29p.
- HOLTZ, R .D. & KOVACS, W.D. An introduction to geotechnical engineering . New Jersey, Prentice-H all, 1981. 733p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Mapas. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geologia.html>>. Acesso 21 mai 2016.
- LOPES, J.D.; LIMA, F.Z. Construção de Pequenas Barragens de Terra. 1º ed. Viçosa: Ed. CPT, 2008. 274p.
- MATOS, A.T.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. Barragens de terra de pequeno porte. 2º ed. Viçosa: EDUFV, 2003. 124p.
- MIGUEZ, Marcelo Gomes et al. Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade. 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- NIEWEGLOWSKI, A.M.A. et al. Bacias hidrográficas do Paraná. Secretaria de estado do meio ambiente e recursos hídricos – SEMA. Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista-Bacias-Hidrograficas-do-Parana.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2016.
- PINTO, N.L.S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S . Hidrologia Básica. 2º São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1976. p. 38-39.
- SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/livro-Introd-Gerenc-Rec-Hidr.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.
- TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação, 3ª ed. Porto Alegre, 2004.

APÊNDICE A VAZÕES MENSAIS DA BACIA DO CÓRREGO VAI E VEM

| VAZÕES MENSAIS (L/S) - BACIA DO CÓRREGO VAI E VEM | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|--------|-------|--------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
| JAN | * | 16.5 | 67.5 | 111.8 | 25.7 | * | * | * | * | * | * | * |
| FEV | * | * | * | * | * | 4.9 | 21.7 | 8.3 | 41.3 | * | * | * |
| MAR | * | * | 34.3 | 60.8 | 37.1 | 20.0 | 94.1 | * | * | * | * | * |
| ABR | 73.0 | * | * | * | 25.9 | * | 18.5 | * | 29.0 | * | 69.2 | * |
| MAI | * | * | 25.7 | * | * | 7.3 | * | * | * | * | * | * |
| JUN | * | 20.6 | * | 46.7 | 22.7 | * | * | * | * | * | * | 81.4 |
| JUL | * | * | 19.2 | * | 16.8 | 4.4 | * | * | 16.7 | * | 35.3 | * |
| AGO | * | * | 17.1 | 29.1 | * | 2.5 | * | * | * | * | * | * |
| SET | * | * | * | * | * | * | * | 4.2 | 18.7 | * | 20.6 | * |
| OUT | * | * | 9.5 | 20.9 | 23.1 | * | 7.7 | * | * | 16.9 | * | 13.2 |
| NOV | * | * | 27.7 | * | 16.7 | * | * | * | * | * | * | * |
| DEZ | * | 44.4 | * | 35.4 | 45.9 | 47.5 | 9.7 | * | 15.6 | * | * | * |
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | MÍNIMA | MÉDIA | MÁXIMA |
| JAN | * | * | * | * | 26.9 | * | 64.5 | 71.3 | * | 16.5 | 54.9 | 111.8 |
| FEV | * | * | * | * | 13.8 | 40.4 | * | * | * | 4.9 | 21.8 | 41.3 |
| MAR | * | * | * | * | 38.1 | 51.8 | 69.5 | * | * | 20.0 | 50.7 | 94.1 |
| ABR | * | * | * | * | 34.9 | 47.4 | 36.2 | * | 31.3 | 18.5 | 40.6 | 73.0 |
| MAI | * | * | * | * | 70.7 | 24.7 | 36.6 | 14.4 | * | 7.3 | 29.9 | 70.7 |
| JUN | * | * | * | 29.9 | 20.4 | 32.8 | 24.8 | 23.0 | * | 20.4 | 33.6 | 81.4 |
| JUL | * | * | * | 18.3 | 17.6 | 18.6 | 28.0 | 16.1 | * | 4.4 | 19.1 | 35.3 |
| AGO | * | * | * | * | 10.5 | 15.4 | 20.6 | 10.1 | * | 2.5 | 15.0 | 29.1 |
| SET | * | * | * | 31.5 | 6.7 | 12.4 | 12.8 | 9.4 | * | 4.2 | 14.5 | 31.5 |
| OUT | * | * | * | 39.5 | 13.8 | 19.9 | 14.5 | * | * | 7.7 | 17.9 | 39.5 |
| NOV | * | * | 15.6 | 33.8 | * | 24.4 | 59.0 | * | * | 15.6 | 29.5 | 59.0 |
| DEZ | * | * | * | 46.0 | * | 83.2 | * | * | * | 9.7 | 41.0 | 83.2 |



ANEXO A - RELATÓRIO DAS VAZÕES DO MANANCIAL CÓRREGO ENTRE FOLHAS. DADOS FORNECIDOS PELA COPASA.

CODIGO : 731/000.01.02 26/03/2015 15:59:06
MUNICIPIOS : ENTRE FOLHAS
LOCALIDADE: SEDE
MANANCIAL : CORREGO ENTRE FOLHAS
PONTO : REGUA E SM A JUSANTE CAPTACAO

| DATA | HORA | VAZAO TOTAL(m3/s) | VAZAO TOTAL(l/s) | COTA | VAZAO CAPT. |
|------------|-------|-------------------|------------------|------|-------------|
| 06/04/1994 | 12:45 | 0,1365 | 136,5 | 0,38 | 0,00 |
| 25/01/1995 | 16:05 | 0,0309 | 30,9 | 0,00 | 10,13 |
| 14/06/1995 | 12:00 | 0,0385 | 38,5 | 0,00 | 0,00 |
| 07/12/1995 | 09:00 | 0,0831 | 83,1 | 0,00 | 13,00 |
| 17/01/1996 | 18:00 | 0,1262 | 126,2 | 0,00 | 0,00 |
| 21/03/1996 | 11:25 | 0,0642 | 64,2 | 0,00 | 13,00 |
| 02/05/1996 | 10:45 | 0,0481 | 48,1 | 0,00 | 0,00 |
| 11/07/1996 | 12:00 | 0,0359 | 35,9 | 0,00 | 12,41 |
| 30/08/1996 | 10:20 | 0,0320 | 32,0 | 0,00 | 14,28 |
| 14/10/1996 | 17:00 | 0,0177 | 17,7 | 0,00 | 13,00 |
| 28/11/1996 | 10:40 | 0,0518 | 51,8 | 0,00 | 13,00 |
| 16/01/1997 | 17:00 | 0,2092 | 209,2 | 0,00 | 13,61 |
| 20/03/1997 | 11:00 | 0,1137 | 113,7 | 0,00 | 14,00 |
| 04/06/1997 | 11:30 | 0,0894 | 89,4 | 0,00 | 13,00 |
| 04/06/1997 | 11:35 | 0,0852 | 85,2 | 0,00 | 13,00 |
| 06/08/1997 | 15:00 | 0,0544 | 54,4 | 0,00 | 13,00 |
| 15/10/1997 | 10:00 | 0,0300 | 30,0 | 0,00 | 13,00 |
| 29/10/1997 | 10:40 | 0,0482 | 48,2 | 0,00 | 0,00 |
| 02/12/1997 | 10:00 | 0,0663 | 66,3 | 0,00 | 13,00 |
| 08/01/1998 | 10:40 | 0,0480 | 48,0 | 0,00 | 13,00 |
| 17/03/1998 | 10:55 | 0,0694 | 69,4 | 0,00 | 13,00 |
| 21/04/1998 | 10:40 | 0,0484 | 48,4 | 0,00 | 13,00 |
| 26/06/1998 | 10:40 | 0,0510 | 51,0 | 0,00 | 13,00 |
| 30/06/1998 | 15:00 | 0,0338 | 33,8 | 0,00 | 13,00 |
| 29/07/1998 | 16:30 | 0,0315 | 31,5 | 0,00 | 13,00 |
| 20/10/1998 | 12:00 | 0,0432 | 43,2 | 0,00 | 7,06 |
| 26/11/1998 | 14:30 | 0,0313 | 31,3 | 0,00 | 13,00 |
| 17/12/1998 | 15:30 | 0,0858 | 85,8 | 0,00 | 13,00 |
| 10/02/1999 | 16:30 | 0,0092 | 9,2 | 0,00 | 0,00 |
| 02/03/1999 | 13:20 | 0,0374 | 37,4 | 0,00 | 0,00 |
| 27/05/1999 | 10:50 | 0,0137 | 13,7 | 0,00 | 0,00 |
| 06/07/1999 | 13:30 | 0,0082 | 8,2 | 0,00 | 0,00 |
| 03/08/1999 | 16:20 | 0,0047 | 4,7 | 0,00 | 14,28 |
| 15/09/1999 | 13:00 | 0,0010 | 1,0 | 0,00 | 0,00 |
| 01/12/1999 | 09:45 | 0,0888 | 88,8 | 0,00 | 14,28 |
| 04/02/2000 | 12:10 | 0,0405 | 40,5 | 0,00 | 0,00 |
| 16/03/2000 | 11:00 | 0,1760 | 176,0 | 0,00 | 13,52 |
| 27/04/2000 | 10:15 | 0,0346 | 34,6 | 0,00 | 0,00 |
| 19/10/2000 | 14:50 | 0,0144 | 14,4 | 0,00 | 0,00 |
| 13/12/2000 | 13:55 | 0,0181 | 18,1 | 0,00 | 0,00 |
| 14/02/2001 | 14:00 | 0,0156 | 15,6 | 0,00 | 0,00 |
| 07/05/2001 | 16:00 | 0,0011 | 1,1 | 0,00 | 0,00 |
| 12/07/2001 | 09:05 | 0,0026 | 2,6 | 0,00 | 0,00 |
| 13/09/2001 | 14:00 | 0,0079 | 7,9 | 0,00 | 14,30 |
| 13/02/2002 | 13:20 | 0,0773 | 77,3 | 0,00 | 0,00 |
| 03/04/2002 | 14:00 | 0,0543 | 54,3 | 0,00 | 0,00 |
| 19/07/2002 | 11:10 | 0,0312 | 31,2 | 0,00 | 15,00 |
| 05/09/2002 | 14:10 | 0,0349 | 34,9 | 0,00 | 0,00 |

CODIGO : 731/000.01.02

26/03/2015 15:59:06

MUNICIPIOS : ENTRE FOLHAS

LOCALIDADE: SEDE

MANANCIAL : CORREGO ENTRE FOLHAS

PONTO : REGUA E SM A JUSANTE CAPTACAO

| DATA | HORA | VAZAO TOTAL(m3/s) | VAZAO TOTAL(l/s) | COTA | VAZAO CAPT. |
|------------|-------|-------------------|------------------|------|-------------|
| 06/12/2002 | 11:25 | 0,0291 | 29,1 | 0,00 | 0,00 |
| 08/10/2003 | 13:10 | 0,0317 | 31,7 | 0,00 | 0,00 |
| 21/04/2004 | 10:30 | 0,1295 | 129,5 | 0,00 | 15,30 |
| 10/06/2004 | 09:30 | 0,0660 | 66,0 | 0,00 | 15,20 |
| 15/09/2004 | 13:35 | 0,0385 | 38,5 | 0,00 | 14,00 |
| 16/06/2005 | 09:30 | 0,1522 | 152,2 | 0,00 | 0,00 |
| 12/10/2005 | 16:45 | 0,0247 | 24,7 | 0,00 | 0,00 |
| 20/11/2008 | 11:00 | 0,0291 | 29,1 | 0,00 | 16,30 |
| 19/06/2009 | 09:35 | 0,0560 | 56,0 | 0,00 | 16,00 |
| 23/07/2009 | 16:20 | 0,0343 | 34,3 | 0,00 | 15,00 |
| 23/09/2009 | 10:55 | 0,0589 | 58,9 | 0,00 | 15,00 |
| 22/10/2009 | 08:20 | 0,0738 | 73,8 | 0,00 | 16,10 |
| 19/11/2009 | 09:05 | 0,0632 | 63,2 | 0,00 | 16,10 |
| 14/12/2009 | 11:20 | 0,0861 | 86,1 | 0,00 | 16,00 |
| 20/01/2010 | 14:20 | 0,0503 | 50,3 | 0,00 | 15,00 |
| 19/02/2010 | 08:25 | 0,0259 | 25,9 | 0,00 | 16,00 |
| 20/03/2010 | 08:20 | 0,0712 | 71,2 | 0,00 | 16,00 |
| 23/04/2010 | 08:55 | 0,0652 | 65,2 | 0,00 | 16,00 |
| 23/05/2010 | 11:00 | 0,1323 | 132,3 | 0,00 | 16,00 |
| 24/06/2010 | 14:30 | 0,0381 | 38,1 | 0,00 | 16,00 |
| 21/07/2010 | 14:10 | 0,0329 | 32,9 | 0,00 | 16,00 |
| 24/08/2010 | 11:30 | 0,0197 | 19,7 | 0,00 | 16,00 |
| 24/09/2010 | 14:20 | 0,0126 | 12,6 | 0,00 | 0,00 |
| 20/10/2010 | 15:25 | 0,0259 | 25,9 | 0,00 | 16,00 |
| 22/02/2011 | 15:35 | 0,0756 | 75,6 | 0,00 | 16,00 |
| 22/03/2011 | 16:30 | 0,0969 | 96,9 | 0,00 | 0,00 |
| 19/04/2011 | 16:00 | 0,0886 | 88,6 | 0,00 | 0,00 |
| 19/05/2011 | 16:00 | 0,0462 | 46,2 | 0,00 | 0,00 |
| 21/06/2011 | 14:35 | 0,0613 | 61,3 | 0,00 | 0,00 |
| 19/07/2011 | 16:10 | 0,0348 | 34,8 | 0,00 | 16,00 |
| 19/08/2011 | 15:25 | 0,0288 | 28,8 | 0,00 | 16,00 |
| 26/09/2011 | 17:25 | 0,0232 | 23,2 | 0,00 | 16,00 |
| 20/10/2011 | 11:10 | 0,0372 | 37,2 | 0,00 | 16,50 |
| 22/11/2011 | 11:20 | 0,0456 | 45,6 | 0,00 | 17,00 |
| 16/12/2011 | 14:40 | 0,1557 | 155,7 | 0,00 | 17,00 |
| 25/01/2012 | 09:20 | 0,1206 | 120,6 | 0,00 | 17,00 |
| 25/03/2012 | 13:10 | 0,1300 | 130,0 | 0,00 | 17,00 |
| 26/04/2012 | 16:00 | 0,0678 | 67,8 | 0,00 | 16,00 |
| 25/05/2012 | 10:20 | 0,0684 | 68,4 | 0,00 | 17,00 |
| 25/06/2012 | 14:35 | 0,0463 | 46,3 | 0,00 | 15,20 |
| 20/07/2012 | 10:20 | 0,0524 | 52,4 | 0,00 | 15,70 |
| 24/08/2012 | 16:10 | 0,0385 | 38,5 | 0,00 | 15,60 |
| 24/09/2012 | 15:20 | 0,0240 | 24,0 | 0,00 | 16,00 |
| 23/10/2012 | 12:40 | 0,0272 | 27,2 | 0,00 | 16,00 |
| 26/11/2012 | 15:00 | 0,1103 | 110,3 | 0,00 | 16,00 |
| 30/01/2013 | 17:40 | 0,1334 | 133,4 | 0,00 | 15,30 |
| 07/05/2013 | 15:00 | 0,0269 | 26,9 | 0,00 | 0,00 |
| 11/06/2013 | 16:00 | 0,0431 | 43,1 | 0,00 | 0,00 |

CODIGO : 731/000.01.02

26/03/2015 15:59:06

MUNICIPIOS : ENTRE FOLHAS

LOCALIDADE: SEDE

MANANCIAL : CORREGO ENTRE FOLHAS

PONTO : REGUA E SM A JUSANTE CAPTACAO

| DATA | HORA | VAZAO TOTAL(m3/s) | VAZAO TOTAL(l/s) | COTA | VAZAO CAPT. |
|-------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-------------|--------------------|
| 04/07/2013 | 09:00 | 0,0302 | 30,2 | 0,00 | 0,00 |
| 08/08/2013 | 10:00 | 0,0189 | 18,9 | 0,00 | 0,00 |
| 04/09/2013 | 09:00 | 0,0175 | 17,5 | 0,00 | 0,00 |
| 24/04/2014 | 09:30 | 0,0585 | 58,5 | 0,00 | 11,90 |

ANEXO B - TABELA COEFICIENTE DE RUGOSIDADE "n" PARA CANAIS ABERTOS

Tabela A-14.4.2-b Coeficientes de rugosidade "n" (coeficiente de Kutter) para canais abertos (compilado e adaptado por mfyf)

| Tipo | Natureza das paredes | n |
|------|---|-----------|
| 1 | Superfícies excepcionalmente lisas, juntas perfeitas, acabamentos vitrificados | 0,009 |
| 2 | Superfícies, juntas e vértices lisos e bem acabados, cimento muito liso tipo forma metálica | 0,010 |
| 3 | Superfície lisa tipo reboco (2 areia e 1 cimento) desempenado no local por meios mecânicos | 0,011 |
| 4 | Superfícies lisas mas com alguma aspereza, tipo emboço (3 areia e 1 cimento) e pequenas imperfeições no alinhamento e nas juntas, desempenado no local por meios mecânicos | 0,012 |
| 5 | Superfícies de concreto e/ou argamassa, com pequenas imperfeições no acabamento e no alinhamento, desempenada por meios manuais com régua de madeira (* coletores de esgotos – valor usual) | 0,013 (*) |
| 6 | Superfície cimentada (concreto) não muito alisado nem desempenado, pequeno crescimento de algas e depósitos no fundo | 0,014 |
| 7 | Superfícies ásperas, alvenarias de tijolos ou paralelepípedos rejuntados, concreto ciclópico, reboco de argamassa com defeitos ou incompleto, juntas irregulares, cortes lisos a frio em rocha alinhamento tortuoso das superfícies (falta de desempenho) | 0,015 |
| 8 | Superfícies muito ásperas como concreto com a brita aparecendo saliente, superfícies cortadas em terreno tipo arenito, superfícies de alvenaria de tijolos ou pedras, não bem acabadas ou rejuntadas, rebocos ou acabamento mal feito ou em mau estado. Superfícies cortadas em rocha irregularmente. Canais com depósito no fundo, musgo nas paredes | 0,017 |
| 9 | Superfícies cortadas em terra cobertas com argilo-cimento ou ou argilo-betume, ou canais de alvenaria ou concreto em más condições de manutenção e fundo com depósitos de pedregulhos; de terra, mas sem vegetação | 0,018 |
| 10 | Superfícies em terreno compactado, ou de gabiões, ou de concreto irregular ou arenito cortado manualmente e com alguma erosão e depósitos, além de um pouco de vegetação nas margens | 0,020 |
| 11 | Canais de terra feitos pelo homem mantido em boas condições, com pouca vegetação, e canais naturais com as mesmas características (margens e fundo razoavelmente alinhados, sem grandes reentrâncias) | 0,025 |
| 12 | Canais de terra, com vegetação média, fundo com irregularidades por erosões; e assoreamentos, margens razoavelmente alinhadas | 0,028 |
| 13 | Canais com fortes irregularidades no leito e nas margens não muito alinhadas e com vegetação normal | 0,030 |
| 14 | Canais tipo rios permanentes em terreno aluvial, mas com bastante vegetação e variação da seção transversal, moderada | 0,033 |
| 15 | Canais naturais tipo montanhoso, com vegetação, sedimentos (areia, cascalho e pedras grandes), corredeiras seguidas de lagos seguido de corredeiras, com vegetação e variação seção transversal acentuada | 0,035 |
| 16 | Idem ao anterior, mas em condições mais severas | 0,040 |
| 17 | Idem ao anterior, em condições ainda mais severas | 0,067 |
| 18 | Idem ao anterior, em condições muito severas | 0,080 |
| 19 | Canais naturais ou não com muita vegetação (árvores) | 0,100 |
| 20 | Condições muito severas de vegetação e irregularidades no leito do canal, como durante um transbordamento | 0,220 |