

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CÂMPUS URUTAÍ**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO VIA ASPERSÃO  
CONVENCIONAL NA CULTURA DO TOMATE ATRAVÉS DE DIFERENTES VAZÕES  
DE TUBULAÇÕES**

**GUILHERME OLIVEIRA RINCON**

**URUTAÍ – GO**

**GUILHERME OLIVEIRA RINCON**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

**Orientador:** Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão

URUTAÍ – GO  
FEVEREIRO - 2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

R579 Rincon, Guilherme Oliveira  
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO VIA  
ASPERSÃO CONVENCIONAL NA CULTURA DO TOMATE  
ATRAVÉS DE DIFERENTES VAZÕES DE TUBULAÇÕES /  
Guilherme Oliveira Rincon. urutai 2026.  
44f. il.  
Orientador: Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão.  
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120064 -  
Bacharelado em Engenharia Agrícola - Urutai (Campus Urutai).  
I. Título.

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |                                                      |                                                         |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)            | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)      | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação)  | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Guilherme Oliveira Rincon

Matrícula:

2017101200640421

Título do trabalho:

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO VIA ASPERSÃO CONVENCIONAL NA CULTURA

### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☐ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:  /  /

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente  
 **GUILHERME OLIVEIRA RINCON**  
Data: 31/08/2026 10:20:53-0300  
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Urutai

Local

3 / 0 / 202

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 **LEANDRO CADETA SALOMAO**  
Data: 02/09/2026 19:23:59-0300  
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 40/2026 - CCBEA-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO VIA ASPERSÃO  
CONVENCIONAL PARA CULTURA DO TOMATE COM DIFERENTES DIÂMETROS**

**GUILHERME OLIVEIRA RINCON**

Trabalho de curso apresentado ao curso de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí,  
como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Defendido e aprovado pela Comissão Examinadora em: 26 / 08 / 2026.

---

Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão

Orientador

---

Profª. Drª. Raiane Ferreira Miranda

Examinadora

---

Me. Thiago Schwerz

Examinador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Leandro Caixeta Salomao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 26/08/2026 10:04:32.
- **Thiago Schwerz, COORDENADOR(A) - FG1 - PV-URT** , em 26/08/2026 10:10:04.
- **Raiane Ferreira de Miranda, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 28/08/2026 14:07:01.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/08/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 852590

**Código de Autenticação:** 8f0d7d6bc8



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutai

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAI / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta caminhada, iluminando meus passos nos momentos de dificuldade e tornando possível a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Charles Ricardo Favorito Rincon e Ana Paula Rodrigues de Oliveira, meu sincero agradecimento por todo o amor, apoio incondicional, ensinamentos e incentivos constantes, que foram fundamentais para minha formação pessoal e acadêmica.

Aos meus irmãos, Charles Ricardo Favorito Rincon Júnior e Cindy Oliveira Rincon, agradeço pelo companheirismo, apoio e compreensão ao longo desta trajetória.

À minha querida e saudosa avó, Dina Peixoto de Moraes Rincon (in memoriam), deixo registrada minha eterna gratidão e homenagem, cuja memória, valores e carinho permanecem vivos e continuam sendo fonte de inspiração. Ao meu avô, Antônio Favorito Rincon, agradeço pelos ensinamentos, pelo apoio e pela presença marcante em minha vida.

Ao Professor Leandro Caixeta Salomão, pela constante orientação, confiança e apoio em todos os trabalhos desenvolvidos, e inspiração para continuar nesta jornada;

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, deixo meus mais sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A água é fundamental para a sobrevivência de todos os seres vivos, e por isso é imprescindível utilizá-la de maneira consciente. Dessa forma, o estudo tem como objetivo expor a elaboração de um projeto de irrigação por aspersão com diferentes dimensionamentos de vazão para a cultura do tomate. Muitas são as características a serem estudadas em um sistema de irrigação para evitar que este seja mal dimensionado e se torne oneroso. A perda de carga é uma das variáveis específicas no momento do dimensionamento, isso porque ela depende de outros fatores. Dessa forma podemos ver que a utilização de um diâmetro maior só se mostra eficiente se o sistema de irrigação funcionar dentro do período diurno, quando não há desconto pago pelo kW/ hora. Agora em relação ao retorno do investimento quanto a cultura do tomate, podemos ver que nos 2 casos são pagos em menos de um ciclo.

**Palavras-chave:** Dimensionamento; Hidráulica; Manejo.

## **ABSTRACT**

Water is essential for the survival of all living beings, and therefore it is essential to use it consciously. Therefore, the present work aims to present the development of a sprinkler irrigation project with different flow rates for tomato cultivation. There are many characteristics to be studied in an irrigation system to prevent it from being poorly sized and becoming costly. Load loss is one of the specific variables when sizing, because it depends on other factors. This way we can see that the use of a larger diameter is only efficient if the irrigation system works during the day, when there is no discount paid for the kW/hour. Now in relation to the return on investment regarding tomato cultivation, we can see that in both cases they are paid in less than one cycle.

**Keywords:** System design; Hydraulics; Irrigation management.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Catálogo de aspersores Agropolo NY30.....                                            | 19 |
| <b>Figura 2.</b> Curva da bomba Imbil, altura manométrica total.....                                  | 29 |
| <b>Figura 3.</b> Curva da bomba Imbil, rendimento.....                                                | 30 |
| <b>Figura 4.</b> Curva da bomba Imbil, pressão mínima na sucção necessária para evitar cavitação..... | 30 |
| <b>Figura 5.</b> Curva da bomba Imbil, potência.....                                                  | 31 |
| <b>Figura 6.</b> Curva da bomba Imbil, rendimento.....                                                | 33 |
| <b>Figura 7.</b> Curva da bomba Imbil, pressão mínima na sucção necessária para evitar cavitação..... | 33 |
| <b>Figura 8.</b> Curva da bomba Imbil, potência.....                                                  | 34 |
| <b>Figura 9.</b> Curva da bomba Imbil, altura manométrica total.....                                  | 35 |
| <b>Figura 10.</b> Croqui da área dimensionada.....                                                    | 40 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Dimensionamento hidráulico da linha principal.....                                                                                                      | 26 |
| <b>Tabela 2.</b> Perda de carga na tubulação da linha principal pelo método de Hazen-Williams ( $C = 140$ ).....                                                         | 27 |
| <b>Tabela 3.</b> Perda de carga total na linha principal.....                                                                                                            | 31 |
| <b>Tabela 4.</b> Materiais e Orçamento para o Projeto de Irrigação Via Aspersão Convencional para projeto de tomate com diâmetro diferente para a cultura do tomate..... | 36 |
| <b>Tabela 5.</b> Materiais e Orçamento para o Projeto de Irrigação Via Aspersão Convencional para projeto de tomate com o mesmo diâmetro para a cultura do tomate.....   | 37 |
| <b>Tabela 6.</b> Comparação de consumo energético entre as bombas.....                                                                                                   | 38 |
| <b>Tabela 7.</b> Variação de porcentagem um do outro.....                                                                                                                | 38 |
| <b>Tabela 8.</b> Diferença de preços entre Dimensionamento 1 e Dimensionamento 2 em porcentagem.....                                                                     | 40 |

## LISTA DE SIGLAS

**AM** – Abrigo Meteorológico  
**ANOVA** – Análise de Variância  
**AZ** – Aço zincado  
**CC** – Capacidade de campo  
**CNA** – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil  
**CRA** – Capacidade real de água no solo  
**CTA** – Capacidade total de água no solo  
**CV** – Cavalo-vapor  
**Da** – Densidade aparente do solo  
**DTA** – Disponibilidade total de água  
**Ea** – Eficiência de aplicação de água  
**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária  
**ET0** – Evapotranspiração de referência  
**ETc** – Evapotranspiração da cultura  
**FP** – Fator de potência  
**GPS** – Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)  
**Hf** – Perda de carga distribuída  
**Hfloc** – Perda de carga localizada  
**Hman** – Altura manométrica total  
**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**Ia** – Intensidade de aplicação de água  
**IF Goiano** – Instituto Federal Goiano  
**INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia  
**IRN** – Irrigação real necessária  
**ITN** – Irrigação total necessária  
**Kc** – Coeficiente de cultura  
**mca** – Metro de coluna d'água  
**Np** – Número de posições irrigadas por dia  
**Nd** – Número de posições que devem ser irrigadas por dia  
**Nl** – Número de linhas laterais  
**Nasp** – Número de aspersores  
**PA** – Pressão no aspersor  
**Pin** – Pressão no início da linha lateral  
**PLD** – Posições de linhas por dia  
**PMP** – Ponto de murcha permanente  
**PS** – Pressão de serviço  
**PVC** – Policloreto de vinila  
**Q** – Vazão  
**Qll** – Vazão da linha lateral  
**rpm** – Rotações por minuto  
**Sirgas 2000** – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas  
**Ti** – Tempo de irrigação por posição  
**TR** – Turno de rega  
**VIB** – Velocidade de infiltração básica do solo

## SUMÁRIO

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                    | <b>14</b> |
| <b>2 REVISÃO DA LITERATURA .....</b>                         | <b>15</b> |
| 2.1 Irrigação por aspersor .....                             | 15        |
| 2.2 Cultivo do tomate em sistema irrigado por aspersão ..... | 16        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                           | <b>18</b> |
| 3.1 Caracterização da área experimental .....                | 18        |
| 3.2 Dimensionamento hidráulico .....                         | 18        |
| 3.3 Dimensionamento e cálculos.....                          | 21        |
| 3.3.1 Dados do Projeto .....                                 | 21        |
| 3.3.2 Dados da Área e do Solo .....                          | 21        |
| 3.3.3 Dados da Cultura.....                                  | 22        |
| 3.3.4Dimensionamento agrônômico.....                         | 22        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                        | <b>39</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>                                     | <b>42</b> |
| <b>6 REFERÊNCIAS .....</b>                                   | <b>43</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a sobrevivência de todos os seres vivos, e por isso é imprescindível utilizá-la de maneira consciente. A sustentabilidade deve ir além da escassez e promover uma nova ética em relação aos recursos hídricos, focando na otimização de seu uso e no controle de desperdícios, além de fomentar o desenvolvimento (TUNDISI, 2005).

Rebouças (2001) destaca que a percepção do elevado potencial hídrico, sem considerar a escassez, atinge a superfície brasileira e influencia a ideia de que os recursos hídricos são abundantes, o que por sua vez alimenta a tolerância à degradação desses recursos.

Cabe ressaltar que a irrigação representa a principal atividade humana que consome água e, portanto, não deve ser vista apenas como um método artificial para garantir a umidade do solo, mas sim como um sistema complexo que atende às necessidades das plantas, evitando excessos ou insuficiências hídricas, com o intuito de mitigar problemas como a escassez e a distribuição irregular das chuvas. Esse processo envolve a interação entre clima, o ser humano e o solo onde a agricultura é praticada (PAZ et al., 2002).

De acordo com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2021), o país tem atualmente 8,2 milhões de hectares irrigados, com potencial para 55 milhões, considerando apenas as áreas que já estão em uso. O setor agrícola é o que mais utiliza água no Brasil e no mundo, sendo responsável por parte relevante da produção de alimentos. Segundo a publicação da CNA, o setor privado ocupa 96,2% da área irrigada, enquanto projetos públicos abrangem os 3,8% restantes.

No entanto, essa tecnologia está relacionada ao uso intensivo de insumos e demanda investimentos significativos, exigindo um cuidadoso planejamento dos componentes (GEISENHOFF et al., 2015; PEREIRA et al., 2016).

Um sistema de irrigação que não é adequadamente dimensionado pode se tornar impraticável tanto do ponto de vista técnico quanto econômico; portanto, um dimensionamento apropriado desse sistema é essencial para a economia de água e energia elétrica (MIRANDA et al., 2018). Ademais, o projeto do sistema de irrigação deve ser elaborado com o objetivo de assegurar seu funcionamento com a máxima eficiência hídrica e energética, garantindo assim a sua viabilidade (BERTOSSI et al., 2013; LOCATELLI et al., 2014). Nesse contexto, estudos dessa natureza contribuem para a análise técnica de projetos de irrigação, ao demonstrar como diferentes configurações hidráulicas podem influenciar o consumo energético e os custos de implantação do sistema.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo realizar o dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação por aspersão convencional para a cultura do tomate, comparando dois cenários distintos de dimensionamento da linha principal, avaliando seus impactos hidráulicos, energéticos e econômicos.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Irrigação por aspersão**

A irrigação tem como finalidade principal fornecer a quantidade de água necessária para o desenvolvimento das culturas, especialmente em períodos em que as chuvas não conseguem atender a essa demanda. Esse fornecimento é feito por meio de sistemas de irrigação, que são categorizados de acordo com a maneira como a água é distribuída no solo. As principais categorias são: irrigação por superfície, localizada e aspersão.

Existem diversos métodos de irrigação, como os mencionados acima, e cada um deles possui componentes específicos para sua implementação. A escolha do método a ser utilizado dependerá das características das culturas, do tipo de solo, da topografia e do clima da localidade, assim como da disponibilidade de recursos hídricos, tanto em quantidade quanto em qualidade.

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional fixo desempenham um papel crucial na agricultura irrigada, pois contribuem para o aumento da produção de culturas de grande valor econômico, especialmente em contextos onde a mão de obra é escassa ou cara (FRIEDMAN, 2022).

De acordo com Carvalho et al. (2020), esse método é o mais prevalente, abrangendo 48% da área irrigada no Brasil. Além disso, a utilização desse sistema tem se concentrado cada vez mais em áreas menores, sendo dimensionado por profissionais que atuam na extensão rural ou em lojas de insumos agrícolas, ou então definidos pelos próprios agricultores irrigantes (SAAD, 2021).

Devido à ampla variabilidade nos formatos de irrigação, o projeto de irrigação por aspersão convencional oferece diversas configurações possíveis (BERNARDO et al., 2006), e, frequentemente, não é realizado de maneira adequada porque não considera essas particularidades. Para Keller e Bliesner (1990), uma das exigências no dimensionamento de qualquer sistema de irrigação é a construção de um mapa topográfico mostrando os desníveis do terreno, bem como obstáculos e limites agrícolas.

Muitas são as características a serem estudadas em um sistema de irrigação para evitar que este seja mal dimensionado e se torne oneroso. A perda de carga é uma das variáveis específicas no momento do dimensionamento, isso porque ela depende de outros fatores, como vazão e diâmetro da tubulação, desnível do terreno e peças complementares utilizadas na tubulação. Outro quesito muito importante quando se trabalha com a agricultura irrigada é o manejo da irrigação. Nem sempre um sistema hidraulicamente bem dimensionado remete a um sistema de fácil manejo, isso porque o tempo de irrigação determinado nesses projetos às vezes não permitem a conclusão de números exatos de linhas laterais no total de horas disponível para a irrigação. Assim, o correto dimensionamento hidráulico do sistema de irrigação por aspersão torna-se essencial não apenas para garantir o atendimento da demanda hídrica da cultura, mas também para reduzir perdas de carga excessivas e minimizar o consumo energético do sistema.

## **2.2 Cultivo do tomate em sistema irrigado por aspersão**

O tomate é uma das frutas mais consumidas e populares no mundo. Tal fato se deve a diversidade e facilidade de utilização pelos consumidores, assim como, à sua grande aceitação de mercado e aos preços compensatórios ao produtor rural (CARDOSO et al., 2018).

O cultivo do tomate, dentro de uma tecnologia adequada, principalmente em relação ao manejo da irrigação é uma das alternativas mais viáveis de produção. Vale salientar, que incrementos em termos de produção tanto de ordem qualitativa quanto quantitativa, poderiam ser maiores, caso a demanda hídrica da cultura fosse atendida. Uma vez que o tomateiro apresenta elevada necessidade hídrica, fazendo-se necessário o uso da irrigação, como prática normal de cultivo (SOARES et al., 2011).

Ou seja, a irrigação na produção de tomate é prática fundamental para suprir a demanda hídrica da planta, sendo que no Brasil a maior parte do período do seu cultivo coincide com a estação seca. Desta forma, aproximadamente 18 mil ha, cultivada com tomate industrial no Brasil é irrigada, sendo que 90% desta área é sob pivô central (MAROUELLI et al., 2012).

Apesar da produção brasileira dessa hortaliça ser de aproximadamente 4.075.890 t (IBGE, 2019), está muito abaixo do potencial produtivo dessa cultura. Uma das causas é que geralmente a irrigação é realizada de forma inadequada, o que pode limitar o desenvolvimento das plantas, a produtividade e a qualidade de frutos, principalmente por favorecer a ocorrência de doenças (MAROUELLI et al., 2005, MAROUELLI et al., 2011, CABRAL et al., 2013)

Contudo, o molhamento frequente da parte aérea do tomateiro e o excesso de água no solo favorece o aparecimento de doenças, resultando em perda de produtividade e aumento do custo de produção da lavoura devido ao uso excessivo de defensivos químicos. O controle

químico, em média onera em 40% o custo de produção do tomate industrial no Brasil, onde normalmente as pulverizações desses defensivos são feitas com caráter preventivo e logo após as irrigações realizadas semanalmente (MAROUELLI et al., 2012).

### **2.3 Dimensionamento hidráulico e consumo energético de sistemas de irrigação**

O dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação constitui uma etapa fundamental no planejamento e na implantação de projetos de irrigação, pois envolve a determinação adequada de parâmetros como vazão, pressão de operação, diâmetro das tubulações e comprimento das linhas que compõem a rede hidráulica. Esses parâmetros são essenciais para garantir o funcionamento adequado do sistema e assegurar que a água seja distribuída de forma uniforme na área irrigada. De acordo com Bernardo et al. (2019), o correto dimensionamento hidráulico permite que o sistema opere dentro das condições ideais de pressão e vazão, garantindo maior eficiência na aplicação de água e reduzindo desperdícios.

Durante o processo de dimensionamento, é necessário considerar as perdas de carga que ocorrem ao longo das tubulações. Essas perdas estão associadas principalmente ao atrito da água com as paredes internas das tubulações, bem como à presença de conexões, registros, válvulas e outros acessórios presentes no sistema hidráulico. Segundo Keller e Bliesner (1990), a estimativa adequada das perdas de carga é essencial para garantir que a pressão disponível nos emissores seja suficiente para o funcionamento correto dos aspersores e para a manutenção de uma adequada uniformidade de aplicação da água.

Outro aspecto relevante no dimensionamento hidráulico de sistemas de irrigação refere-se ao consumo energético necessário para o funcionamento do sistema. Em sistemas pressurizados, como a irrigação por aspersão, a energia necessária para o bombeamento da água depende diretamente da vazão requerida e da altura manométrica total do sistema, a qual é influenciada pelas perdas de carga ao longo das tubulações. Assim, projetos hidráulicos inadequados podem resultar em maiores exigências de energia para o bombeamento, aumentando os custos operacionais do sistema de irrigação (BERNARDO et al., 2019).

Dessa forma, a avaliação de diferentes configurações hidráulicas no dimensionamento de sistemas de irrigação torna-se importante para identificar alternativas que possibilitem reduzir perdas de carga e otimizar o uso de energia, contribuindo para a viabilidade técnica e econômica do sistema. Conforme destacado por Keller e Bliesner (1990), a adequada seleção dos componentes hidráulicos e o correto dimensionamento das tubulações são fatores

determinantes para garantir eficiência hidráulica e bom desempenho operacional em sistemas de irrigação por aspersão.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização da área experimental**

O estudo foi desenvolvido considerando as condições edafoclimáticas do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, localizado no município de Urutaí, no estado de Goiás. A área apresenta coordenadas centrais de latitude 17°29'39.01"S e longitude 48°12'58.44"O, referenciadas ao Datum SIRGAS 2000.

Para o desenvolvimento do estudo, considerou-se a cultura do tomate destinada ao processamento industrial, utilizando um híbrido com ciclo aproximado de 125 dias, irrigado por sistema de aspersão convencional.

O clima da região é classificado como tropical, caracterizado por duas estações bem definidas: uma chuvosa e outra seca. As informações climáticas utilizadas no estudo foram obtidas a partir de dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As características do solo predominante na região foram consideradas como argilo-arenosas, conforme informações técnicas disponíveis em publicações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

Também foram considerados parâmetros agronômicos da cultura do tomate necessários para o dimensionamento do sistema de irrigação, como profundidade efetiva do sistema radicular (aproximadamente 0,35 m), fator de disponibilidade de água no solo e duração dos estádios fenológicos da cultura.

Ressalta-se que o presente trabalho consistiu no dimensionamento teórico de um sistema de irrigação, não sendo realizada a implantação física do sistema na área de estudo.

#### **3.2 Metodologia de dimensionamento do sistema de irrigação**

O dimensionamento agronômico e hidráulico do sistema de irrigação por aspersão convencional foi realizado com base na metodologia descrita no Manual de Irrigação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI; SILVA, 2019).

Inicialmente, realizou-se o levantamento das características da área utilizada para o projeto. O desnível entre o ponto de captação e o registro do sistema foi determinado por meio

de levantamento topográfico utilizando GPS de navegação, permitindo a estimativa das condições hidráulicas necessárias para o dimensionamento.

Na etapa de dimensionamento agrônômico foram considerados os parâmetros físicos do solo e as características da cultura do tomate, incluindo disponibilidade total de água no solo, disponibilidade real de água, capacidade de armazenamento de água na zona radicular e necessidade hídrica da cultura. Esses parâmetros foram utilizados para a determinação da lâmina de irrigação requerida.

A partir da lâmina de irrigação determinada, definiu-se o turno de rega e a vazão necessária do sistema para suprir a demanda hídrica da cultura ao longo do ciclo produtivo.

Posteriormente, realizou-se a seleção do modelo de aspersor a ser utilizado no projeto. A escolha do emissor foi baseada em critérios técnicos, como intensidade de aplicação compatível com a capacidade de infiltração do solo, espaçamento entre emissores, pressão de serviço recomendada pelo fabricante e vazão adequada às condições de operação do sistema.

Com base nessas características, foram definidos o espaçamento entre aspersores, o número de linhas laterais e o número de emissores por linha. Em seguida, procedeu-se ao dimensionamento hidráulico da rede de irrigação, incluindo a determinação dos diâmetros das tubulações, estimativa das perdas de carga e cálculo da altura manométrica total requerida para o funcionamento do sistema.

A partir desses parâmetros, estimou-se a potência necessária do conjunto motobomba para atender às condições de vazão e pressão requeridas pelo sistema de irrigação.

Os cálculos detalhados referentes ao dimensionamento agrônômico, hidráulico e ao consumo energético do sistema são apresentados na seção de Resultados.

**Figura 1.** Catálogo de aspersores Agropolo NY30.

| Características Operacionais do Aspersor Agropolo NY 30                             |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|---------------------|-----------------------------|--------|----------------------------------|
| NY 30 ER - Eixo em Nylon                                                            |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
| NY 30 ERL - Eixo em Latão                                                           |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
| BOCAIS<br>DIÂMETRO<br>NOMINAL                                                       | CÓDIGO                                     | PRESSÃO | DIÂMETRO<br>ALCANCE | ALTURA<br>MÁXIMA<br>DO JATO | VAZÃO  | ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m) |
| (mm)                                                                                |                                            | (mca)   | (m)                 | (m)                         | (m3/h) | 6X12 12X12 12X18 18X18 18X24     |
|    | 0 X 4,60<br><br>3027 - ER<br>4491 - ERL    | 30      | 21,20               | 2,20                        | 1,25   | 17,36                            |
|                                                                                     |                                            | 35      | 21,20               | 2,30                        | 1,35   | 18,75                            |
|                                                                                     |                                            | 40      | 21,20               | 2,40                        | 1,44   | 20,00                            |
|                                                                                     |                                            | 45      | 21,00               | 2,40                        | 1,53   | 21,25                            |
|                                                                                     |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
| <b>Tampão Preto</b>                                                                 |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
|    | 4,00 x 4,60<br><br>4488 - ER<br>4503 - ERL | 20      | 26,80               | 3,50                        | 1,79   | 12,43                            |
|                                                                                     |                                            | 25      | 27,00               | 3,70                        | 2,00   | 13,89                            |
|                                                                                     |                                            | 30      | 27,20               | 3,90                        | 2,19   | 15,21                            |
|                                                                                     |                                            | 35      | 27,60               | 4,10                        | 2,34   | 16,25                            |
|                                                                                     |                                            | 40      | 28,00               | 4,30                        | 2,53   | 17,57                            |
| <b>Curto Vermelho</b>                                                               |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
|    | 5,00 x 4,60<br><br>2822 - ER<br>2851 - ERL | 20      | 29,40               | 3,50                        | 2,17   | 15,07 10,05                      |
|                                                                                     |                                            | 25      | 31,00               | 3,70                        | 2,43   | 16,88 11,25 7,50                 |
|                                                                                     |                                            | 30      | 31,80               | 4,00                        | 2,66   | 18,47 12,31 8,21                 |
|                                                                                     |                                            | 35      | 32,40               | 4,10                        | 2,87   | 19,93 13,29 8,86                 |
|                                                                                     |                                            | 40      | 32,40               | 4,30                        | 3,07   | 21,32 14,21 9,48                 |
| <b>Longo Verde</b>                                                                  |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
|   | 6,20 x 4,60<br><br>2835 - ER<br>2864 - ERL | 20      | 30,40               | 3,50                        | 2,88   | 20,00 13,33 8,89                 |
|                                                                                     |                                            | 25      | 31,60               | 3,80                        | 3,22   | 22,36 14,91 9,94                 |
|                                                                                     |                                            | 30      | 33,40               | 4,00                        | 3,53   | 24,51 16,34 10,90                |
|                                                                                     |                                            | 35      | 35,20               | 4,20                        | 3,81   | 26,46 17,64 11,76 8,82           |
|                                                                                     |                                            | 40      | 36,00               | 4,50                        | 4,07   | 18,84 12,56 9,42                 |
| <b>Longo Vermelho</b>                                                               |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
|  | 7,10 x 4,60<br><br>2848 - ER<br>2877 - ERL | 20      | 31,00               | 3,50                        | 3,27   | 22,71 15,14                      |
|                                                                                     |                                            | 25      | 32,00               | 3,80                        | 3,66   | 25,42 16,94 11,30                |
|                                                                                     |                                            | 30      | 34,00               | 4,10                        | 4,01   | 18,56 12,38                      |
|                                                                                     |                                            | 35      | 36,00               | 4,30                        | 4,33   | 20,05 13,36 10,02                |
|                                                                                     |                                            | 40      | 37,20               | 4,60                        | 4,63   | 21,44 14,29 10,72                |
| <b>Longo Azul</b>                                                                   |                                            |         |                     |                             |        |                                  |
|  |                                            | 45      | 38,40               | 4,60                        | 4,91   | 22,73 15,15 11,37                |

Fonte: Casa da irrigação (2025).

Posteriormente, realizou-se a seleção do modelo de aspersor a ser utilizado no projeto. Para o dimensionamento do sistema foi considerado o aspersor Agropolo NY 30, cujas características operacionais foram obtidas a partir das especificações técnicas do fabricante. A escolha do emissor foi baseada em critérios hidráulicos e operacionais, considerando a pressão de serviço, vazão do aspersor, intensidade de aplicação e espaçamento entre emissores, de modo a garantir compatibilidade com a capacidade de infiltração do solo e promover uma distribuição uniforme da água na área irrigada.

Após a definição do aspersor, realizou-se a divisão do número de linhas laterais, do número de emissores por linha e das posições irrigadas por dia, com base na vazão do sistema e nas características do aspersor selecionado, buscando obter uma configuração que proporcionasse maior uniformidade de aplicação de água.

Além disso, buscou-se selecionar uma configuração de bocal que apresentasse vazão compatível com a vazão total do sistema projetado e pressão de operação adequada ao conjunto motobomba, garantindo o funcionamento eficiente do sistema de irrigação.

Por fim, realizou-se os cálculos para determinar o consumo energético do sistema, além da listagem dos materiais e o croqui da área para visualização do funcionamento do sistema projetado.

### **3.3 DIMENSIONAMENTO E CALCULOS**

#### **3.3.1 Dados do Projeto**

Jornada de trabalho: 08 horas por dia;

Eficiência de aplicação do sistema: 80%;

Número de Aspersores: 36 Aspersores;

Altura do aspersor: 2,5 metros

#### **3.3.2 Dados da Área e do Solo**

Área: 10 hectares;

Altura geométrica de sucção: 2 metros;

Comprimento da sucção: 10 metros;

Tipo de solo: Latossolo Vermelho Ácrico (Argilo-arenoso);

Capacidade de campo (CC): 35%;

Ponto de murcha permanente (PMP): 30%;

Densidade aparente do solo ( $D_a$ ): 1,1 g/cm<sup>3</sup>;

Fator de disponibilidade ( $f$ ): 0,5;

Período de Máxima Demanda: Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) = 10 mm/dia

Para o dimensionamento do sistema de irrigação foi considerado o período de maior demanda hídrica da cultura. A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) adotada foi de 10 mm dia<sup>-1</sup>, valor considerado representativo de condições de demanda evaporativa máxima para a região de Urutaí-GO.

Os dados climáticos utilizados como base foram obtidos a partir de informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Optou-se pela utilização de um valor máximo de  $ET_0$  como critério de segurança no dimensionamento do sistema,

garantindo que o projeto seja capaz de suprir a demanda hídrica da cultura mesmo em condições climáticas mais severas.

No dimensionamento do sistema também não foi considerada a precipitação efetiva, adotando-se uma condição de projeto mais crítica, assegurando que o sistema seja capaz de atender às necessidades hídricas da cultura mesmo na ausência de chuvas.

### 3.3.3 Dados da Cultura

Cultura: Tomate (*Solanum lycopersicum* L.);

Ciclo: 120 dias;

Profundidade do sistema radicular (Z): 35 cm;

Coeficiente máximo da cultura (Kc) = 0,85 (Fase Frutificação);

Velocidade de Infiltração Básica do solo (VIB): 12 mm/hora

### 3.3.4 Dimensionamento agrônômico

Irrigação necessária

Para disponibilidade total usou a seguinte equação:

$$DTA = \frac{(U_{cc} - U_{pmp}) \cdot \rho}{10}$$

em que:

$U_{cc}$  – umidade na capacidade de campo (% em peso)

$U_{pmp}$  - umidade no ponto de murcha permanente (% em peso)

$\rho$  - densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>)

$$DTA - mm / cm \text{ de solo}$$

$$DTA = (35 - 30) / 10 \cdot 1,1 = 0,55 \text{ mm/cm}$$

Ressalta-se que o valor de 0,55 mm/cm é inferior aos valores frequentemente encontrados na literatura (em torno de 1,5 mm/cm). Entretanto, esse resultado decorre diretamente dos parâmetros de umidade adotados para o solo considerado no estudo, resultando em uma menor diferença entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

Para capacidade total de água utilizou-se a seguinte equação:

$$CTA = DTA \cdot Z$$

$$CTA = 0,55 \cdot 35 = 19,25 \text{ mm}$$

Z – profundidade efetiva do sistema radicular (cm)

Para capacidade real de água a seguinte equação:

$$CRA = CTA \cdot f$$

$$CRA = 19,25 \cdot 0,5 = 9,625 \text{ mm}$$

f – fator de disponibilidade

Nesse caso, como não está sendo considerado a precipitação efetiva, a irrigação real necessária é igual a capacidade real de água no solo.

Equação da irrigação total necessária:

$$ITN = IRN / Ea$$

Ea – eficiência de aplicação de água (decimal):

$$ITN = 9,625 / 0,8 = 12,03 \text{ mm}$$

A lâmina bruta de irrigação, também denominada irrigação total necessária (ITN), foi obtida a partir da irrigação real necessária (IRN), corrigida pela eficiência de aplicação do sistema (Ea). Essa correção é necessária para compensar as perdas de água inerentes ao processo de irrigação, como perdas por evaporação, vento e distribuição não uniforme. Considerando uma eficiência de aplicação de 80%, obteve-se a lâmina bruta requerida pela cultura por meio da relação  $ITN = IRN / Ea$ , resultando em uma lâmina bruta de 12,03 mm.

### **Turno de Rega e Período de Irrigação**

$$TR = CRA / ETc$$

ETc – Evapotranspiração potencial da cultura

$$TR = 9,625 / 8,5 = 1 \text{ dia}$$

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida a partir da multiplicação da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) pelo coeficiente de cultura (Kc), conforme a relação  $ETc = ET_0 \times Kc$ . Assim, considerando ET<sub>0</sub> igual a 10 mm dia<sup>-1</sup> e Kc de 0,85 para a cultura do tomate, de acordo com a metodologia proposta pela FAO (ALLEN et al., 1998), obteve-se uma ETc de 8,5 mm dia<sup>-1</sup>.

Como o período de pico de evapotranspiração do tomate é pequeno, não será deixado nenhuma folga entre duas irrigações consecutivas. Desta forma, o período de irrigação também será de 1 dia.

### Intensidade de Aplicação

Para alcançarmos as 8 horas de operação diária, as linhas laterais devem irrigar quatro posições (PLD) de 2 horas cada, com 4 linhas laterais trabalhando simultaneamente. Logo:

Intensidade de aplicação de água no solo:

$$Ia(mm/h) = (Q(L/s).3600)/E1.E2$$

Q -vazão do aspersor

E1 – espaçamento entre aspersores

E2 – espaçamento entre linhas laterais

$$Ia(mm/h) = (1,05.3600)/18.18 = 11,76 mm/h$$

O espaçamento 18 × 18 m foi adotado com base no diâmetro molhado recomendado no catálogo técnico do aspersor, garantindo adequada sobreposição dos jatos e melhor uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação.

### Escolha do Aspersor

Marca: AGROPOLO 17 Modelo: NY 30

Vazão: 3,81 m<sup>3</sup>/h

Pressão de Serviço: 3,5 bar (35 mca)

Diâmetro dos bocais: 6,20 + 4,60 mm (Longo Vermelho)

Espaçamento: 18 x 18 m

Precipitação: 11,76 mm/h

$$q_a = I_a \times S_1 \times S_2 / 3600$$

$$q_a = 11,7 \times 18 \times 18 / 3600 = 1,053 \text{ l/s} = 3,79 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_a = \left( \frac{q_a}{q_{ac}} \right)^2 \times P_{ac}$$

$$P_a = \left( \frac{3,79}{3,81} \right)^2 \times 3,5 = 34,7 \text{ mca}$$

### Número de Aspersores e Linhas Laterais

Tempo de Irrigação por posição:

$$Ti = 12,03/11,76 = 1,02 \text{ horas}$$

Número de posições irrigadas por dia:

$$Np = 8/1,02 = 7,84 = 7 \text{ posições}$$

Número total de posições na área:

$$N = 463/18 = 25,72 = 25$$

$$N = 25 \cdot 2 = 50 \text{ posições}$$

Número de posições que devem ser irrigadas por dia:

$$Nd = 50/2 = 25 \text{ posições por dia}$$

Número de linhas laterais

$$Nl = 25/7 = 3,57 = 4 \text{ linhas laterais}$$

Número de aspersores da linha lateral:

$$Nasp = 108/18 = 6$$

Vazão da linha lateral

$$Qll = 6 \cdot 3,81 = 22,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

Desta forma, o sistema será composto por uma linha principal e quatro linhas laterais com 6 aspersores em cada uma, totalizando 24 aspersores. Além disso, o sistema conta com 7 linhas laterais simultâneas que irrigam 25 posições diariamente, totalizando as 50 posições na área total em função do turno de rega de 1 dia.

No dimensionamento hidráulico, inicialmente, determinou-se a intensidade de aplicação necessária para irrigar a área com base na velocidade de infiltração básica da água no solo, com intuito de não causar lixiviações superficiais no solo caso a VIB (Velocidade de Infiltração Básica) do mesmo fosse inferior a intensidade com que a água é aplicada. Em seguida, através do catálogo de Agropolo, foi feita seleção do aspersor cuja intensidade de aplicação fosse próxima ou igual a que foi determinada através dos cálculos, sendo o longo vermelho.

Dimensionamento da linha lateral:

$$QLL = 22,86 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00635 \text{ m}^3/\text{s}$$

PS = 35 mca

$$Hf_{admissível} = 0,2 \cdot 35 = 7 \text{ mca}$$

Fator de múltiplas saídas

$$F = 1/EV + 1 + 1/2xN + \sqrt{EV - 1} / 6xN^2 = 0,387$$

N=6

$$HF' = 7 / 0,387 = 18,08 \text{ mca}$$

Utilizando Hazen-Willians:

Coeficiente de Hazen Willians p/ PVC: C = 140

$$L = 216/2 = 108$$

$$HF' = 10,64x L / D^{4,87} x Q^{1,852} / C^{1,852}$$

$$D = ( 10,643.108 . \frac{0,006351,852}{18,08} )^{1/4,87} / C^{1,852} = 0,052 \text{ m}$$

Assim deve ser escolhido o primeiro diâmetro comercial acima, sendo nesse caso, o de 60 mm. Porém na realização dos cálculos do projeto foi visto que tal diâmetro proporcionaria uma velocidade de 2,84 m/s, não sendo recomendado sua utilização. Por isso foi escolhido o próximo diâmetro acima, que no caso, foi de 75 mm. Para tal cálculo, foi utilizado a seguinte equação.

$$D = \sqrt{\frac{4xQ}{\pi xV}}$$

HF para D=75mm= 1,82 mca

### **Pressão no Início da Linha Lateral**

$$Pin = PS + \frac{3}{4} HF \pm 0,5 x Z + Aa$$

Em que:

Pin – pressão no início da linha lateral

PS – pressão de serviço do aspersor

HF – perda de carga na linha lateral

Z – desnível entre o início e o final da linha lateral

Aa – altura do aspersor

$$Pin = 35 + \frac{3}{4}.1,82 + 2,5 = 38,87 \text{ mca}$$

## Dimensionamento da Linha Principal

Para determinar o dimensionamento da linha principal, levou-se em consideração a distribuição das linhas laterais, desta forma, cada um dos quatro trechos conduzirá uma vazão máxima conforme a sua localização. Portanto, utilizando a equação da continuidade abaixo e fixando o limite máximo de velocidade na tubulação de 2 m/s, tem-se os diâmetros apresentados na tabela abaixo:

**Tabela 1.** Dimensionamento hidráulico da linha principal.

| Trecho | Vazão(m³/s) | Diâm.(mm) | Comprime.(m) | Veloci. (m/s) |
|--------|-------------|-----------|--------------|---------------|
| 1      | 0,0254      | 150       | 126          | 1,65          |
| 2      | 0,01905     | 150       | 108          | 1,74          |
| 3      | 0,0127      | 125       | 108          | 1,12          |
| 4      | 0,00635     | 100       | 108          | 0,85          |

Fonte: Autor (2025).

## Perda de Carga na Tubulação

Para o cálculo das perdas de carga nas tubulações foi utilizada a equação de Hazen-Williams, expressa por:

$$hf = 10,67 \cdot \frac{L \cdot Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}}$$

em que:

**hf** – perda de carga (m);

**L** – comprimento da tubulação (m);

**Q** – vazão (m³ s⁻¹);

**C** – coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (adimensional);

**D** – diâmetro interno da tubulação (m).

Utilizando a equação de Hazen-Williams e **coeficiente C = 140**, tem-se as seguintes perdas de carga nos trechos do sistema.

**Tabela 2.** Perda de carga na tubulação da linha principal pelo método de Hazen-Williams ( $C = 140$ ).

| Trecho | Diâm.(mm) | Perda de carga(m) |
|--------|-----------|-------------------|
| 1      | 150       | 1,97              |
| 2      | 150       | 2,28              |
| 3      | 125       | 1,01              |
| 4      | 100       | 0,78              |
| Total  |           | 6,04              |

Fonte: Autor (2025).

### Diâmetro da Tubulação de Sucção

Dados:

Comprimento de sucção= 10 m

Altura Geométrica de sucção= 2 m

$$C = 140$$

$$Q = 0,0254 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$V = 1,56 \text{ m/s}$$

Diâmetro da sucção  $\geq$  diâmetro de recalque

Utilizando o mesmo método para cálculo do diâmetro e perda de carga do que na linha principal temos os seguintes resultados:

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$H_f = 0,14$$

Os resultados obtidos evidenciam que a escolha do diâmetro da tubulação de sucção exerce influência direta tanto sobre as perdas de carga quanto sobre o consumo energético do sistema, demonstrando a importância da análise conjunta entre desempenho hidráulico e viabilidade econômica.

### Diâmetro da Tubulação da Adutora

Mesmo método utilizado na sucção para cálculo de perda de carga e diâmetro, com os seguintes dados:

Comprimento da sucção: 10 metros

$$Q = 0,0254 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$V = 1,56 \text{ m/s}$$

Com os cálculos, obtemos os seguintes resultados:

$$D = 150mm$$

$$Hf = 0,68 mc$$

Os resultados obtidos também evidenciam que a escolha do diâmetro da tubulação da adutora exerce influência direta tanto sobre as perdas de carga quanto sobre o consumo energético do sistema, demonstrando a importância da análise conjunta entre desempenho hidráulico e viabilidade econômica.

### **Altura Manométrica Total**

$$P_{in} = 38,87 mca$$

$$H_f \text{ na linha principal} = 6,03 mca$$

$$H_f \text{ na sucção} = 0,14 mca$$

$$H_f \text{ na adutora} = 0,68$$

$$\text{Altura geométrica de recalque} = 15 m$$

$$\text{Altura geométrica de sucção} = 2 m$$

$$H_f \text{ localizada} = 5\% \text{ do total}$$

$$H_{man} (s/ H_{floc}) = 38,87 + 6,03 + 0,68 + 0,14 = 45,72 mca$$

$$H_{floc} (5\%) = 45,72 \cdot 0,05 = 2,29 mca$$

$$H_{man} (c/ H_{floc}) = 45,72 + 2,29 + 17 = 65 mca$$

### **Conjunto Motobomba**

A vazão total do sistema constitui um dos principais parâmetros para a seleção da motobomba, uma vez que deve ser atendida de forma contínua durante o funcionamento do sistema de irrigação, garantindo o correto desempenho hidráulico dos aspersores.

Com base no número de linhas laterais operando simultaneamente e na vazão dos aspersores presentes em cada linha, determinou-se a vazão total do sistema. Assim, a vazão e a altura manométrica do sistema foram definidas em  $91,44 m^3 h^{-1}$  e 65 mca, respectivamente, parâmetros utilizados para a seleção da bomba a ser empregada no sistema de irrigação.

Marca: IMBIL

Modelo: BEW 80/1

Diâmetro do rotor: 189mm

Potência no eixo: 32,4 cv

Potência do motor elétrico: 40 cv

Rendimento da bomba: 67,9%

Número de estágios: 1

Fator de serviço: 9%

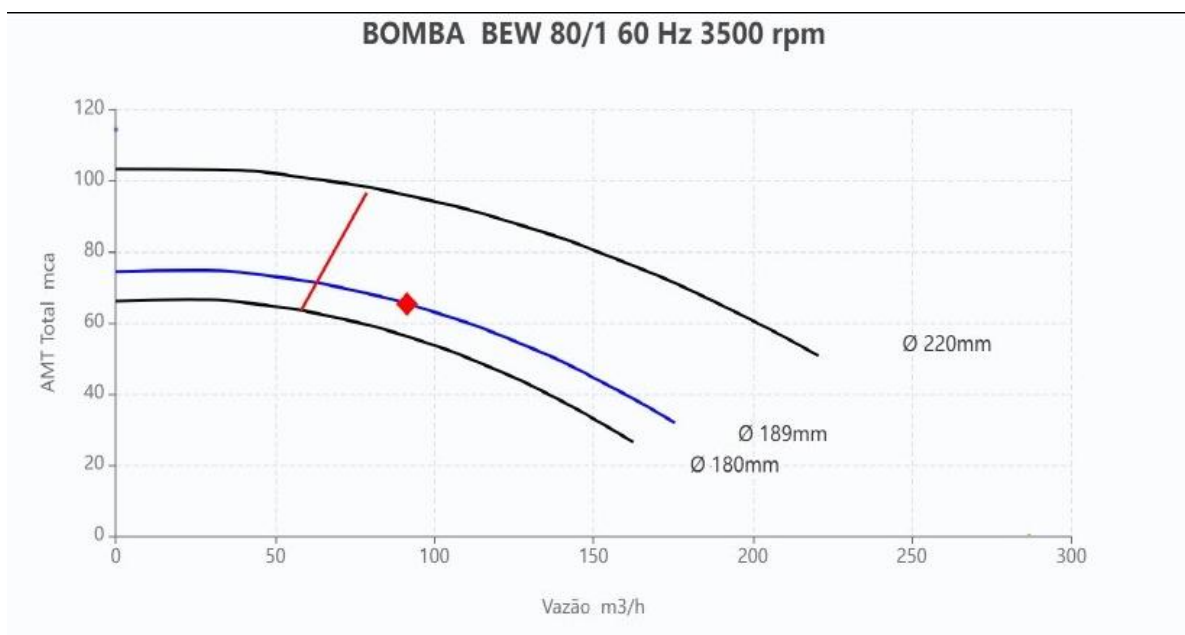
Rotação: 3500 rpm

Cálculo da potência no eixo:

$$Pot = \frac{1000 \times Q(m^3/s) \times Hm_{TOTAL}}{75 \times \text{Rendimento (decimal)}} = 32,4cv$$

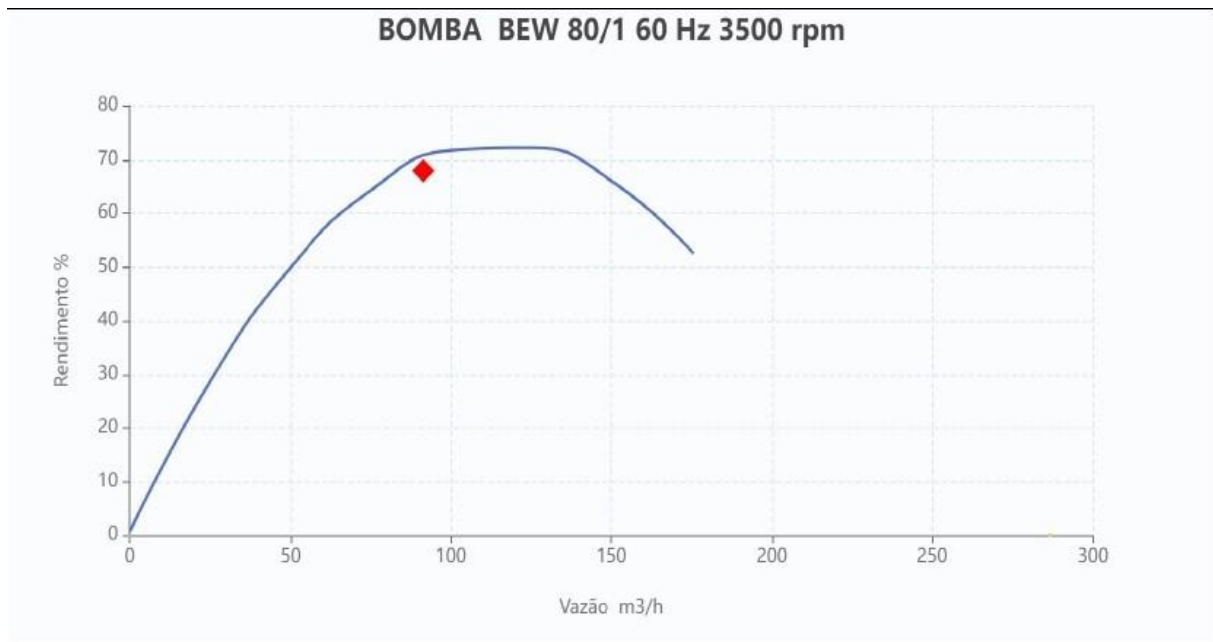
Portanto, o motor comercial com potência imediatamente superior é o de 40cv. Desta forma, tem-se um sistema de bombeamento com uma bomba BEW 80/1 e um motor elétrico de 40cv.

**Figura 2.** Curva da bomba Imbil, altura Manométrica Total em metros de coluna d'água.



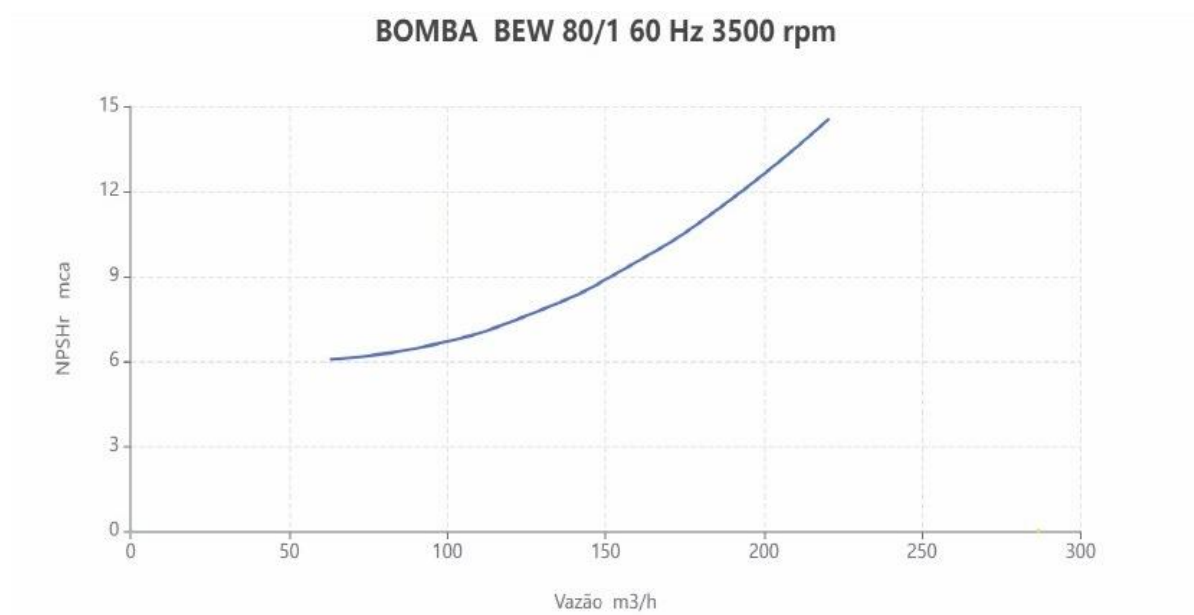
Fonte: Projetista (2025).

**Figura 3.** Curva da bomba Imbil, rendimento em porcentagem.

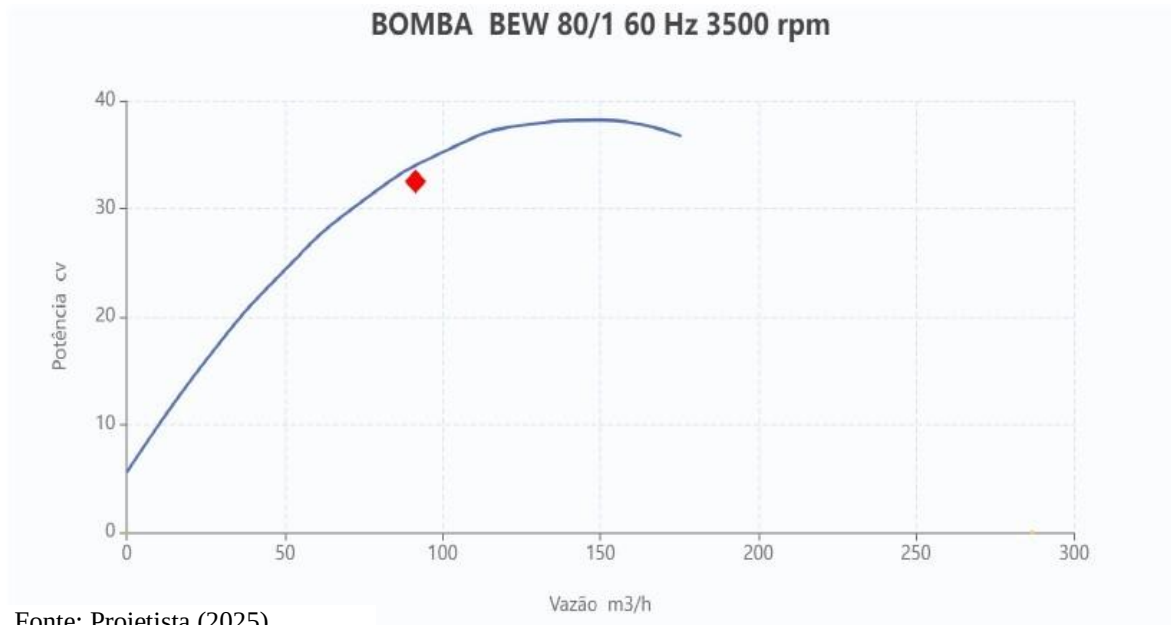


Fonte: Projetista (2025).

**Figura 4.** Curva da bomba Imbil, pressão mínima na sucção necessária para evitar a cavitação.



Fonte: Projetista (2025).

**Figura 5.** Curva da bomba Imbil, potência.**Dimensionamento com o mesmo diâmetro**

Por motivos de estudo de projeto, os cálculos hidráulicos foram todos realizados novamente, seguindo o mesmo método, porém considerando um diâmetro de 150 mm em toda a tubulação.

**Pressão no Início da Linha Lateral**

**P<sub>in</sub>**= 38,87 mca

**Cálculo linha principal**

Como calculado anteriormente, a linha principal terá 4 trechos e um comprimento de 450 metros.

**Tabela 3.** Perda de carga total na linha principal.

| Trecho | Diâm.(mm) | Perda de carga(m) |
|--------|-----------|-------------------|
| 1      | 150       | 1,89              |
| 2      | 150       | 1                 |
| 3      | 150       | 0,42              |
| 4      | 150       | 0,12              |
| Total  |           | 3,43              |

Fonte: Autor (2025).

**Cálculo da adutora**

$$Q = 91,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$HF = 0,68 \text{ mca}$$

**Cálculo na sucção**

$$Q = 91,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = 150 \text{ mm}$$

$$HF = 0,14 \text{ mca}$$

**Altura manométrica total**

$$\text{Perda de carga localizada} = 2,09 \text{ mca}$$

$$\text{Somatório das perdas de carga} = 41,78 \text{ mca}$$

$$\text{Desnível geométrico total} = 17 \text{ m}$$

$$\text{Altura manométrica total} = 60,87 \text{ mca}$$

**Conjunto Motobomba**

Com a vazão e a altura manométrica do sistema definidos, 91,44 m³/h e 60,87 mca, respectivamente, definiu a bomba a ser utilizada.

Marca: IMBIL

Modelo: INI 65200

Diâmetro do rotor: 182mm

Potência no eixo: 26,98 cv

Potência do motor elétrico: 30 cv

Rendimento da bomba: 76,77%

Número de estágios: 1

Fator de serviço: 9%

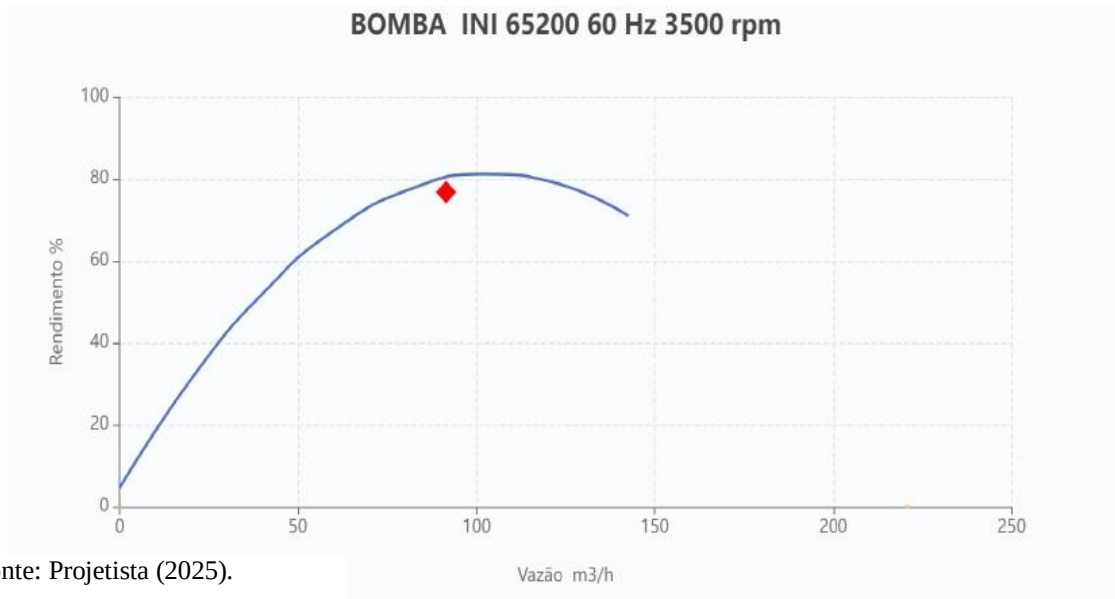
Rotação: 3500 rpm

Cálculo da potência no eixo:

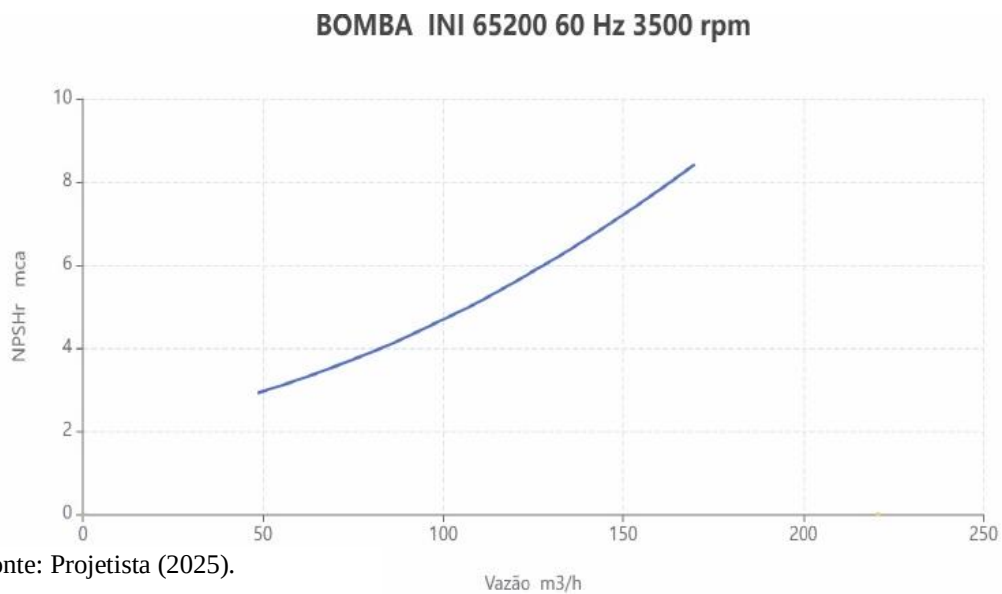
$$\frac{Pot = 1000 \times Q \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times Hm_{TOTAL}}{75 \times \text{Rendimento}(\text{decimal})} = 26,98 \text{ cv}$$

Portanto, o motor comercial com potência imediatamente superior é o de 30cv. Desta forma, tem-se um sistema de bombeamento com uma bomba INI 65200 e um motor elétrico de 30cv.

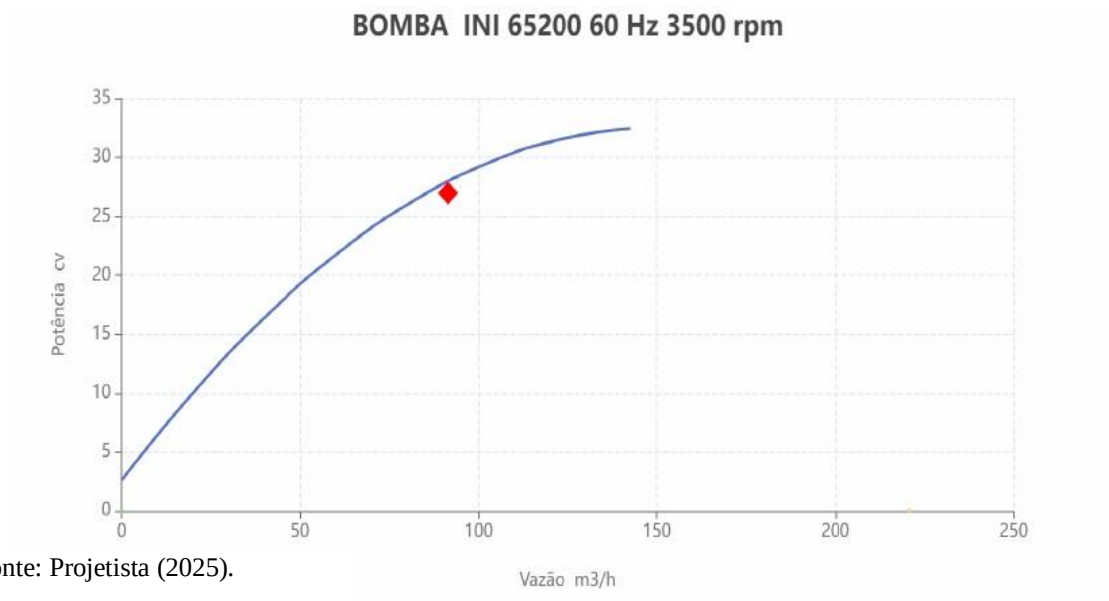
**Figura 6.** Curva da bomba Imbil, rendimento.



**Figura 7.** Curva da bomba Imbil, pressão mínima na sucção necessária para evitar a cavitação.



**Figura 8.** Curva da bomba Imbil, potência.



### Consumo Médio de Energia

#### Cálculo Bomba INI 65200

Fonte de energia: Trifásica

Fator = 0,90

Jornada de trabalho = 8 horas/dia

Fórmula do Consumo Ajustado

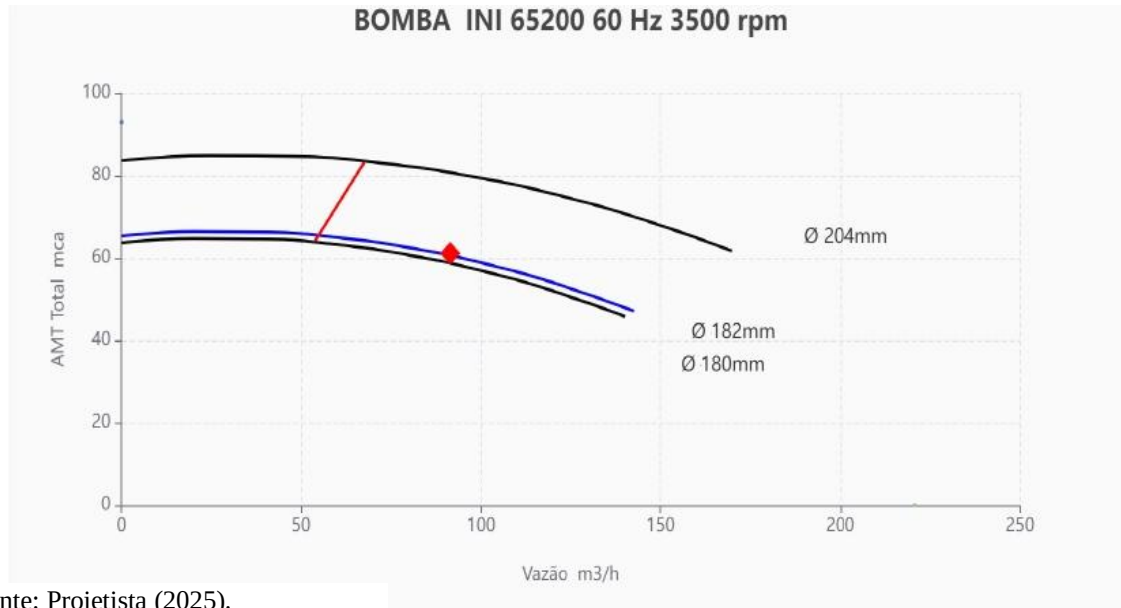
$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{\text{Potência Ativa(kW)} \times \text{Tempo(h)}}{\text{Fator de Potência}}$$

Converter potência de CV para kW

$$30 \text{ CV} \times 0,7355 \text{ kW/CV} = 22,07 \text{ kW}$$

Corrigir pela eficiência do fator de potência (FP = 0,9)

**Figura 9.** Curva da bomba Imbil, altura Manométrica Total em metros de coluna d'água.



Fonte: Projetista (2025).

A potência aparente real da bomba será:

$$22,07/0,9 = 24,52 \text{ kW}$$

Calcular o consumo diário

Se a bomba funciona 8 horas por dia:  $24,52 \times 8 = 196,16 \text{ kWh/dia}$

Calcular o consumo mensal

Se a bomba opera 30 dias/mês:  $196,16 \times 30 = 5.884,8 \text{ kWh/}$

Estimar o custo mensal (tarifa convencional em Goiás: R\$0,671/kWh)

Custo mensal =  $5.884,8 \times 0,671 = R\$3.948,68/\text{mês}$ .

### **Cálculo para o projeto com a Bomba BEW 80/1**

Vamos calcular o consumo de energia para uma bomba de 40 CV, considerando que ela é trifásica e tem um fator de potência de 0,9, operando 8 horas por dia, sendo o caso do cálculo para o projeto do Sistema com diâmetro de 150 mm.

Passo 1: Converter CV para kW

Sabemos que  $1 \text{ CV} \approx 0,7355 \text{ kW}$ , então:

$$40 \times 0,7355 = 29,42 \text{ kW}$$

Passo 2: Ajustar pelo fator de potência (FP = 0,9)

A potência real consumida será:

$$29,42 \times 0,9 = 32,69kW/h$$

Passo 3: Calcular o consumo diário

$$32,69 \times 8 = 261,52 kWh/dia$$

Passo 4: Calcular o consumo mensal

Se a bomba operar 30 dias no mês:

$$261,52 \times 30 = 7.845,6kWh/mês$$

Passo 5: Calcular o custo mensal sem desconto

Se a tarifa padrão em Goiás for R\$0,671/kWh:

$$7.845,6 \times 0,671 = R\$5.263,41/mês$$

Dessa forma podemos ver que a diferença de gasto entre as 2 duas bombas é o seguinte:

#### **Lista de materiais**

**Tabela 4.** Materiais e Orçamento para o Projeto de Irrigação Via Aspersão Convencional para projeto de tomate com diâmetro diferente para a cultura do tomate.

| Descrição                     | Quantidade | Valor         |
|-------------------------------|------------|---------------|
| Ponta fêmea sold. /eng. 4"    | 17         | R\$ 850,00    |
| Ponta fêmea sold. /eng. 6"    | 8          | R\$ 640,00    |
| Tampões de 75 mm              | 50         | R\$ 250,00    |
| Aspersores                    | 300        | R\$ 4.500,00  |
| Tampão 150mm                  | 1          | R\$ 20,00     |
| Tê 75mm com sai/par/asp/      | 300        | R\$ 7.500,00  |
| Tê redução 150/125 mm         | 1          | R\$ 60,00     |
| Tê redução 125/100mm          | 1          | R\$ 50,00     |
| Redução 150/75 mm             | 8          | R\$ 240,00    |
| Redução 125/75 mm             | 6          | R\$ 150,00    |
| Redução 100/75 mm             | 6          | R\$ 120,00    |
| Veda rosca                    | 10         | R\$ 30,00     |
| Cola pvc (1L)                 | 20         | R\$ 500,00    |
| Lixa d' água                  | 30         | R\$ 60,00     |
| Bomba BEW 80/1                | 1          | R\$ 7.000,00  |
| Motor elétrico 40 cv          | 1          | R\$ 35.000,00 |
| Válvula reguladora de pressão | 34         | R\$ 6.800,00  |

|                         |      |                |
|-------------------------|------|----------------|
| Válvula de retenção     | 1    | R\$ 150,00     |
| Registro Gaveta PVC     | 1    | R\$ 100,00     |
| Kit Ancoragem           | 1    | R\$ 300,00     |
| Curva Saída AZ 90° - 6" | 1    | R\$ 120,00     |
| Manômetro c/ escorva    | 2    | R\$ 160,00     |
| Tubo AZ – 8" (2m)       | 1    | R\$ 200,00     |
| Peça aum. AZ 4" – 6"    | 2    | R\$ 140,00     |
| Barras de 6 m 3"        | 1800 | R\$ 285.120,00 |
| Barras 6m 4"            | 18   | R\$ 844,92     |
| Barras 6 m 5"           | 36   | R\$ 9.583,20   |
| Barras 6m 6"            | 34   | R\$ 7.071,13   |
| Total                   |      | R\$ 367.559,25 |

Fonte: Autor (2025).

Na tabela 4 podemos observar a lista de materiais e Orçamento para o Projeto de Irrigação Via Aspersão Convencional para projeto de tomate com diâmetro diferente para a cultura do tomate.

Os dados referentes aos valores foram tirados de Materiais hidráulicos; Solutudo; Mais Mendes. Precificado em 5 de fevereiro de 2025.

**Tabela 5.** Materiais e Orçamento para o Projeto de Irrigação Via Aspersão Convencional para projeto de tomate com o mesmo diâmetro para a cultura do tomate.

| Descrição                     | Quantidade | Valor          |
|-------------------------------|------------|----------------|
| Ponta fêmea sold. /eng. 4"    | 17         | R\$ 850,00     |
| Ponta fêmea sold. /eng. 6"    | 8          | R\$ 640,00     |
| Barras 6m 6"                  | 1887       | R\$ 402.343,74 |
| Aspersores                    | 300        | R\$ 4.500,00   |
| Tampão 150mm                  | 51         | R\$ 1.020,00   |
| Tê 150mm com sai/par/asp/     | 300        | R\$ 24.000,00  |
| Veda rosca                    | 10         | R\$ 30,00      |
| Cola                          | 20         | R\$ 500,00     |
| Lixa d' água                  | 30         | R\$ 60,00      |
| Bomba INI 65200               | 1          | R\$ 7.000,00   |
| Motor elétrico 30 cv          | 1          | R\$ 25.000,00  |
| Válvula reguladora de pressão | 34         | R\$ 6.800,00   |
| Válvula de retenção           | 1          | R\$ 150,00     |
| Registro Gaveta PVC           | 1          | R\$ 100,00     |
| Kit Ancoragem                 | 1          | R\$ 300,00     |
| Curva Saída AZ 90° - 6"       | 1          | R\$ 120,00     |
| Manômetro c/ escorva          | 2          | R\$ 160,00     |

|                      |   |                |
|----------------------|---|----------------|
| Tubo AZ – 8” (2m)    | 1 | R\$ 200,00     |
| Peça aum. AZ 4” – 6” | 2 | R\$ 140,00     |
| Total                |   | R\$ 473.913,74 |

Fonte: Autor (2025).

## 5. RESULTADOS E DISCUÇÃO

**Tabela 6.** Comparação de consumo energético entre as bombas.

| Potência | Consumo Mensal kWh | Custo R\$    |
|----------|--------------------|--------------|
| 30 cv    | 5.884,8 kWh        | R\$ 3.948,68 |
| 40 cv    | 7.845,6 kWh        | R\$ 5.263,41 |

Fonte: Autor (2025).

A diferença é de 1314,73 por mês. Sendo a bomba de 40 cv a mais onerosa. Observa-se que pequenas reduções na perda de carga total do sistema refletem diretamente na diminuição da potência requerida pela motobomba, resultando em menor consumo energético mensal. Tal redução representa economia significativa ao longo do tempo, especialmente considerando a operação contínua de sistemas de irrigação.

**Tabela 7.** Variação de porcentagem um do outro.

|                                            | Dimensionamento 1 | Dimensionamento 2 | %       |
|--------------------------------------------|-------------------|-------------------|---------|
| Perda de carga na linha principal Hf (mca) | 6,04              | 3,43              | 43,21 % |
| Altura Manométrica Total HMT (mca)         | 65                | 60,87             | 6,35%   |
| 4Potência da bomba (CV)                    | 40                | 30                | 25%     |
| Custo mensal de energia                    | R\$5263,41        | R\$3948,68        | 24,97%  |
| Custo de Material                          | R\$367.559,25     | R\$473.913,74     | 28,93%  |

Fonte: Projetista (2025).

A Tabela 7 apresenta a variação percentual entre os dois dimensionamentos analisados para o sistema de irrigação. Observa-se que o Dimensionamento 2 proporcionou redução significativa na perda de carga na linha principal, passando de 6,04 mca para 3,43 mca, o que representa diminuição de aproximadamente 43,21%. De forma semelhante, verificou-se redução na Altura Manométrica Total (HMT), que passou de 65 mca no Dimensionamento 1 para 60,87 mca no Dimensionamento 2, correspondendo a uma redução de 6,35%. Essa

diminuição na HMT reflete diretamente na potência requerida da bomba, resultando na redução da potência do conjunto motobomba de 40 CV para 30 CV, equivalente a 25% de diminuição. Consequentemente, houve também redução no custo mensal de energia elétrica, que passou de R\$ 5.263,41 para R\$ 3.948,68, representando economia de aproximadamente 24,97%. Entretanto, apesar das vantagens relacionadas ao consumo energético, observa-se aumento no custo de material no Dimensionamento 2, que atingiu R\$ 473.913,74, enquanto no Dimensionamento 1 o custo foi de R\$ 367.559,25, correspondendo a um acréscimo de 28,93%.

Esse comportamento evidencia um trade-off entre o investimento inicial e os custos operacionais do sistema, uma vez que o Dimensionamento 2 exige maior investimento em materiais, porém proporciona menor demanda energética para o funcionamento do sistema de bombeamento. Dessa forma, sistemas projetados com menores perdas de carga e maior eficiência hidráulica tendem a reduzir o consumo de energia ao longo da operação, podendo compensar o maior custo inicial ao longo da vida útil do sistema de irrigação.

### **Cálculo financeiro do projeto**

Se formos considerar financeiramente apenas a diferença entre os valores dos projetos e o custo da energia elétrica consumida, temos a seguinte situação. Cento e seis mil, trezentos e cinquenta e quatro reais e quarenta e nove centavos é essa diferença, e a de energia elétrica com desconto mensalmente é de trezentos e cinquenta e quatro reais e noventa e oito centavos , e sem desconto é de mil trezentos e quatorze reais e setenta e três centavos

Cálculo da diferença de preço dos materiais em que a energia pagaria a diferença:

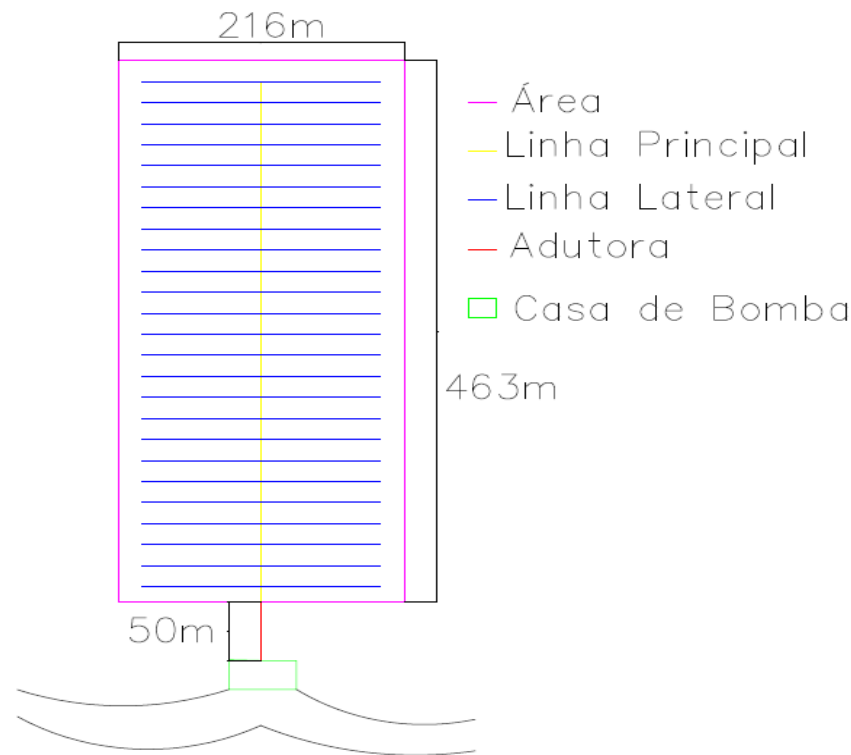
$$\frac{106354,49}{.1314,73} = 80,9 \text{ meses}$$

$$\frac{80,9}{12} = 6,74 \text{ anos}$$

Considerando a diferença de custo entre as configurações analisadas, o tempo de retorno do investimento variar conforme o período de irrigação. O tempo de retorno é de cerca de 6 anos e 9 meses.

Croqui do projeto

Figura 10. Croqui da área dimensionada.



Fonte: Autor (2025).

Valores finais de cada dimensionamento de forma a comparar os custos dos materiais e os gastos de energia mensais.

Tabela 8. Diferença de preços entre Dimensionamento 1 e Dimensionamento 2 em porcentagem.

| Custos   | Dimensionamento 1 | Dimensionamento 2 | Diferença em % |
|----------|-------------------|-------------------|----------------|
| Energia  | R\$5.263,41/mês   | R\$3.948,68/mês   | 24,97%         |
| Material | R\$ 367.559,25    | R\$ 473.913,74    | 28,93%         |

Autor (2025).

## 5. CONCLUSÃO

A análise do projeto de irrigação permitiu comparar diferentes configurações de diâmetro de tubulação e potência da bomba, avaliando seus impactos no consumo energético e no custo de implantação do sistema. Observou-se que a utilização de tubulações de maior diâmetro associadas a uma bomba de menor potência resulta em menor consumo de energia ao longo da operação do sistema.

No entanto, devido ao maior custo inicial de implantação, o retorno desse investimento ocorre em aproximadamente 6 anos e 9 meses.

Dessa forma, considerando apenas a eficiência econômica do sistema de irrigação, a adoção de tubulações de maior diâmetro se mostra mais vantajosa quando o sistema opera predominantemente fora do período de desconto tarifário, pois a economia de energia permite compensar o maior investimento inicial ao longo do tempo.

Ressalta-se que os resultados obtidos são válidos para as condições específicas consideradas neste estudo, como cultura, clima e dimensionamento do sistema, podendo variar conforme outras condições de projeto.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper 56).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 625.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2019.
- CARDOSO, F.B.; MARTINEZ, H.E.P.; SILVA, D.J.H.S.; MILAGRES, C.C.; BARBOSA, J.G. Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v.48, n.4, p. 340-349, oct-dez, 2018.
- FRIZZONE, J. A. Os Métodos de Irrigação. ESALQ/USP. Piracicaba – SP, 2017. GOMES, H. P. Engenharia de irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados Aspersão e Gotejamento. 3º Ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999, 412p.
- GEISENHOFF, L.O.; OLIVEIRA, F.C.; BISCARO, G.A.; ALMEIDA, A.S.; SCHWERZ, F. Produtividade do brócolis-de-cabeça sob diferentes sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.5, p.863-874, 2015.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>. Acesso em 04 de Outubro de 2024.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinold, 1990. 652 p.
- LOCATELLI, V.E.R.; MEDEIROS, R.D.; SMIDERLE, O.; ALBUQUERQUE, J.A.A.; WELLINGTON, F.; ARAÚJO, W.F.; SOUZA, K.T.S. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.574-580, 2014.
- Mais Mendes. Disponível em: <https://maismendes.com.br/>. Acesso em 05 de fevereiro de 2025. **Materiais hidráulicos**. Disponível em: <https://www.guiatelefone.com/empresas/goiania-go/hidraulica-para-construcoes-e-reformas/materiais-hidraulicos>. Acesso em 05 de fevereiro de 2025.
- PAZ, V. P. da S.; FRIZZONE, J. A., BOTREL, T. A., FOLEGATTI, M. V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, set./dez. 2002.
- PEREIRA, L.R.; SOUZA, J.M.; RAFAEL, A.M.; CRUZ, E.A.; TEIXEIRA, A.G.; REIS, E.F. Uniformidade e eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão em pastagem. **Agrarian**, v.9, n.32, p.156-161, 2016.

REBOUÇAS, A. C. **Água e desenvolvimento rural**. Estudos avançados, São Paulo, v.15, n. 43, set./dez. 2001.

SAAD, J.C.C.; TOMAZELA, C.; PERES, J.G.; PERES, F.C.; FRIZZONE, J.A. Otimização da rede hidráulica de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando programação linear. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.5, p.797-805,2021.

SOARES, L.A.A.; LIMA, G.S.; BRITO, M.E.B.; SÁ, F.V.S.; ARAUJO, T.T. Crescimento do tomateiro e qualidade física dos frutos sob estresse hídrico em ambiente protegido. **Revista Verde**, v.6, n.3, p.203-212, jul-set, 2011.

Solutudo.. Disponível em:  
<https://www.solutudo.com.br/empresas/go/goiania/materiais%2Bhidraulicos?pagina=1>.  
Acesso em 05 de fevereiro de 2025.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2 ed. São Carlos: Rima, 2005. p, 248.