

UNIVERSIDADE TIRADENTES

IKARO ABIRRIAN COSTA SILVA  
JOSÉ FELLIPE DA SILVA PINTO

REDISTRIBUIÇÃO DAS PRESSÕES DOS HIDRANTES  
DE IRRIGAÇÃO DA ADUTORA 02 DO MUNICÍPIO DE  
LAGARTO-SE

ARACAJU

2018

IKARO ABIRRIAN COSTA SILVA  
JOSÉ FELLIPE DA SILVA PINTO

REDISTRIBUIÇÃO DAS PRESSÕES DOS HIDRANTES  
DE IRRIGAÇÃO DA ADUTORA 02 DO MUNICÍPIO DE  
LAGARTO-SE

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Tiradentes  
como um dos pré-requisitos para a  
obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.

**Orientadora:** Prof. Dr<sup>a</sup>. Nayára Bezerra Carvalho.

ARACAJU  
2018

IKARO ABIRRIAN COSTA SILVA  
JOSÉ FELLIPE DA SILVA PINTO

REDISTRIBUIÇÃO DAS PRESSÕES DOS HIDRANTES DE  
IRRIGAÇÃO DA ADUTORA 02 DO MUNICÍPIO DE LAGARTO-SE

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade  
Tiradentes como um dos pré-  
requisitos para a obtenção do grau  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Banca examinadora:

---

Dra. Nayára Bezerra Carvalho  
Universidade Tiradentes

---

Ma. Andréa Quaranta Barbosa  
Universidade Tiradentes

---

Dra. Ingrid Cavalcanti Feitosa  
Universidade Tiradentes

## RESUMO

A água é um bem renovável e indispensável para a vida, sendo o Brasil privilegiado pela mesma, por possuir uma grande parcela das reservas de água doce do mundo. Dentre as suas importâncias, a mesma atinge a parte da irrigação, na qual provem-se dela a variabilidade de cultivos, geração de empregos e renda. Para geração de cultivos, há vários métodos empregados para a irrigação, sendo que os mais utilizados no Brasil é a irrigação por superfície, por aspersão e localizada, onde a irrigação por aspersão e por pivôs centrais são os mais utilizadas por área irrigada. No entanto, nem todos os sistemas possuem o mínimo de estudo de métodos e técnicas para desenvolver tal atividade de forma eficiente ou quando possuem, em alguns casos, apresentam problemas relacionados as pressões disponíveis. O objetivo desse trabalho de conclusão de curso é evidenciar e apontar as possíveis causas da má distribuição de pressão da adutora número 2 de irrigação do município de Lagarto – SE, e propor soluções para resolver determinada situação, por exemplo: realizar a instalação de placas de orifício com o intuito de acumular a pressão em pontos estratégicos, solucionando o problema em pontos críticos de baixa pressão, e com isso os irrigantes mais prejudicados possam ter no mínimo 20m.c.a. de pressão disponível para o desenvolvimento de suas atividades de maneira mais eficiente e produtiva.

**Palavras-chave:** Água; Irrigação; Pressão disponível.

## ABSTRACT

Water is a renewable and indispensable asset for the life, being, Brazil, privileged by it, because it has a large part of the world's freshwater reserves. Among its importance, the same reaches the irrigation area, which is resultant of it, the crop variability, employment generation and income. For crop generation, there are several methods used for irrigation, being the most used in Brazil surface, sprinkler and localized irrigation, where the second one and by center pivots are the most used by irrigated area. However, neither all systems have the minimum of methods' study and techniques to develop such activity efficiently, or when they have, in some cases, present problems related to available pressures. The objective of this coursework is highlighting and pointing out the possible causes of the Number 2 Irrigation Water Intake's poor pressure distribution in the municipality of Lagarto - SE, and to propose solutions to solve a specific situation, like the installation of orifice plates, with the intention to accumulate of available pressure at strategic points, resolving the problem at critical points with low pressure, and with this, the most damaged irrigators can have at minimum 20mH<sub>2</sub>O of available pressure for the development of its activities in a more efficient and productive way.

**Keywords:** Water; Irrigation; Available pressure.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Métodos de irrigação por área irrigada. ....	24
<b>Tabela 2:</b> Valores dos coeficientes K.....	41
<b>Tabela 3:</b> Levantamento de dados. ....	53
<b>Tabela 4:</b> Pressões disponíveis dos hidrantes H171-H199. ....	64
<b>Tabela 5:</b> Pressões disponíveis dos hidrantes H199-H247. ....	65
<b>Tabela 6:</b> Pressões disponíveis dos hidrantes H199-H220. ....	66
<b>Tabela 7:</b> Pressões disponíveis dos hidrantes H205-H220. ....	67
<b>Tabela 8:</b> Classe de pressões nominais. ....	70
<b>Tabela 9:</b> Trechos que ocorreram a situação 1. ....	74
<b>Tabela 10:</b> Trechos que ocorreram a situação 2. ....	77

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Demanda por finalidade no Brasil em (m <sup>3</sup> /s). .....	14
<b>Figura 2</b> - Crescimento da área irrigada no Brasil. ....	15
<b>Figura 3</b> - Área irrigada por método de irrigação. ....	16
<b>Figura 4</b> - Irrigação localizada por gotejamento.....	17
<b>Figura 5</b> - Sistema de irrigação por microaspersão. ....	18
<b>Figura 6</b> - Irrigação por superfície.....	19
<b>Figura 7</b> - Cultivo de arroz através da irrigação por inundação. ....	20
<b>Figura 8</b> - Área, por estado, irrigada para o cultivo de arroz. ....	21
<b>Figura 9</b> - Irrigação por sulcos. ....	22
<b>Figura 10</b> - Irrigação por aspersão. ....	23
<b>Figura 11</b> - Culturas irrigadas por Pivô Centrais. ....	25
<b>Figura 12</b> - Rio Piauí, localizado no município de Lagarto-SE.....	26
<b>Figura 13</b> - Total de água retirada e consumida no Brasil (média anual). ....	27
<b>Figura 14</b> - Trigo irrigado por Pivô Central em Cristalina-GO. ....	28
<b>Figura 15</b> - Barragem do rio Jacarecica, Itabaiana-SE. ....	29
<b>Figura 16</b> - Tubulação de ferro fundido. ....	30
<b>Figura 17</b> - Adutora por gravidade em Mandacaru da Serra. ....	31
<b>Figura 18</b> - Adutora por gravidade em conduto livre.....	31
<b>Figura 19</b> - Adutora por gravidade em conduto forçado. ....	32
<b>Figura 20</b> - Linha piezométrica de adutora por conduto forçado. ....	33
<b>Figura 21</b> - Ponto de intersecção entre Curva de desempenho X Curva de sistema. .....	35
<b>Figura 22</b> - Esquema de uma estação elevatório de água. ....	36
<b>Figura 23</b> - Rede ramificada. ....	37
<b>Figura 24</b> - Rede malhada. ....	38
<b>Figura 25</b> - Pressão adequada em um sistema de irrigação. ....	42
<b>Figura 26</b> - Pressão alta em um sistema de irrigação. ....	43
<b>Figura 27</b> - Pressão baixa em um sistema de irrigação.....	44
<b>Figura 28</b> - Escritório e EB do Perímetro Irrigado Piauí.....	46
<b>Figura 29</b> - Manancial e reservatório do Perímetro Irrigado. ....	47

<b>Figura 30</b> - Barragem do Rio Piauí.....	48
<b>Figura 31</b> - Estação de bombeamento 01. ....	49
<b>Figura 32</b> - 14 Motobombas da Estação de bombeamento 02.....	50
<b>Figura 33</b> - 7 adutoras do Perímetro Irrigado.....	51
<b>Figura 34</b> - Mapa do projeto executivo. ....	52
<b>Figura 35</b> - Ábaco para identificar as perdas de carga da tubulação. ....	56
<b>Figura 36</b> - Trecho 01: EB-H171.....	57
<b>Figura 37</b> - Ábaco para identificação da perda de carga do trecho 01. ....	58
<b>Figura 38</b> - Trecho 02: H171-H173.....	61
<b>Figura 39</b> - Ábaco para identificação da perda de carga do Trecho 02.....	61
<b>Figura 40</b> - Pressões disponíveis encontradas nos hidrantes. ....	67
<b>Figura 41</b> - Ábaco para identificação da velocidade v1 do exemplo da situação 01.....	71
<b>Figura 42</b> - Ábaco para identificação da velocidade do exemplo da situação 02. ....	75
<b>Figura 43</b> - Pressão disponível após as Placas de Orifício. ....	78
<b>Figura 44</b> - Gráfico comparativo das pressões antigas com as novas. ....	79



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	12
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
3.1 IRRIGAÇÃO NO BRASIL .....	13
3.2 MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO .....	16
<b>3.2.1 Sistema de Irrigação localizada</b> .....	16
3.2.1.1 Localizada por gotejamento .....	17
3.2.1.2 Localizada por microaspersão.....	18
<b>3.2.2 Sistema de Irrigação por superfície</b> .....	18
3.2.2.1 Irrigação por inundação.....	19
3.2.2.2 Irrigação por sulcos .....	21
<b>3.2.3 Irrigação por aspersão</b> .....	22
3.3 ESTRUTURA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE IRRIGAÇÃO .....	25
<b>3.3.1 Manancial</b> .....	25
<b>3.3.2 Captação</b> .....	27
<b>3.3.3 Adução</b> .....	29
3.3.3.1 Classificação .....	30
3.3.3.2 Custo de uma canalização .....	33
<b>3.3.4 Estação Elevatória</b> .....	34
<b>3.3.5 Redes de distribuição de água</b> .....	36
3.4 ESCOAMENTO SOB PRESSÃO .....	38
<b>3.4.1 Regimes de escoamento</b> .....	38
<b>3.4.2 Perdas de carga</b> .....	39
3.4.2.1 Perdas de cargas distribuídas .....	39
3.4.2.2 Perdas cargas localizada .....	39
3.5 PRESSÕES DE SERVIÇO.....	42
3.6 EQUAÇÃO DE BERNOULLI .....	44
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	46

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PERÍMETRO IRRIGADO PIAUÍ ....	46
4.2 MAPAS DO PROJETO EXECUTIVO .....	52
4.3 LEVANTAMENTOS TÉCNICOS-INFORMATIVOS .....	52
4.4 VERIFICAÇÃO DAS PRESSÕES DISPONÍVEIS NOS HIDRANTES .....	55
4.5 DIMENSIONAMENTO DOS DIÂMETROS DAS PLACAS DE ORÍFICIOS .....	68
4.6 PRESSÕES NOS HIDRANTES APÓS AS PLACAS DE ORIFÍCIOS .....	78
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	82
<b>ANEXOS</b> .....	87
ANEXO A - Mapas do projeto de aerofotogrametria do projeto executivo de irrigação do rio Piauí. ....	87
ANEXO B – Declaração de autorização da divulgação de dados da empresa. ....	87
<b>APÊNDICES</b> .....	88
APÊNDICE A – Pressões disponíveis dos hidrantes após as placas de orifício. ....	88

# 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a vida, pois a mesma engloba várias atividades de suma importância, atingindo a população de forma direta quando se relaciona com o consumo de água potável, consumo em residências para fins domésticos, paisagens, e de forma indireta, quando a mesma é fundamental na geração de energia, irrigação, dentre outros (CHRISTOFIDIS, 1999).

Portanto, mesmo se caracterizando como um bem renovável, a água deve ser utilizada de forma racional, protegida por leis ambientais, evitando assim graves crises de abastecimento populacional, pois mesmo em regiões onde a seca não é característica, o aumento da população faz com que a disponibilidade hídrica se torne cada vez mais escassa, prejudicando assim, saúde, qualidade de vida, desenvolvimento econômico, ou seja, diversas atividades e necessidades aos quais as gerações futuras serão afetadas (ANA, 2013a).

A irrigação, cuja função é destinar, através de um conjunto de técnicas, a água para abastecer as necessidades agrícolas de cada região, se tornando fundamental para a produção agrícola para a subsistência e a mercantilização provindas deste meio, dos quais os perímetros irrigados tem um papel importante na economia e são grandes setores introdutórios ao uso de tecnologia avançada e de demais atividades industriais e comerciais.

No Brasil, a irrigação beneficia a agricultura permitindo-a ser econômica e sustentável, onde a mesma eleva a produtividade, gerando mais lucros, aumentando o valor das propriedades em si, permitindo uma variabilidade em quantidade e qualidade dos cultivos, possibilitando a região nordestina, a qual é atingida em sua maioria pela seca, a receberem água por meios de adutoras.

Contudo, o Brasil vem sofrendo uma intensificação positiva no tocante ao investimento dessa área, com o propósito de aumentar a oferta dos produtos destinados ao mercado interno e principalmente externo, a fim de melhorar o viés econômico do país, o qual se encontra muito dependente das atividades de agricultura irrigada, pois tais atividades geram empregos, renda ao meio rural e urbano, dentre outros benefícios.

Nos sistemas de distribuição de água para irrigação por adutoras no estado, a variação de pressão de água por lote atinge determinados agricultores da

região, e faz com que recebam uma pressão insuficiente nos seus hidrantes. Em paralelo a esse problema, conflitos internos entre os irrigantes são gerados, pois, segundo os próprios, os acusam de desvios ou até uma distribuição desproporcional de água.

Nesse contexto, com as devidas importâncias da irrigação citadas anteriormente, um funcionamento adequado das adutoras de distribuição de água para os lotes e uma correta distribuição com uma pressão suficiente para o desempenho ideal de todos os hidrantes instalados na adutora, não ocasiona em prejuízos nos períodos de seca, onde a irrigação é necessária, para os irrigadores e não atinge economicamente o comércio interno e externo da região.

Portanto, devido a esses problemas gerados, neste respectivo estudo, será evidenciado a situação atual dos hidrantes instalados na determinada adutora, demonstrando as diferenças de pressões existentes nos hidrantes de irrigação atuantes na adutora, afim de solucionar esta situação em provento conjunto a todos os beneficiários do sistema.

A escolha da adutora nº 02 se deve ao fato de que através das visitas técnicas em campo, fora notado que nos lotes mais distantes da estação de bombeamento, possuíam uma escassez de água devido a baixa pressão. Outro fator determinante para tal escolha se deve ao fato das condições encontradas dos mapas dos projetos das outras adutoras em que se encontravam ilegíveis e não continham dados suficientes para o desenvolvimento do estudo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Propor uma solução para o problema relacionado as diferenças de pressões dos hidrantes da adutora número 2 (dois) da barragem do município de Lagarto do estado de Sergipe, para fins de irrigação.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento da revisão bibliográfica acerca do tema
- Evidenciar a situação atual das pressões dos hidrantes que são abastecidos através da adutora número 2 do município de Lagarto/SE;
- Apontar as possíveis causas que levam essas diferenças de pressões e possíveis prejuízos para irrigação;
- Propor formas e soluções para a redistribuição de pressões nos hidrantes de irrigação;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial teórico serão abordados dados sobre a irrigação no Brasil, os principais métodos e sistemas aplicados na irrigação, a estrutura do sistema de distribuição de água voltado para irrigação, escoamento sob pressão e as devidas pressões de serviço na irrigação.

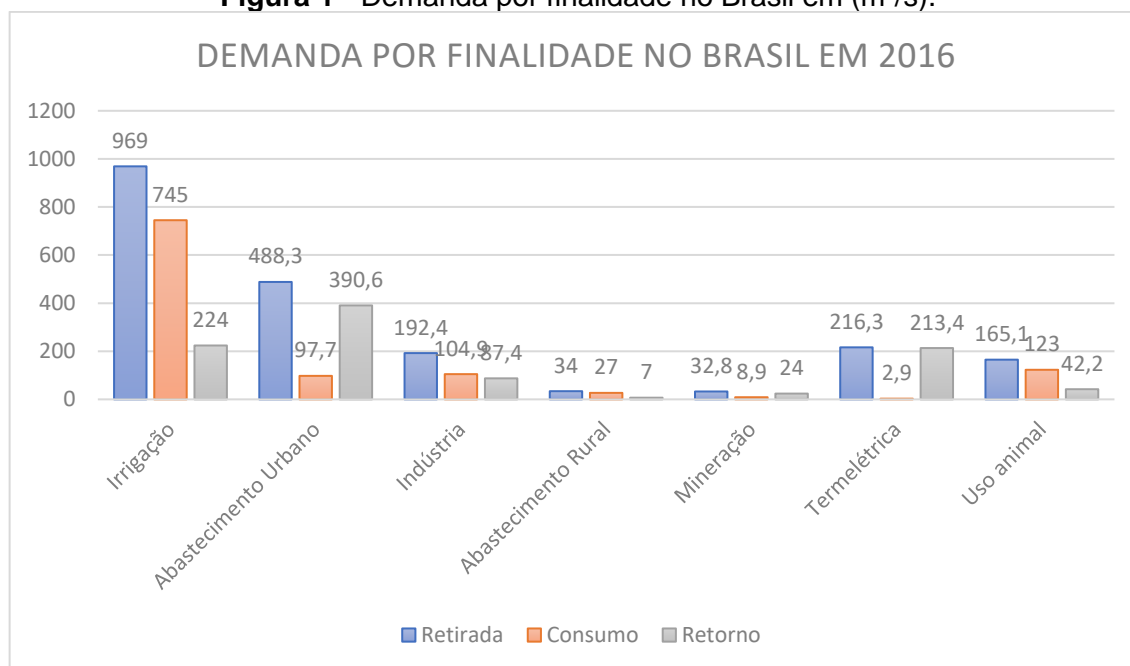
#### 3.1 IRRIGAÇÃO NO BRASIL

Em termos de números globais, 54% das águas doces são voltadas para o consumo humano, dos quais 69% é proposto para irrigação. Porém, devido às práticas ineficientes de irrigação praticadas na grande maioria dos casos, a agricultura é o setor responsável pela diminuição de água nos aquíferos. A irrigação está no dia-a-dia da população, seja em campos de futebol, condomínios residenciais e principalmente em campos de plantações de culturas de diferentes e variados tipos, como: arroz, legumes, feijão, verduras, frutas e etc (ANA, 2017b).

Atualmente, a média de escoamento de água no solo brasileiro é de 260 m<sup>3</sup>/s, 80% deste valor está localizado na região da Amazônia. Porém, diante desta abundância de disponibilidade hídrica, contraditoriamente é a região onde vive a menor parte da população e conseqüentemente requer a menor demanda de água (ANA, 2017a).

De acordo com a ANA (2017b), a irrigação, abastecimento humano e animal, industrial, geração de energia e a mineração são os setores principais com o maior uso de água. A irrigação, o setor que mais se retira dos aquíferos do país, conforme a Figura 1, também é o setor que mais consome.

Este retorno aos mananciais é pequeno quando comparado aos demais, pois uma parte desta água continua retida nas plantas, outrora evapora e infiltra ao solo, restando a pequena parte restante escoar superficialmente ao solo e retornando ao corpos d'águas (ANA, 2017a).

**Figura 1 - Demanda por finalidade no Brasil em (m³/s).**

**Fonte:** ANA, 2017a.

O Brasil está entre os 10 maiores países com mais áreas preparadas para irrigação, na liderança mundial se encontra a China e a Índia, com 70 milhões de hectares cada, porém não se encontra entre os grandes na área que usa a sua potencialidade de recursos, que engloba o grande território a ser explorado e as condições climáticas favoráveis ao plantio devido as suas altas precipitações em determinadas regiões. Contradizendo, os países líderes em irrigação no mundo, possuem certas limitações em relação ao seu território e clima instável (FAO, 2017).

Segundo o Censo Agropecuário IBGE (2006) e ANA, EMBRAPA (2016), o Brasil apresenta-se um crescimento de aproximadamente entre 4,4% e 7,3% a cada década na irrigação. O estudo estima-se que entre os anos de 2006 e 2014, mais de 1 milhão de hectares de novas áreas foram irrigadas. Somente o ano de 2014, como identificado na Figura 2, contabiliza-se 6,1 milhões de hectares de áreas voltadas para irrigação utilizando-se qualquer tipo de sistema. O crescimento é justificado por conta de vários programas de incentivo e investimento do governo federal, como o Programa Nacional de Irrigação – PRONI e Programa de Irrigação do Nordeste – PROINE.

**Figura 2 - Crescimento da área irrigada no Brasil.**

**Fonte:** IBGE (2006) e ANA e EMBRAPA (2016).

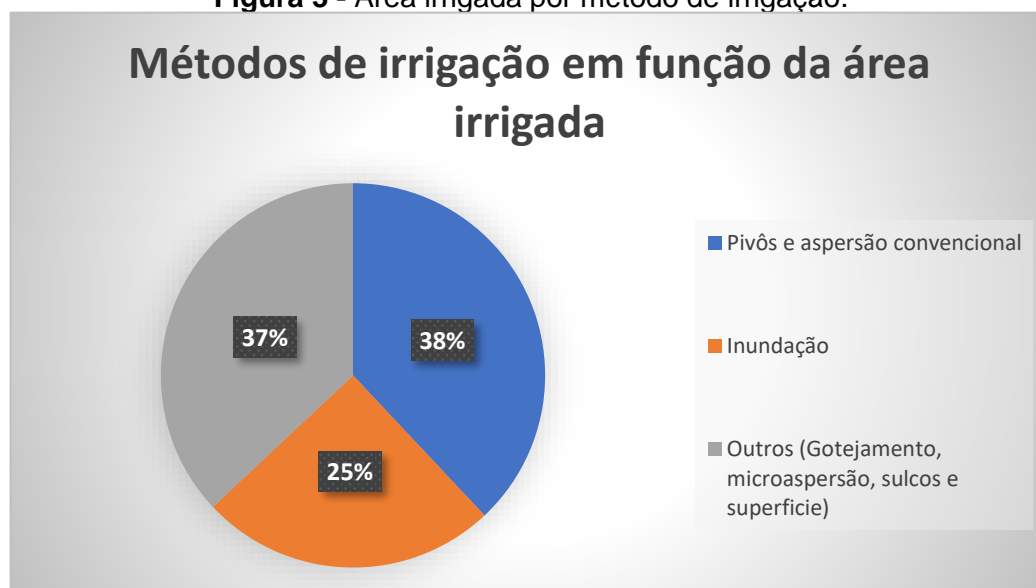
Dentre as principais culturas irrigadas no Brasil, têm-se destaque para as culturas do arroz e cana-de-açúcar, as quais possuem, respectivamente, uma taxa de 25% e 20% dentre as demais. Os outros 55% estão divididos entre soja, milho, feijão, café e citrus. A região Sul é a responsável por 80,7% pelas plantações de arroz do país e a região do Centro-Oeste, 44,8% pela cultura da cana-de-açúcar (ANA, 2017a).

Os métodos de irrigação mais utilizados no Brasil, de acordo com Mantovani, Bernardo e Palaretti (2009) são: Irrigação por superfície, irrigação por aspersão e irrigação localizada. Estes métodos são divididos em sistemas diferentes, que variam conforme com a região do Brasil, tipo do solo onde a cultura será cultivada, condição climática, fonte hídrica, forma do terreno entre outros fatores.

Segundo a ANA (2017b), a irrigação por aspersão e por pivôs centrais são as mais utilizadas no Brasil por área irrigada, com 38% da área, como mostra Figura 3. Logo após o método por aspersão e pivôs, o sistema de irrigação por inundação, o qual é o método mais utilizado nas plantações de arroz, é o segundo mais utilizado com 37% em função das áreas irrigadas. Os 25% restantes são divididos entre os sistemas por gotejamento, microaspersão, superfície e por sulcos.



Figura 3 - Área irrigada por método de irrigação.



Fonte: ANA, 2017a.

### 3.2 MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Segundo Testezlaf (2017), a irrigação é uma técnica que busca suprir a ausência de água em determinada área, seja por falta de disponibilidade hídrica ou devido à escassez de chuvas na região que deseja ser cultivada certas culturas. Existem três principais tipos de sistemas de irrigação:

- Sistema de irrigação localizada
- Sistema de irrigação por superfície
- Sistema de irrigação a aspersão

#### 3.2.1 Sistema de Irrigação localizada

Este tipo de irrigação a água é aplicada diretamente na região a ser irrigada com uma baixa vazão, porém com determinada frequência que contribua com o solo, fazendo-o manter próximo à capacidade de campo. Existem dois principais tipos de irrigação localizada: gotejamento e microaspersão, onde a principal diferença de um para o outro é a forma de emissão de água para o solo. A crescente utilização desses métodos no Brasil é justificada pelo desenvolvimento de tecnologias nos campos agrícolas (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETT, 2009).

A variedade das culturas que são irrigadas através desse sistema é imensa, pois de acordo com Mantovani (2009), fatores vantajosos como o controle rigoroso da quantidade de água, economia de energia, sistemas automatizados e a redução de pragas e doenças no cultivo, são influenciáveis para a escolha do tipo de irrigação a ser utilizado.

#### 3.2.1.1 Localizada por gotejamento

O sistema de irrigação localizado por gotejamento é uma prática que desde o século passado é utilizada pelos agricultores, desde o século XIX principalmente na China e Inglaterra. Na metade do século XX, na região de Israel, o método foi desenvolvido e diferentes técnicas o aperfeiçoaram, transformando o sistema e sendo utilizado da mesma forma até os dias atuais (DAKER, 1984).

Baseado na aplicação de água, em pequena quantidade, em sistemas de canalização e gotejadores, como mostra a Figura 4, sendo utilizado em grandes cultivos cujo obtém-se uma agricultura abundante, o método tem como sua principal vantagem o seu alto retorno econômico (BERNARDO, 1982).

**Figura 4** - Irrigação localizada por gotejamento.



**Fonte:** Revista Agropecuária, 2018.

### 3.2.1.2 Localizada por microaspersão

O método de irrigação localizada por microaspersão, trata-se de um sistema onde os emissores de água operam através de pequenos jatos que são lançados no ar, conforme a Figura 5, espalhando-se a água por uma pequena área onde o microaspersor abrange. As características de funcionamento são as mesmas do gotejamento, porém, a vazão apresenta níveis superiores e sua área de alcance é maior (TESTEZLAF, 2017).

**Figura 5 - Sistema de irrigação por microaspersão.**



Fonte: Rural pecuária, 2016.

### 3.2.2 Sistema de Irrigação por superfície

O sistema de irrigação por superfície é chamado também de irrigação por gravidade, trabalhando com a locomoção da água sobre o solo de forma total e parcial, ajudando na infiltração no decorrer desta deslocção e após o seu represamento. Devido as inundações das superfícies dos solos de cultivo, como mostra a Figura 6, os povos antigos notavam-se que após isto, efeitos positivos eram notados nas plantações e por causa da escassez de chuvas na região a alternativa para umedecer o solo foi a irrigação (BERNARDO, 1982).

**Figura 6** - Irrigação por superfície por sulcos.



**Fonte:** Revista Agropecuária, 2018.

A irrigação por superfície já era utilizada desde a Mesopotâmia e no Egito, a transferência de águas do Rio Nilo e adjacentes para barragens e canais de distribuições já era executada desde o sexto milênio, a.C. No final do século XX, terras cultivadas por irrigação, somavam-se 16%, dentre as quais 10% eram cultivadas por superfície (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETT, 2009).

O uso desse sistema de irrigação é o mais utilizado por diversos motivos, entre eles estão: Sua simplicidade operacional, o baixo custo inicial de operação, o baixo consumo de energia elétrica, pois é indispensável utilizar uma pequena diferença de altura monométrica entre a fonte de água e o local de cultura para que o uso da gravidade seja bem aproveitado, a comparência do vento ou não no espaço é indiferente, pois ao contrário do sistema de aspersão, o vento não causa nenhum transtorno e principalmente as diferentes culturas, que se mostram flexíveis ao método (TESTEZLAF, 2017).

#### 3.2.2.1 Irrigação por inundação

A irrigação por inundação, consiste em alagar a área a ser cultivada, como mostrado na Figura 7, a qual é imprescindível que a mesma seja em forma de bacia ou tabuleiro e também possua um relevo nivelado para a sua inundação por igual em todas as direções. Nos seus limites, são implantados diques e níveis, impedindo que



a água se espalhe e mantendo-a no seu interior, assim evitando perdas por escoamento superficial (MANTOVANI, BERNARDO e PALARETT, 2009).

**Figura 7** - Cultivo de arroz através da irrigação por inundação.

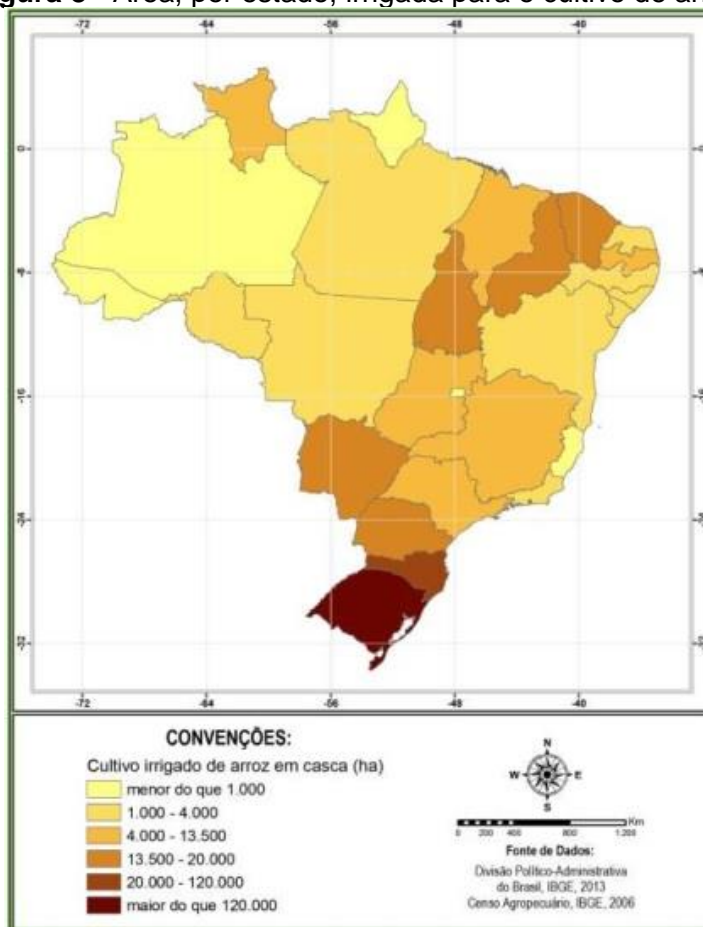


**Fonte:** Lanzetta, 2006.

São escassas as culturas e solos que não são aconselhadas a serem utilizadas por este método de irrigação, com exceção de culturas compassivas à saturação do solo, ou em solos, quando saturados, formem uma costa dura. No ciclo do arroz, é o método mais utilizado devido a necessidade de inundação contínua ou permanente (BERNARDO, 1982).

Conforme a FAO (2017), o arroz é a segunda principal cultura irrigada no Brasil, com 1,1 milhão de hectares de terras. Na Figura 8, verifica-se que a predominância do cultivo se encontra na região sul, mais especificamente no estado de Rio Grande do Sul, onde sua área de terra irrigada voltada para o arroz é aproximadamente maior que 120 mil hectares.

**Figura 8 - Área, por estado, irrigada para o cultivo de arroz.**

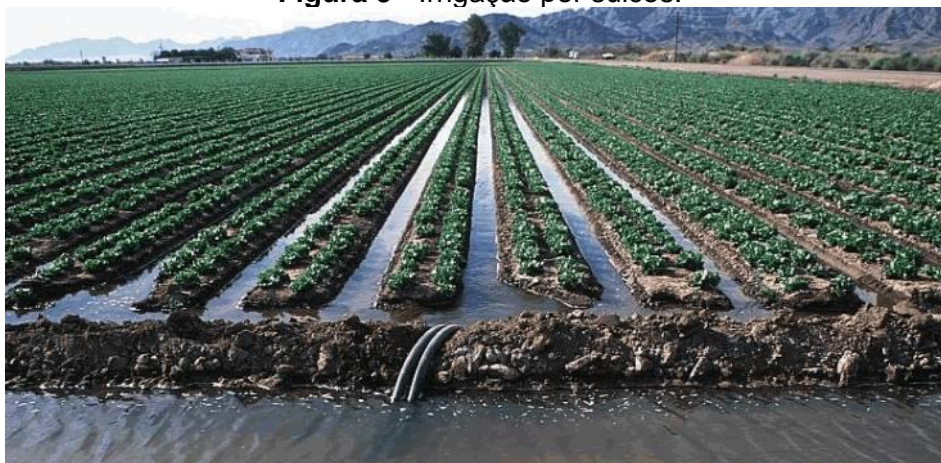


**Fonte:** FAO, 2017.

### 3.2.2.2 Irrigação por sulcos

Para Montavani (2009), o método resume-se na aplicação de água em pequenos canais e sulcos, conforme a Figura 9, que ao decorrer do percurso a água é infiltrada pelo solo, umedecendo todo o seu perfil. Diferente do método por inundação, onde toda superfície é alagada, apenas 30 a 80% da superfície é atingida por esse sistema, por conseguinte as perdas por evaporação diminuem e torna possível a locomoção dentro do cultivo facilitando-se a colheita.

**Figura 9 - Irrigação por sulcos.**



**Fonte:** Couto, 2017.

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2006), o método de irrigação por sulcos compreendeu uma área de aproximadamente 256 mil hectares de terra, obtendo uma porcentagem de 5,7% das áreas irrigadas. A área irrigada do Brasil é apenas 7,4% do total de lavouras existentes, porém de acordo com os últimos dados estatísticos o número de estabelecimentos que utilizam algum método de irrigação cresceu 39% e de área irrigada, 42%.

### **3.2.3 Irrigação por aspersão**

O método de irrigação por aspersão foi surgido na Inglaterra, por volta do ano de 1800, e inicialmente era utilizado para o combate a incêndio em edifícios comerciais e residenciais. Devido a sua alta eficiência, foram utilizados para irrigação em jardins e gramados de campos de futebol. Porém, ao decorrer dos anos, seu uso foi expandido para pomares e cultivos de forma geral. Nos Estados Unidos, surgiram os primeiros aspersores rotativos, por volta do século XX, a partir de então, o sistema foi se modernizando e hoje é o mais atualizado do mundo (TESTEZLAF, 2017).

Para Daker (1984) e Bernardo (1982), o método de irrigação consiste em uma simulação da chuva, como mostrado na Figura 10, através de orifícios, fracionando jatos de água sob pressão. Para o seu devido funcionamento, é necessário um conjunto motobomba, aspersores, tubulações e outros acessórios. Quanto ao tipo de solo e cultura, é um sistema bastante adaptável, pois costuma-se trabalhar sem problemas para todos os perfis de solo e cultivos diferentes.

**Figura 10** - Irrigação por aspersão.



**Fonte:** Albernaz, 2017.

A irrigação por aspersão é utilizada no Brasil por diversos fatores, sendo capaz de ser aproveitada para qualquer tipo de terreno, seja inclinado ou plano, dispensa a construção de diques ou sulcos, assim aproveitando completamente a área integral, distribuindo melhor a água nas culturas, facilitando a aplicação de fertilizantes e aumentando o tempo de irrigação, pois permite a aplicação noturna (ANA, 2017b).

Áreas muito estreitas e longas não são adequadas para serem irrigadas através deste método, por dificultar o manuseio do equipamento e não abranger todo o raio alcançado pelo aspersor. Em contrapartida, áreas retangulares e quadradas facilitam a sua distribuição uniforme da água. Segundo Mantovani (2009), comparando com o método de superfície, a irrigação por aspersão tem um custo menor quando se trata em terrenos com maiores declividades, portanto é mais indicado e utilizado quando trata-se de topografias mais desnivelada.

De acordo com o último Censo Agropecuário realizado, IBGE (2006), o método por aspersão é o mais utilizado no Brasil nas regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, perdendo apenas para o método por inundação na região Sul do país, conforme a Tabela 1. O que de fato chama atenção é o crescimento, principalmente na região Centro-Oeste do Brasil, do método por Pivô Central, onde atualmente faz-se presente em aproximadamente 20% das áreas irrigadas no Brasil.



**Tabela 1 - Métodos de irrigação por área irrigada.**

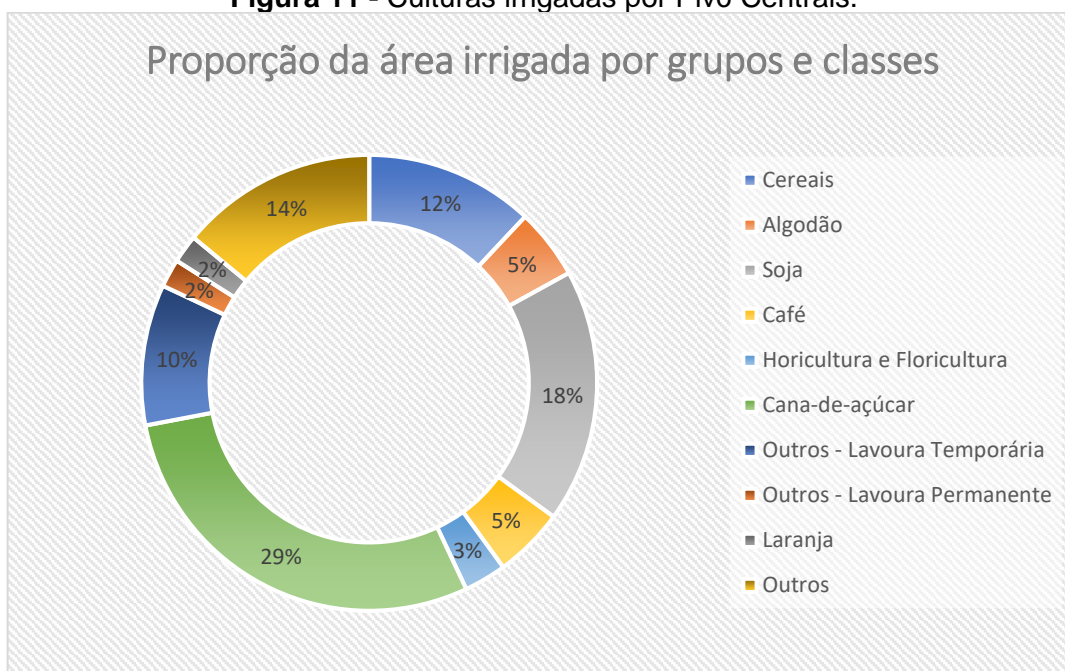
<b>Método</b>	<b>Brasil</b>	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Centro-Oeste</b>
<b>Inundação</b>	1.166.349	34.487	69.633	27.815	1.003.115	31.299
<b>Sulcos</b>	189.722	4.091	109.732	28.417	15.291	32.191
<b>Aspersão (pivô central)</b>	892.887	9.076	207.757	412.562	61.488	201.004
<b>Aspersão (outros métodos)</b>	1.330.606	31.385	420.963	738.557	110.484	29.217
<b>Localizado (Gotejamento, microaspersão)</b>	322.287	5.018	105.455	193.217	17.654	943
<b>Outros métodos</b>	372.244	25.252	94.118	206.114	30.781	15.706
<b>Total</b>	4.545.533	25.525	94.118	206.114	30.781	15.7906

**Fonte:** IBGE, 2006.

O sistema de irrigação por Pivô Central tem seu funcionamento em torno de um ponto centralizado, no qual seu raio, composto por hastes metálicas, giram sobre as plantações. O sistema abrange áreas de até 170 hectares, porém para um melhor rendimento, aconselha-se utiliza-lo em áreas de 50 a 70 ha. Em relação a sua declividade de trabalho suportada, terrenos com até 30% de declive podem ser suportados (EMBRAPA, 2017).

Em relação a expansão dos métodos mecanizados, o sistema lidera nos últimos anos. O incremento médio de 85 mil hectares ao ano no tocante de 5 anos e 104 mil hectares nestes 3 últimos anos, faz com que a expectativa de crescimento se torne ainda maior, ampliando sua participação em outras regiões do Brasil conjuntamente em áreas com maior déficit hídrico (ANA; EMBRAPA, 2016).

Segundo a ANA e EMBRAPA (2016), no Brasil, tratando-se das culturas irrigadas através deste método, destaca-se a cana-de-açúcar, que tradicionalmente é plantada na região nordeste do país, com 29%, seguidamente da cultura da laranja com 18%, como mostra a Figura 11. Logo após outras culturas e variados cereais, com 14% e 12%, respectivamente, ocupam a terceira e quarta colocação.

**Figura 11 - Culturas irrigadas por Pivô Centrais.**

Fonte: ANA e EMBRAPA, 2016.

### 3.3 ESTRUTURA DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE IRRIGAÇÃO

#### 3.3.1 Manancial

Mananciais são reservas hídricas ou fontes de água para abastecimento público, sendo classificados em superficiais ou subterrâneos, onde para fins agrícolas de irrigação, a água retirada dos mananciais não é tratada, e se tratando de custo é levado apenas em consideração gastos voltados para funcionamento e manutenção (SABESP, 2015).

Segundo a ONU (2017), parte de toda água potável e disponível no mundo é disponibilizada para a irrigação, sendo mais precisamente 70%, onde esse uso tende a crescer com a uma taxa duas vezes maior que o crescimento da população ao longo do último século. Consoante a isso, o aumento de gastos na área é consequência, estima-se que ocorra um aumento de 50% nos países em desenvolvimento e 18% nos países desenvolvidos.

O rio Piauí, conforme a Figura 12, que banha o estado de Sergipe, dentre suas funções de abastecimento, o mesmo está voltado também para atividades de irrigação, mais especificamente no município de Lagarto no Território Centro Sul, distante 69 Km de Aracaju, 6 Km da sede municipal e 93 Km para o Terminal Marítimo

Inácio Barbosa, onde segundo dados estatísticos da COHIDRO, sua área irrigável é de 367 ha abastecendo 421 lotes (COHIDRO, 2015).

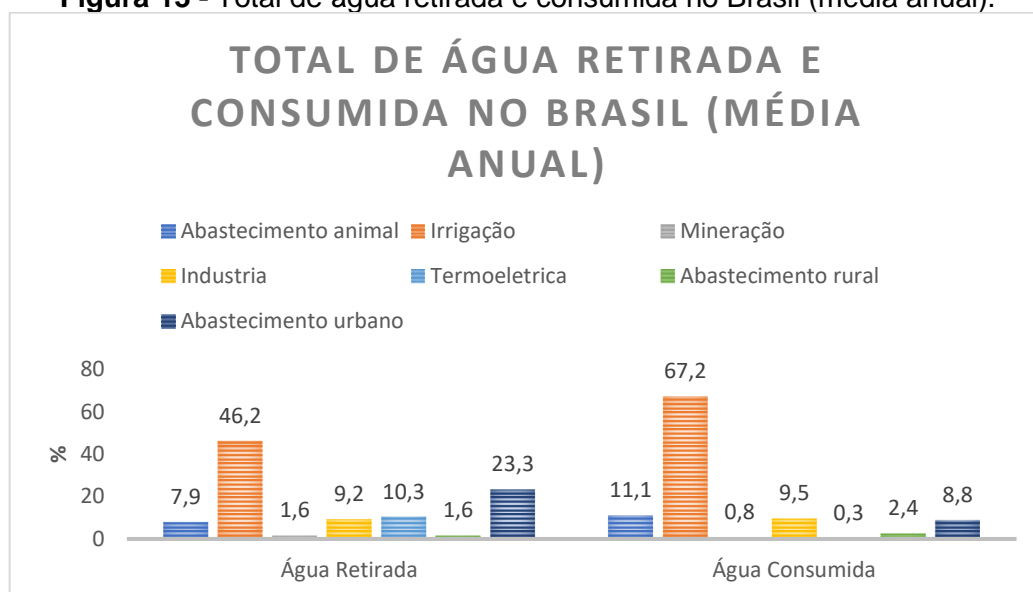
**Figura 12** - Rio Piauí, localizado no município de Lagarto-SE.



**Fonte:** Gilberto Amado, 2016.

Um fato preocupante, é que a cada dia, cresce a disputa entre os setores da agricultura, indústria, abastecimento humano, etc., que tradicionalmente competem pelo uso da água para seus determinados fins (FIGUEIREDO, 1997).

Com isso, de acordo com a Figura 13, essas disputas geram vários resultados muito desfavoráveis para os recursos hídricos do Brasil, já que como ilustrado, a quantidade de retirada de água é muito diferente da quantidade consumida, onde, segundo dados da ANA, as perdas físicas giram em torno de 36% da média anual para o Brasil, e por consequência, quanto mais demanda houver sem um devido planejamento, investimento, a ordem é a sequência do agravamento da chamada “crise hídrica” (ANA, 2017a).

**Figura 13 - Total de água retirada e consumida no Brasil (média anual).**

Fonte: ANA, 2017a.

### 3.3.2 Captação

Uma das etapas da infraestrutura necessária para o abastecimento de água é a captação de água bruta do manancial, onde consiste basicamente na retirada de água do manancial coletor por tomada direta ou por sistema de bombeamento, onde a água bruta sem tratamento e imprópria ao consumo humano, é captada de mananciais e em alguns casos é levada diretamente para outras finalidades e já em outras situações são tratadas para fins de consumo humano (ABREU, 2010).

Segundo Houghtalen, Hwang e Akan (2012) um importante meio para captação é a barragem, onde a mesma modifica o curso do rio, controlando o seu fluxo, diversificando a vazão do leito e cumprindo o seu principal objetivo que é o armazenando de água. Outras funções que estão atreladas a barragens são: hidroeletricidade, irrigação, controle de cheias, disposição de rejeitos minerais, acumulação de resíduos industriais líquidos, recreação, etc.

Em Cristalina, uma pequena cidade da região Centro-Oeste do país, conforme a Figura 14, que é localizada no interior de Goiás, a saída para elevada demanda no setor de irrigação e a seca que atingiu a cidade na década de 90, foi um estudo hidrológico da região. O estudo concluiu que a construção de pequenas barragens para retenção das águas dos rios e chuvas manteria a funcionalidade da irrigação (CAETANO, 2012).

As barragens permitem que o curso da água no rio continue em movimento abastecendo a comunidade, sobrando apenas o excesso de água decorrente da água chuva que, antes da implantação deste sistema de captação era escoado de volta ao mar. Após a implantação deste sistema, foi triplicado o número de áreas irrigadas na última década (CAETANO, 2012).

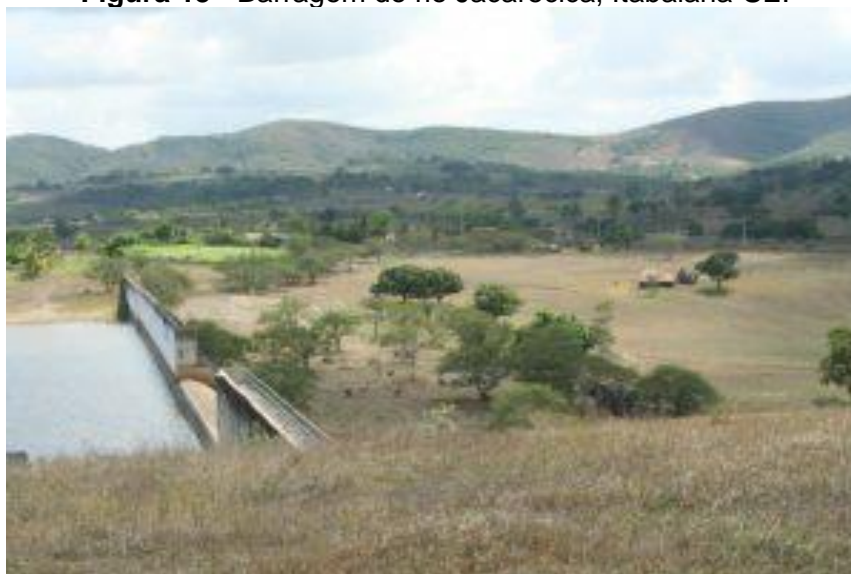
**Figura 14** - Trigo irrigado por Pivô Central em Cristalina-GO.



**Fonte:** SNA, 2015

Em Sergipe, como mostra a Figura 15, as barragens dispõem de um papel importante contra a seca. Situado na região Nordeste do país, o estado possui determinados períodos de seca que prejudicam a irrigação, a qual tem demasiada importância na participação econômica do estado. Favorecido por este período, a COHIDRO e a SEAGRI, juntamente com o Governo do Estado, iniciaram-se um programa de recuperação de 12 barragens, abrangendo milhares de irrigantes e beneficiando a população local limpando e a ampliando-se (ASN, 2017).

**Figura 15** - Barragem do rio Jacarecica, Itabaiana-SE.



**Fonte:** COHIDRO, 2017.

### **3.3.3 Adução**

A adução consiste no transporte de água entre duas unidades do sistema por meio de tubulações ou canais destinadas a conduzi-las entre diversas unidades, onde a classificação da água transportada varia de acordo com sua natureza, bruta ou tratada, e energia de movimentação (SABESP, 2015).

Para Garcez (2013), o conjunto de peças especiais e tubulações que são orientados a promover a movimentação da água em um abastecimento urbano ou diversas finalidades é entendido por adução, logo, a escolha dos materiais de uma adutora varia de acordo com fatores como método de fabricação dos tubos e acessórios, condição de funcionamento hidráulico, pressão interna, onde o simples cálculo já limita inicialmente a escolha dos materiais disponíveis, viabilidade econômica de execução, operação e manutenção do sistema etc (ARAÚJO, 2016).

Os materiais mais empregados na irrigação são de ferro fundido, identificado na Figura 16, e de PVC, flangeados e de baixa densidade. Além disso, os acessórios como uniões, válvulas de alívio, engates rápidos, curvas, joelhos, faz-se a conjuntura desses materiais, permitindo uma distribuição adequada de água ao longo da área irrigada, conseqüentemente atendendo as pressões e volumes exigidos (TESTEZLAF, 2017).



**Figura 16:** Tubulação de ferro fundido.



**Fonte:** COHIDRO, 2018.

### 3.3.3.1 Classificação

#### **Por gravidade**

O transporte da água por gravidade, consiste em levar a água de uma cota mais elevada para uma cota mais baixa aproveitando o desnível existente, onde esse processo de adução por gravidade pode ser por conduto livre ou forçado, como ilustrado na Figura 17 (ARAÚJO, 2016).

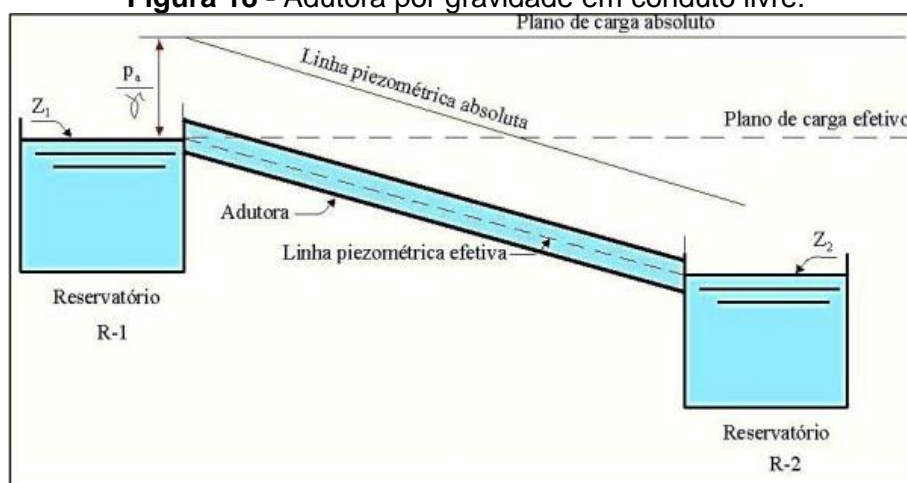
**Figura 17** - Adutora por gravidade em Mandacaru da Serra.



Fonte: Macaúbas, 2013.

É dividida em adutora por conduto livre e forçado, o qual diferem em relação a sua linha piezométrica devido a pressão atmosférica. Enquanto a adutora por conduto livre, mostrado na Figura 18, trabalha sob pressão atmosférica (GARCEZ, 2013).

**Figura 18** - Adutora por gravidade em conduto livre.

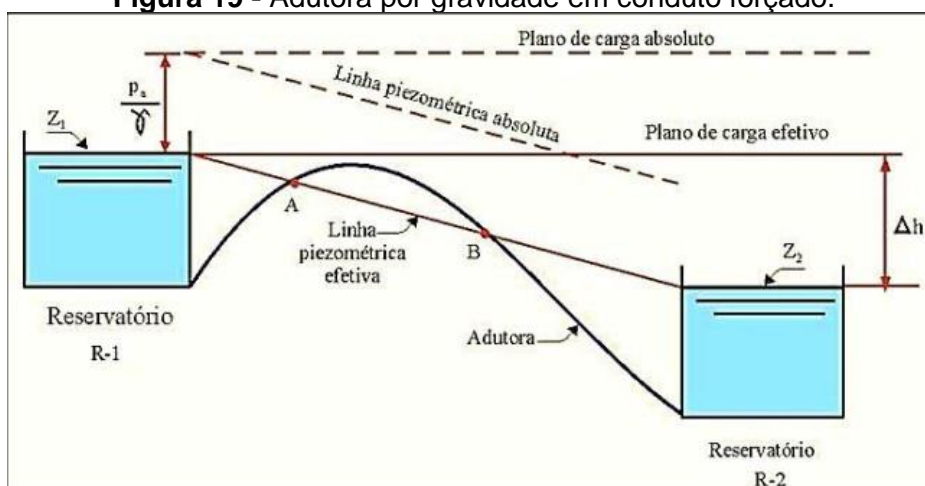


Fonte: Porto, 2006.

A adutora por conduto forçado, identificado na Figura 19, a pressão da água é maior que a atmosférica (GARCEZ, 2013).



**Figura 19 - Adução por gravidade em conduto forçado.**



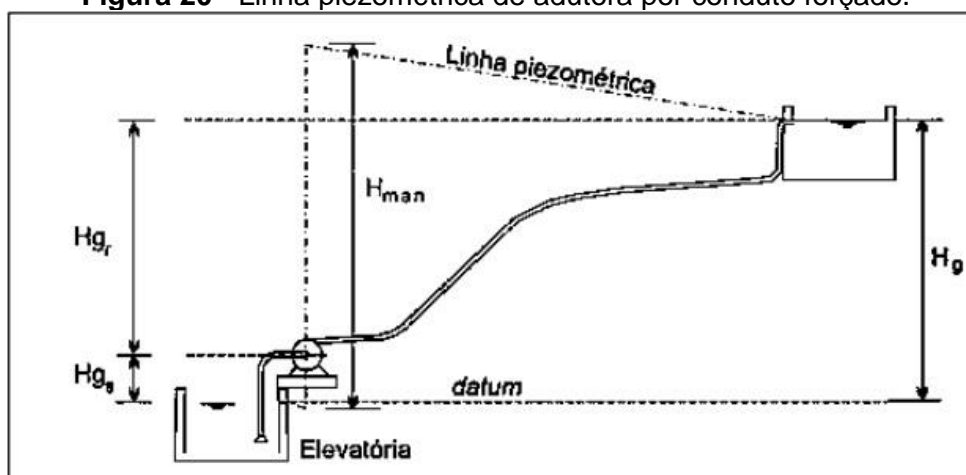
Fonte: Porto, 2006.

Em Sergipe, a adução por gravidade atua na água captada do rio São Francisco, que evadi da represa da Hidroelétrica de Xingó, da Chesf e vai até a estação de bombeamento denominada EB-100, onde essa estação é de uso compartilhado com o projeto de irrigação do Perímetro Jacaré-Curituba, administrado pela Codevasf (COHIDRO, 2015).

### Por recalque

Quando o local de captação estiver em um nível inferior, que não possibilite a adução por gravidade, torna-se necessário a instalação de uma estação elevatória, como mostra a Figura 20, onde o sistema de adução é formado por conduto forçado devido a diferença de pressão do escoamento do fluido em relação a pressão atmosférica e as seções desses condutos são sempre fechadas (ARAÚJO, 2016).

**Figura 20** - Linha piezométrica de adutora por conduto forçado.



Fonte: Porto, 2016.

No estado de Sergipe, mais precisamente na cidade de Lagarto, as adutoras possuem um comprimento de 41 km de extensão, a qual abastece irrigantes e também tem por sua finalidade o consumo humano. Para dar suporte a essa demanda e fazer com que a água com determinada pressão, 2 estações de bombeamento fazem parte da infraestrutura responsável por essa distribuição, EB-01 e EB-02. Somando-se as bombas das mesmas, têm-se um total de 18 conjunto motobombas, sendo 4 para captação de água da barragem e 14 para a distribuição após o reservatório (COHDRO, 2018).

### 3.3.3.2 Custo de uma canalização

Em um projeto hidráulico de uma adutora, por gravidade ou bombeamento, deve haver um compromisso entre os requisitos técnicos de desempenho, como por exemplo a parte do bombeamento, e a segurança e o custo global do sistema, levando-se em conta todo o sistema, como a captação, adução, estação elevatória, reservatório, rede de distribuição, custo de operação, manutenção, etc. (PORTO, 2006).

O custo da unidade de comprimento de uma tubulação depende, basicamente, de seu peso que é em função do diâmetro interno e da espessura da parede, transporte, mão-de-obra, porém não são levados em conta apenas os custos de execução, também deve-se levar em consideração os custos de operação e manutenção do sistema. O diâmetro interno é uma variável que está relacionada às condições hidráulicas para garantir o transporte de uma certa vazão, enquanto a

espessura deve ser fixada em função dos esforços, devido à pressão interna a qual o material será submetido ao longo do conduto, onde o mesmo pode variar quando em termos de espessura, quanto em termos de diâmetros (PORTO, 2006).

Logo, quando se consideram obras de grande porte e de grande responsabilidade técnica, recomenda-se realizar uma análise econômica detalhada, onde são investigados diferentes diâmetros, espessuras, levando-se em conta fatores importantes como o investimento inicial, a vida útil do equipamento, a taxa de juros, o custo da energia consumida e o tempo de bombeamento, etc. (PERES, 1996).

Um sistema de irrigação bem dimensionado, uniformizado, com um bom estado de conservação, reduz drasticamente a perda de água, o custo de operação e manutenção. É importante salientar que no Brasil, os principais problemas encontrados nos sistemas de irrigação são os de tubulações mal dimensionadas, carência de vazão e pressão suficiente na chegada das peças de irrigação, etc. Consoante a isso, os problemas e agravantes para o custo de gastos com energia são altos, sendo vista a importância de manter o sistema com uma boa suficiência e, conseqüentemente, diminuir o tempo de funcionamento da bomba (ANA, 2016).

Deve-se destacar que, em geral, o produtor agrícola tem poucas condições, onde nem sempre é viável o investimento em sistemas de irrigação. Logo, para que a demanda de irrigação para produção agrícola não decaia, associações são criadas voltadas principalmente para a área de custos, atuando de forma incentivadora, gerenciadora, cooperativa, etc. (ANA, 2013b).

Um exemplo de associação, sem fins lucrativos, constituídas por irrigantes, mediante delegação da Codevasf é o Distrito de Irrigação, que atuando inicialmente nos perímetros irrigados de Bebedouros e Mandacaru, conseguiu reduzir custos de operação e manutenção quando se comparado ao método tradicional da Codevasf usados nos anos 80, que cobrava aos irrigantes o pagamento de tarifas pelo uso das águas tornando para muitos inviável o custeio (ANA, 2013b).

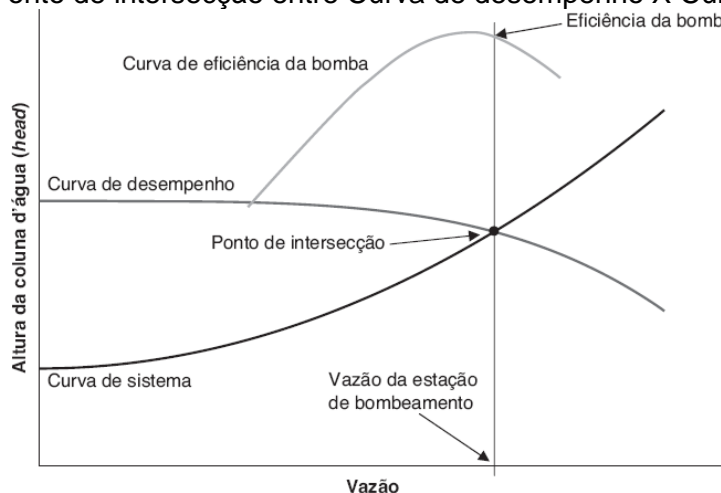
#### **3.3.4 Estação Elevatória**

Tendo em vista a relevância para o sistema de abastecimento, é importante conhecer as características de manutenção, operação e construção das estações de bombeamento, que são compostas principalmente por um conjunto de bombas, reservatórios de água, tubulações e válvulas (ANA, 2017a).

As bombas devem ser abrigadas em edificações próprias, sendo denominadas de casa de bombas, onde a mesma deve seguir alguns padrões, como por exemplo, iluminação, ventilação adequada, ser suficientemente espaçosa para a instalação e movimentação, dentre outras exigências. Essas edificações são chamadas de elevatórias (NETO e MARTINIANO, 2013).

Portanto, nas casa de bombas abriga-se motor, registro, tubos, acessórios, bombas, etc. onde o bombeamento requer que a curva de desempenho de cada bomba corresponda à curva altura de bombeamento do sistema para que a mesma opere em seu BEP (*best efficiency point*), ou seja, em situações favoráveis no seu melhor ponto de eficiência, aumentando o seu tempo útil e diminuindo o custo de operação e manutenção desse sistema. A Figura 21, ilustra a intersecção em que o sistema de bombeamento deve-se operar (MIHELICIC e ZIMMERMAN, 2017).

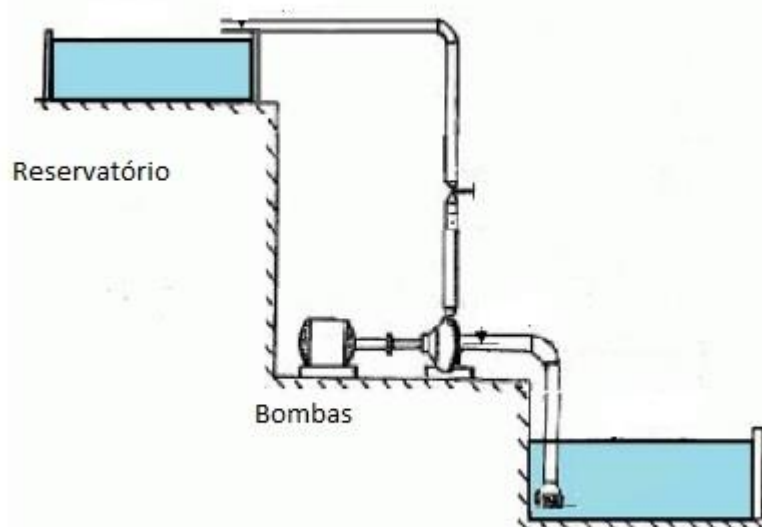
**Figura 21** - Ponto de intersecção entre Curva de desempenho X Curva de sistema.



**Fonte:** Zimmerman e Mihelcic, 2012.

Já se tratando de elevatória, a mesma consiste em bombear ou recalcar água onde um aumento de pressão é necessário, ou seja, de um local mais baixo para um local mais alto, como ilustrado na Figura 22, onde, deve-se instalar no mínimo duas bombas, sendo uma reserva para o caso de futuras operações e manutenções (MIHELICIC e ZIMMERMAN, 2017).

**Figura 22** - Esquema de uma estação elevatório de água.



**Fonte:** FGV, 2016.

O reservatório consiste em armazenar e garantir pressão à água nas canalizações, regulando a vazão entre os pontos de saída e de destino final, logo, o projeto das elevatórias é composto por poços de sucção e canais de acesso, peças especiais, assentamento de bombas, canalização de sucção e de recalque (NETO e MARTINIANO, 2013).

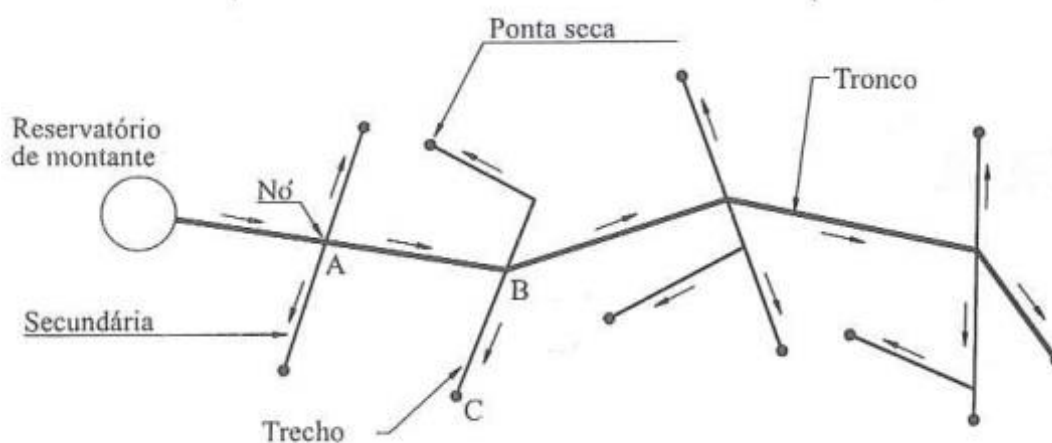
### 3.3.5 Redes de distribuição de água

Redes de distribuição de água nada mais é do que transportar a água captada para as unidades consumidoras que estão localizadas no sistema de divisão. Suas características são dependentes ao tipo de topografia do ambiente e também do porte que a mesma será responsável, possuindo uma coleção de variados tipos de acessórios ligados de determinado aspecto (SOUZA, 1994).

Segundo Souza (1994) e Porto (2006), a rede é composta por um conjunto de nós e trechos, definidos através do seu formato de desejo para o funcionamento ideal do sistema. Existem dois tipos de redes de distribuição de água: a rede de distribuição ramificada e malhada. Em cada uma os condutos são divididos em principal e secundário, onde seus pontos de intersecção são chamados de nós, e entre os nós, os condutos são chamados de trechos.

De acordo com a Figura 23, pode-se observar um tipo de rede ramificada, que a partir do reservatório, se distribui em forma de tronco. Sendo distribuída através da gravidade ou por bombeamento, seu conduto principal se ramifica em vários condutos secundários, finalizando em pontos seco em suas extremidades. Esse tipo de rede é bastante utilizado em sistemas de irrigação, acampamentos e pequenas comunidades (PORTO, 2006).

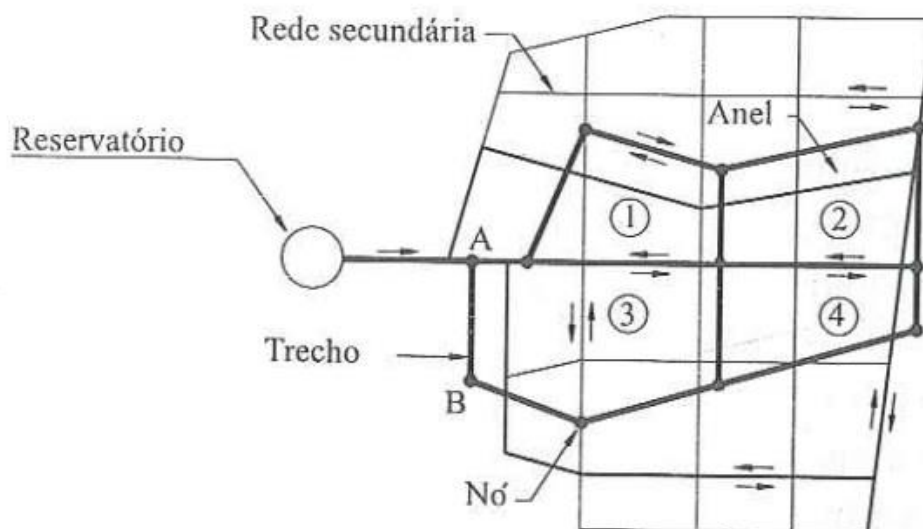
**Figura 23 - Rede ramificada.**



**Fonte:** Porto, 2006.

Segundo Porto (2006), o tipo de rede malhada é o mais vantajoso em relação a problemas diagnosticados no conduto principal, pois o seu formato traz alternativa para falhas que podem ser ocasionadas em seu, antes, único tronco, para um novo trecho, formando anéis e malhas e alterando o sentido das vazões no sistema. É o método de distribuição mais utilizado nas grandes cidades devido à essa alternativa de reversão de sentido das vazões, como mostra a Figura 24.

**Figura 24 - Rede malhada.**



**Fonte:** Porto, 2006.

### 3.4 ESCOAMENTO SOB PRESSÃO

#### 3.4.1 Regimes de escoamento

Para Coelho (2016), existem 2 tipos de escoamento em tubulações, o laminar e o turbulento. O regime laminar consiste quando seu movimento é altamente ordenado, e que os atritos que ocorrem no escoamento são em forma viscosa, ao contrário do regime turbulento, o qual é conhecido por possuir um movimento em forma caótica devido ao atrito da velocidade do fluxo na parede da tubulação ser nula.

Para identificação de qual tipo de regime o movimento é classificado, é utilizado a Equação de Reynolds, a qual é um parâmetro adimensional definido entre a relação das forças viscosas com o escoamento. Os escoamentos laminares compreendem o número de Reynolds abaixo de  $Re < 2300$ , ao contrário do regime turbulento, onde seu intervalo é  $Re > 2300$  (PORTO, 2006).

$$Re = \frac{D V}{\nu}$$

Onde:

Re = número de Reynolds

D = diâmetro (m)

V = velocidade (m<sup>2</sup>/s)

V = viscosidade

### 3.4.2 Perdas de carga

De acordo com Bistafa (2016), a perda de carga tem por definição, a perda de energia por atrito viscoso ou turbulento que ocorre entre duas seções de escoamento de um tubo, portanto, a mesma obtém uma razão de suma importância no que se refere ao cálculo de dimensionamento da tubulação. Sua classificação é dividida basicamente em perdas de cargas ao longo do conduto e localizadas.

#### 3.4.2.1 Perdas de cargas distribuídas

As perdas de energia são dizimadas ao longo dos trechos, sendo designada como reduções ao decorrer do comprimento retilíneo da tubulação. Para efetuação do cálculo de perda de carga, várias equações existentes possibilitam a averiguação, porém, a principal e universal fórmula, ou equação, é a de Darcy-Weisbach (FERREIRA e MARQUES, 2017).

#### Darcy-Weisbach

$$hf = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

Onde:

Hf: Perda de Carga distribuída (m)

f: Fator de atrito

L: Comprimento da tubulação (m)

v: velocidade (m/s)

D: diâmetro (m)

g: gravidade (m/s<sup>2</sup>)

#### 3.4.2.2 Perdas cargas localizada

O cálculo pode ser efetuado de duas formas, ou pelo comprimento equivalente ou pelo coeficiente de perda carga. A diferença entre ambas as formas é



que para o cálculo de comprimento equivalente, o acessório se representa como comprimento linear da tubulação, e para coeficiente de perda de carga, o acessório possui uma perda representada. Para ambos os casos, os valores são fornecidos pela fabricante dos tubos (FOX, MCDONALD e PRITCHARD, 2014).

### **Comprimento equivalente (Le)**

$$Hl = f \frac{Le v^2}{D 2g}$$

Onde:

Hf: Perda de Carga distribuída (m)

f: Fator de atrito

Le: Comprimento equivalente(m)

v: velocidade (m/s)

D: diâmetro (m)

g: gravidade (m/s<sup>2</sup>)

### **Coeficiente de perda de carga (k)**

$$Hl = k \frac{v^2}{2g}$$

Onde:

Hf: Perda de Carga distribuída (m)

k: coeficiente de perda de carga

v: velocidade (m/s)

g: gravidade (m/s<sup>2</sup>)

Para FOX, McDONALD e PRITCHARD (2014), o transporte de água sob pressão de qualquer porte é constituído por um sistema que é composto por diversos acessórios como, válvulas, curvas, registros, conexões em geral, onde a presença de cada um destes é necessária para a funcionalidade de sua operação, porém, o conjunto desses acessórios acrescidos ao acréscimo de turbulência, o atrito e os

longos trechos, refletem em perdas inevitáveis no sistema, devendo-se então ser previsto, para que não haja alteração de módulo ou direção da velocidade e perdas de pressão.

Segundo Porto (2006), os valores dos coeficientes K para diversos acessórios não são universais, pois, para variados acessórios são definidos em função do diâmetro. Segundo a Tabela 2, pode-se verificar alguns destes valores:

**Tabela 2:** Valores dos coeficientes K.

Acessório	K	Acessório	K
Cotovelo 90° raio curto	0,9	Válvula de gaveta aberta	0,2
Cotovelo 90° raio longo	0,6	Válvula de ângulo aberta	5,0
Cotovelo 45°	0,4	Válvula de globo aberta	10,0
Curva 90°, r/D = 1	0,4	Válvula de pé com crivo	10,0
Curva 45°	0,2	Válvula de retenção	3,0
Tê, passagem direta	0,9	Curva de retorno	2,2
Tê Saída Lateral	2,0	Válvula de bóia	6,0

**Fonte:** Porto, 2006.

## Alargamentos e Estreitamentos

A variação de diâmetro pode ser feita de forma brusca ou gradualmente seja por aumento ou diminuição da seção transversal. Em casos de aumento de diâmetro brusco, a perda de carga localizada ocorre pela desaceleração do fluido, porém, permitindo um tratamento analítico através do teorema da quantidade de movimento e da equação de energia ao fluido (PORTO, 2006).

## Cotovelos e curvas

Muito utilizadas em instalações hidráulicas em geral, estas conexões provocam mudanças de direções do escoamento, gerando perdas localizadas, onde quanto mais suave for a sua mudança de direção, menor será a perda. Estas modificações provocam alteração no perfil de velocidade e na distribuição de pressão (FOX, MCDONALD e PRITCHARD, 2014).

## Registro e válvulas

São mecanismos de formas, tipos e tamanhos variados, que permitem o controle da vazão transportada até o fechamento total delas. Quando abertas por completo, as alterações são superficiais, porém quando está fechada por completo, são provocadas perdas consideráveis na tubulação. Logo, são consideradas peças de grande importância nas tubulações para os processos de manutenção, de manobras, fechamento de fluxo, etc., onde os mesmos são responsáveis pelas maiores perdas de cargas em se tratando de perdas localizadas. Alguns exemplos são as válvulas de pé e crivo, válvulas de retenção, registro globo aberto, etc. (PORTO, 2006).

### 3.5 PRESSÕES DE SERVIÇO

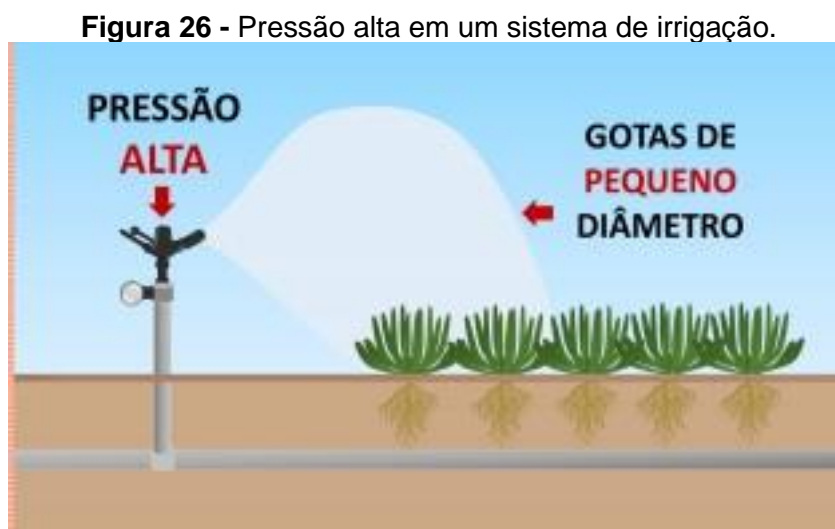
Para um funcionamento ideal de um aspersor em um sistema de irrigação é necessário que a água chegue no mesmo com uma pressão que seja suficiente para o seu funcionamento. No bocal de aspersão, a pressão é transformada em carga de velocidade, iniciando uma pulverização em forma de chuva, de acordo com a Figura 25 abaixo, que dependendo da pressão, difere em suas formas e alcance da área irrigada (ANA, 2016).

**Figura 25** - Pressão adequada em um sistema de irrigação.



Fonte: ANA, 2016.

Em um sistema de irrigação por aspersão, a pressão não pode ser elevada ao ponto da pulverização das gotas de águas serem fortes o suficiente para reduzir os seus diâmetros, resultando em um curto alcance do jato d'água, como ilustrado na Figura 26, devido à resistência do ar e sofrendo um deslocamento provocado pelo vento (ANA, 2016).



**Fonte:** ANA, 2016.

Da mesma forma, pressões baixas, como mostra a Figura 27, prejudicam o funcionamento o tanto quanto, pois os jatos de água emergem rapidamente ao solo sem alcançar grandes distâncias, já que o sistema não possui a força necessária para impulsionar a água. De acordo com a ANA (2016), as pressões de serviço desejáveis nesses sistemas deve respeitar o que cada catálogo indica, pois assim alcança o raio de alcance necessário e o maior diâmetro formado.

Figura 27 - Pressão baixa em um sistema de irrigação.



Fonte: ANA, 2016.

Para Testezlaf (2017), os aspersores são divididos em grupos de acordo com as pressões de serviços suportadas por cada um deles, sejam de muito baixa, baixa, média e alta pressão.

**Aspersores de pressão de serviço muito baixa:** Atuam com pressão de serviço menor que 10 mca e possuem um alcance de até 6 m. Geralmente são utilizados em pequenos jardins residenciais.

**Aspersores de pressão de serviço baixa:** Atuam com pressão de serviço entre 10 mca e 20 mca e possuem um alcance de 6 m a 12 m. Utilizados para pequenos cultivos e pomares.

**Aspersores de pressão de serviço média:** Atuam com pressão de serviço entre 20 mca a 40 mca e possuem um alcance de 12 m a 36 m. Geralmente os mais utilizados em projetos de irrigação e são adaptáveis a qualquer tipo de cultura.

**Aspersores de pressão de serviço alta:** Atuam com pressões de serviço superiores a 40 mca, são chamados também de canhões. Seu alcance varia de 30 m a 60 m e são utilizados em grandes projetos de cana-de-açúcar, cereais, pastagens e forragens.

### 3.6 EQUAÇÃO DE BERNOULLI

Para Porto (2006), a equação é importante pelo fato de representar a energia por unidade de peso e metro e admitir, de importância prática, uma

interpretação geométrica. A mesma é utilizada para retratar o trabalho do movimento fluido em uma tubulação.

São fatores que geram e influenciam na equação: a diferença de pressão existentes em suas extremidades, áreas da seção transversal opostas e diferentes cotas piezométricas entre os dois pontos (BISTAFA, 2016).

$$Z1 + \frac{Pd1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} = Z2 + \frac{Pd2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + \Delta E$$

Sendo:

Z1 = Cota do ponto anterior (m)

Pd1 = Pressão do ponto anterior (m.c.a.)

V1 = velocidade (m/s)

g = gravidade (m/s<sup>2</sup>)

Z2 = Cota do ponto seguinte (m)

V2 = velocidade (m/s)

$\Delta E$  = perda de carga

$\gamma$  = peso específico da água (kN/m<sup>3</sup>)

## 4 ESTUDO DE CASO

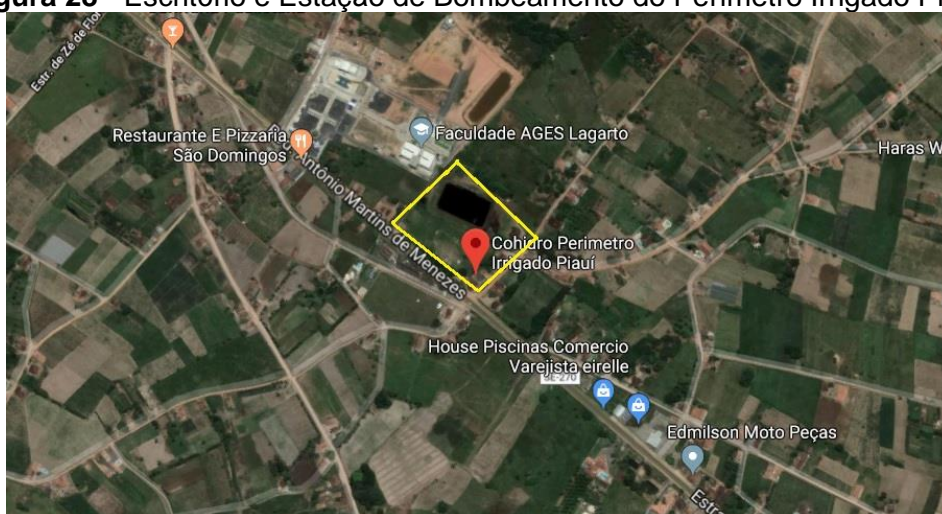
O estudo sobre a redistribuição de pressões dos hidrantes foi elaborado através dos mapas do Projeto de Aerofotogrametria do Projeto Executivo de Irrigação do Rio Piauí das adutoras de irrigação do perímetro da COHIDRO, ente público vinculado a Secretaria de Estado e Agricultura do estado de Sergipe.

Para a efetuação dos cálculos foi utilizado, como auxílio, o levantamento técnico-informativo realizado em campo pela COHIDRO juntamente com o ábaco de perdas de carga da fabricante do material da adutora.

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PERÍMETRO IRRIGADO PIAUÍ

O Perímetro Irrigado Piauí encontra-se localizado no município de Lagarto, no centro-sul do estado de Sergipe e na região nordeste do país. De acordo com o IBGE (2016), a cidade é a terceira mais populosa do estado com 103.576 habitantes e distante à 75 km da capital Aracaju. A área que abrange o escritório e a estação de bombeamento 02 do Perímetro Irrigado está situada a 6 km da sede municipal e está completamente dentro da região que envolve a Bacia do Rio Piauí, de acordo com a Figura 28.

**Figura 28** - Escritório e Estação de Bombeamento do Perímetro Irrigado Piauí.



Fonte: Google Maps, 2018.

O perímetro irrigado é composto por 421 lotes voltados para irrigação, dos quais 331 são totalmente irrigados e 90 parcialmente, e cerca de 3.515 pessoas são

beneficiadas. As principais culturas irrigadas neste perímetro são a batata doce, inhame, mandioca, repolho e tomate, onde o principal método de irrigação praticável é o de aspersão convencional. Em Lagarto, as atividades econômicas estão muito atreladas aos produtos agrícolas, dando destaque a plantação de fumo, ao qual o mesmo passa por um processo de beneficiamento feito no próprio município, com isso, a industrialização do mesmo movimenta a economia do município donde mais da metade de sua produção é exportada para outros estados.

O rio Piauí, cuja nascente está localizada no município de Riachão do Dantas, possui uma extensão de 132 km e é a segunda maior bacia hidrográfica do estado. O manancial, conforme ilustra a Figura 29, é responsável pelo abastecimento do perímetro Irrigado e possui uma capacidade de 15 milhões de m<sup>3</sup> de água, abrangendo uma área de 345 ha, barrados pela barragem da COHIDRO.

**Figura 29** - Manancial e reservatório do perímetro irrigado.



**Fonte:** Arquivo pessoal, 2018.

A estrutura física da barragem Governador Dionísio Machado, do perímetro irrigado do rio Piauí, teve sua construção iniciada em 1985 e foi concluída em 1987. O volume total de concreto utilizado na obra foi de 31.862 m<sup>3</sup> e de solo foi de 44.085 m<sup>3</sup>. A estrutura da barragem é composta por concreto e alvenaria de pedra, obtendo um comprimento da barragem principal de 465m e uma altura máxima de 20m.

A tomada d'água da barragem, cujo diâmetro é de 0,80cm, é do tipo adutora de ferro dúctil e seu acionamento é ativado através de uma válvula do tipo borboleta.



Além disso, o revestimento do montante da barragem é de placa de concreto, e da jusante é de alvenaria de pedra argamassada.

**Figura 30** - Barragem do Rio Piauí.



**Fonte:** Arquivo pessoal, 2018.

A captação de água da barragem para o reservatório de compensação existente próximo a área de irrigação é realizada pela Estação de Bombeamento 01, a qual foi projetada para uma capacidade máxima de 1.980 m<sup>3</sup>/h e constituída por 4 bombas, dispostas em paralelo.

Os quatro conjuntos eletrobombas, como mostrado na Figura 31, sendo um reserva, possui por unidade uma vazão de 660m<sup>3</sup>/h, são do tipo radial, de eixo horizontal e de bipartida. Seus motores são trifásicos, com tensão de 380v e potência de 300 CV.

**Figura 31** - Estação de bombeamento 01.



**Fonte:** Arquivo pessoal, 2018.

A adutora principal responsável pela condução da água da EB-01 para o reservatório de compensação possui uma extensão de 3,6 km e diâmetro de 600mm. Seu material é de concreto, junta elástica e pressão de serviço de 25 m.c.a..

O reservatório de compensação tem por finalidade o armazenamento do volume de água bombeado pela EB-01 quando o sistema de irrigação estiver parado. Sua capacidade de acúmulo de água é de 5.766m<sup>3</sup> de projeto, sendo revestido de concreto simples nas laterais e juntas de dilatação transversalmente e longitudinalmente.

Para irrigação o sistema adutor secundário é formado pela Estação de bombeamento 02, conforme ilustra a Figura 32. Responsável pelo fornecimento, é composto por 14 conjuntos eletrobombas de série FBCN BLOC, com uma capacidade total do sistema de 2.632m<sup>3</sup>/h. A altura manométrica projetada é de 71 m.c.a.

**Figura 32 - 14** Motobombas da Estação de Bombeamento 02.



**Fonte:** Arquivo pessoal, 2018.

As bombas são do tipo centrífuga, radial, com capacidade unitária de 188 m<sup>3</sup>/h e possui uma velocidade de rotação de 3500rpm que trabalham em paralelo. O seu funcionamento possui uma possibilidade em trabalhar apenas com uma bomba, devido ao manejo de irrigação obter uma flexibilidade de trabalho.

Para distribuição da água aos lotes, o Perímetro Irrigado é formado por 7 adutoras, como mostra a Figura 33, do tipo IRRIGA-LF PVC rígido, TIGRE, com conexões de junta elástica e ferro fundido para linhas enterradas, totalizando 41 km de extensão.



**Figura 33** - 7 adutoras do perímetro irrigado.



**Fonte:** Arquivo pessoal, 2018.

As adutoras são do tipo PN 80 ao PN 125, fabricadas de acordo com a ABNT 12:02.08-014 (NBR 9807), para uma pressão de até 125 m.c.a. ou 12,5 Kgf/cm<sup>2</sup>, com diâmetros de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 mm.

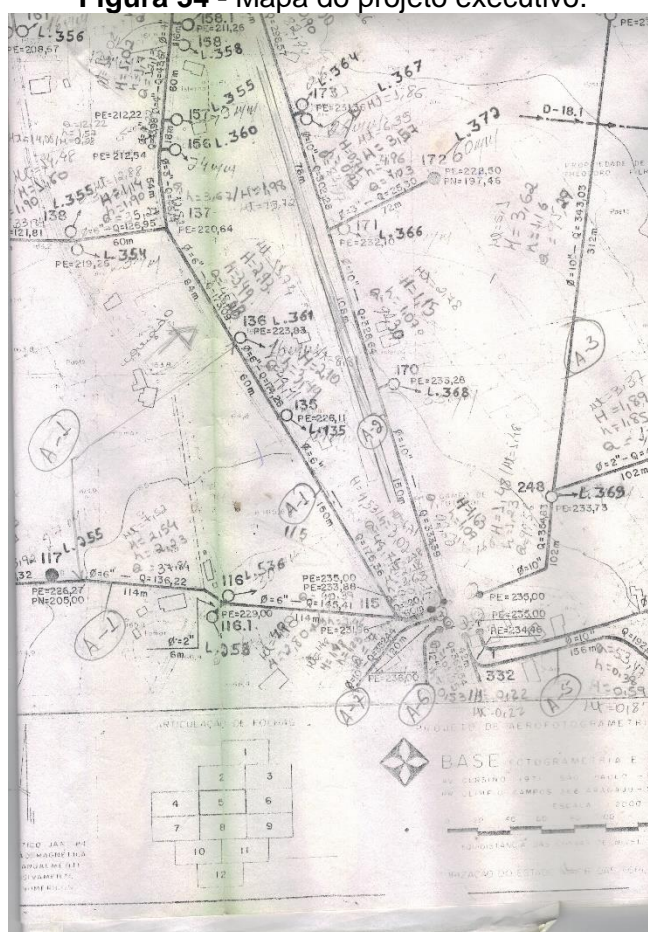
A adutora a ser trabalhada será a de número 2, a qual tem um comprimento de 5,6 km de extensão e é dividida em trechos principais e secundários, sendo classificada como uma rede de distribuição ramificada.

Em cada extremidade dos trechos secundários ou em pequenas ramificações nos trechos principais, dispõe de hidrantes para distribuição de água aos lotes de irrigação, de modo que cada lote, foi previsto um bocal e hidrômetro para controle da tarifa abastecida.

## 4.2 MAPAS DO PROJETO EXECUTIVO

Para auxílio do devido trabalho, foram utilizados os mapas do projeto executivo do percurso da adutora da Estação de bombeamento EB-02 até os hidrantes dos lotes do perímetro irrigado Piauí, conforme a Figura 34. A Adutora a ser estudada envolve 50 hidrantes e 59 lotes voltados para irrigação.

**Figura 34 - Mapa do projeto executivo.**



Fonte: COHIDRO, 1984.

As demais plantas da adutora de número 2 está inserida no Anexo A presente neste trabalho, devido a grande extensão da adutora.

## 4.3 LEVANTAMENTOS TÉCNICOS-INFORMATIVOS

De acordo com o banco de dados da COHIDRO, o levantamento foi realizado para cadastro de cotas dos hidrantes e da quantidade de aspersores

convencionais por lotes. Através da Tabela 3, representam-se o número dos lotes e os seus respectivos hidrantes, as cotas em relação ao nível do mar e o total de aspersores que são abastecidos pela adutora de número 2, vale ressaltar que também foram locadas as cotas das intersecções da adutora.

**Tabela 3:** Levantamento técnico informativo.

<b>Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe</b>				
<b>Lote</b>	<b>Hidrantes</b>	<b>Nós</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Nº Aspersores</b>
366	171		163	2
363	173		161	2
364	173		161	2
367	173		161	3
376	174		162	3
377	174		162	3
382	175		162	2
383	177		162	3
		178	161	
399	179		159	3
469	179		159	2
		180	161	
401	181		161	2
		182	161	
402	183		161	2
		184	161	
403	185		158	2
405	186		159	4
		187	159	
404	188		159	4
		189	160	
411	191		161	5
409	192		161	2
		193	162	
408	194		159	4
412	195		163	4
		196	163,5	
410	197		163	4
413	198		157	3
415	199		164	4
414	200		164	4
401	201		175,5	2
		202	170	
494	203		163	4

**Companhia de Desenvolvimento de Recursos  
Hídricos e Irrigação de Sergipe**

<b>Lote</b>	<b>Hidrantes</b>	<b>Nós</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Nº Aspersores</b>
493	203		163	3
419	204		164,4	2
		205	166	
		206	165,5	
486	207		160,3	4
487	207		160,3	2
		208	165	
488	209		164,4	3
418	210		162	2
491	211		165	3
490	212		165	4
492	213		165,5	6
		214	164	
495	215		160,2	2
		216	163	
501	217		157,4	6
498	218		162	4
499	219		162,2	2
500	219		162,2	4
506	220		166	4
505	220A		166	4
		221	165	
496	222		166	5
		223	165	
497	224		166	4
		225	165,5	
502	226		166	5
		227	165,5	
513	228		163	4
		229	164	
		230	163,5	
507	231		163	6
508	232		162	7
514	234		161,1	5
		235	162	
515	236		159	5
		237	161	
516	238		158,6	11
		239	158,5	
520	243		156	2
519	240		156,3	6
517	241		156,5	3
518	242		155,3	5

**Companhia de Desenvolvimento de Recursos  
Hídricos e Irrigação de Sergipe**

<b>Lote</b>	<b>Hidrantes</b>	<b>Nós</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Nº Aspersores</b>
511	243		156	2
521	244		154,6	4
522	245		152	2
523	246		150,8	4
524	247		153,2	11

**Fonte:** COHIDRO, 2018.

Outros dados fornecidos foram a cota da estação de bombeamento e a altura manométrica da bomba, 166,5m e 71 m.c.a. respectivamente.

#### 4.4 VERIFICAÇÃO DAS PRESSÕES DISPONÍVEIS NOS HIDRANTES

Inicialmente foi aferida a perda de carga por trecho definida através do ábaco fornecido pelo fabricante do material da adutora, ilustrado na Figura 35. A tabela de perda foi executada através das fórmulas de Colebrook, em conjunto com a Fórmula Universal de Perda de carga distribuída, número de Reynolds e a equação da continuidade, sendo seus resultados os mais precisos, considerando os recursos técnicos disponíveis.



**Figura 35 -** Ábaco para identificar as perdas de carga da tubulação.

Tabelas de perdas de carga - m/100m  
Tubos de PVC rígido para irrigação PN 80  
Área interna do conduto  
DN 50 = 0,00171m<sup>2</sup> DN 75 = 0,00390m<sup>2</sup> DN 100 = 0,00700m<sup>2</sup>

PN 80			DN 50			PN 80			DN 75			PN 80			DN 100			PN 80			DN 100		
Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)
0,19	0,11	0,051	1,40	0,36	0,248	1,00	0,14	0,033	9,20	1,31	1,902												
0,20	0,12	0,056	1,50	0,39	0,281	1,10	0,16	0,039	9,40	1,34	1,981												
0,22	0,13	0,066	1,60	0,41	0,316	1,20	0,17	0,045	9,60	1,37	2,061												
0,24	0,14	0,077	1,70	0,44	0,353	1,30	0,19	0,052	9,80	1,40	2,143												
0,26	0,15	0,088	1,80	0,46	0,392	1,40	0,20	0,060	10,00	1,43	2,227												
0,28	0,16	0,101	1,90	0,49	0,432	1,50	0,21	0,067	10,50	1,50	2,444												
0,30	0,17	0,114	2,00	0,51	0,475	1,60	0,23	0,076	11,00	1,57	2,670												
0,32	0,19	0,128	2,10	0,54	0,519	1,70	0,24	0,084	11,50	1,64	2,906												
0,34	0,20	0,142	2,20	0,57	0,566	1,80	0,25	0,094	12,00	1,71	3,151												
0,36	0,21	0,157	2,30	0,59	0,614	1,90	0,27	0,103	12,50	1,79	3,407												
0,38	0,22	0,173	2,40	0,62	0,664	2,00	0,29	0,113	13,00	1,86	3,672												
0,40	0,23	0,190	2,50	0,64	0,716	2,10	0,30	0,124	13,50	1,93	3,947												
0,45	0,26	0,234	2,60	0,67	0,770	2,20	0,31	0,134	14,00	2,00	4,232												
0,50	0,29	0,283	2,70	0,69	0,825	2,30	0,33	0,146	14,50	2,07	4,527												
0,55	0,32	0,335	2,80	0,72	0,884	2,40	0,34	0,157	15,00	2,14	4,831												
0,60	0,35	0,392	2,90	0,75	0,943	2,50	0,36	0,169	15,50	2,21	5,145												
0,65	0,38	0,454	3,00	0,77	1,004	2,60	0,37	0,182	16,00	2,29	5,469												
0,70	0,41	0,519	3,20	0,82	1,133	2,70	0,39	0,195	16,50	2,36	5,803												
0,75	0,44	0,588	3,40	0,87	1,268	2,80	0,40	0,208	17,00	2,43	6,147												
0,80	0,47	0,661	3,60	0,92	1,411	2,90	0,41	0,222	17,50	2,50	6,500												
0,85	0,49	0,739	3,80	0,96	1,562	3,00	0,43	0,236	18,00	2,57	6,863												
0,90	0,52	0,820	4,00	1,03	1,719	3,20	0,46	0,266	18,50	2,64	7,235												
0,95	0,55	0,906	4,20	1,08	1,884	3,40	0,49	0,297															
1,00	0,58	0,995	4,40	1,13	2,057	3,60	0,51	0,330															
1,10	0,64	1,186	4,60	1,18	2,237	3,80	0,54	0,365															
1,20	0,70	1,393	4,80	1,23	2,424	4,00	0,57	0,401															
1,30	0,76	1,615	5,00	1,28	2,618	4,20	0,60	0,439															
1,40	0,81	1,854	5,20	1,34	2,820	4,40	0,63	0,478															
1,50	0,87	2,108	5,40	1,39	3,029	4,60	0,66	0,519															
1,60	0,93	2,378	5,60	1,44	3,245	4,80	0,69	0,562															
1,70	0,99	2,663	5,80	1,49	3,468	5,00	0,71	0,606															
1,80	1,05	2,964	6,00	1,54	3,699	5,20	0,74	0,652															
1,90	1,10	3,281	6,20	1,59	3,937	5,40	0,77	0,699															
2,00	1,16	3,613	6,40	1,64	4,183	5,60	0,80	0,748															
2,10	1,22	3,961	6,60	1,70	4,435	5,80	0,83	0,799															
2,20	1,28	4,324	6,80	1,75	4,695	6,00	0,86	0,851															
2,30	1,34	4,703	7,00	1,80	4,963	6,20	0,89	0,905															
2,40	1,40	5,097	7,20	1,85	5,237	6,40	0,91	0,960															
2,50	1,45	5,507	7,40	1,90	5,519	6,60	0,94	1,017															
2,60	1,51	5,933	7,60	1,95	5,808	6,80	0,97	1,076															
2,70	1,57	6,374	7,80	2,00	6,104	7,00	1,00	1,136															
2,80	1,63	6,830	8,00	2,06	6,408	7,20	1,03	1,197															
2,90	1,69	7,302	8,20	2,11	6,718	7,40	1,06	1,261															
3,00	1,74	7,789	8,40	2,16	7,036	7,60	1,09	1,326															
3,20	1,86	8,811	8,60	2,21	7,362	7,80	1,11	1,392															
3,40	1,98	9,893	8,80	2,26	7,694	8,00	1,14	1,460															
3,60	2,09	11,030	9,00	2,31	8,034	8,20	1,17	1,530															
3,80	2,21	12,245	9,20	2,36	8,381	8,40	1,20	1,601															
4,00	2,33	13,513	9,40	2,41	8,735	8,60	1,23	1,674															
4,20	2,44	14,843	9,60	2,47	9,097	8,80	1,26	1,748															
4,40	2,56	16,235	9,80	2,52	9,466	9,00	1,29	1,824															

Fonte: TIGRE, 1984.

Para encontrar a perda de carga, foi necessário identificar através dos trechos da adutora as suas respectivas vazões e transformá-las de m<sup>3</sup>/h para L/s, já que as mesmas são identificadas no ábaco com esta unidade. Seguindo a linha de raciocínio, o próximo passo foi transformar os diâmetros de polegadas para milímetros.

Com ambas informações encontradas, a identificação da perda de carga unitária (m/100m) foi devido a uma correlação entre diâmetro e vazão. Após a assimilação do valor da perda de carga unitária, a mesma foi multiplicada pelo comprimento encontrado em seus respectivos trechos.

Os cálculos das perdas de cargas totais são acumulativos em todos os trechos da adutora, de hidrante a hidrante, durante todo o seu percurso. Em relação as cotas, a variação de desnível de determinado hidrante é sempre comparada a cota de referência da estação de bombeamento, sendo essa de 166,5m.

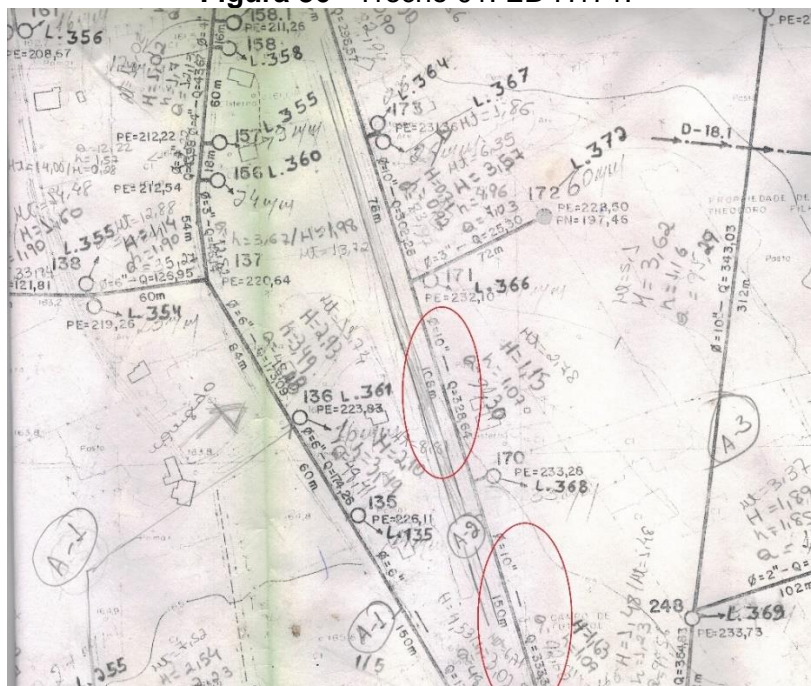
Após a constatação de todos os dados levantados, o ultimo procedimento foi aferir as pressões disponíveis dos respectivos hidrantes. Sendo assim, foram

realizados os cálculos dos 2 primeiros trechos para servir como exemplo dos demais da adutora.

- **Trecho 1: EB - H171**

No primeiro trecho da adutora, por falta de dados do hidrante de número 170, foi necessário prolongar o trecho e fazer uma média das vazões dos trechos EB-H170 e H170-H171, sendo  $333,39 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $328,64 \text{ m}^3/\text{h}$  respectivamente e com diâmetro de 10". Os comprimentos de 150m e 108m respectivamente, foram somados e os cálculos foram definidos de acordo com os dados da Figura 36.

**Figura 36 - Trecho 01: EB-H171.**



Fonte: COHIDRO, 1984.

Portanto, a vazão resultante da média das vazões dos trechos citados acima, foi de  $331,02 \text{ m}^3/\text{h}$ , transformando para unidade estabelecida pelo ábaco, como mostra a figura 37, a vazão é de  $91,95 \text{ L/s}$ . O comprimento total do trecho calculado foi de 258m.

Figura 37 - Ábaco para identificação da perda de carga do trecho 01.

Tabelas de perdas de carga - m/100m  
Tubos de PVC rígido para irrigação PN 125  
Área interna do conduto  
DN 250 = 0,04988m<sup>2</sup>      DN 300 = 0,07606m<sup>2</sup>

PN 125			DN 250			PN 125			DN 300			PN 125			DN 300		
Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)
14,00	0,28	0,032	60,00	1,20	0,484	19,50	0,28	0,025	71,00	1,01	0,280						
14,50	0,29	0,035	61,00	1,22	0,499	20,00	0,28	0,027	72,00	1,02	0,287						
15,00	0,30	0,037	62,00	1,24	0,515	21,00	0,30	0,029	73,00	1,03	0,295						
15,50	0,31	0,039	63,00	1,26	0,531	22,00	0,31	0,032	74,00	1,05	0,302						
16,00	0,32	0,041	64,00	1,28	0,547	23,00	0,33	0,034	75,00	1,06	0,310						
16,50	0,33	0,044	65,00	1,30	0,563	24,00	0,34	0,037	76,00	1,08	0,318						
17,00	0,34	0,046	66,00	1,32	0,580	25,00	0,35	0,040	77,00	1,09	0,326						
17,50	0,35	0,049	67,00	1,34	0,597	26,00	0,37	0,043	78,00	1,10	0,334						
18,00	0,36	0,051	68,00	1,36	0,614	27,00	0,38	0,046	79,00	1,12	0,342						
18,50	0,37	0,054	69,00	1,38	0,631	28,00	0,40	0,049	80,00	1,13	0,350						
19,00	0,38	0,057	70,00	1,40	0,648	29,00	0,41	0,053	81,00	1,15	0,359						
19,50	0,39	0,060	71,00	1,42	0,666	30,00	0,42	0,056	82,00	1,16	0,367						
20,00	0,40	0,062	72,00	1,44	0,684	31,00	0,44	0,060	83,00	1,18	0,376						
21,00	0,42	0,066	73,00	1,46	0,702	32,00	0,45	0,063	84,00	1,19	0,384						
22,00	0,44	0,074	74,00	1,48	0,721	33,00	0,47	0,067	85,00	1,20	0,393						
23,00	0,46	0,081	75,00	1,50	0,740	34,00	0,48	0,071	86,00	1,22	0,402						
24,00	0,48	0,087	76,00	1,52	0,758	35,00	0,50	0,075	87,00	1,23	0,411						
25,00	0,50	0,094	77,00	1,54	0,778	36,00	0,51	0,079	88,00	1,25	0,420						
26,00	0,52	0,101	78,00	1,56	0,797	37,00	0,52	0,083	89,00	1,26	0,429						
27,00	0,54	0,108	79,00	1,58	0,817	38,00	0,54	0,087	90,00	1,27	0,438						
28,00	0,56	0,116	80,00	1,60	0,836	39,00	0,55	0,091	91,00	1,29	0,447						
29,00	0,58	0,124	81,00	1,62	0,856	40,00	0,57	0,096	92,00	1,30	0,457						
30,00	0,60	0,132	82,00	1,64	0,877	41,00	0,58	0,100	93,00	1,32	0,466						
31,00	0,62	0,140	83,00	1,66	0,897	42,00	0,59	0,105	94,00	1,33	0,476						
32,00	0,64	0,149	84,00	1,68	0,918	43,00	0,61	0,109	95,00	1,35	0,485						
33,00	0,66	0,157	85,00	1,70	0,939	44,00	0,62	0,114	96,00	1,36	0,495						
34,00	0,68	0,166	86,00	1,72	0,960	45,00	0,64	0,119	97,00	1,37	0,505						
35,00	0,70	0,176	87,00	1,74	0,982	46,00	0,65	0,124	98,00	1,39	0,515						
36,00	0,72	0,185	88,00	1,76	1,004	47,00	0,67	0,129	99,00	1,40	0,525						
37,00	0,74	0,195	89,00	1,78	1,025	48,00	0,68	0,134	100,00	1,42	0,535						
38,00	0,76	0,205	90,00	1,80	1,045	49,00	0,69	0,139	102,00	1,44	0,556						
39,00	0,78	0,215	91,00	1,82	1,070	50,00	0,71	0,145	104,00	1,47	0,577						
40,00	0,80	0,226	92,00	1,84	1,093	51,00	0,72	0,150	106,00	1,50	0,598						
41,00	0,82	0,236	93,00	1,86	1,115	52,00	0,74	0,156	108,00	1,53	0,620						
42,00	0,84	0,247	94,00	1,88	1,139	53,00	0,75	0,161	110,00	1,56	0,642						
43,00	0,86	0,258	95,00	1,90	1,162	54,00	0,76	0,167	112,00	1,59	0,664						
44,00	0,88	0,270	96,00	1,92	1,186	55,00	0,78	0,173	114,00	1,61	0,687						
45,00	0,90	0,281	97,00	1,94	1,209	56,00	0,79	0,179	116,00	1,64	0,710						
46,00	0,92	0,293	98,00	1,96	1,233	57,00	0,81	0,185	118,00	1,67	0,734						
47,00	0,94	0,305	99,00	1,98	1,258	58,00	0,82	0,191	120,00	1,70	0,758						
48,00	0,96	0,318	100,00	2,00	1,282	59,00	0,84	0,197	125,00	1,77	0,819						
49,00	0,98	0,330	102,00	2,05	1,332	60,00	0,85	0,204	130,00	1,84	0,883						
50,00	1,00	0,343	104,00	2,09	1,383	61,00	0,86	0,210	135,00	1,91	0,949						
51,00	1,02	0,356	106,00	2,13	1,434	62,00	0,88	0,217	140,00	1,98	1,018						
52,00	1,04	0,369	108,00	2,17	1,487	63,00	0,89	0,223	145,00	2,05	1,089						
53,00	1,06	0,383	110,00	2,21	1,540	64,00	0,91	0,230	150,00	2,12	1,162						
54,00	1,08	0,397	112,00	2,25	1,594	65,00	0,92	0,237	155,00	2,20	1,238						
55,00	1,10	0,411	114,00	2,29	1,650	66,00	0,93	0,244	160,00	2,27	1,316						
56,00	1,12	0,425	116,00	2,33	1,706	67,00	0,95	0,251	165,00	2,34	1,397						
57,00	1,14	0,439	118,00	2,37	1,763	68,00	0,96	0,258	170,00	2,41	1,479						
58,00	1,16	0,454	120,00	2,41	1,821	69,00	0,98	0,265	175,00	2,48	1,565						
59,00	1,18	0,469	125,00	2,51	1,970	70,00	0,99	0,272	180,00	2,55	1,652						

Fonte: TIGRE, 1984.

Percebe-se que de acordo com o ábaco, a vazão de 91,95 L/s não consta no ábaco, com isso houve a necessidade de fazer uma interpolação entre o intervalo ao qual a vazão se encaixa, 91 L/s e 92 L/s, para encontrar a perda de carga unitária relacionada a vazão de 91,95 L/s.

$$Y = y_1 + \left[ \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \right] (y_2 - y_1)$$

Sendo:

Y = Perda de carga unitária a ser encontrada

Y1 = Perda de carga da menor vazão

Y2 = Perda de carga da maior vazão

X = Vazão encontrada no trecho

X1 = Menor vazão

X2 = Maior vazão

$$Y = y_1 + \left[ \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \right] (y_2 - y_1)$$

$$Y = 1,070 + \left[ \left( \frac{91,95-91}{92-91} \right) (1,093 - 1,070) \right]$$

$$\mathbf{Y = 1,092 \text{ m/100m}}$$

Como a perda de carga é uma grandeza acumulativa, no respectivo projeto, a mesma foi calculada através da multiplicação do comprimento do trecho, equivalente a 258 m, pela perda de carga unitária encontrada na fórmula da interpolação.

$$AE = L(\text{trecho}) \times Y$$

Sendo:

AE = Perda de carga total (m)

L = comprimento do trecho (m)

Y = perda de carga dividida por 100m (admissional)

$$AE = L(\text{trecho}) \times Y$$

$$AE = 258 \times 0,01092$$

$$\mathbf{AE = 2,82 \text{ m}}$$

Efetuada o prosseguimento de cálculo, o próximo passo é encontrar a variação de cota do hidrante em relação a estação de bombeamento, onde a mesma será sempre a cota de referência para todos os demais hidrantes e nós. Vale ressaltar que quando cita o termo “hidrante”, refere-se ao ponto a jusante.

$$\Delta H = CR - CH$$

Sendo:

$\Delta H$  = Variação de cota (m)

CR = Cota de referência (m)

CH = Cota do hidrante (m)

$$\Delta H = CR - CH$$

$$\Delta H = 166,5 - 163$$

$$\mathbf{\Delta H = 3,5 \text{ m}}$$

Com todos os dados coletados anteriormente, o passo final é o cálculo da pressão disponível do hidrante ou nó a jusante no trecho.

$$P_d = H_m - (\Delta H + A E)$$

Sendo:

$P_d$  = Pressão Disponível dos Hidrantes (m.c.a.)

$H_m$  = Altura manométrica da bomba (m.c.a.)

$\Delta H$  = Desnível do hidrante em relação a estação de bombeamento (m)

$A E$  = Perda de carga total acumulada (m)

Pressão Disponível no Trecho 1: EB - H171

$$P_d = H_m - (\Delta H + A E)$$

$$P_d = 71 - (3,5 + 2,82)$$

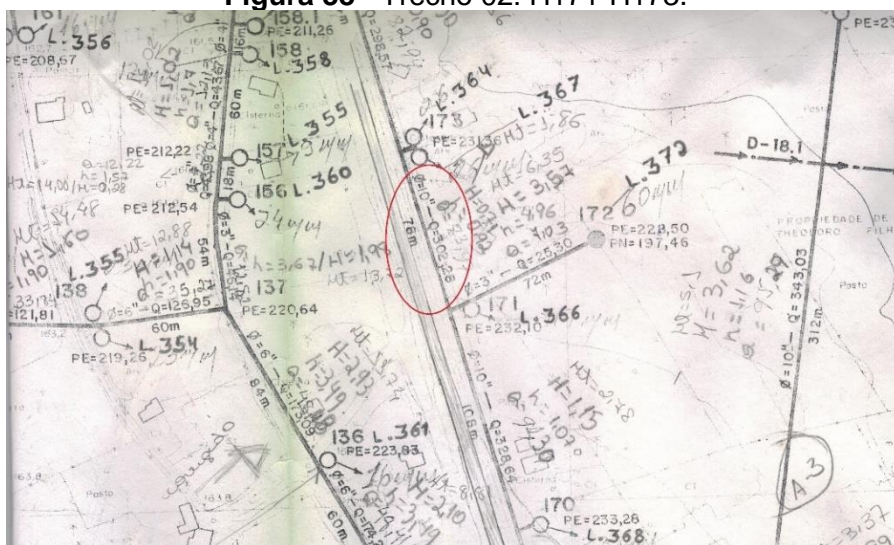
$$\mathbf{P_d = 64,68 \text{ m.c.a.}}$$

- **Trecho 2: H171 - H173**

No trecho 2, do hidrante 171 ao hidrante de número 173, a tubulação permaneceu com 10 polegadas de diâmetro, ou 250mm, a vazão encontrada foi de 302,28 m<sup>3</sup>/h, e transformada para 83,97 L/s, com comprimento total do trecho de 78m, de acordo com a Figura 38.



Figura 38 - Trecho 02: H171-H173.



Fonte: COHIDRO, 1984.

Percebe-se que de acordo com a Figura 39, a vazão de 83,97 L/s não consta no ábaco, com isso houve a necessidade de fazer uma interpolação entre o intervalo ao qual a vazão se encaixa, 83 L/s e 84 L/s, para encontrar a perda de carga unitária relacionada a vazão de 83,97 L/s.

Figura 39 - Ábaco para identificação da perda de carga do Trecho 02.

Tabelas de perdas de carga - m/100m  
Tubos de PVC rígido para irrigação PN 125

Área interna do conduto  
DN 250 = 0,04988m<sup>2</sup>      DN 300 = 0,07606m<sup>2</sup>

PN 125			DN 250			DN 300		
Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)
14,00	0,28	0,032	60,00	1,20	0,484	19,50	0,28	0,025
14,50	0,29	0,035	61,00	1,22	0,499	20,00	0,28	0,027
15,00	0,30	0,037	62,00	1,24	0,515	21,00	0,30	0,029
15,50	0,31	0,039	63,00	1,26	0,531	22,00	0,31	0,032
16,00	0,32	0,041	64,00	1,28	0,547	23,00	0,33	0,034
16,50	0,33	0,044	65,00	1,30	0,563	24,00	0,34	0,036
17,00	0,34	0,046	66,00	1,32	0,580	25,00	0,35	0,040
17,50	0,35	0,049	67,00	1,34	0,597	26,00	0,37	0,043
18,00	0,36	0,051	68,00	1,36	0,614	27,00	0,38	0,046
18,50	0,37	0,054	69,00	1,38	0,631	28,00	0,40	0,049
19,00	0,38	0,057	70,00	1,40	0,648	29,00	0,41	0,053
19,50	0,39	0,060	71,00	1,42	0,666	30,00	0,42	0,056
20,00	0,40	0,062	72,00	1,44	0,684	31,00	0,44	0,060
21,00	0,42	0,068	73,00	1,46	0,702	32,00	0,45	0,063
22,00	0,44	0,074	74,00	1,48	0,721	33,00	0,47	0,067
23,00	0,46	0,081	75,00	1,50	0,740	34,00	0,48	0,071
24,00	0,48	0,087	76,00	1,52	0,758	35,00	0,50	0,075
25,00	0,50	0,094	77,00	1,54	0,778	36,00	0,51	0,079
26,00	0,52	0,101	78,00	1,56	0,797	37,00	0,52	0,083
27,00	0,54	0,108	79,00	1,58	0,817	38,00	0,54	0,087
28,00	0,56	0,116	80,00	1,60	0,836	39,00	0,55	0,091
29,00	0,58	0,124	81,00	1,62	0,856	40,00	0,57	0,096
30,00	0,60	0,132	82,00	1,64	0,877	41,00	0,58	0,100
31,00	0,62	0,140	83,00	1,66	0,897	42,00	0,59	0,105
32,00	0,64	0,149	84,00	1,68	0,918	43,00	0,61	0,109
33,00	0,66	0,157	85,00	1,70	0,939	44,00	0,62	0,114
34,00	0,68	0,166	86,00	1,72	0,960	45,00	0,64	0,119
35,00	0,70	0,176	87,00	1,74	0,982	46,00	0,65	0,124
36,00	0,72	0,185	88,00	1,76	1,004	47,00	0,67	0,129
37,00	0,74	0,195	89,00	1,78	1,025	48,00	0,68	0,134
38,00	0,76	0,205	90,00	1,80	1,048	49,00	0,69	0,139
39,00	0,78	0,215	91,00	1,82	1,070	50,00	0,71	0,145
40,00	0,80	0,226	92,00	1,84	1,093	51,00	0,72	0,150
41,00	0,82	0,236	93,00	1,86	1,116	52,00	0,74	0,156
42,00	0,84	0,247	94,00	1,88	1,139	53,00	0,75	0,161
43,00	0,86	0,258	95,00	1,90	1,162	54,00	0,76	0,167
44,00	0,88	0,270	96,00	1,92	1,186	55,00	0,78	0,173
45,00	0,90	0,281	97,00	1,94	1,209	56,00	0,79	0,179
46,00	0,92	0,293	98,00	1,96	1,233	57,00	0,81	0,185
47,00	0,94	0,305	99,00	1,98	1,258	58,00	0,82	0,191
48,00	0,96	0,318	100,00	2,00	1,282	59,00	0,84	0,197
49,00	0,98	0,330	102,00	2,05	1,332	60,00	0,85	0,204
50,00	1,00	0,343	104,00	2,09	1,383	61,00	0,86	0,210
51,00	1,02	0,356	106,00	2,13	1,434	62,00	0,88	0,217
52,00	1,04	0,369	108,00	2,17	1,487	63,00	0,89	0,223
53,00	1,06	0,383	110,00	2,21	1,540	64,00	0,91	0,230
54,00	1,08	0,397	112,00	2,25	1,594	65,00	0,92	0,237
55,00	1,10	0,411	114,00	2,29	1,650	66,00	0,93	0,244
56,00	1,12	0,425	116,00	2,33	1,706	67,00	0,95	0,251
57,00	1,14	0,439	118,00	2,37	1,763	68,00	0,96	0,258
58,00	1,16	0,454	120,00	2,41	1,821	69,00	0,98	0,265
59,00	1,18	0,469	125,00	2,51	1,970	70,00	0,99	0,272

Fonte: TIGRE, 1984.

$$Y = y_1 + \left[ \left( \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \right) (y_2 - y_1) \right]$$

Sendo:

Y = Perda de carga unitária a ser encontrada

Y1 = Perda de carga da menor vazão

Y2 = Perda de carga da maior vazão

X = Vazão encontrada no trecho

X1 = Menor vazão

X2 = Maior vazão

$$Y = y_1 + \left[ \left( \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \right) (y_2 - y_1) \right]$$

$$Y = 0,897 + \left[ \left( \frac{83,97-83}{84-83} \right) (0,918 - 0,897) \right]$$

$$\mathbf{Y = 0,917 \text{ m/100m}}$$

Como a perda de carga é uma grandeza acumulativa, é necessário somar a perda de carga encontrado anterior com a multiplicação do comprimento do trecho atual, equivalente a 78 m, pela perda de carga unitária encontrada na fórmula da interpolação.

$$AE = AE \text{ (anterior)} + (L(\text{trecho}) \times Y)$$

Sendo:

AE = Perda de carga total (m)

AE (anterior) = Perda de carga do trecho anterior (m)

L = comprimento do trecho (m)

Y = perda de carga dividida por 100m (admissional)

$$AE = AE \text{ (anterior)} + (L(\text{trecho}) \times Y)$$

$$AE = 2,82 + (78 \times 0,00917)$$

$$\mathbf{AE = 3,54 \text{ m}}$$

Como descrito anteriormente, efetuando o prosseguimento de cálculo, o próximo passo é encontrar a variação de cota do hidrante em relação a estação de bombeamento.

$$\Delta H = CR - CH$$

Sendo:

$\Delta H$  = Variação de cota (m)

CR = Cota de referência (m)

CH = Cota do hidrante (m)

$$\Delta H = 166,5 - 161$$

$$\Delta H = 5,5 \text{ m}$$

Com todos os dados coletados anteriormente, o passo final é o cálculo da pressão disponível do hidrante ou nó a jusante no trecho.

$$Pd = Hm - (\Delta H + AE)$$

Sendo:

Pd = Pressão Disponível dos Hidrantes (m.c.a.)

Hm = Altura manométrica da bomba (m.c.a.)

$\Delta H$  = Desnível do hidrante em relação a estação de bombeamento (m)

AE = Perda de carga total acumulada (m)

Pressão Disponível no Trecho 2: H171 - H173

$$Pd = Hm - (\Delta H + AE)$$

$$Pd = 71 - (5,5 + 3,54)$$

$$\mathbf{Pd = 61,96 \text{ m.c.a.}}$$

Os cálculos de pressão disponível dos demais hidrantes e nós, seguiram a mesma linha de raciocínio dos exemplos detalhados anteriormente. No ponto H199, por se tratar de nó intermediário que separa as duas principais ramificações da adutora, levando-as aos seus respectivos extremos, será apresentado, conforme a Tabela 4, os resultados das pressões do H171 até o mesmo, já que não haveria a possibilidade de efetuar o cálculo simultâneo das duas ramificações.



**Tabela 4:** Pressões disponíveis dos hidrantes H171-H199.

TRECHO	VAZÃO	COMP.	PERDA DE CARGA UNIT.	PERDA TOTAL - TRECHO PRINCIPAL	PERDA DE CARGA TOT.	VARIAÇÃO DE COTA	PRESSÃO DISP.
EB-H171	91,950	258,000	1,092	2,817	2,817	3,500	64,683
H171 - H173	83,970	78,000	0,917	0,715	3,533	5,500	61,967
H173 - H174	82,940	144,000	0,896	1,290	4,823	4,500	61,677
H174 - H175	81,650	102,000	0,870	0,887	5,710	4,500	60,790
H175 - H177	81,600	60,000	0,869	0,521	6,232	4,500	60,268
H177-178	79,680	78,000	0,829	0,647	6,878	5,500	58,622
178-H179	1,470	24,000	1,754	0,421	7,299	7,500	56,201
178-180	78,214	186,000	0,801	1,490	8,368	5,500	57,132
180-H181	0,540	12,000	0,282	0,034	8,402	5,500	57,098
180-182	73,200	66,000	0,706	0,466	8,834	5,500	56,666
182-H183	0,600	12,000	0,340	0,041	8,875	5,500	56,625
182-184	72,600	72,000	0,695	0,500	9,334	5,500	56,166
184-H185	0,490	12,000	0,237	0,028	9,363	8,500	53,137
184-H186	72,108	102,000	0,686	0,700	10,034	7,500	53,466
H186-187	70,719	42,000	0,661	0,278	10,311	7,500	53,189
187-H188	2,560	12,000	4,967	0,596	10,907	7,500	52,593
187-189	68,160	78,000	1,777	1,386	11,698	6,500	52,803
189-H191	67,180	42,000	1,729	0,726	12,424	5,500	53,076
H191-H192	0,210	12,000	0,067	0,008	12,432	5,500	53,068
H191-193	65,228	42,000	1,634	0,686	13,110	4,500	53,390
193-H194	1,310	108,000	1,416	1,529	14,639	7,500	48,861
193-H195	63,916	60,000	1,571	0,943	14,053	3,500	53,447
H195-196	62,864	84,000	1,522	1,278	15,331	3,000	52,669
196-H197	2,080	24,000	3,356	0,805	16,136	3,500	51,364
H197-H198	0,847	252,000	0,639	1,610	17,747	9,500	43,753
H196-H199	60,786	72,000	1,428	1,028	16,359	2,500	52,141

Percebe-se que quanto mais distante o hidrante da estação de bombeamento, maior sua perda de carga e maior a sua perda de pressão se comparado com o ponto de referência.

Da estação de bombeamento ao hidrante de número H199, diferença de pressão de ambas é de 18,859 m.c.a., onde, mesmo diante dessa variação o hidrante 199 permaneceu com uma pressão de serviço considerada alta, como mostrado na Tabela 4.

Importante salientar, que os pontos que não possui o “H”, é apenas uma intersecção da adutora para sua ramificação, portanto o cálculo de pressão é apenas

calculado para dar segmento aos cálculos dos hidrantes após a ramificação, não significando que aquele ponto possui um hidrante.

A primeira ramificação da adutora é do hidrante de número H199 ao hidrante de número H247, como mostrado na Tabela 5 e no Anexo A. É possível observar que as pressões nesta parte da adutora já obtêm uma grande perda, trabalhando com uma pressão limitada no início da ramificação e uma pressão insuficiente ao final da mesma.

**Tabela 5:** Pressões disponíveis dos hidrantes H199-H247.

TRECHO	VAZÃO	COMP.	PERDA DE CARGA UNIT.	PERDA TOTAL - TRECHO PRINCIPAL	PERDA DE CARGA TOT.	VARIAÇÃO DE COTA	PRESSÃO DISP.
H199-221	34,453	96,000	1,848	1,774	18,133	1,500	51,367
221-H222	3,190	84,000	7,543	6,336	24,469	0,500	46,031
H221-223	31,258	108,000	1,535	1,658	19,791	1,500	49,709
223-H224	1,890	66,000	2,803	1,850	21,641	0,500	48,859
223-225	29,367	144,000	1,363	1,963	21,754	1,000	48,246
225-H226	2,560	60,000	4,967	2,980	24,734	0,500	45,766
225-227	26,811	306,000	1,146	3,507	25,261	1,000	44,739
227-H228	1,560	96,000	1,959	1,881	27,141	3,500	40,359
227-229	25,272	66,000	6,428	4,242	29,503	2,500	38,997
229-230	7,020	108,000	0,967	1,044	30,547	3,000	37,453
230-H231	0,447	42,000	4,967	2,086	32,633	3,500	34,867
230-H232	4,470	30,000	1,843	0,553	31,100	4,500	35,400
229-H234	2,556	72,000	4,967	3,576	33,079	5,400	32,521
229-235	15,672	138,000	4,416	6,094	35,597	4,500	30,903
235-H236	1,920	102,000	2,887	2,945	38,542	7,500	24,958
235-237	11,811	96,000	2,584	2,481	38,078	5,500	27,422
237-H238	5,110	78,000	2,370	1,849	39,927	7,900	23,173
237-239	8,644	144,000	1,429	2,058	40,136	8,000	22,864
239-H240	3,890	72,000	1,420	1,022	41,158	10,200	19,642
H240-H241	0,817	60,000	0,599	0,359	40,495	10,000	20,505
H240-H242	0,519	72,000	0,263	0,189	40,325	11,200	19,475
H239-H243	4,703	84,000	2,025	1,701	41,837	10,500	18,663
H243-H244	3,789	60,000	10,487	6,292	48,129	11,900	10,971
H244-H245	2,183	102,000	3,666	3,739	51,868	14,500	4,632
H245-H246	1,456	48,000	1,732	0,831	52,699	15,700	2,601
H246-H247	0,067	120,000	0,067	0,080	52,780	13,300	4,920

Com as grandes variações de desníveis, chegando até 15,7m de diferença em relação ao ponto de referência, e o grande acúmulo de perdas de carga totalizando

em 52,78m, tornando-a até mesmo superior a pressão disponível no hidrante 199, que fora de 51,367m.c.a. Devido a esses fatores, a variação de pressão do ponto intermediário, H199, ao ponto extremo de uma das ramificações, H247, foi de 46,447m.c.a., e se comparado ao ponto de referência, a situação é mais precária ainda, já que houve uma diferença de pressão de 71m.c.a. para 4,92m.c.a.

Logo, como as pressões disponíveis consideradas ideais para o bom funcionamento dos hidrantes é de no mínimo, 20 m.c.a., portanto é possível observar que, do hidrante 240 ao hidrante 247, as mesmas estão relativamente baixas, influenciando a trabalhabilidade do sistema de irrigação, prejudicando drasticamente o cultivo e trazendo prejuízos aos irrigadores.

Voltando para o ponto intermediário, H199, das duas ramificações e seguindo a segunda ramificação com extremo, H212, as pressões se mantêm relativamente regulares trabalhando com uma pressão de serviço acima do ideal para o bom funcionamento dos aspersores, conforme a Tabela 6.

**Tabela 6:** Pressões disponíveis dos hidrantes H199-H220.

TRECHO	VAZÃO	COMP.	PERDA DE CARGA UNIT.	PERDA TOTAL - TRECHO PRINCIPAL	PERDA DE CARGA TOT.	VARIAÇÃO DE COTA	PRESSÃO DISP.
H199-H200	3,219	12,000	7,680	0,922	17,281	2,500	51,219
H199-H201	20,583	78,000	6,428	5,014	21,373	9,000	40,627
H201-202	20,508	54,000	6,428	3,471	24,844	3,500	42,656
202-H203	1,890	36,000	2,803	1,009	25,853	3,500	41,647
202-H204	4,433	12,000	14,154	1,698	26,543	2,100	42,357
202-205	14,183	72,000	3,664	2,638	27,482	0,500	43,018
205-206	4,450	36,000	1,827	0,658	28,140	1,000	41,860
206-H207	1,520	24,000	1,866	0,448	28,588	6,200	36,212
H206-H208	2,925	96,000	0,837	0,804	28,943	1,500	40,557
H208-H209	0,790	18,000	0,559	0,101	29,044	2,100	39,856
H209-H210	0,256	96,000	0,077	0,074	29,118	4,500	37,382
H208-H211	2,136	24,000	3,541	0,850	29,793	1,500	39,707
H211-H212	1,675	42,000	2,249	0,945	30,738	1,500	38,762

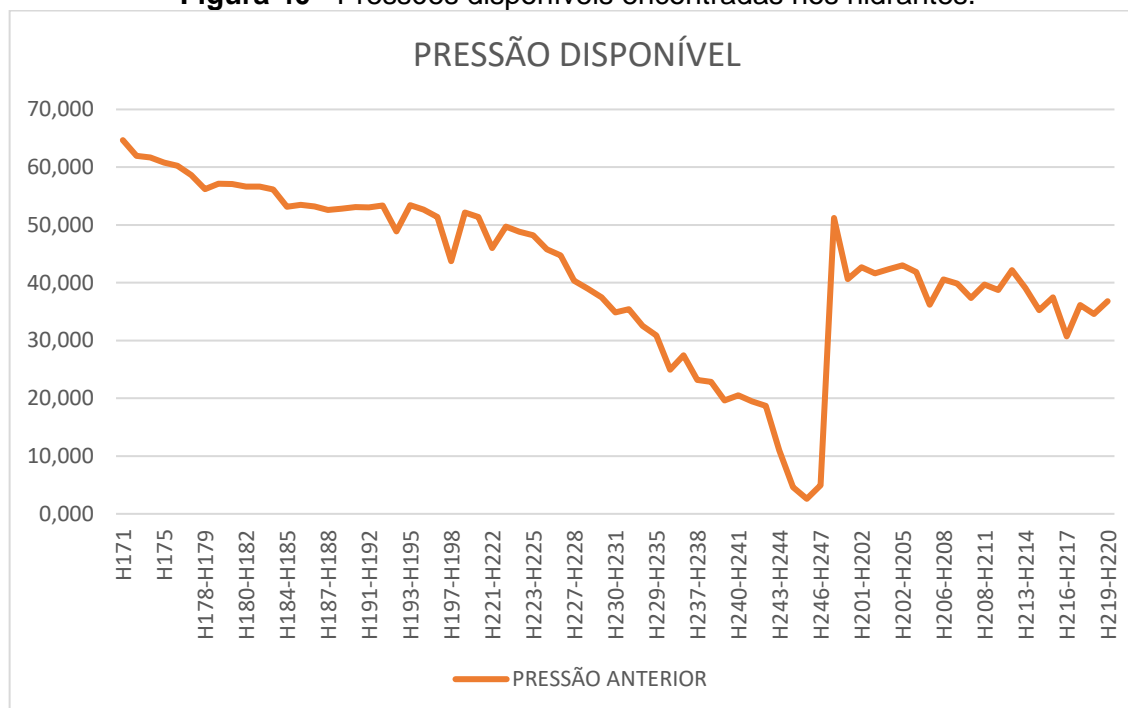
A última ramificação, do hidrante H205 ao H220, as pressões se mantiveram regular, com uma variação baixa de apenas 42,196m.c.a. para 36,829m.c.a. e permaneceram acima da ideal, não trazendo problemas ao funcionamento dos aspersores e contribuindo de forma positiva as culturas, podendo ser verificado na Tabela 7:

Tabela 7: Pressões disponíveis dos hidrantes H205-H220.

TRECHO	VAZÃO	COMP.	PERDA DE CARGA UNIT.	PERDA TOTAL - TRECHO PRINCIPAL	PERDA DE CARGA TOT.	VARIAÇÃO DE COTA	PRESSÃO DISP.
H205-H213	9,733	18,000	1,789	0,322	27,804	1,000	42,196
H213-214	7,892	132,000	1,204	1,589	29,394	2,500	39,106
214-H215	0,270	42,000	0,083	0,035	29,428	6,300	35,272
214-216	7,617	54,000	1,128	0,609	30,003	3,500	37,497
216-H217	2,560	24,000	4,967	1,192	31,195	9,100	30,705
H216-H218	5,061	66,000	0,525	0,347	30,349	4,500	36,151
H218-H219	3,417	156,000	1,115	1,739	32,089	4,300	34,611
H219-H220	1,261	120,000	1,319	1,583	33,671	0,500	36,829

Contudo, diante da metodologia aplicada e todos os resultados mostrados nas tabelas anteriores, a Figura 40 mostra as pressões disponíveis relativamente baixas em determinados hidrantes, sendo assim esses lotes aos quais apresentam hidrantes de baixas pressões gera um desconforto para os determinados proprietários, onde em estações de secas, os mesmos dependem muito do sistema de irrigação.

Figura 40 - Pressões disponíveis encontradas nos hidrantes.



Com o devido sistema classificado como insatisfatório e insuficiente, soluções possíveis para a redistribuição de pressão dos hidrantes onde a pressão é crítica foram levadas em consideração, como os redutores de pressão nos hidrantes e a instalação de placas de orifício na adutora.

No tocante aos redutores de pressão, o mesmo não se tornaria favorável para o objetivo de ganho e acúmulo de pressão, pois como são instalados no hidrante faz com que a pressão disponível que chega no mesmo, seja perdida e não acumulada, com isso não redistribuía as pressões para os pontos críticos.

Outro ponto negativo na implantação dos redutores de pressão é que o controle e manutenção dos mesmos, podem sofrer interferências dos agricultores que suas pressões forem reduzidas, restaurando a pressão original do sistema e implicando no acúmulo e redistribuição de pressão para os hidrantes afetados.

Logo, a alternativa mais eficaz para o controle mais rígido é adicionar placas de orifícios em alguns pontos estratégicos do ramal principal e em suas ramificações, afim de obter um acúmulo de pressões nos pontos mais críticos e serem beneficiados com um acréscimo na pressão disponível, sendo possível consequentemente obter uma maior pressão e uma melhor trabalhabilidade e produtividade para os fins propostos da irrigação.

#### 4.5 DIMENSIONAMENTO DOS DIÂMETROS DAS PLACAS DE ORÍFÍCIOS

Para efetuar o dimensionamento do diâmetro das placas de orifício, deve-se seguir alguns procedimentos de cálculos ao qual inicia-se através da equação de Bernoulli afim de encontrar a velocidade que chegará na placa de orifício e assim por meio da mesma e da vazão, calcular o diâmetro desejado.

##### **Pressão disponível**

$$Pd1 = \Sigma (\text{Acúmulos de pressão}) + \text{Pressão disponível original.}$$

$$Pd2 = \text{Pressão obtida por meio de simulações.}$$

Sendo:

AP = Acúmulo de pressão

Pdo = Pressão disponível original

### Equação de Bernoulli

$$Z1 + \frac{Pd1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} = Z2 + \frac{Pd2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + \Delta E$$

Sendo:

Z1 = Cota do ponto anterior (m)

Pd1 = Pressão do ponto anterior (m.c.a.)

V1 = velocidade (m/s)

g = gravidade (m/s<sup>2</sup>)

Z2 = Cota do ponto seguinte (m)

Pd2 = Pressão do ponto seguinte (m.c.a.)

V2 = velocidade (m/s)

$\Delta E$  = Perda de energia m/mm

Com a velocidade encontrada foi utilizado a fórmula universal da vazão para assim encontrar a área da placa de orifício e posteriormente o diâmetro da mesma.

O número de aspersores por lote também foi considerado para o cálculo da vazão. Sabendo-se que cada aspersor necessita de 1,5m<sup>3</sup>/h para o seu funcionamento ideal, este valor foi multiplicado pelo número de aspersores instalados, resultando assim na sua vazão total.

### Fórmula da Vazão

$$Q = v A$$

Sendo:

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s)

V = velocidade (m/s)

A = Área (m<sup>2</sup>)

Após o cálculo da área da placa de orifício, descobre-se o diâmetro da mesma.

## Diâmetro da Placa de Orifício

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Sendo:

D = diâmetro (mm)

A = área (mm<sup>2</sup>)

$\pi = 3,1415$

As posições de instalação das placas de orifício não foram escolhidas arbitrariamente. O cálculo dos diâmetros foi estudado e testado através de simulações para identificar quais os trechos seriam necessários para o uso da placa de orifício, por meio do software da Microsoft, o Excel.

É importante salientar que as instalações das placas de orifício ocorreram nos primeiros trechos da adutora, pois os mesmos apresentavam as maiores pressões de toda a rede de distribuição. Então a função principal da placa, não só era reduzir as pressões dos hidrantes primários, mas também acumular para os hidrantes críticos.

Diante dos resultados obtidos, foi notado que 3 situações distintas ocasionariam a instalação das placas de orifício. São elas:

Situação 1: Redução de pressão para o acúmulo.

Situação 2: Redução de pressão devido ao excesso gerado por causa do limite da resistência da tubulação com o seu respectivo diâmetro, como descrito na Tabela 8.

**Tabela 8:** Classe de pressões nominais.

Tipo	Diâmetro (mm)	Pressão Máxima (m.c.a)
PN 80	50	80
PN 80	75	80
PN 125	100	125
PN 125	150	125
PN 125	200	125
PN 125	250	125

Situação 3: Não será utilizado nenhum método para redução e acúmulo de pressão.

- **Situação 01: EB - H171**

O trecho EB-H171 foi levado em consideração como exemplo para o caso da primeira situação. A seguir irá ser detalhado os procedimentos de cálculo utilizado para o dimensionamento da placa de orifício.

### Velocidade v1:

A velocidade v1 do trecho foi identificada no ábaco, de acordo com a Figura 41, em correlação com sua vazão e diâmetro da tubulação existente. Foi realizado uma interpolação para identificação da mesma, já que a vazão do respectivo trecho de, 91,95 L/s, não consta no ábaco.

**Figura 41 - Ábaco para identificação da velocidade v1 do exemplo da situação 01.**

Tabelas de perdas de carga - m/100m  
Tubos de PVC rígido para irrigação PN 125

Área interna do conduto  
DN 250 = 0,04988m<sup>2</sup>      DN 300 = 0,07606m<sup>2</sup>

PN 125			DN 250			DN 300		
Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)
14,00	0,28	0,032	60,00	1,20	0,484	19,50	0,28	0,025
14,50	0,29	0,035	61,00	1,22	0,499	20,00	0,28	0,027
15,00	0,30	0,037	62,00	1,24	0,515	21,00	0,30	0,029
15,50	0,31	0,039	63,00	1,26	0,531	22,00	0,31	0,032
16,00	0,32	0,041	64,00	1,28	0,547	23,00	0,33	0,034
16,50	0,33	0,044	65,00	1,30	0,563	24,00	0,34	0,037
17,00	0,34	0,046	66,00	1,32	0,580	25,00	0,35	0,040
17,50	0,35	0,049	67,00	1,34	0,597	26,00	0,37	0,043
18,00	0,36	0,051	68,00	1,36	0,614	27,00	0,38	0,046
18,50	0,37	0,054	69,00	1,38	0,631	28,00	0,40	0,049
19,00	0,38	0,057	70,00	1,40	0,648	29,00	0,41	0,053
19,50	0,39	0,060	71,00	1,42	0,666	30,00	0,42	0,056
20,00	0,40	0,062	72,00	1,44	0,684	31,00	0,44	0,060
21,00	0,42	0,066	73,00	1,46	0,702	32,00	0,45	0,063
22,00	0,44	0,074	74,00	1,48	0,721	33,00	0,47	0,067
23,00	0,46	0,081	75,00	1,50	0,740	34,00	0,48	0,071
24,00	0,48	0,087	76,00	1,52	0,758	35,00	0,50	0,075
25,00	0,50	0,094	77,00	1,54	0,778	36,00	0,51	0,079
26,00	0,52	0,101	78,00	1,56	0,797	37,00	0,52	0,083
27,00	0,54	0,108	79,00	1,58	0,817	38,00	0,54	0,087
28,00	0,56	0,116	80,00	1,60	0,836	39,00	0,55	0,091
29,00	0,58	0,124	81,00	1,62	0,856	40,00	0,57	0,096
30,00	0,60	0,132	82,00	1,64	0,877	41,00	0,58	0,100
31,00	0,62	0,140	83,00	1,66	0,897	42,00	0,59	0,105
32,00	0,64	0,149	84,00	1,68	0,918	43,00	0,61	0,109
33,00	0,66	0,157	85,00	1,70	0,939	44,00	0,62	0,114
34,00	0,68	0,166	86,00	1,72	0,960	45,00	0,64	0,119
35,00	0,70	0,176	87,00	1,74	0,982	46,00	0,65	0,124
36,00	0,72	0,185	88,00	1,76	1,004	47,00	0,67	0,129
37,00	0,74	0,195	89,00	1,78	1,025	48,00	0,68	0,134
38,00	0,76	0,205	90,00	1,80	1,045	49,00	0,69	0,139
39,00	0,78	0,215	91,00	1,82	1,070	50,00	0,71	0,145
40,00	0,80	0,226	92,00	1,84	1,093	51,00	0,72	0,150
41,00	0,82	0,236	93,00	1,86	1,115	52,00	0,74	0,156
42,00	0,84	0,247	94,00	1,88	1,139	53,00	0,75	0,161
43,00	0,86	0,258	95,00	1,90	1,162	54,00	0,76	0,167
44,00	0,88	0,270	96,00	1,92	1,186	55,00	0,78	0,173
45,00	0,90	0,281	97,00	1,94	1,209	56,00	0,79	0,179
46,00	0,92	0,293	98,00	1,96	1,233	57,00	0,81	0,185
47,00	0,94	0,305	99,00	1,98	1,258	58,00	0,82	0,191
48,00	0,96	0,318	100,00	2,00	1,282	59,00	0,84	0,197
49,00	0,98	0,330	102,00	2,05	1,332	60,00	0,85	0,204
50,00	1,00	0,343	104,00	2,09	1,383	61,00	0,86	0,210
51,00	1,02	0,356	106,00	2,13	1,434	62,00	0,88	0,217
52,00	1,04	0,369	108,00	2,17	1,487	63,00	0,89	0,223
53,00	1,06	0,383	110,00	2,21	1,540	64,00	0,91	0,230
54,00	1,08	0,397	112,00	2,25	1,594	65,00	0,92	0,237
55,00	1,10	0,411	114,00	2,29	1,650	66,00	0,93	0,244
56,00	1,12	0,425	116,00	2,33	1,706	67,00	0,95	0,251
57,00	1,14	0,439	118,00	2,37	1,763	68,00	0,96	0,258
58,00	1,16	0,454	120,00	2,41	1,821	69,00	0,98	0,265
59,00	1,18	0,469	125,00	2,51	1,970	70,00	0,99	0,272

Fonte: TIGRE, 1984.



$$V1 = y1 + \left[ \left( \frac{x-x1}{x2-x1} \right) (y2 - y1) \right]$$

Sendo:

V1 = Velocidade a ser encontrada

Y1 = Velocidade da menor vazão

Y2 = Velocidade da maior vazão

X = Vazão encontrada no trecho

X1 = Menor vazão

X2 = Maior vazão

$$V1 = y1 + \left[ \left( \frac{x-x1}{x2-x1} \right) (y2 - y1) \right]$$

$$V1 = 1,82 + \left[ \left( \frac{91,95-91,00}{92,00-91,00} \right) (1,84 - 1,82) \right]$$

$$\mathbf{V1 = 1,839 \text{ m/s}}$$

Com o resultado da velocidade do respectivo trecho encontrada, o próximo passo foi determinar a velocidade v2, sendo essa a que chegará no hidrante, onde a mesma será utilizada conseqüentemente para o cálculo da área e diâmetro da placa de orifício.

É importante salientar que, como destacado anteriormente, a finalidade da instalação das placas, seriam a de acúmulo de pressão para benefício dos pontos críticos.

Outro ponto a se destacar, é que a variável pd2 foi obtida através das simulações para uma melhor redistribuição de pressão na rede. Neste trecho, no hidrante H171, tinha-se uma pressão disponível de 64,683 m.c.a. em que esta foi reduzida para 60 m.c.a.. Portanto, o acúmulo de pressão é obtido através da diferente entre ambas, resultando em um ganho de pressão para o sistema.

### **Velocidade v2:**

Sendo:

$$Pd1 = \Sigma (\text{Acúmulos de pressão}) + \text{Pressão disponível original.}$$

$$Pd1 = 0 + 71$$

$$Pd1 = 71 \text{ m.c.a.}$$

Com o valor de  $Pd1$ ,  $Pd2$  e  $V1$ , e considerando a gravidade igual a  $9,81 \text{ m/s}^2$  e peso específico da água igual a  $1 \text{ kN/m}^3$  foi possível calcular a velocidade  $v2$  através da fórmula de Bernoulli:

$$Z1 + \frac{Pd1}{\gamma} + \frac{v1^2}{2g} = Z2 + \frac{Pd2}{\gamma} + \frac{v2^2}{2g} + \Delta E$$

$$166,5 + \frac{71}{1} + \frac{1,839^2}{2 * 9,81} = 163 + \frac{60}{1} + \frac{v2^2}{2 * 9,81} + 2,82$$

$$\mathbf{V2 = 15,25 \text{ m/s}}$$

### Área da placa de orifício:

Devido ao lote do hidrante H171 possuir instalado 2 aspersores convencionais para irrigação, como cada aspersor funciona com uma vazão de  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , será necessária uma vazão de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ . A partir disto, será calculado a área da placa de orifício para regulação da pressão de entrada no lote.

$$Q = VA$$

$$0,0008 = 15,25 * A$$

$$\mathbf{A = 0,0000524 \text{ m}^2}$$

### Diâmetro da placa de orifício

Diante do resultado da área, foi obtido o diâmetro da placa de orifício.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,0000524}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0,00021}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{0,0000667}$$

$$D = 8,34 \text{ mm}$$

Os trechos que seguiram o exemplo da situação presente foram citados na Tabela 9:

**Tabela 9:** Trechos que ocorreram a situação 1.

TRECHO
EB-H171
H171-H173
H173-H174
H174-H175
H175-H177
H177-H178
H178-H179
H178-H180
H180-H182
H182-H184
H186-H187
H187-H189

- **Situação 2: Trecho H180-H181**

O processo é contínuo até o trecho H180-H181, onde a pressão que seria disponível para tubulação da ramificação do hidrante H181 era superior a suportada pela tubulação, a qual a mesma apresenta um diâmetro de 50mm com resistência de pressão máxima de 80m.c.a., segundo o manual da fabricante.

Com isso, teve que haver obrigatoriamente uma redução de pressão exatamente na saída do nó que está direcionada para o hidrante H181 de 86,340 m.c.a. para 50 m.c.a., pois foi a pressão ideal simulada para a continuidade das redistribuições de pressão.

O trecho H180-H181 foi levado em consideração como exemplo para o caso da segunda situação. A seguir irá ser detalhado os procedimentos de cálculo utilizado para o dimensionamento da placa de orifício.

### **Velocidade v1:**

A velocidade v1 do trecho será identificada no ábaco de acordo com sua vazão e diâmetro da tubulação existente. Será realizado uma interpolação para identificação da mesma, já que a vazão do respectivo trecho de, 0,540 L/s, não consta no ábaco, conforme a Figura 42:

Figura 42 - Ábaco para identificação da velocidade do exemplo da situação 02.

Tabelas de perdas de carga - m/100m  
Tubos de PVC rígido para irrigação PN 80

Área interna do conduto  
DN 50 = 0,00171m<sup>2</sup> DN 75 = 0,00390m<sup>2</sup> DN 100 = 0,00700m<sup>2</sup>

PN 80			DN 50			PN 80			DN 75			PN 80			DN 100			PN 80			DN 100			
Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	Vazão (l/s)	Velocidade (m/s)	Perda de Carga (m/100m)	
0,19	0,11	0,051	1,40	0,36	0,246	1,00	0,14	0,033	9,20	1,31	1,902													
0,20	0,12	0,056	1,50	0,39	0,261	1,10	0,16	0,039	9,40	1,34	1,981													
0,22	0,13	0,066	1,60	0,41	0,316	1,20	0,17	0,045	9,60	1,37	2,061													
0,24	0,14	0,077	1,70	0,44	0,353	1,30	0,19	0,052	9,80	1,40	2,143													
0,26	0,15	0,089	1,80	0,46	0,392	1,40	0,20	0,060	10,00	1,43	2,227													
0,28	0,16	0,101	1,90	0,49	0,432	1,50	0,21	0,067	10,50	1,50	2,444													
0,30	0,17	0,114	2,00	0,51	0,475	1,60	0,23	0,076	11,00	1,57	2,670													
0,32	0,19	0,128	2,10	0,54	0,519	1,70	0,24	0,084	11,50	1,64	2,906													
0,34	0,20	0,142	2,20	0,57	0,566	1,80	0,26	0,094	12,00	1,71	3,151													
0,36	0,21	0,157	2,30	0,59	0,614	1,90	0,27	0,103	12,50	1,79	3,407													
0,38	0,22	0,173	2,40	0,62	0,664	2,00	0,29	0,113	13,00	1,86	3,672													
0,40	0,23	0,190	2,50	0,64	0,716	2,10	0,30	0,124	13,50	1,93	3,947													
0,45	0,26	0,234	2,60	0,67	0,770	2,20	0,31	0,134	14,00	2,00	4,232													
0,50	0,29	0,283	2,70	0,69	0,826	2,30	0,33	0,146	14,50	2,07	4,527													
0,55	0,32	0,335	2,80	0,72	0,884	2,40	0,34	0,157	15,00	2,14	4,831													
0,60	0,35	0,392	2,90	0,75	0,943	2,50	0,36	0,169	15,50	2,21	5,145													
0,65	0,38	0,454	3,00	0,77	1,004	2,60	0,37	0,182	16,00	2,29	5,469													
0,70	0,41	0,519	3,20	0,82	1,133	2,70	0,39	0,195	16,50	2,36	5,803													
0,75	0,44	0,588	3,40	0,87	1,268	2,80	0,40	0,208	17,00	2,43	6,147													
0,80	0,47	0,661	3,60	0,92	1,411	2,90	0,41	0,222	17,50	2,50	6,500													
0,85	0,49	0,739	3,80	0,98	1,562	3,00	0,43	0,236	18,00	2,57	6,863													
0,90	0,52	0,820	4,00	1,03	1,719	3,20	0,46	0,266	18,50	2,64	7,235													
0,95	0,55	0,906	4,20	1,08	1,884	3,40	0,49	0,297																
1,00	0,58	0,995	4,40	1,13	2,057	3,60	0,51	0,330																
1,10	0,64	1,186	4,60	1,18	2,237	3,80	0,54	0,365																
1,20	0,70	1,393	4,80	1,23	2,424	4,00	0,57	0,401																
1,30	0,76	1,615	5,00	1,28	2,618	4,20	0,60	0,439																
1,40	0,81	1,854	5,20	1,34	2,820	4,40	0,63	0,478																
1,50	0,87	2,108	5,40	1,39	3,029	4,60	0,66	0,519																
1,60	0,93	2,378	5,60	1,44	3,245	4,80	0,69	0,562																
1,70	0,99	2,663	5,80	1,49	3,468	5,00	0,71	0,606																
1,80	1,05	2,964	6,00	1,54	3,699	5,20	0,74	0,652																
1,90	1,10	3,281	6,20	1,59	3,937	5,40	0,77	0,699																
2,00	1,16	3,613	6,40	1,64	4,183	5,60	0,80	0,748																
2,10	1,22	3,961	6,60	1,70	4,435	5,80	0,83	0,799																
2,20	1,28	4,324	6,80	1,75	4,695	6,00	0,86	0,851																
2,30	1,34	4,703	7,00	1,80	4,963	6,20	0,89	0,905																
2,40	1,40	5,097	7,20	1,85	5,237	6,40	0,91	0,960																
2,50	1,45	5,507	7,40	1,90	5,519	6,60	0,94	1,017																
2,60	1,51	5,933	7,60	1,95	5,808	6,80	0,97	1,076																
2,70	1,57	6,374	7,80	2,00	6,104	7,00	1,00	1,136																
2,80	1,63	6,830	8,00	2,06	6,408	7,20	1,03	1,197																
2,90	1,69	7,302	8,20	2,11	6,718	7,40	1,06	1,261																
3,00	1,74	7,789	8,40	2,16	7,036	7,60	1,09	1,326																
3,20	1,86	8,811	8,60	2,21	7,362	7,80	1,11	1,392																
3,40	1,98	9,893	8,80	2,26	7,694	8,00	1,14	1,460																
3,60	2,09	11,030	9,00	2,31	8,034	8,20	1,17	1,530																
3,80	2,21	12,245	9,20	2,36	8,381	8,40	1,20	1,601																
4,00	2,33	13,513	9,40	2,41	8,735	8,60	1,23	1,674																
4,20	2,44	14,843	9,60	2,47	9,097	8,80	1,26	1,748																
4,40	2,56	16,235	9,80	2,52	9,466	9,00	1,29	1,824																

Fonte: TIGRE, 1984.

$$V1 = y1 + \left[ \left( \frac{x-x1}{x2-x1} \right) (y2 - y1) \right]$$

Sendo:

V1 = Velocidade a ser encontrada

Y1 = Velocidade da menor vazão

Y2 = Velocidade da maior vazão

X = Vazão encontrada no trecho

X1 = Menor vazão

X2 = Maior vazão

$$V1 = y1 + \left[ \left( \frac{x-x1}{x2-x1} \right) (y2 - y1) \right]$$

$$V1 = 0,290 + \left[ \left( \frac{0,540-0,500}{0,550-0,500} \right) (0,320 - 0,290) \right]$$

$$V1 = 0,294 \text{ m/s}$$

Com o resultado da velocidade do respectivo trecho encontrada, o próximo passo foi determinar a velocidade  $v_2$ , sendo essa a que chegará no hidrante, onde a mesma foi utilizada conseqüentemente para o cálculo da área e diâmetro da placa de orifício.

Neste caso após as devidas simulações do valor do  $Pd_2$  em benefício do prosseguimento do sistema o valor para o mesmo foi definido como 50 m.c.a..

### Velocidade $v_2$ :

Sendo:

$$Pd_1 \text{ H180} = \Sigma (AP) + P_{do} \text{ do H178} - \Delta E$$

$$Pd_1 \text{ H180} = 29,21 + 58,622 - 1,490$$

$$Pd_1 \text{ H180} = 86,34 \text{ m.c.a.}$$

Com o valor de  $Pd_1$ ,  $Pd_2$  e  $V_1$ , e considerando a gravidade igual a 9,81 m/s<sup>2</sup> e peso específico da água igual a 1 kN/m<sup>3</sup> foi possível calcular a velocidade  $v_2$  através da fórmula de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{Pd_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{Pd_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta E$$

$$161 + \frac{86,34}{1} + \frac{0,294^2}{2 * 9,81} = 161 + \frac{50}{1} + \frac{v_2^2}{2 * 9,81} + 8,40$$

$$\mathbf{v = 23,41 \text{ m/s}}$$

### Área da placa de orifício:

Devido ao lote do hidrante H181 possuir instalado 2 aspersores convencionais para irrigação, como cada aspersor funciona com uma vazão de 1,5 m<sup>3</sup>/h, será necessária uma vazão de 3 m<sup>3</sup>/h. A partir disto foi calculado a área da placa de orifício para regulação da pressão de entrada no lote.

$$Q = VA$$

$$0,0008 = 23,41 * A$$

$$\mathbf{A = 0,0000342 \text{ m}^2}$$

## Diâmetro da placa de orifício

Diante do resultado da área, foi obtido o diâmetro da placa de orifício.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,0000342}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0,000137}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{0,0000435}$$

$$D = 6,73mm$$

Os trechos que seguiram o exemplo da situação presente foram citados na Tabela 10:

**Tabela 10:** Trechos que ocorreram a situação 2.

TRECHO
H180-H181
H182-H183
H184-H185
H184-H186
H187-H188
H189-H191
H191-H192
H191-H193

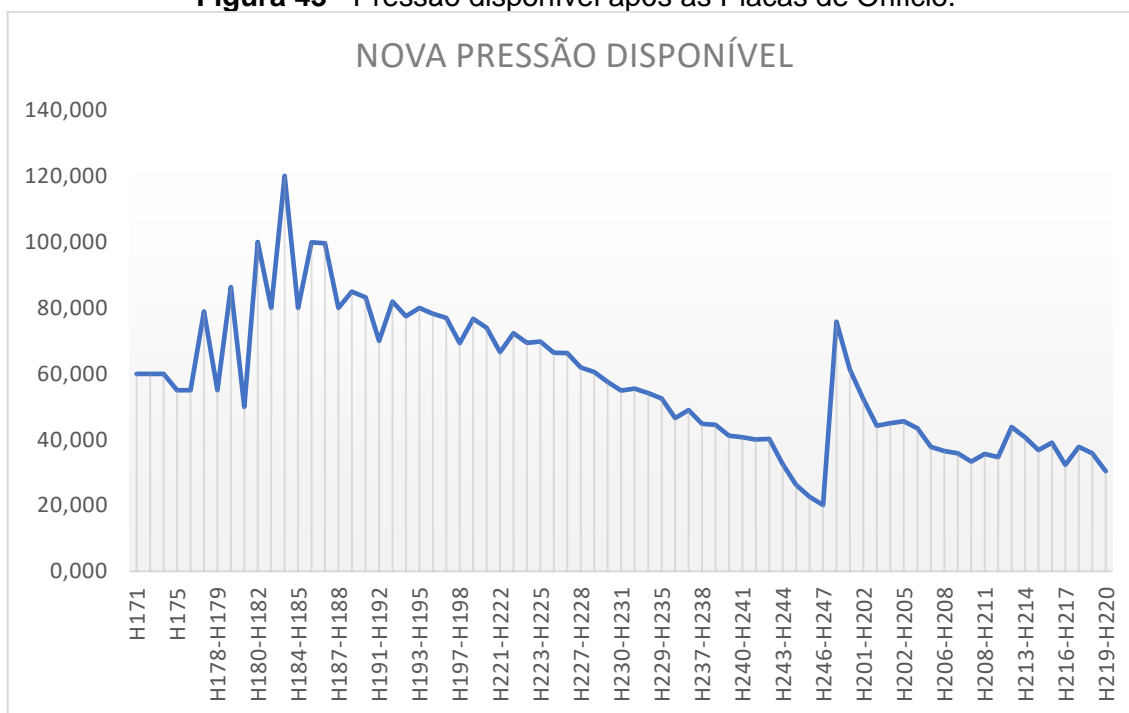
- **Situação 3**

Seguindo o mesmo raciocínio de cálculo de verificação das pressões disponíveis original do sistema de distribuição como descrito no item 4.4, os demais trechos da adutora foram calculados.

#### 4.6 PRESSÕES NOS HIDRANTES APÓS AS PLACAS DE ORIFÍCIOS

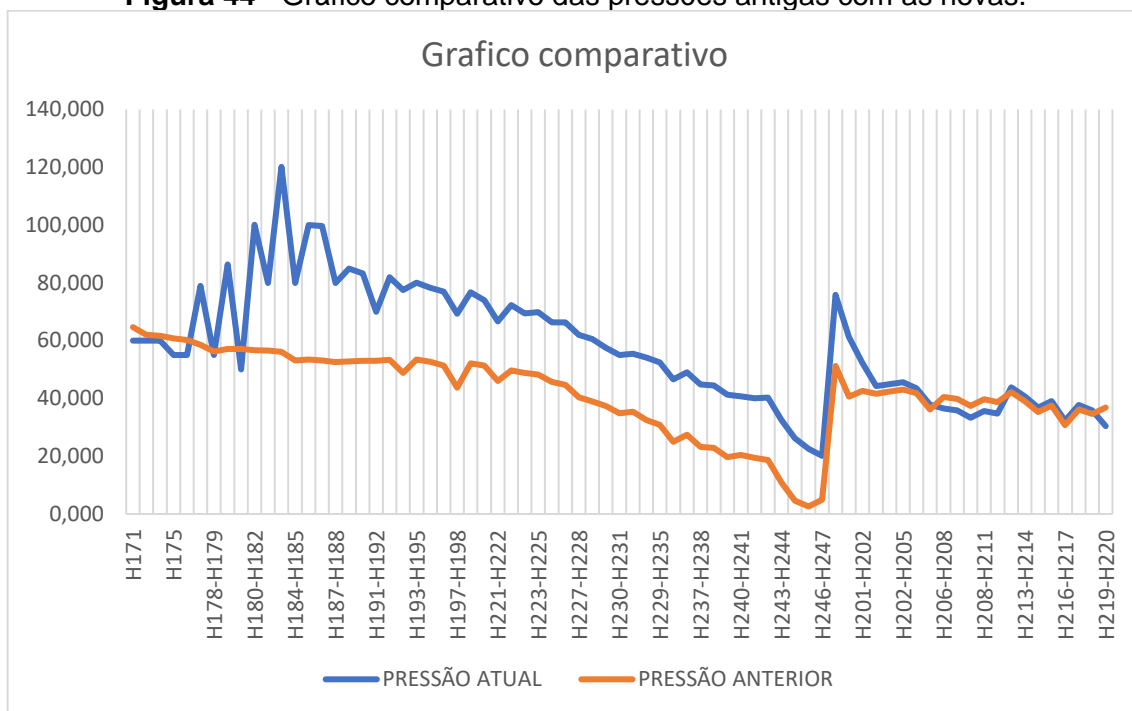
Conforme a Figura 43, e o Apêndice A, os resultados das pressões disponíveis nos hidrantes após a instalação das placas de orifício.

**Figura 43 - Pressão disponível após as Placas de Orifício.**



No comparativo da Figura 44, fica nítido o ganho de pressão não só nos pontos críticos, mas também na maioria dos outros trechos, devido as medidas propostas se comparado ao atual método de execução e funcionamento.

**Figura 44 - Gráfico comparativo das pressões antigas com as novas.**





## 5 CONCLUSÃO

Por todo exposto, percebe-se que o atual sistema de distribuição de água para fins irrigatórios da adutora de número 2 do perímetro irrigado, não satisfaz a todos os usuários, contendo assim diversos fatores que influenciam o problema e insatisfazendo os irrigantes da região.

Um destes fatores está atrelado a metodologia proposta do atual projeto, ao qual o mesmo não se ateve a uma distribuição de pressão de água satisfatória a todos os irrigantes. Inicialmente, a execução do projeto pode não ter sido realizada da melhor forma, podendo ser classificado como um projeto mal dimensionado. Por esta razão, o mesmo não beneficia a todos irrigantes e não fornece a pressão de serviço ideal para o funcionamento do sistema.

Além disso, os desvios de água em determinados lotes para benefícios individuais, prejudicam não somente os irrigantes que não pactuam com tal procedimento errôneo, como também a comunidade que possui seu abastecimento liquidado através da água da bacia hidrográfica. Problemas estes gerados através de um consumo excessivo por parte de alguns e de uma fiscalização pouco atuante na região.

Logo, após serem identificados os problemas, a solução proposta foi o aproveitamento das altas pressões iniciais disponíveis com a instalação de placas de orifício em pontos estratégicos da adutora para que assim as mesmas pudessem ser acumuladas e redistribuídas ao longo do percurso, a fim de garantir uma pressão mínima de serviço ideal aos irrigantes prejudicados.

É importante salientar que, a grande variação de pressão que ocorreu após a instalação das placas foram inevitáveis, pois ao reduzir bruscamente a mesma nos pontos iniciais, prejudicaria da mesma forma os últimos irrigantes, e se não houvesse um controle para que a pressão não se elevasse muito, extrapolaria a resistência máxima que cada tubulação possui de acordo com o fabricante e seu respectivo diâmetro.

Deve-se levar em conta que o material das placas de orifício, tem que ser do mesmo material da tubulação, porém o que vai diferenciar é a espessura da mesma, devido a solicitação e variação de pressão que será exigida cada uma das placas.

Por fim, todo o conjunto de medidas tomadas tiveram um único objetivo proposto que é garantir uma pressão de serviço ideal para todos os beneficiários e melhorar o sistema de irrigação existente, respeitando as características dos materiais perante as suas resistências e a demanda individual de cada irrigante, para que no fim, as culturas cultivadas no perímetro irrigado não sejam prejudicadas e a economia do estado atingida.

## REFERÊNCIAS

ABREU, N. **Autossustentável**, 2010. Disponível em: <<http://autossustentavel.com/author/nathaliaabreu>>. Acesso em: 8 Agosto 2018.

ÁGUA PARA O FUTURO, 2018. Disponível em: <<https://aguaparaofuturo.mpmt.mp.br/abastecimento/sistemas-de-captacao>>. Acesso em: 19 Setembro 2018.

ALBERNAZ, W. M. Ageitec. **Agência Embrapa de informação tecnológica**, 2017. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_72\\_16820051120.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_16820051120.html)>. Acesso em: 17 Outubro 2018.

ANA. **Plano de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Brasília, p. 73. 2013a.

ANA. **Alternativas organizacionais para gestão de recursos hídricos**. Brasília, p. 126. 2013b.

ANA. **Curso de Avaliação de Equipamentos de Irrigação**. Agência Nacional das Águas. Fortaleza. 2016.

ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília. 2017a.

ANA. **Atlas de irrigação: Uso da água na Agricultura Irrigada**. Brasília: [s.n.]. 2017b.

ANA, EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivô centrais no Brasil**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. 2016.

ARAÚJO, D. F. D. **Hidráulica aplicada: Dimensionamento de sistemas Hidráulicos**. Faculdade Mauricio de Nassau. [S.l.], p. 1-122. 2016. (SER educacional).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR: 14724: informação-trabalhos acadêmicos-apresentação*. Rio de Janeiro. 2002.

BARRETO, G. B. **Irrigação: Princípios, métodos e prática**. 1ª. ed. Campinas: [s.n.], 1976.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 2ª. ed. [S.l.]: UFV, 1982.

BERNARDO, S. **Desenvolvimento da Irrigação no Brasil**. *Revista brasileira de Engenharia - Caderno de recursos hídricos*, p. 31-38, 1989.

BISTAFA, S. R. **Mecânica dos Fluidos**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

CAETANO, M. *Revista Globo Rural*, 2012. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,EMI279037-18095,00-UNIAO+ENTRE+TECNOLOGIA+E+BARRAGENS+TORNA+SUSTENTAVEL+A+IRRIGACAO.html>>. Acesso em: 19 Setembro 2018.

CHRISTOFIDIS, D. **Recursos Hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: UNB, 1999.

COELHO, M. C. J. **Energia e fluidos - Mecânica dos fluidos**. São Paulo: Editora Blucher, v. 2, 2016.

COHIDRO. **Cohidro - água que faz fértil esse chão**. *Cohidro SE*, 2015. Disponível em: <[http://cohidro.se.gov.br/?page\\_id=49](http://cohidro.se.gov.br/?page_id=49)>. Acesso em: 27 Agosto 2018.

COUTO, J. L. V. D. **Agrônomos. Rede dos Engenheiros Agrônomos do Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://agronomos.ning.com/profiles/blogs/projeto-de-irriga-o-com-sulcos-de-infiltra-o>>. Acesso em: 17 Outubro 2018.

DAKER, A. **Irrigação e Drenagem**. 6ª. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, v. 3º, 1984.

EMBRAPA. Ageitec. *Agencia Embrapa de Informação e Tecnologia*, 2017. Disponível em:

<[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_72\\_16820051120.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_16820051120.html)>. Acesso em: 17 Outubro 2018.

FAO. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. Brasília: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), 2017.

FERREIRA, T. B.; MARQUES, J. C. G. **Fundamentos de hidráulica e hidrometria**. Londrina: Educacional S.A., 2017.

FGV, Fundação Getúlio Vargas. *Conhecimento técnico de um determinado Cargo*. 2016.

FIGUEIREDO, S. V. A. **Conflitos relativos ao uso de água**. In: \_\_\_\_\_ *Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura*. Brasília: [s.n.], 1997. p. 37-44.

FOX, R. W.; MCDONALD, T. A.; PRITCHARD, J. P. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GARCEZ, L. N. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013.

HOUGHTALEN, R. J.; HWANG, N. H.; AKAN, A. O. **Engenharia Hidráulica**. 4ª. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

IBGE. **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro. 2006.

IBGE. *Site do IBGE*, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/panorama>>. Acesso em: 23 Outubro 2018.

IBGE. *Censo Agropecuário*. Rio de Janeiro. 2017.

LANZETTA, P. EMBRAPA, 2006. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1559/uso-eficiente-da-agua-na-producao-de-arroz-irrigado>>. Acesso em: 17 Outubro 2018.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETT, L. F. **Irrigação: Princípios e métodos**. 3ª. ed. [S.I.]: UFV, 2009.

MARTINS, M.; FREITAS, M. D. C. R. **Gestão e uso da água em Bracara Augusta. Uma abordagem preliminar**. In: MARTINS, M.; FREITAS, I. V. D.; VALDIVIESO, M. I. D. V. *Gestão e uso da água em Bracara Augusta. Uma abordagem preliminar*. Braga: CITEM, 2012. p. 9-52.

MIHELIC, J. R.; ZIMMERMAN, J. B. **Engenharia Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidade e Projeto**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: GEN, 2017.

NETO, A.; MARTINIANO, J. **Manual de Hidráulica**. 8ª. ed. São Paulo: Editora Edigar Blüvher LTDA, 2013.

ONU. ONU BR. *Nações Unidas no Brasil*, 2017. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/>>. Acesso em: 17 Outubro 2018.

PAZ, V. P. D. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. **Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, 2000. 465-473.

PERES, G. J. Hidráulica Agrícola. **Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental**, 1996. 182.

PORTO, R. D. M. **Hidráulica básica**. 4ª. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

REVISTA AGROPECUÁRIA, 2018. Disponível em: <<http://www.revistaagropecuaria.com.br/2017/03/07/conheca-os-principais-tipos-de-irrigacao/>>. Acesso em: 17 Outubro 2018.

RURAL PECUÁRIA, 2016. Disponível em: <<http://ruralpecuaria.com.br/tecnologia-e-manejo/irrigacao/pesquisa-ufmg-injestao-de-co2-na-irrigacao-para-agua-com-alto-teor-de-calcario.html>>. Acesso em: 03 Novembro 2018.

SABESP. *Companhia de Saneamento Básico do estado São Paulo*, 2015. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=31>>. Acesso em: 8 Agosto 2018.

SNA. **Sociedade Nacional de Agricultura**, 2015. Disponível em: <<http://www.sna.agr.br/barragens-cidade-goiana-ganha-destaque-pelo-uso-correto-da-agua-na-irrigacao/>>. Acesso em: 11 Outubro de 2018

SOUZA, R. S. "**Aspectos computacionais da análise de redes de distribuição de água com componentes hidráulicos em regime permanente**". *Dissertação de Mestrado*, ESSC/USP, 1994.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: [s.n.], 2017.

## **ANEXOS**

ANEXO A - Mapas do projeto de aerofotogrametria do projeto executivo de irrigação do rio Piauí.

A visualização deste Anexo está disponível em arquivo de mídia digital, entregue juntamente com a monografia materializada.

ANEXO B – Declaração de autorização da divulgação de dados da empresa.

A visualização deste Anexo está disponível em arquivo de mídia digital, entregue juntamente com a monografia materializada.



## **APÊNDICES**

APÊNDICE A – Pressões disponíveis dos hidrantes após as placas de orifício.