



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
AGRONOMIA**

**CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ASPERSÃO CONVENCIONAL
FIXA E PIVÔ CENTRAL PARA A IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO ALHO**

Gustavo Barbosa Cobalchini Santos

**BRASÍLIA – DF
MAIO 2022**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ASPERSÃO CONVENCIONAL
FIXA E PIVÔ CENTRAL PARA A IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO ALHO**

Gustavo Barbosa Cobalchini Santos

Orientador: Prof.^a Dra. JORDANA MOURA CAETANO

Trabalho de conclusão de curso para graduação em agronomia, apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

**BRASÍLIA – DF
MAIO 2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

Santos, Gustavo Barbosa Cobalchini

“CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ASPERSÃO CONVENCIONAL FIXA E PIVÔ CENTRAL PARA A IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO ALHO.” / Gustavo Barbosa Cobalchini Santos; Jordana Moura Caetano. Brasília, 2022.

Monografia de graduação – Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2022.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, G. B. C. **CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ASPERSÃO CONVENCIONAL FIXA E PIVÔ CENTRAL PARA A IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO ALHO.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV, Universidade de Brasília - UnB, 2022. Trabalho de conclusão de curso.

CESSÃO DE DIREITOS

Nome do autor: Gustavo Barbosa Cobalchini Santos

Ano: 2022

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta monografia de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

GUSTAVO BARBOSA COBALCHINI SANTOS
CPF: 062.949.991-89
RUA 20, Nº 659, FORMOSINHA, FORMOSA-GO
CEP: 73813-310, FORMOSA-GO, BRASIL.
TELEFONE: (61) 99823-8858
E-mail: gustavocobalchini@gmail.com

Gustavo Barbosa Cobalchini Santos

**CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE ASPERSÃO CONVENCIONAL
FIXA E PIVÔ CENTRAL PARA A IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO ALHO**

Monografia de graduação apresentada à
Faculdade de Agronomia e Medicina
Veterinária da Universidade de Brasília,
como parte dos requisitos necessários para
obtenção de grau de Engenheiro Agrônomo.

APROVADO EM: 04/05/2022

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Jordana Moura Caetano – Orientadora
Instituição: FAV/UnB

Parecer: _____

Prof. Dr. Delvio Sandri
Instituição: FAV/UnB

Parecer: _____

Ms. Pâmella de Carvalho Melo
Bacharel e Mestre em Engenharia Agrícola

Parecer: _____

BRASÍLIA – DF
MAIO 2022

Dedico este trabalho aos meus familiares, por sempre acreditarem e torcerem pelos meus sonhos, aos meus professores por serem tão importantes nessa jornada que estou concluindo e contribuírem muito para com o meu aprendizado, e aos meus amigos por toda colaboração e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu o dom da vida e sempre esteve comigo em todos os momentos, principalmente nos difíceis, me encorajando e dando forças para seguir em frente.

Agradeço aos meus pais, Edgard Barbosa dos Santos e Andreia Cobalchini Santos, que sempre estiveram presentes em minha vida, ensinando os caminhos certos que deveriam ser seguidos, apoiando as minhas decisões e proporcionando todas as condições necessárias para a conclusão desta etapa. Ao meu irmão, Felipe Barbosa Cobalchini Santos, por sempre me incentivar e viver comigo todos os momentos da graduação, os de sofrimentos e angústias nas situações difíceis, e os de alegria nos momentos de conquistas. Vocês são meu alicerce e a razão de todas as minhas conquistas.

Também quero agradecer a todos os meus familiares, que sempre torceram e vibraram pelas minhas vitórias.

À minha orientadora, professora Dra. Jordana Moura Caetano, por me direcionar e orientar tão bem neste período, sempre disponível para solucionar minhas dúvidas e os contratemplos que surgiram no decorrer deste semestre, e me acalmar nos momentos de extrema ansiedade.

Aos professores, em especial os da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, que durante esses anos contribuíram no meu aprendizado. Aos meus amigos, principalmente aqueles que cruzaram meus caminhos durante a graduação, que compartilharam comigo angustias, medos e alegrias, obrigado por toda a parceria.

Quero agradecer as pessoas e empresas que forneceram dados, serviços e ajuda para a realização desse trabalho, em especial ao Luiz Filipe Coelho Barboza que realizou os orçamentos dos sistemas de irrigação pela empresa parceira, e ao Wildonvay Balieiro Filho, Coordenador de Operações Agrícolas do Grupo Agrícola Wehrmann, pela disponibilização de dados sobre o solo da Fazenda Gilioli, em Cristalina-GO.

Por fim, sou grato a Universidade de Brasília, por proporcionar um ambiente cheio de referências e com qualidade de aprendizagem, e a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para a realização desse sonho.

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombre, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça.

Eis que, envergonhados e confundidos serão todos os que se indignaram contra ti; tornar-se-ão em nada, e os que contenderem contigo, perecerão.”

Isaías 41:10,11.

ANÁLISE DE CUSTOS DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO ALHO

RESUMO

O cultivo do alho no Brasil tem crescido de forma expressiva, reduzindo cada vez mais a taxa de importação. O aumento da área de produção e da produtividade são fatores importantes para que esse crescimento se potencialize ainda mais, e junto a esse aumento, tecnologias como a irrigação auxiliam significativamente na elevação desses números. Atualmente, os estados que mais produzem alho no Brasil são Minas Gerais e Goiás, sendo Cristalina-GO o município de maior produção nacional, e coincidentemente o local que mais utiliza irrigação na América Latina. Desta forma, o trabalho objetivou analisar os custos referentes à implantação e funcionamento dos sistemas de irrigação de aspersão convencional fixa e pivô central na cultura do alho. Adotou-se uma área hipotética de 30 ha, no município de Cristalina-GO, onde foi realizado o projeto de cada sistema de irrigação. A empresa que colaborou com os orçamentos, estimou os materiais gastos e serviços necessários para implantação dos sistemas, e juntamente com os custos anuais de mão de obra, manutenção e energia elétrica, foi possível determinar o sistema de irrigação mais viável economicamente. Os sistemas de aspersão convencional (um com aspersores maiores e outro com aspersores menores) apresentaram valores de aquisição e custos anuais superiores ao do pivô central, aproximadamente 6,9% e 25,3%, respectivamente, maior em relação ao valor de implantação, e 35,8% e 22,3%, respectivamente, maior em relação aos custos anuais, deixando evidente que mesmo ao longo do tempo esses sistemas não irão se equivaler ao pivô central. Com isso, o sistema que possui maior viabilidade econômica, a curto e longo prazo, é o pivô central.

Palavras – chave: Agricultura irrigada. *Allium sativum* L. Análise de custo. Sistema de irrigação. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

Garlic cultivation in Brazil has grown significantly, increasingly reducing the import tax. The increase in production area and productivity are important factors for this growth to be further enhanced, and along with this increase, technologies such as irrigation significantly help to increase these numbers. Currently, the states that produce the most garlic in Brazil are Minas Gerais and Goiás, with Cristalina-GO being the municipality with the highest national production, and coincidentally the place that most uses irrigation in Latin America. In this way, the work aimed to analyze the costs related to the implementation and operation of conventional fixed sprinkler and central pivot irrigation systems in garlic. A hypothetical area of 30 ha was adopted, in the city of Cristalina-GO, where the project of each irrigation system was carried out. The company that collaborated with the budgets, estimated the materials spent and services needed to implement the systems, and together with the annual costs of labor, maintenance and electricity, it was possible to determine the most economically viable irrigation system. Conventional sprinkler systems (one with larger sprinklers and the other with smaller sprinklers) presented acquisition values and annual costs higher than those of the central pivot, approximately 6.9% and 25.3%, respectively, higher in relation to the implantation value, and 35.8% and 22.3%, respectively, higher in relation to annual costs, making it evident that even over time these systems will not be equivalent to the central pivot. Thus, the system that has greater economic viability, in the short and long term, is the central pivot.

Keywords: Irrigated agriculture. *Allium sativum L.* Cost analysis. Irrigation system. Economic viability.

LISTA DE SIGLAS

ANAPA – Associação Nacional dos Produtores de Alho.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INMET – Instituto Nacional de Abastecimento.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

PIB – Produto Interno Bruto.

SIDRA – Sistema de IBGE de Recuperação Automática.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Evolução da produção (ton.), importações e disponibilidade interna, 2017 a 2021.....	17
Figura 2: Localização de Cristalina, Goiás.....	18
Figura 3: Sequência histórica do PIB de Cristalina-GO (2010 – 2019).....	20
Figura 4: Sistema de irrigação por pivô central.....	22
Figura 5: Sistema de irrigação por aspersão convencional.....	24

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Análise do solo da propriedade Gilioli.....	25
Tabela 2: Valores orientativos dos conteúdos de água do solo na saturação (θ_{sat}), na capacidade de campo (θ_{cc}), no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) e capacidade de água disponível (CAD).....	26
Tabela 3: Evapotranspiração de referência.....	27
Tabela 4: Coeficiente da cultura (K_c) do alho.....	27
Tabela 5: Dados referentes a vazão (Q), altura manométrica (Hm) e potência do motor (P) para cada sistemas de irrigação.....	29
Tabela 6: Valores de implementação para os sistemas de aspersão convencional, microaspersão e pivô central.....	30
Tabela 7: Vida útil, custo de manutenção anual, uso de energia e mão de obra requerida para sistemas de irrigação.....	30
Tabela 8: Gastos mensais com mão de obra para os sistemas de irrigação.....	31
Tabela 9: Valores gastos com manutenção anual para cada sistema.....	31
Tabela 10: Gastos do consumo de energia elétrica com bombeamento para os sistemas de irrigação.....	32
Tabela 11: Custo anual com mão de obra, energia, manutenção e valor total para cada sistema de irrigação.....	32

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVO.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 CULTURA DO ALHO.....	15
3.2 MUNICÍPIO DE CRISTALINA-GO.....	18
3.3 PRINCIPAIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DO ALHO.....	20
3.3.1 Irrigação por pivô central fixo.....	22
3.3.2 Irrigação por aspersão convencional.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	24
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO TOMADOS COMO REFERÊNCIA.....	25
4.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS, SISTEMA E MANEJO DE IRRIGAÇÃO.....	26
4.4 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO.....	28
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6. CONCLUSÕES.....	34
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	35
8. ANEXOS.....	39
8.1 PROJETOS DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	39
8.2 ORÇAMENTO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	72

1. INTRODUÇÃO

O crescimento e introdução de espécies de hortaliças e da expansão olerícola no Brasil ocorreu nos primeiros anos do século XX, e pode ser explicado pela grande quantidade de europeus e asiáticos, que migraram para as regiões sudeste e sul do Brasil. Os cultivos até o ano de 1930 eram realizados com sementes de hortaliças importadas da Europa, Japão e Estados Unidos. Entretanto, a partir da década de 1940, programas públicos de melhoramento de hortaliças foram estabelecidos no país, contribuindo muito para a expansão olerícola no Brasil (MELO et al., 2016).

As hortaliças são classificadas como tuberosas (cuja parte comestível está abaixo do solo), herbáceas (cuja parte comestível está acima do solo) e fruto (onde é utilizado o fruto, verde ou maduro, para o consumo) (BEVILACQUA, 2006). As culturas oleráceas possuem bastante importância, além do perfil nutricional relevante, apresentam poucas calorias e um bom nível de vitaminas e minerais necessários para a manutenção da saúde (NAKAYAMA, 2006).

O alho (*Allium sativum L.*) é uma hortaliça tuberosa, que possui grande importância para o Brasil no que se refere ao seu consumo. Apresenta acentuada característica de sabor e aroma, sendo bastante utilizada como condimento na culinária brasileira e em quase todos os países, além de possuir propriedades medicinais que são reconhecidas cientificamente (RESENDE et al., 2005). A produção do alho no Brasil cresce ano após ano e, atualmente, a quantidade produzida no país é de 155,7 mil toneladas (IBGE 2020). Entretanto, a importação da hortaliça é algo necessário, visto que apenas a produção interna não é capaz de suprir o consumo da população brasileira (RESENDE, 2018). Com base nisso, e se baseando na oferta, consumo e importação do alho, é visível que o Brasil ainda possua potencial de crescimento na produção da cultura.

O crescimento na produção do alho está diretamente ligado a tecnologias que aumentem a produtividade da cultura. A irrigação é uma tecnologia utilizada para aplicar água ao solo, possibilitando posição equivalente ao que as plantas consomem e perdem água para atmosfera pelo processo de evapotranspiração, e além de ser uma técnica muito importante para o alho, já que é muito sensível à falta de água e à ocorrência de veranicos, também é uma tecnologia que auxilia nessa potencialização na produção da cultura (GRUNDLING et al., 2021).

Indubitavelmente, a irrigação praticada de forma correta, com a lâmina bruta adequada para a cultura, e em conjunto com outras práticas agrônômicas proporciona máxima produtividade. Estudos mostram que o cultivo irrigado apresenta resultados superiores ao cultivo em sequeiro, deixando evidente que o uso correto da irrigação pode ser bastante rentável. O investimento para

implantar e instalar o sistema de irrigação na área é relativamente alto, entretanto, esse investimento é compensado com os lucros advindo de produtividades mais elevadas, redução do custo unitário de produção, utilização do solo durante todo o ano com até três safras ao ano e valorização da propriedade rural (MENDES, 1998; TESTEZLAF, 2017).

Atualmente, grande parte das áreas de cultivo de alho no Brasil já utiliza a irrigação para aumentar a produtividade. Cristalina-GO, por exemplo, é o município que mais utiliza a irrigação na América Latina, além de ser o município brasileiro com maior produção de alho no país (FURQUIM, 2017; IBGE, 2020). Os principais sistemas de irrigação utilizados na produção do alho são o pivô central, a aspersão convencional e a microaspersão, sendo que nas regiões que mais produzem o alho, a região centro-sul, os sistemas por aspersão são mais utilizados, e nas regiões do semiárido os sistemas por irrigação localizada são mais frequentes (SOUZA et al., 2019).

2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho foi realizar a análise de custos de implantação dos sistemas de irrigação por pivô central e aspersão convencional, para a cultura do alho, considerando as condições edafoclimáticas do município de Cristalina-GO.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CULTURA DO ALHO

O alho (*Allium sativum L.*), pertencente à família Alliaceae, é uma hortaliça que possui alto valor condimentar e é bastante consumida pela população brasileira. A espécie que surgiu na Ásia Central foi introduzida no Ocidente a partir de plantios realizados na costa do Mar Mediterrâneo, e chegou ao Brasil na época do descobrimento devido ao uso do alho no cardápio das tripulações portuguesas (RESENDE et al., 2016).

O alho é uma planta herbácea que possui folhas lanceoladas, estreitas e cerosas. Possui um pseudocaulo curto, que é formado pelas bainhas das folhas, na qual se forma o bulbo na parte inferior. O bulbo é arredondado contendo 5 a 56 bulbilhos, que se originam através do desenvolvimento das gemas do caule e são envoltos por brácteas (proteção individual dos bulbilhos) com coloração branca ou de tons arroxeados (TRANI, 2009). É uma planta assexuada e

a forma de propagação deste vegetal se dá por meio do plantio dos bulbilhos (RESENDE et al., 2000).

O bulbilho e as folhas além de possuírem substâncias aromáticas, possuem alto valor nutricional, rico em amido e compostos minerais importantes para a saúde (LEONEZ, 2008). É muito utilizado na culinária, sendo consumido “in natura”, de forma cozida ou frito e, principalmente, como condimento para compor temperos. Também é usualmente utilizada na medicina, já que possui substâncias como a alicina, que proporciona efeitos terapêuticos, além de ser um ótimo anti-inflamatório, antisséptico e antiviral, e compor remédios para evitar prejuízos ao aparelho gastrointestinal, prevenir resfriados e conter infecções (HABEL et al., 2013).

Após chegar ao Brasil, o alho levou mais de quatro séculos para deixar de ser cultivado nas hortas das famílias, apenas para suprir as necessidades daquele grupo, e passar a ter importância econômica no país. Foi nos meados do século XX que a hortaliça começou a ser cultivada por pequenos produtores e virou uma cultura capaz de gerar riqueza no campo (RESENDE et al., 2016).

A produção de alho no Brasil é dividida em duas categorias: produtores que utilizam cultivares de alho nobre roxo e produtores de alho comum (chamado de tropical ou semi-nobre). As cultivares de alho nobre possuem bulbos de alto valor comercial, são originárias do Sul do Brasil, e necessitam de mais de 13 horas de fotoperíodo e temperaturas mais baixas para bulbificação. Já as cultivares de alho comum ou semi-nobre são mais rústicas e menos exigentes quanto às questões edafoclimáticas, possuem menos aceitação comercial, porém são bastante utilizadas por pequenos produtores. Essas cultivares possuem menor exigência em fotoperíodo, necessitando apenas de 9 horas para formação de bulbos. As cultivares de alho comum podem ser plantadas em todas as regiões do Brasil, já as cultivares de alho nobre roxo apenas bulbificam em algumas regiões se forem submetidas a vernalização em pré-plantio (RESENDE et al., 2022).

A vernalização ou frigorificação dos bulbos em pré-plantio, consiste em submeter os bulbos-sementes a baixas temperaturas, entre 3 a 5 °C, por um determinado período de tempo, que é definido em função das variações de temperatura de cada região e época de plantio, variando de 45 a 60 dias. Esse processo faz com que a planta se torne menos exigente em fotoperíodo e temperatura baixa e possibilitando a diferenciação e bulbificação em locais que não apresenta características climáticas adequadas para tal cultivo (MACÊDO et al., 2009). Um exemplo é o cultivo do alho nobre nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e microrregiões do Nordeste, que só se tornou possível com a adoção da prática de vernalização (RESENDE et al., 2004).

Em relação à produção mundial do alho, segundo o MAPA (2017), no ano de 2017 o Brasil foi o 16º maior produtor mundial da hortaliça, com 120,9 mil toneladas. Os maiores produtores mundiais são China (22,2 milhões de toneladas) e Índia (1,7 milhão de toneladas). Já sobre a importação, o Brasil produz apenas 43% da quantidade consumida pela população, e levando isso em consideração, a importação do alho de outros países é algo necessário. Aproximadamente 159 mil toneladas foram importadas em 2017, sendo a Argentina o principal país importador, seguido da China e Espanha.

Atualmente, segundo a CONAB (2021), estima-se que a produção nacional da hortaliça em 2021 foi de 168,1 mil toneladas, e que a quantidade importada foi a menor desde o ano de 2017, com 125,7 mil toneladas. Assim, a produção brasileira atingiu aproximadamente 57% da disponibilidade interna total, quase 15% a mais em relação a 2017, conforme observado na Figura 1.

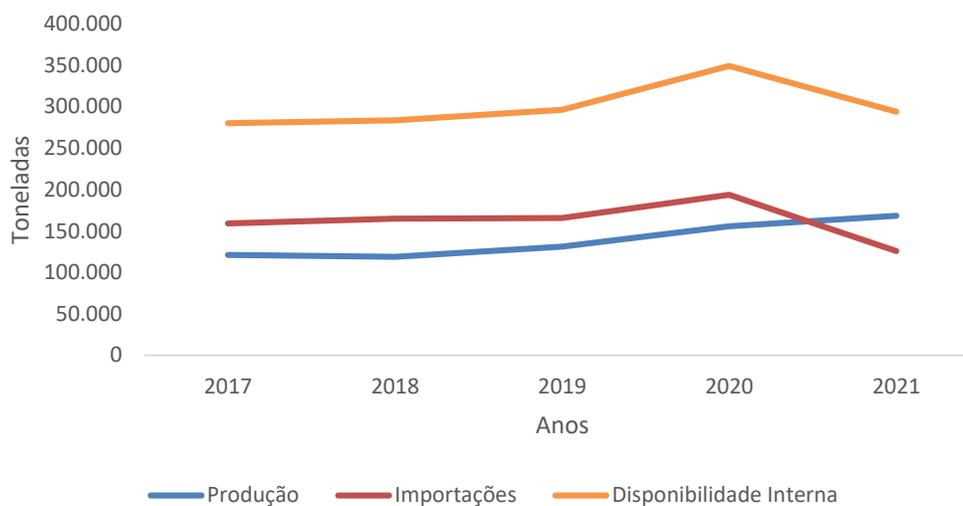


Figura 1: Evolução da produção, importações e disponibilidade interna no período de 2017 a 2021. Fonte: Conab (2021).

A evolução da produção e a redução nas importações (Figura 1) pode ser explicado por diversos motivos, mas principalmente devido ao aumento da área de produção no país e o aumento da produtividade. De acordo com o IBGE (2020), a área de produção de alho no Brasil foi de 10,6 mil ha em 2017 para 12,2 mil ha em 2020, e a produtividade média foi crescente em relação ao aumento de área, pulando de 11 t ha⁻¹ para aproximadamente 13 t ha⁻¹ em 2020.

Essa ampliação da área e da produtividade nos últimos anos indica que o país tem potencial de crescimento, pois constantemente novas tecnologias, como a irrigação, surgem para auxiliar o produtor na melhoria dos resultados de produtividade das suas lavouras. Segundo a ANAPA (2021) os novos investimentos em tecnologias impulsionaram a produção do alho em 2021 e, possivelmente, a produção recorde de alho no Brasil em 2021 foi devido a estes investimentos.

Em relação à área plantada e produção brasileira, os estados de Minas Gerais e Goiás se destacam. Conforme dados do IBGE (2020), a área plantada de alho no país é de aproximadamente 12,2 mil ha, sendo que mais de 60% estão localizadas nos estados de Minas e Goiás. Sobre a produção, das 155,7 mil toneladas produzidas de alho em 2020, 61,9 mil toneladas são produzidas no estado de Minas Gerais e 53,6 mil toneladas no estado de Goiás. Entretanto, em uma escala municipal, a cidade que mais produz a hortaliça no Brasil é Cristalina-GO, com 40 mil toneladas.

3.2 MUNICÍPIO DE CRISTALINA – GO

O município de Cristalina está localizado no estado de Goiás (Figura 2), especificamente no Leste Goiano e na Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (Ride-DF), na latitude 46° 48' S e longitude 16° 20' W.

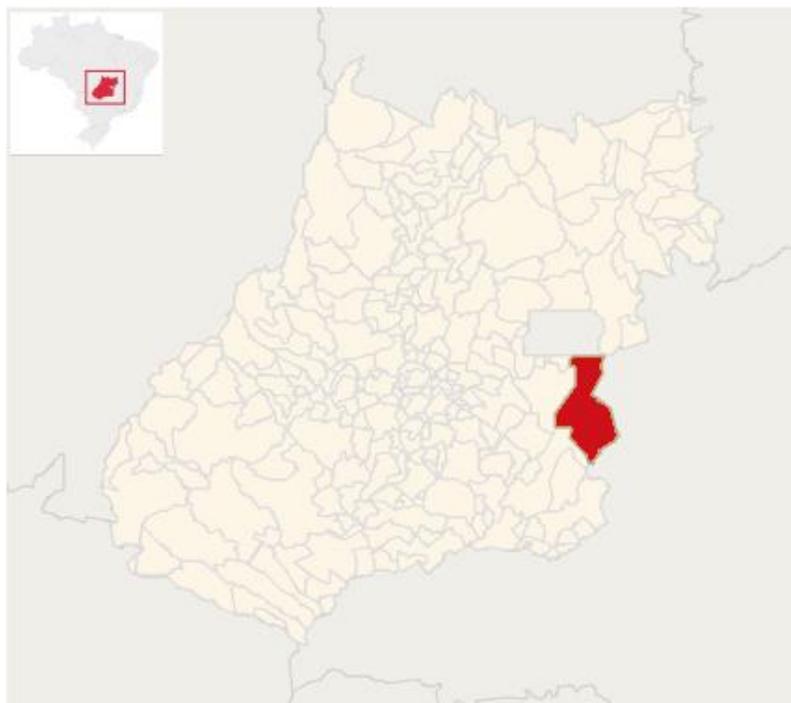


Figura 2: Localização do município de Cristalina, Goiás
Fonte: IBGE (2020)

Foi criada em 1916 pela Lei Estadual nº 533, deixando de ser distrito e passando a ser um município autônomo. A instalação do município se deu no dia 15 de janeiro de 1917, com denominação de São Sebastião dos Cristais. Esse nome foi alterado para Cristalina pela Lei nº 577, de 31 de maio de 1918, e é conservado até os dias de hoje (CRISTALINA, 2016). O município possui uma área de 6.163,922 km², com população de 46.580 pessoas (com base no último censo realizado em 2010), entretanto estima-se que atualmente a população já ultrapassa 61 mil pessoas (IBGE, 2020).

A região tem clima considerado tropical de altitude (tipo Aw, segundo Köppen), possuindo duas estações bem definidas, a seca e fria nos períodos de outono-inverno, e a úmida e quente no verão. A precipitação anual média é de 1.600 mm e a temperatura média anual é de 22 °C, possuindo mínimas de até 5 °C e máximas de 32 °C. Em relação ao tipo de solo, os que predominam na região são os Cambissolos, Latossolos Vermelho, Latossolos Vermelho Amarelo e os Plintossolos Pétricos (CARNEIRO et al., 2011). O município é considerado privilegiado em questões hídricas, por ser banhado por 256 rios, riachos e nascentes (SANTOS et al., 2019).

Durante muitos anos, Cristalina teve a exploração de cristais como o principal foco econômico do município. Entretanto, com a construção de Brasília, muitos produtores da região Sul migraram para o planalto central, e por esse motivo o desenvolvimento na agricultura foi crescente. Hoje, o ramo agrícola é a principal categoria que gera renda, empregos e riqueza econômica na região (SANTOS et al., 2019).

Cristalina possui notoriedade no quesito produção em diversas culturas. Na produção de sequeiros se destacam a soja, milho, feijão, algodão, sorgo e arroz. O município é o maior produtor de alho e milho doce do país e possui a maior área irrigada de trigo do Brasil. Tem destaque na produção olerícola no Centro-Oeste, principalmente na cultura do alho, da cebola e da batata e na produção cafeeira (CRISTALINA, 2016).

O Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário desde os anos 2000 ultrapassa o PIB gerado pelas indústrias e serviços da região. A Figura 3 mostra a evolução do PIB agropecuário, de indústria e de serviço no município de Cristalina. Atualmente o município possui o 7º lugar no PIB agropecuário do país (MAPA, 2021).

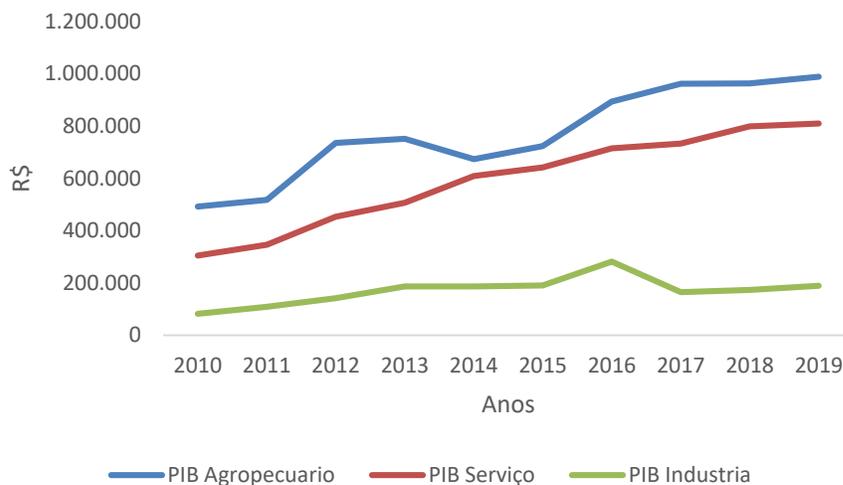


Figura 3. PIB de Cristalina-GO no período de 2010 a 2019.
Fonte: IBGE (2019)

Essa expansão agrícola pode ser explicada pelos fatores naturais que são favoráveis no município e por ser uma região beneficiada por mais de 250 rios e nascentes. Isso contribuiu para o emprego de novas tecnologias, que certamente elevou o nome da cidade no quesito agricultura, a irrigação (SANTOS et al., 2019).

O município é considerado o que mais utiliza a irrigação na América Latina. Com base em estudos, estima-se que em 2017 Cristalina-GO abrangia uma área irrigada de 85.360 hectares ocupada por 776 pivôs centrais (CESSA et al., 2020). Em relação aos principais sistemas de irrigação utilizados no município, o pivô central é o mais usado, principalmente na produção de grãos e hortaliças como o alho, cebola e batata (FURQUIM et al., 2016).

3.3 PRINCIPAIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DO ALHO

O termo irrigação possui várias definições e foi conceituado por diversos autores durante a história. Segundo TESTEZLAF (2017), a definição de fácil entendimento para irrigação é, técnicas, formas ou meios utilizados para aplicar água artificialmente às plantas, procurando satisfazer suas necessidades e visando a produção ideal para o seu usuário. Essa técnica é utilizada desde a pré-história onde o homem desviava os cursos d'água para suas plantações, entretanto, sabe-se que atualmente a utilização da irrigação, principalmente associada a outras técnicas, é provavelmente a prática agrícola que permite maior aumento de produtividade na agricultura (SOUSA, 2011).

O ótimo desenvolvimento das plantas está diretamente ligado com a presença de água nas raízes, evitando a ocorrência de estresse hídrico e deixando o solo em condições favoráveis para seu desenvolvimento. O estresse hídrico é evitado com a técnica da irrigação, que praticada de forma correta, isto é, no momento certo e com a aplicação da quantidade adequada de água, permite a obtenção de produtividade acima das médias das culturas que são cultivadas na condição de sequeiro (TESTEZLAF, 2017).

A suplementação das necessidades hídricas por meio da irrigação é essencial para o desenvolvimento de hortaliças, visto que o crescimento das plantas é intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. Assim, mesmo quando há ocorrência de chuvas em regiões úmidas, a deficiência de água no solo em período de veranicos é fator limitante para a obtenção de produtividades elevadas e de boa qualidade (MAROUELLI et al. 2011).

O alho no Brasil é praticamente todo irrigado, pois além da cultura ser muito sensível ao déficit hídrico, o seu cultivo ocorre em período de seca na maioria das regiões produtoras (MAROUELLI et al., 2014). O cultivo da cultura é realizado com êxito em quase todo o país, mas a época de plantio varia muito de região para região, sendo que no sudeste, centro-oeste e nordeste o período vai desde o final de fevereiro até junho, mas preferencialmente nos meses de março e abril. Já na região sul o plantio se inicia a partir de maio, se estendendo até julho (RESENDE et al., 2004). Em relação a época de plantio do alho na cidade de Cristalina-GO, produtores e consultores do município afirmam que já existem variedades que o cultivo é realizado no final de dezembro ou início de janeiro.

Dentre os tipos de irrigação utilizados na cultura do alho, os sistemas por aspersão são os mais comuns, sendo o pivô central o mais utilizado nas grandes áreas de produção do Cerrado e a aspersão convencional nas demais regiões produtoras (SOUZA et al., 2019).

O pivô central e a aspersão convencional são sistemas de irrigação que se enquadram no método de aspersão. Esse método de irrigação é o que melhor simula a chuva, sendo que a água é aplicada sobre as plantas e sobre a superfície do solo na forma de gotas. Essa água é bombeada de uma fonte, distribuída por uma rede de tubulações e aspergida no ar na forma de pequenas gotas (TESTZLAF, 2017).

3.3.1 Irrigação por pivô central fixo

A cultura do alho é irrigada principalmente pelos sistemas de aspersão. De acordo com estudos, mais de 95% da área irrigada de alho no Brasil são por sistemas de aspersão, sendo que cerca de 50% da produção nacional de alho é obtida em áreas irrigadas por pivô central. Esse sistema é adotado com sucesso em plantios extensivos, principalmente nos estados de Goiás e Minas Gerais (MAROUELLI et al., 2014).

O pivô central (Figura 4) é constituído por uma linha lateral, onde estão instalados os aspersores, e esses são montados sobre torres metálicas com rodas pneumáticas movimentadas por motores elétricos. Uma das extremidades desta linha lateral é fixada no centro da área e é por lá que a água entra no sistema. O funcionamento do pivô central se dá através de movimento circular, onde o ponto fixo é o centro da área. É um equipamento mecanizado que irriga o local de forma circular, aplicando a lâmina de água desejada sem que qualquer pessoa permaneça no local (MAROUELLI et al., 2014).



Figura 4. Sistema de irrigação por pivô central utilizando aspersores para aplicação de água.
Fonte: MAROUELLI et al. (2014)

O preço de aquisição e instalação desse sistema pode ser o mais alto dentre os sistemas de aspersão, isso vai depender do tamanho da área a ser irrigada, áreas menores possuem preços elevados em relação a áreas maiores. O custo é dado por unidade de área, e segundo consultores e

projetistas, o valor varia entre R\$ 15.000 a R\$ 25.000 ha⁻¹, podendo chegar até R\$ 70.000 ha⁻¹ se o tamanho do pivô for pequeno. Entretanto, por ser um sistema automatizado, a exigência de mão de obra é pequena, e isso em longo prazo pode ser mais viável economicamente em relação a outros sistemas de aspersão (MAROUELLI et al., 2014).

A boa uniformidade de distribuição de água, a alta eficiência de irrigação (85% a 90%) e o menor uso de energia em relação aos outros sistemas de aspersão são as principais vantagens do pivô central. Sobre as desvantagens, as principais são a dificuldade do manejo para atender as necessidades de água em vários plantios escalonados e a complexidade para mudar o equipamento para outras áreas, fazendo com que o manejo errado do solo e a rotação inadequada de culturas favoreçam a maior incidência de patógenos no solo (MAROUELLI et al., 2014).

3.3.2 Irrigação por aspersão convencional

O sistema de irrigação por aspersão convencional (Figura 5) pode ser classificado em portátil, semiportátil e fixo, e questões econômicas como o valor de aquisição, mão de obra, e gasto de energia variam de acordo com essa classificação. No sistema portátil, todos os componentes são conduzidos manualmente dentro da área, e por isso requer o uso intensivo de mão de obra. Já no semiportátil, apenas as linhas laterais e os aspersores são deslocados manualmente, necessitando menores serviços em relação ao sistema portátil. No sistema fixo esse deslocamento de componentes não ocorre, reduzindo muito o valor gasto com mão de obra (MANTOVANI et al., 2009).

Basicamente, o sistema é constituído por um conjunto motobomba, uma linha adutora, uma linha principal, linhas laterais e aspersores necessários para irrigar a área. Esse sistema irriga áreas de todos os formatos, podendo ser usado em qualquer tipo de solo e de terrenos. A uniformidade de distribuição de água no sistema de aspersão convencional normalmente é menor que no pivô central, principalmente nos sistemas portáteis e semiportáteis, e a eficiência de irrigação depende do tipo de sistema, manutenção, dimensionamento hidráulico e condições climáticas (MAROUELLI et al., 2009).



Figura 5. Sistema de irrigação por aspersão convencional.
Fonte: MAROUELLI et al. (2014)

O custo de aquisição e instalação possui variações com base no sistema escolhido, e é inversamente proporcional a quantidade de mão de obra utilizada. Sistemas portáteis que possuem mão de obra elevada possuem menores custos com implantação, já os sistemas semiportáteis com mão de obra moderada possuem custo de implantação moderado, e sistemas fixos que quase não necessita de mão de obra se torna mais caro, segundo consultores e projetistas o valor está entre R\$ 20.000 a R\$ 30.000 ha⁻¹ (MAROUELLI et al., 2014).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

A análise de custos dos sistemas de irrigação foi realizada para a cultura do alho cultivado no município de Cristalina-GO, assim, foi necessário para a realização dos dimensionamentos e levantamento de materiais necessários em cada projeto, os dados de área, clima, solo e informações sobre a cultura. Para a execução dos projetos foi considerado que o tamanho de área, características do solo, clima e outros fatores importantes eram iguais ou semelhantes para todos os sistemas de irrigação em análise.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO TOMADOS COMO REFERÊNCIA

O município de Cristalina-GO apresenta uma quantidade considerável de áreas irrigadas, que segundo produtores e consultores técnicos da região, a área média irrigada para essa região é de 30 a 40 ha.

O cultivo de hortaliças em sistema de irrigação por aspersão convencional é a preferível em áreas retangulares para um melhor manejo e uma melhor disposição das tubulações na área, já quando se utiliza o pivô central essas áreas são necessariamente circulares.

Foi adotado como referência a área 30 ha para todos os sistemas, onde, nos projetos de aspersão convencional as dimensões foram de 400 x 750 m e para o projeto de pivô central o raio foi de 309 m. A distância da captação de água adotada foi 350 m para todos os sistemas.

Para informações referentes ao solo, foi utilizado dados da Fazenda Gilioli, Grupo Agrícola Wehrmann, em Cristalina-GO, sob coordenadas geográficas 16° 8' 50"S 47° 29' 8,9"W e altitude de 980 m. Os solos do local são do tipo Latossolo Vermelho-amarelo e o relevo é suavemente ondulado a plano e análise de fertilidade e textura conforme Tabela 1.

Tabela 1. Fertilidade do solo da Fazenda Gilioli, Grupo Agrícola Wehrmann, em Cristalina-GO.

Atributo	Valor
pH (CaCl ₂)	6,2
Mat. Orgânica (dag kg ⁻¹)	2,35
Sat. Al (m%)	0
Sat. Base (V%)	65
Argila (%)	54,5
Silte (%)	42,0
Areia (%)	3,5
Classificação do solo	Argiloso

Com base nos dados de textura do solo (SOARES et al., 2005), a velocidade de infiltração básica (VIB) foi definida. A velocidade de infiltração básica não depende fundamentalmente da textura do solo, entretanto, para a realização deste trabalho foi considerada a VIB dos solos argilosos de forma genérica. Para essa condição o valor tende a ser menor que 5 mm h⁻¹ (BRANDÃO, 2003), assim, adotou-se o valor de 5 mm h⁻¹ para a VIB do solo.

A capacidade de água disponível (CAD) no solo foi determinada com base na Tabela 2, que mostra os valores orientativos dos conteúdos de água do solo na saturação (θ_{sat}), na capacidade de campo (θ_{cc}), no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) e a capacidade de água disponível (CAD), com base na textura dos solos do Cerrado. O valor da CAD de um solo argiloso é 115 mm m^{-1} (foi adotado o valor médio tabelado). Considerando a profundidade efetiva do sistema radicular do alho igual a 0,30 m (ALLEN et al., 2006), tem-se que a CAD é igual a 34,5 mm.

Tabela 2. Valores orientativos do conteúdo de água do solo na saturação (θ_{sat}), na capacidade de campo (θ_{cc}), no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) e capacidade de água disponível (CAD).

Textura do solo	Conteúdos de água			CAD (mm m^{-1})
	θ_{SAT} (m^3/m^3)	θ_{CC} (m^3/m^3)	θ_{PMP} (m^3/m^3)	
Arenoso	0,32 – 0,42	0,10 – 0,15	0,03 – 0,06	60 – 70
Areia franca	0,32 – 0,47	0,12 – 0,18	0,04 – 0,10	70 – 90
Franco arenoso	0,34 – 0,51	0,17 – 0,26	0,06 – 0,13	110 – 130
Franco	0,42 – 0,51	0,22 – 0,31	0,09 – 0,16	130 – 150
Franco siltoso	0,42 – 0,55	0,23 – 0,34	0,08 – 0,15	150 – 190
Siltoso	0,42 – 0,55	0,30 – 0,32	0,09 – 0,11	200 – 220
Franco argilo siltoso	0,40 – 0,49	0,20 – 0,30	0,13 – 0,19	80 – 120
Franco argiloso	0,47 – 0,51	0,28 – 0,38	0,16 – 0,22	120 – 160
Franco argilo arenoso	0,49 – 0,53	0,32 – 0,40	0,16 – 0,23	160 – 180
Argilo arenoso	0,47 – 0,53	0,28 – 0,40	0,20 – 0,30	90 – 100
Argilo siltoso	0,49 – 0,55	0,38 – 0,50	0,22 – 0,36	150 – 160
Argiloso	0,51 – 0,58	0,39 – 0,55	0,30 – 0,45	100 – 130

Fonte: PEREIRA et al. (2010).

4.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS, SISTEMA E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O município de Cristalina possui duas estações meteorológicas. A estação utilizada foi a de Cristalina GO, sob coordenadas geográficas com latitude -16.78 e longitude -47.61, com dados disponíveis a partir do ano de 2008, que foram utilizados para a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) (Tabela 3) pela metodologia de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 2006) para o período de 14 anos (2008 – 2021). Foram utilizados dados de temperatura do ar, velocidade do vento a 2 m de altura, umidade relativa do ar e do saldo de radiação, obtidos pelo portal do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia),

Tabela 3. Evapotranspiração de referência obtido na estação meteorológica de Cristalina-GO.

Mês	ET _o (mm dia ⁻¹)
Janeiro	4,190
Fevereiro	4,099
Março	3,678
Abril	3,397
Mai	3,034
Julho	2,925
Agosto	4,234
Setembro	5,044
Outubro	4,739
Novembro	3,852
Dezembro	4,058

O coeficiente (K_c) do alho foi definido conforme os estádios de desenvolvimento da cultura (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficiente da cultura (K_c) do alho.

Fase do Desenvolvimento da cultura	K _c
Estádio Vegetativo	0,80 – 0,85
Estádio de Crescimento do Bulbo	1,00 – 1,05
Estádio de Maturação	0,70 – 0,75

Fonte: MAROUELLI et al., 2014

Foram considerados os maiores valores de Evapotranspiração de referência (ET_o) e Coeficiente da cultura do alho (K_c do alho) para a realização dos projetos, visto que o pior cenário deve ser levado em consideração para o dimensionamento dos projetos.

O projeto foi realizado com base no livro Manual de irrigação (BERNARDO et al., 2019).

Foram realizados dois projetos de aspersão convencional, um utilizando aspersores maiores (IS - 30) e outro utilizando aspersores menores (5022SD), e um projeto de pivô central.

Cada sistema de irrigação possui eficiência de aplicação específica e para a realização do dimensionamento dos projetos foram adotadas as eficiências máximas recomendadas na literatura, visando uma boa distribuição de água na área de produção. Segundo MAROUELLI et al. (2014),

a eficiência de aplicação aceitável para aspersão convencional é de 80% e para pivô central é 85%. Para o projeto de aspersão convencional utilizando aspersores menores, foi adotado uma eficiência de aplicação igual a 90%.

A lâmina bruta no projeto de aspersão convencional com aspersores maiores (Projeto de aspersão 1) foi de 12,94 mm, e o aspersor utilizado foi o modelo IS - 30, fabricado pela Agropolo, com intensidade de aplicação de $3,89 \text{ mm h}^{-1}$, vazão de $1,262 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, pressão de serviço de 35 m.c.a. e espaçamento de 18 x 18 m. Assim, o layout da área ficou com uma disposição possuindo 8 setores, com 22 linhas laterais, e todas as linhas laterais com uma quantidade de 5 aspersores. O tempo de irrigação adequado do aspersor em questão para cada setor é de 3 h e 20 minutos, sendo necessário dois dias para irrigar a área total (13 horas e 20 minutos por dia).

No projeto de aspersão convencional utilizado aspersores menores (Projeto de aspersão 2), a lâmina bruta foi de 11,5 mm. O aspersor escolhido foi o 5022SD, fabricado pela NaanDanJain, com intensidade de aplicação de $4,7 \text{ mm h}^{-1}$, vazão de $0,680 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, pressão de serviço de 35,7 m.c.a. e espaçamento de 12 x 12 m. O layout da área ficou com um desenho contendo 12 setores, com 34 linhas laterais, e todas as linhas laterais possuindo 5 aspersores. O tempo de irrigação adequado do aspersor escolhido para cada setor é de 2 horas e 27 minutos, sendo necessários dois dias para irrigar a área total (14 horas e 42 minutos por dia).

No projeto de pivô central a lâmina bruta foi de 12,18 mm e o arranjo dos lances ficou com uma disposição contendo 4 lances de 54,86 m, 1 lance de 48,00 m e 1 lance de 41,21 m, totalizando raio de 308,65 m. O aspersor escolhido foi o WOBLER I-WOB2, fabricado pela Senninger, e a quantidade de aspersores necessário para atender a área e o tamanho do pivô foi estimado pela empresa fabricante.

Após determinação da lâmina bruta, escolha dos aspersores e disposição dos sistemas de irrigação na área, os projetos foram encaminhados para uma empresa localizada em Brasília –DF, que colaborou realizando os orçamentos dos materiais necessários para o funcionamento de cada sistema e o valor de instalação no local predeterminado.

4.4 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

A análise dos custos foi realizada a partir dos valores de aquisição (implantação e instalação) e dos custos que cada sistema requer para o funcionamento anual do equipamento. Esses custos são referentes a mão de obra, energia elétrica e manutenções do equipamento, e cada sistema

possui valores diferentes, uma vez que esses custos são estimados com base na potência do motor, nível de automatização, e serviços e reparos que o equipamento necessita durante o ano.

Os projetos dos sistemas de irrigação e os orçamentos realizados pela empresa parceira, estão disponíveis em anexo no final do trabalho.

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para realização da análise dos resultados, além das tabelas comparativas com os resultados de custos com implantação, mão de obra, manutenção e energia elétrica, foram utilizados outros trabalhos que serviram para potencializar as discussões e definir os melhores passos para adotar o melhor sistema de irrigação na cultura do alho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise foram determinados todos os custos e receitas anuais associados com o sistema de irrigação de interesse. O custo total anual é composto por custo fixo anual (determinado considerando apenas o sistema de irrigação, isto é, aquisição e instalação) e custo variável anual (que incluem valores operacionais, de manutenção e adicionais associados ao uso da irrigação e todos os demais custos variáveis para a produção, ou seja, despesas com energia elétrica, combustível, mão de obra e serviços e reparos nos equipamentos irrigantes).

O sistema de pivô central foi o que apresentou valores de vazão e altura manométrica menor, e com isso foi o que precisou da menor potência do motor, já os sistemas de aspersão convencional fixo, por possuírem valores de vazões e altura manométrica alta, necessitam de uma potência de motor superior em relação ao pivô central (Tabela 5).

Tabela 5. Vazão (Q), altura manométrica (Hm) e potência do motor (P) para cada sistema de irrigação.

Sistemas de irrigação	Q (m ³ h ⁻¹)	Hm (m)	P (cv)
Aspersão convencional 1	138,6	127	104
Aspersão convencional 2	115,7	122	80
Pivô central	115,2	83	60

O preço de aquisição e instalação (Anexo B) dos sistemas tiveram valores específicos em cada projeto (Tabela 6), uma vez que cada um possui quantidades de tubos, aspersores e peças

específicas. É notória a diferença dos valores entre os sistemas, e mesmo o pivô central sendo o de menor custo inicialmente, é preciso analisar os outros fatores referentes aos custos.

Tabela 6. Valores de implantação para os sistemas de aspersão convencional e pivô central.

Sistemas de irrigação	Valor de implantação
Aspersão convencional 1	R\$ 675.852,00
Aspersão convencional 2	R\$ 791.720,00
Pivô central	R\$ 632.075,00

Em relação aos valores de implantação dos sistemas, o orçamento realizado pela empresa parceira foi feito de forma mais geral, e a lista de materiais está resumida. O valor obtido está na média, visto que o mesmo está inserido no custo dado por unidade de área para cada sistema de irrigação.

Os valores referentes à mão de obra, manutenção e energia varia entre os sistemas. Na Tabela 7 apresenta-se a vida útil, a quantidade de horas utilizadas com mão de obra, o custo de manutenção anual e a quantidade de energia gasta para cada sistema de irrigação.

Tabela 7. Vida útil, custo de manutenção anual, uso de energia e mão de obra requerida para sistemas de irrigação.

Sistemas de Irrigação	Vida útil (anos)	Mão de obra (h/ha/irrig.)	Manutenção anual (% do custo de implantação)	Energia (kWh/mm/ha)
Aspersão convencional	15 – 25	0,2 – 0,5	1,0 – 3,0	3,0 – 6,0
Pivô central	12 – 18	0,1 – 0,7	4,0 – 6,0	2,0 – 6,0

Fonte: MAROUELLI et al. (2011)

A automação dos projetos de irrigação interfere diretamente no uso da mão de obra para cada sistema. Os projetos de aspersão convencional não foram automatizados, por isso, foram considerados os valores máximos de mão de obra, isto é, 0,5 h/ha/irrig, resultando em 15 horas diárias de serviço.

Já o pivô central, que é controlado pela automatização do sistema, foi considerado o valor mínimo de mão de obra, ou seja, 0,1 h/ha/irrig, resultando em 3 horas diárias de serviço. Portanto, levando em consideração a Medida Provisória Nº 1.091 de 30 de dezembro de 2021, a cada hora

de serviço prestado o trabalhador deve receber R\$ 5,51, os custos referentes à mão de obra mensal e anual estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Gastos mensais e anuais com mão de obra para os sistemas de irrigação.

Sistemas de irrigação	Gasto mensal	Gasto anual
Aspersão convencional 1	R\$ 2.479,50	R\$ 29.754,00
Aspersão convencional 2	R\$ 2.479,50	R\$ 29.754,00
Pivô central	R\$ 495,90	R\$ 5.950,80

Como os custos com mão de obra estão diretamente ligados com a automatização dos sistemas, os projetos de aspersão convencional apresentaram valores maiores.

Os custos com manutenção (Tabela 9) estão relacionados com as despesas envolvidas em reparos e serviços que são necessários para garantir as perfeitas condições de funcionamento do sistema. Esse custo é calculado sobre valor de implantação inicial do sistema, adotando-se os valores máximos para todos os sistemas, ou seja, 3% sobre o valor de implantação dos sistemas de aspersão convencional fixo e 6% sobre o valor de implantação do pivô central. Uma possível explicação para a porcentagem imposta sobre o valor de implantação ser diferente entre os sistemas, é o nível de automação que cada sistema possui.

Tabela 9. Custo com manutenção anual para cada sistema.

Sistemas de irrigação	Valor de implantação	% do custo inicial	Manutenção anual
Aspersão convencional 1	R\$ 675.852,00	3	R\$ 20.275,56
Aspersão convencional 2	R\$ 791.720,00	3	R\$ 23.751,60
Pivô central	R\$ 632.075,00	6	R\$ 37.924,50

Fonte: MAROUELLI et al. (2011)

Os sistemas de aspersão convencional apresentaram menores custos de manutenção anual. O valor de implantação do pivô central foi o mais baixo, entretanto, a porcentagem em cima do sistema era a maior, resultando num custo de manutenção anual mais elevado em relação aos sistemas que apresentaram maiores valores de implantação.

O consumo de energia (Tabela 10) com bombeamento depende da potência da bomba necessária para a realização da irrigação e do tempo de irrigação em cada sistema. Como cada sistema apresenta tempo de irrigação diferente, o valor gasto com energia para cada um também foi diferente. Com base na ENEL Goiás, a tarifa rural para clientes rurais é de R\$ 0,4489 por KWh.

Tabela 10. Custos com energia elétrica para os sistemas de irrigação.

Sistemas de Irrigação	Motor (cv)	Uso diário (h)	Gasto diário (KWh)	Custo diário (R\$)	Custo mensal (R\$)	Custo anual (R\$)
Aspersão convencional 1	104	13,32	1018	456,98	13.709,40	164,512,8
Aspersão convencional 2	80	14,70	864	387,85	11.635,50	139.626,0
Pivô central	60	16,00	706	316,92	9.507,60	114.091,2

Assim, como o uso diário, a potência dos motores de cada projeto apresentam valores distintos, com isso, o valor gasto com energia elétrica é diferente para cada sistema. O sistema de aspersão convencional 1 mesmo sendo o que possui menos horas de uso, é o que apresenta maior potência, e por isso é o que mais consome com energia, seguido do sistema de aspersão convencional 2, que mesmo possuindo mais horas de uso que o de aspersão, apresenta menor potência. O pivô central apresenta a menor potência do motor e o maior uso diário em comparação aos outros sistemas, entretanto é o que possui menor custo com energia elétrica, e isso pode ser explicado pelo fato de que a baixa potência do motor compense as muitas horas de uso diário do sistema, fazendo com que o sistema de pivô central seja o que apresenta menores gastos com energia elétrica quando comparado aos demais sistemas de irrigação avaliados.

Uma consideração que deve ser feita é que no sistema de pivô central o uso diário foi menor do que costuma ser na prática, usualmente a quantidade de horas utilizada no sistema é de 21 horas, entretanto foi utilizado apenas 16 horas. O motivo disso foi devido uma padronização entre todos os sistemas, e esse valor de 16 horas foi o valor máximo que poderia ser usado por todos os sistemas. Também não foi considerado tarifação verde para os cálculos de custos com energia elétrica.

A Tabela 11 apresenta os custos anuais com mão de obra, energia, manutenção e o custo total para cada sistema de irrigação.

Tabela 11. Custo anual com mão de obra, energia, manutenção e valor total para cada sistema de irrigação.

Sistemas de Irrigação	Mão de obra (R\$)	Energia (R\$)	Manutenção (R\$)	Valor total (R\$)	Custo por ha (R\$)
Aspersão convencional 1	29.754,00	164.512,8	R\$ 20.275,56	214.542,36	7.151,41
Aspersão convencional 2	29.754,00	139.626,0	R\$ 23.751,60	193.131,60	6.437,72

Pivô central	5.950,00	114.091,2	R\$ 37.924,50	157.965,70	5.265,52
--------------	----------	-----------	---------------	------------	----------

Observa-se que o pivô central foi o que apresentou menor custo em relação aos demais. Os sistemas de aspersão convencional além de possuírem potência e vazão maiores que o pivô central, não foram projetados para serem automatizados. Essa automatização mesmo diminuindo os valores com mão de obra elevaria os valores de implantação, já que seria preciso investir em válvulas solenoides ou hidráulica e outros acessórios necessários para automatizar os sistemas, e isso poderia não ser vantajoso, pois os valores referentes à manutenção é obtido sobre valores de implantação, e isso aumentaria também os custos com manutenção nos sistemas de aspersão convencional.

Foi possível observar que só no custo com manutenção anual o sistema de pivô central apresentou maior custo quando comparado aos demais, em todos os outros custos ele apresentou valores inferiores aos sistemas de aspersão convencional. Levando em consideração que a comparação entre a soma dos valores de implantação e os custos gerados por cada sistema indica qual deles é o de menor custo, e quanto tempo os outros sistemas levariam para se equivalerem, quando os valores gastos com implantação, manutenção, energia elétrica e mão de obra são somados, percebe-se que nem a longo prazo um outro sistema que não seja o pivô central compensaria, isso porque esses valores somados dos custos com os sistemas de aspersão, ultrapassaria o que corresponde ao do pivô central.

RAPASSI et al. (2017), estudaram a viabilidade econômica da implantação de um conjunto de irrigação do tipo pivô central para produção de grãos (feijão, milho e soja) no Mato Grosso do Sul. Concluíram que o investimento para implantação do pivô central é alta, mas não é apenas esse gasto que deve ser levado em consideração para analisar a viabilidade econômica. Gastos com investimentos para preparo de solo, para realização das operações e aplicação de insumos, com colheita e comercialização do grão, e depreciação anual devem ser contabilizados, e após isso a realização do balanço com a produtividade e o tempo de retorno que a produção trará ao produtor indica se tal sistema é viável ou não. Nesse caso, a implantação de um conjunto de irrigação tipo pivô central foi viável, ocorrendo retorno após 3 anos que o sistema estava instalado.

OLIVEIRA et al. (2016), analisando a viabilidade econômica dos sistemas de irrigação de gotejamento subsuperficial e superficial, microaspersão, aspersão convencional e Santeno®, no cultivo de brócolis de cabeça, observaram que entre os sistemas de microaspersão e aspersão

convencional, o de microaspersão produziu mais brócolis com uma menor lâmina de água aplicada, o de aspersão convencional obteve um custo de aquisição menor, e em relação aos custos totais anuais os dois sistemas obtiveram resultados semelhantes. Entretanto, a viabilidade econômica dos sistemas de aspersão convencional e de microaspersão não apresentaram os melhores resultados. Levando em consideração os custos de aquisição, o custo total anual, a receita bruta, a receita líquida, a relação benefício custo, a taxa de retorno e o tempo de retorno, os autores concluíram que o sistema mais viável economicamente foi o por gotejamento subsuperficial.

Mesmo que o pivô central, dentre os três sistemas de irrigação avaliados, foi o que apresentou menor custo final considerando implantação, energia, mão de obra e manutenção, é fundamental que trabalhos futuros analisem o retorno econômico considerando a resposta da cultura do alho.

6. CONCLUSÕES

Os sistemas de aspersão convencional fixo apresentaram maior custo total quando somados a implantação, energia, mão de obra e manutenção para produção de 30 ha de alho.

O pivô central, tanto a curto como em longo prazo nas condições edafoclimáticas do município de Cristalina-GO apresenta menor custo total.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 2006. 300p. **Irrigation and Drainage, Paper 56.**

ANAPA - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES DE ALHO. Disponível em: <https://anapa.com.br/>. Acesso em fev. 2022.

Bernardo, S.; Mantovani, E. C.; Silva, D. D.; Soares, A. A. **Manual de Irrigação.** 9.ed. Viçosa: Editora UFV. 545p. 2019.

BEVILACQUA H. E. C. R. **Classificação das hortaliças.** In: MARTINS A. L. C.; BEVILACQUA H. E. C. R.; SHIRAKI J. N. Horta: cultivo de hortaliças. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. 2006. Cap. 1, p. 2-5. Acesso em mar. 2022.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo.** 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2003. 98p. Acesso em mar. 2022.

CARNEIRO, G. C.; DINIZ, N.; MENEZES, P. H. **Aplicação de um sistema de informação geográfico como instrumento de gerenciamento de dados dos recursos hídricos superficiais de irrigação pelo sistema de pivô central do município de Cristalina-GO.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XV. 30 de abril a 5 de maio de 2011, INPE, Curitiba. Anais..., INPE, Curitiba, 2011, p. 261. Acesso em fev. 2022.

CESSA, R. M. A., de OLIVEIRA, H. F. E., LEITE, C. V., COMETTI, N. N., ZONTA, E., MESQUITA, M., & de MOURA CAMPOS, H. (2020). **Identificação de Pivôs Centrais e Microbacias no Município de Cristalina, Goiás: Apontamentos às Regras de Outorga do Uso de Água.** *Research, Society and Development*, 9(11), e6769119935-e6769119935. Acesso em fev. 2022.

CONAB. **Conjuntura mensal: dezembro 2021.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-alho>. Acesso em fev. 2022.

CRISTALINA, Prefeitura Municipal de. **Economia.** Cristalina 2016. Disponível em: <http://www.cristalina.go.gov.br/sobre-o-municipio/economia>. Acesso em fev. 2022.

CRISTALINA, Prefeitura Municipal de. **História.** Cristalina 2016. Disponível em: <http://www.cristalina.go.gov.br/sobre-o-municipio/historia>. Acesso em fev. 2022.

FURQUIM, M. G. **Efeito da instituição da cobrança pelo uso da água na configuração agrícola irrigada em Cristalina - GO.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO, 2017. Acesso em mar. 2022.

FURQUIM, M. G. D.; ABDALA, K. O. **Caracterização preliminar da agricultura irrigada em Cristalina-GO, a estreita relação entre o desenvolvimento sustentável e o crescimento econômico.** Revista Irriga, v. 1, n. 1, 2016. Acesso em mar. 2022.

GRUNDLING, R. D. P; GAZZOLA, R.; ARAGÃO, A. A. **Mercado mundial do alho: Tendências gerais e as implicações para o Brasil.** 2021. Acesso em mar. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios. Cristalina-GO. 2019.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/cristalina/pesquisa/38/47001?tipo=grafico&indicador=47006> Acesso em mar. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Goiás – Cristalina. 2020.** Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=520620&idtema=16&search=goias|cristalina|sintese-das-informacoes>. Acesso em fev. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados. Cristalina – GO. 2021.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/cristalina.html>. Acesso em mar. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Produção Agrícola Municipal – PAM. 2020.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em fev. 2022.

LEONÊZ, A. C. **Alho: Alimento e saúde.** Brasília, 2008. Acesso em fev. 2022.

MACÊDO, F. S.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; SANTOS, B. R.; LEITE, L. V. R. **Produtividade de alho vernalizado em função de doses de nitrogênio e molibdênio.** Bragantia, Campinas, v. 68, n. 3, p. 657-663, 2009. Acesso em mar. 2022.

MAPA. **Produção e comércio mundial do alho.** 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/em-sete-anos-triplica-o-numero-de-produtoresorganicos-cadastrados-no-mapa>. Acesso em fev. 2022.

MARQUELLI, W.; SILVA, W. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças.** Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2011. Acesso em mar. 2022.

- MAROUELLI, W. A.; BRAGA, M. B.; LUCINI, M. A.; & RESENDE, F. V. (2014). **Irrigação na cultura do alho**. *Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)*. Acesso em fev. 2022. Acesso em mar. 2022.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed., atual. e ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355p. Acesso em mar. 2022.
- MELO, P. C. T.; MELO, M. T. **Olericultura brasileira: avanços e desafios: parte II**. Revista da Associação Portuguesa de Horticultura, Lisboa, n. 120, p. 30-41, 2016. Acesso em mar. 2022.
- MENDES, A. A. T. **Irrigação: tecnologia e produtividade**. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Área de Hidráulica e Irrigação. 1998, UNESP, pág. 01. Acesso em mar. 2022.
- NAKAYAMA, V. L. **A importância das hortaliças na alimentação humana**. In: CASTANHEIRO, A. L. M.; BEVILACQUA, H. E. C. R.; SHIRAKI, J. N. Horta: cultivo de hortaliças. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente. 2006. Cap. 2, p. 8-11. Acesso em mar. 2022.
- OLIVEIRA, F. C. D.; GEISENHOFF, L. O.; ALMEIDA, A. C. D. S.; LIMA JUNIOR, J. A. D.; LAVANHOLI, R. (2016). **Economic feasibility of irrigation systems in broccoli crop**. Engenharia Agrícola, 36(3), 460-468. Acesso em abr. 2022.
- QUIRINO, D. T.; SALES, L. F. P. de; SILVA, O. F. **Aplicação do sensoriamento remoto para análise temporal em agriculturas irrigadas por pivô central no município de Cristalina GO**. 2011. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Mai./Abr. 2011, p. 154-160. 2011. Acesso em mar. 2022.
- RAPASSI, R. M. A.; SANT'ANA, A. L.; TARSITANO, R. A.; PROENÇA, E. R. (2017). **Viabilidade econômica da implantação de um conjunto de irrigação-pivô central na produção de grãos no Mato Grosso do Sul**. Revista Cultura Agronômica, 26(4), 596-610. Acesso em abr. 2022.
- RESENDE, F. V. **Desafios da produção e inovações tecnológicas para cultura do alho no Brasil**. Hortaliças em Revista. 2018. n. 25, p. 16-17. Acesso em mar. 2022.
- RESENDE, F.V.; DUSI, A.N.; MELO, W.F.de. **Recomendações básicas para a produção de alho em pequenas propriedades**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 2004. 12p. (EMBRAPA-CNPQ. Comunicado Técnico, 22). Acesso em mar. 2022.

- RESENDE, F.V.; GUALBERTO, R.; SOUZA, R. J. **Crescimento e produção de clones de alho provenientes de cultura de tecidos e de propagação convencional.** In: Scientia Agricola, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 61-66, 2000. Acesso em mar. 2022.
- RESENDE, F. V.; HABER, L. L.; PINHEIRO, J. B.; JUNIOR, V. L.; LIMA, M. F.; FILHO, M. M.; MALDONADE, I. R. **Como plantar alho.** Embrapa Hortaliças. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/alho/cultivares>. Acesso em mar. 2022.
- RESENDE, F. V.; HABER, L.L.; PINHEIRO, J.B.; MELLO, A.F.S. **Produção de alho-semente.** In: NASCIMENTO, M.N.; PEREIRA, R.B. Hortaliças de propagação vegetativa: Tecnologia de multiplicação. Brasília-DF:Embrapa. p.15-61, 2016. Acesso em fev. 2022.
- SANTOS, T. P. L.; SILVA, M. V. D. **O AGRONEGÓCIO EM DE CRISTALINA (GO): Efeitos no espaço urbano.** In: Anais do IV Simpósio Regional de Geografia (2019), 86. Acesso em mar. 2022.
- SANTOS, T. G. P.; SILVA, R. M. D. da; de ARAUJO BOGGIONE, G.; SILVA, A. M. S. **Mapeamento de pivôs centrais de irrigação em cristalina/go utilizando séries temporais.** In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2019. Acesso em mar. 2022.
- SOUSA, V. F. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças.** Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Acesso em mar. 2022.
- SOUZA, R. J.; MACÊDO, F. S. **Cultura do alho. Tecnologias modernas de produção.** Lavras: UFLA, 2009. 181. Acesso em fev. 2022.
- SOUZA, R.J.; MACÊDO, F.S.; YURI, J.E.; RESENDE, F.V. **Alho (*Allium sativum* L.).** In: PAULA JÚNIOR, T.J. 101 culturas: manual de tecnologias agrícolas. 2.ed., ver. e atual. – Belo Horizonte: EPAMIG, 2019. 920 p. Acesso em mar. 2022.
- TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações.** Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. Campinas, 2017, pág. 17-18.
- TRANI, P.E. **Cultura do alho (*Allium sativum*): Diagnóstico e recomendações para seu cultivo no Estado de São Paulo.** 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/artigos/2009_2/alho/index.htm>. Acesso em mar. 2022.

8. ANEXOS

8.1 PROJETOS DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

DIMENSIONAMENTO DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL FIXO COM ASPERSORES MAIORES (IS-30)

Dados:

- Cultura: alho;
- Eficiência de irrigação: 80%
- Solo: Textura = argiloso;
- Velocidade de infiltração básica (VIB): 5 mm/h;
- Capacidade de Água Disponível (CAD): 34,5 mm;
- Jornada de Trabalho: 13 h e 20 min.
- Localização: Cristalina-GO
 - Altitude: 980 m
- Dados da Área: Comprimento: 750 m; Largura: 400 m; Área: 30 ha; Declive: 5 e 3 %
- Distância até o ponto de captação: 350 m

Evapotranspiração de referência (ET_o)

Tabela 1. Evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Cristalina-GO (2008 – 2021)

MÊS	ET _o (mm dia ⁻¹)
Janeiro	4,19
Fevereiro	4,10
Março	3,68
Abril	3,40
Mai	3,03
Junho	2,92
Julho	3,34
Agosto	4,23
Setembro	5,04
Outubro	4,74
Novembro	3,85
Dezembro	4,06

Coefficiente da Cultura (K_c)

Tabela 2. Coeficiente da cultura (K_c) do alho.

Fase do Desenvolvimento da cultura	K _c
K _c estágio vegetativo	0,80 – 0,85
K _c estágio de crescimento do bulbo	1,00 – 1,05
K _c estágio de maturação	0,70 – 0,75

Fonte: EMBRAPA

Lâmina de Projeto (LB)

- $CAD = 34,5 \text{ mm}$

CAD: capacidade de água no solo disponível para a cultura, mm.

- $AFD = CAD \cdot f \quad \{f = 0,3$
 $AFD = 34,5 \cdot 0,3$
 $AFD = 10,35 \text{ mm}$
 OBS.: $AFD = LL$

AFD: água facilmente disponível no solo para a cultura, mm;

CAD: capacidade de água no solo disponível para a cultura, mm;

f: fator de disponibilidade hídrica, adimensional.

Fator de disponibilidade de água no Solo (f) de acordo com grupos de culturas e Evapotranspiração da cultura (ETc)

Tabela 3. Fator de disponibilidade de água no Solo (f)

Grupo	Culturas
1	Cebola, alho, pimenta, batata
2	Banana, repolho, uva, ervilha, tomate
3	Alfafa, feijão, cítricos, amendoim, abacaxi, girassol, melancia, trigo
4	Algodão, milho, azeitonas, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar, fumo

Grupo da Cultura	ETc (mm/dia)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,20	0,20	0,18
2	0,68	0,58	0,48	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,22
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,38	0,25	0,30
4	0,88	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,42	0,40

Fonte: Bernardo (2019)

$$LB = \frac{LL}{EA}$$

$$LB = \frac{10,35}{0,80}$$

$$\rightarrow LB = 12,94 \text{ mm}$$

LL: lâmina líquida, mm;

LB: lâmina bruta, mm;

EA: eficiência de aplicação, decimal.

EA da aspersão convencional = 80%

Vazão do Projeto (Q)

- $ET_{cmax} = ET_{omax} \cdot K_{cmax}$

$$ET_{cmax} = 5,04 \cdot 1,05$$

$$ET_{cmax} = 5,292 \text{ mm/dia}$$

ET_{cmax} : evapotranspiração máxima da cultura, mm/dia;

ET_{omax} : evapotranspiração potencial máxima da cultura de referência, mm/dia;

kc: coeficiente máximo da cultura, adimensional.

- $TR = \frac{AFD}{ET_{cmax}}$

$$TR = \frac{10,35}{5,292}$$

$$TR = 1,95 \sim 2 \text{ dias}$$

TR: turno de rega, dias;

AFD: água facilmente disponível, mm;

ET_{cmax} : evapotranspiração máxima da cultura, mm/dia.

$$Q = \frac{LB \cdot A}{Ti \cdot 360 \cdot TR}$$

$$Q = \frac{12,94 \cdot 30}{16 \cdot 360 \cdot 2}$$

$$\rightarrow Q = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$$

Q: vazão de projeto, m³/s;

LB: lâmina bruta, mm;

A: área, ha;

Ti: tempo de irrigação;

TR: turno de rega, dias.

Intensidade de Aplicação do Aspersor (Ia)

Critério: $Ia \leq VIB$

$$Ia = \frac{q_a \cdot 1000}{\text{espaçamento}}$$

$$Ia = \frac{1,262 \cdot 1000}{18 \times 18}$$

$$Ia = 3,89 \text{ mm/h} \{ Ia = 3,89 < 5 = VIB$$

Ia: intensidade de aplicação, mm/h;

qa: vazão do aspersor, m³/h;

Espaçamento dos aspersores, m x m.

Escolha do Aspersor

- Aspersor IS – 30 (Fabricante: Agropolo)
- Vazão (qa) = 1,262 m³/h = 0,00035 m³/s
- Pressão de Serviço = 35 mca
- Espaçamento: 18 x 18 m

Tempo de Irrigação (T)

$$T = \frac{LB}{Ia}$$

$$T = \frac{12,94}{3,89}$$

$$T = 3,33 \text{ horas}$$

T: tempo de irrigação, h;

LB: lâmina bruta, mm;

Ia: intensidade de aplicação, mm/h.

Número de Setores (Ns)

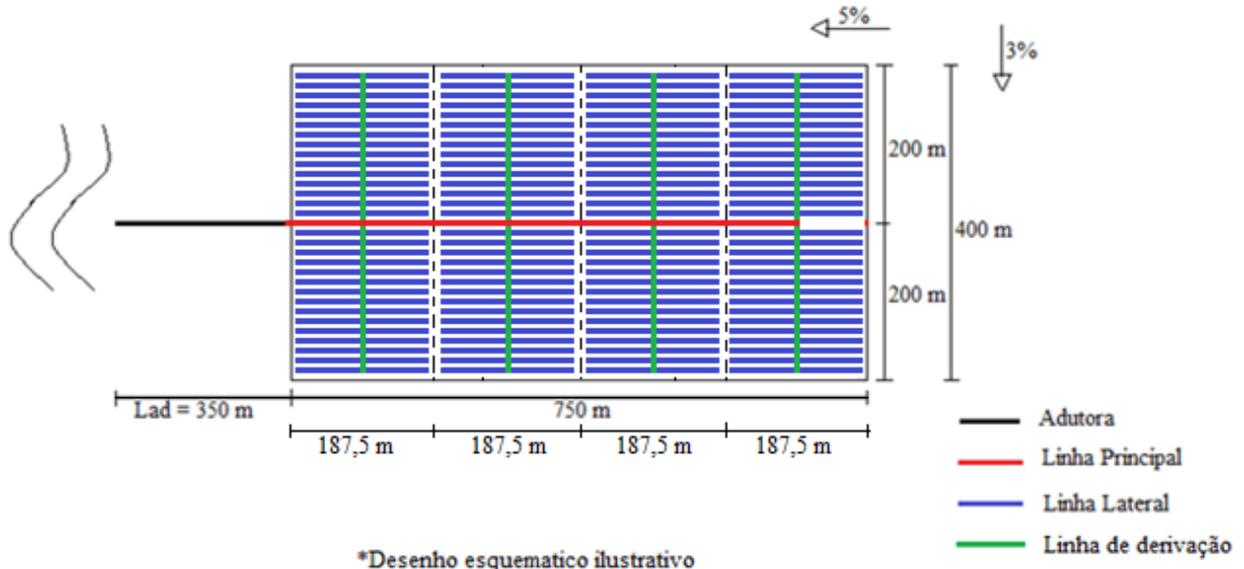
$$Ns = \frac{J}{T_i}$$

$$Ns = \frac{16}{3,33}$$

$$Ns = 9,60 \sim 8 \text{ setores}$$

Ns: número de setores;
 J: jornada de trabalho, h/dia;
 Ti: tempo de irrigação, h.

Layout da Área



$$L_{LL} = 81\text{m} \quad Q_{LL} = 5 \cdot 0,00035 = 0,00175\text{m}^3/\text{s}$$

$$L_D = 189\text{m} \quad Q_D = 22 \cdot 0,00175 = 0,0385\text{m}^3/\text{s}$$

$$L_{LP} = 656,55\text{m} \quad Q_{LP} = 0,0385\text{m}^3/\text{s}$$

$$L_{ad} = 350\text{m} \quad Q_{ad} = 0,0385\text{m}^3/\text{s}$$

- Qtd linhas laterais: $200\text{m}/18\text{m} = 11$ linhas laterais para cada lado; 22 linhas laterais para cada setor; 176 linhas laterais totais. (esp. 18 m)
- Qtd de aspersores/linha lateral: $93,75/18 = 5$ aspersores em cada linha lateral; 110 aspersores por setor; 880 aspersores totais. (esp. 18 m)
- Setorização:
 - 8 setores com 22 linhas laterais e 110 aspersores
- 8 linhas de derivação
- 1 linha principal
- 1 adutora

Dimensionamento da Linha Lateral – Diâmetro

$$\Delta H_{\max} \leq 20\% \text{ PS}$$

$$\Delta H_{\max} = 7 \text{ m}$$

$\Delta H_{\text{máx}}$: perda de carga máxima, m;

PS: pressão de serviço do aspersor, mca.

$$D_{LL} = \left(\frac{10,64 \cdot L_{LL} \cdot Q_{LL}^{1,852} \cdot F}{\Delta H_{\text{máx}} \cdot C^{1,852}} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$$D_{LL} = \left(\frac{10,64 \cdot 81 \cdot 0,00175^{1,852} \cdot 0,457}{7 \cdot 140^{1,852}} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$D_{LL} = 0,031\text{m} \rightarrow \text{PVC PN 60 } \{\varnothing_{\text{nominal}}: 50\text{mm}; \varnothing_{\text{interno}}: 47,7\text{mm} = 0,0477\text{m}\}$

D_{LL} : diâmetro da linha lateral, m;

L_{LL} : comprimento da linha lateral, m;

Q_{LL} : vazão da linha lateral, m³/s;

$\Delta H_{\text{máx}}$: perda de carga máxima, m;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Tabela 4. Fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga.

Nº DE SAÍDAS	F						
1	1	9	0,408	17	0,375	30	0,362
2	0,639	10	0,398	18	0,373	35	0,359
3	0,534	11	0,396	19	0,372	40	0,357
4	0,485	12	0,393	20	0,37	50	0,355
5	0,457	13	0,39	22	0,368	51 a 100	0,35
6	0,438	14	0,387	24	0,366	101 a 250	0,348
7	0,425	15	0,385	26	0,364	251 a 500	0,345
8	0,416	16	0,382	28	0,362		

Perda de Carga na Linha Lateral

$$\Delta H_{LL} = 10,64 \cdot \frac{L_{LL}}{D_{LL}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{LL}}{C} \right)^{1,852} \cdot F$$

$$\Delta H_{LL} = 10,64 \cdot \frac{81}{0,0477^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,00175}{140} \right)^{1,852} \cdot 0,457$$

$\Delta H_{LL} = 0,89 \text{ m}$

ΔH_{LL} : perda de carga na linha lateral, m;

L_{LL} : comprimento da linha lateral, m;

D_{LL} : diâmetro da linha lateral, m;

Q_{LL} : vazão da linha lateral, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Pressão no Início da Linha Lateral (P_{iLL})

$$P_{iLL} = PS + 0,75 \cdot \Delta H_{LL} + \text{Alt do tubo de elevação} \pm \text{desnível} \cdot L_{LL}$$

$$P_{iLL} = 35 + 0,75 \cdot 7 + 1 \pm 0,05 \cdot 81$$

$$P_{iLL} = 40,72 \text{ m}$$

P_{iLL} : pressão no início da linha lateral, mca;

PS: pressão de serviço do aspersor, mca;

ΔH_{LL} : perda de carga na linha lateral, m;

altura do tubo de elevação: catálogo;

desnível: desnível do terreno ao longo da linha lateral, decimal;

L_{LL} : comprimento da linha lateral, m.

Dimensionamento da Linha Derivação – Diâmetro

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{LD}}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0385}{\pi \cdot 2}}$$

$$D_{LD} = 0,157 \text{ m} \quad \rightarrow \text{PVC PN 60 } \{\varnothing_{\text{nominal}}: 170\text{mm}; \varnothing_{\text{interno}}: 162,2\text{mm} = 0,1622\text{m}\}$$

D_{LD} : diâmetro da linha de derivação, m;

Q_{LD} : vazão da linha de derivação, m³/s;

v: velocidade média do escoamento, m/s.

Recomendação: $v_{\text{máx}} = 1,5 - 2,0 \text{ m/s}$. {valor adotado = 2,0 m/s}

Perda de Carga na Linha de Derivação

$$\Delta H_{LD} = 10,64 \cdot \frac{L_{LD}}{D_{LD}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{LD}}{C}\right)^{1,852} \cdot F$$

$$\Delta H_{LD} = 10,64 \cdot \frac{189}{0,1622^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0385}{140}\right)^{1,852} \cdot 0,368$$

$$\Delta H_{LD} = 1,32 \text{ m}$$

ΔH_{LD} : perda de carga na linha de derivação, m;

L_{LD} : comprimento da linha de derivação, m;

D_{LD} : diâmetro da linha de derivação, m;

Q_{LD} : vazão da linha de derivação, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Pressão no Início da Linha de Derivação (P_{iLD})

$$P_{iLD} = P_{iLL} + \Delta H_{LD} \pm \text{ desnível} \cdot L_{LD}$$

$$P_{iLD} = 40,72 + 1,32 \pm 0,03 \cdot 189$$

$$P_{iLD} = 47,71 \text{ m}$$

P_{iLD} : pressão no início da linha de derivação, mca;

P_{iLL} : pressão no início da linha lateral, mca;

ΔH_{LD} : perda de carga na linha de derivação, m;

desnível: desnível do terreno ao longo da linha lateral, decimal

L_{LD} : comprimento da linha de derivação, m.

Dimensionamento da Linha Principal – Diâmetro

$$D_{LP} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{LP}}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0385}{\pi \cdot 2}}$$

$$D_{LP} = 0,157 \text{ m} \quad \rightarrow \text{PVC PN 125 } \{\varnothing_{\text{nominal}}: 170\text{mm}; \varnothing_{\text{interno}}: 156,4\text{mm} = 0,1564\text{m}\}$$

D_{LP} : diâmetro da linha principal, m;

Q_{LP} : vazão da linha principal, m³/s;

v: velocidade média do escoamento, m/s.

Recomendação: $v_{\text{máx}} = 1,5 - 2,0 \text{ m/s}$. {valor adotado = 2,0 m/s}

Perda de Carga na Linha Principal

$$\Delta H_{LP} = 10,64 \cdot \frac{L_{LP}}{D_{LP}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{LP}}{C}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{LP} = 10,64 \cdot \frac{656,55}{0,1564^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0385}{140} \right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{LP} = 14,92 \text{ m}$$

ΔH_{LP} : perda de carga na linha principal, m;

L_{LP} : comprimento da linha principal, m;

D_{LP} : diâmetro da linha principal, m;

Q_{LP} : vazão da linha principal, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Dimensionamento da Adutora – Diâmetro

$$D_{ad} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ad}}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0385}{\pi \cdot 2}}$$

$$D_{ad} = 0,157 \text{ m} \quad \rightarrow \text{PVC PN 125 } \{\varnothing_{\text{nominal}}: 170\text{mm}; \varnothing_{\text{interno}}: 156,4\text{mm} = 0,1564\text{m}\}$$

D_{ad} : diâmetro da adutora, m;

Q_{ad} : vazão da adutora, m³/s;

v: velocidade média do escoamento, m/s.

Recomendação: $v_{\text{máx}} = 1,5 - 2,0 \text{ m/s}$. {valor adotado = 2,0 m/s}

Perda de Carga na Adutora

$$\Delta H_{ad} = 10,64 \cdot \frac{L_{ad}}{D_{as}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{ad}}{C} \right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{LP} = 10,64 \cdot \frac{350}{0,1564^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0385}{140} \right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{ad} = 7,96 \text{ m}$$

ΔH_{ad} : perda de carga na adutora, m;

L_{ad} : comprimento da adutora, m;

D_{ad} : diâmetro da adutora, m;

Q_{ad} : vazão da adutora, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

Dimensionamento da Sucção – Diâmetro

Aço zincado { \varnothing nominal: 175mm; \varnothing interno: 173,8mm = 0,1738m

Perda de Carga na Sucção

$$\Delta H_s = 10,64 \cdot \frac{L_s}{D_s^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_s}{C}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_s = 10,64 \cdot \frac{4}{0,1738^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,0385}{125}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_s = 0,067 \text{ m}$$

ΔH_s : perda de carga na sucção, m;

L_s : comprimento da sucção, m;

D_s : diâmetro da sucção, m;

Q_s : vazão da sucção, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (aço zincado: C = 125).

Perda de Carga Localizada (Δh_{loc})

- $\Delta H = \Delta H_{LL} + \Delta H_{LD} + \Delta H_{LP} + \Delta H_{ad} + \Delta H_s$
 $\Delta H = 0,89 + 1,32 + 14,92 + 7,96 + 0,067 \rightarrow \Delta H = 25,157 \text{ m}$

ΔH : perda de carga total, m;

ΔH_{LL} : perda de carga na linha lateral, m;

ΔH_{LD} : perda de carga na linha de derivação, m;

ΔH_{LP} : perda de carga na linha principal, m;

ΔH_{ad} : perda de carga na adutora, m;

ΔH_s : perda de carga da sucção, m.

$$\Delta h_{loc} = 0,1 \cdot \Delta H \rightarrow \Delta h_{loc} = 0,1 \cdot 25,157 \rightarrow \Delta h_{loc} = 2,5157 \text{ m}$$

Δh_{loc} : perda de carga localizada, m;

ΔH : perda de carga total, m.

Altura Manométrica da Bomba (Hm)

$$H_m = P_{iLL} + \Delta H_{LD} \pm \text{Desnível}_{LD} \cdot L_{LD} + \Delta H_{LP} \pm \text{Desnível}_{LP} \cdot L_{LP} + \Delta H_{ad} \pm \text{Desnível}_{ad} \cdot L_{ad} + \Delta H_s + L_s + \Delta h_{loc}$$

$$H_m = 40,72 + 1,32 \pm 0,03 \cdot 189 + 14,92 \pm 0,05 \cdot 656,55 + 7,96 \pm 0,05 \cdot 350 + 0,067 + 4 + 2,5157$$

$$H_m = 127 \text{ mca}$$

Escolha da Bomba

- $H_o = 10,33 - (\text{Altitude}/700) \rightarrow H_o = 10,33 - (380/700) \rightarrow H_o = 8,93 \text{ m}$
- $\text{NPSHd} = H_o - H_v - L_s - \Delta H_s \rightarrow \text{NPSHd} = 8,93 - 0,239 - 4 - 0,067 \rightarrow \text{NPSHd} = 4,624 \text{ m}$

Tabela 5. Tensão de vapor da água em função da sua temperatura.

TEMP °C	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
TENSÃO DE VAPOR	0,062	0,083	0,125	0,239	0,433	0,753	1,258	2,033	4,831	10,33

- $Q = 0,0385 \text{ m}^3/\text{s} = 138,6 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H_m = 127 \text{ mca}$
- $\text{NPSHd} = 4,624 \text{ m}$

→ Bomba escolhida: Bomba modelo INI 80 – 250
 η (rendimento) = 69%

Potência da Bomba

$$P_{\text{bomba}} = \frac{Q \cdot H_m \cdot 1000}{75 \cdot \eta}$$

$$P_{\text{bomba}} = \frac{0,0385 \cdot 127 \cdot 1000}{75 \cdot 69\%}$$

$$P_{\text{bomba}} = 94,54 \text{ cv}$$

P: potência da bomba, cv;

Q: vazão na bomba, m³/s;

H_m: altura manométrica, m;

η : rendimento da bomba, decimal

Potência do Motor

$$P_{\text{motor}} = \text{Margem de segurança recomendada (1,10)} \cdot P_{\text{bomba}}$$

$$P_{\text{motor}} = 1,10 \cdot 94,54 \rightarrow P_{\text{motor}} = 104 \text{ cv}$$

Tabela 6. Margem de segurança recomendada imposta na potência da bomba.

Potência exigida pela Bomba (Pot)	Margem de segurança recomendada (%)
Até 2 cv	50%
De 2 a 5 cv	30%
De 5 a 10 cv	20%

De 10 a 20 cv
Acima de 20 cv

15%
10%

Catálogo do Aspersor

Características Operacionais dos Aspersores Agropolo IS-30

Bocais Diâmetro Nominal	Código	Pressão	Diâmetro Alcance	Altura máxima do jato	Vazão	Espaçamento entre aspersores (m)			
						6x6	12x12	12x18	18x18
(mm)		(mca)	(m)	(m)	(m³/h)	Intensidade de aplicação (mm/h)			
3,00 x 3,00	2881-ER 2894-ERL	25	27	3,40	1,067	14,81	7,41	4,94	3,29
		30	29	3,70	1,168	16,23	8,11	5,41	3,61
		35	28	3,80	1,262	17,53	8,76	5,84	3,89
		40	28	4,00	1,349	18,74	9,37	6,25	4,16
4,00 x 3,00	2882-ER 2895-ERL	25	30	3,60	1,489	20,67	10,34	6,89	4,59
		30	30	3,90	1,631	22,65	11,32	7,55	5,03
		35	31	4,10	1,761	24,46	12,23	8,15	5,44
		40	32	4,30	1,883	26,15	13,08	8,72	5,81

Obs.: Dados obtidos em ensaios realizados pelo método radial no Laboratório de Irrigação e Drenagem da ESALQ/USP

DIMENSIONAMENTO DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL
FIXA COM ASPERSORES MENORES (5022SD)

Dados:

- Cultura: alho;
- Eficiência de irrigação: 90%
- Solo: Textura = argiloso;
- Velocidade de infiltração básica (VIB): 5 mm/h;
- Capacidade de Água Disponível (CAD): 34,5 mm;
- Jornada de Trabalho: 14 h e 42 min
- Localização: Cristalina-GO
 - Altitude: 980 m
- Dados da Área: Comprimento: 750 m; Largura: 400 m; Área: 30 ha; Declive: 5 e 3 %
- Distância até o ponto de captação: 350 m

Evapotranspiração de referência (ET_o)

Tabela 1. Evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Cristalina-GO (2008 – 2021)

MÊS	ET _o (mm dia ⁻¹)
Janeiro	4,19
Fevereiro	4,10
Março	3,68
Abril	3,40
Mai	3,03
Junho	2,92
Julho	3,34
Agosto	4,23
Setembro	5,04
Outubro	4,74
Novembro	3,85
Dezembro	4,06

Coefficiente da Cultura (K_c)

Tabela 2. Coeficiente da cultura (K_c) do alho.

Fase do Desenvolvimento da cultura	K _c
K _c estágio vegetativo	0,80 – 0,85
K _c estágio de crescimento do bulbo	1,00 – 1,05
K _c estágio de maturação	0,70 – 0,75

Fonte: EMBRAPA

Lâmina de Projeto (LB)

- CAD = 34,5 mm

CAD: capacidade de água no solo disponível para a cultura, mm.

- AFD = CAD . f {f = 0,3
AFD = 34,5 . 0,3
AFD = 10,35 mm
OBS.: AFD = LL

AFD: água facilmente disponível no solo para a cultura, mm;

CAD: capacidade de água no solo disponível para a cultura, mm;

f: fator de disponibilidade hídrica, adimensional.

Fator de disponibilidade de água no Solo (f) de acordo com grupos de culturas e Evapotranspiração da cultura (ETc)

Tabela 3. Fator de disponibilidade de água no Solo (f)

Grupo	Culturas
1	Cebola, alho, pimenta, batata
2	Banana, repolho, uva, ervilha, tomate
3	Alfafa, feijão, cítricos, amendoim, abacaxi, girassol, melancia, trigo
4	Algodão, milho, azeitonas, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar, fumo

Grupo da Cultura	ETc (mm/dia)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,20	0,20	0,18
2	0,68	0,58	0,48	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,22
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,38	0,25	0,30
4	0,88	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,42	0,40

Fonte: Bernardo (2019)

$$LB = \frac{LL}{EA}$$

$$LB = \frac{10,35}{0,90}$$

→ LB = 11,5 mm

LL: lâmina líquida, mm;

LB: lâmina bruta, mm;

EA: eficiência de aplicação, decimal.

(EA aspersão convencional = 90%)

Vazão do Projeto (Q)

- $ET_{cmax} = ET_{omax} \cdot K_{cmax}$

$$ET_{cmax} = 5,04 \cdot 1,05$$

$$ET_{cmax} = 5,292 \text{ mm/dia}$$

ET_{cmax} : evapotranspiração máxima da cultura, mm/dia;

ET_{omax} : evapotranspiração potencial máxima da cultura de referência, mm/dia;

kc: coeficiente máximo da cultura, adimensional.

- $TR = \frac{AFD}{ET_{cmax}}$

$$TR = \frac{10,35}{5,292}$$

$$TR = 1,95 \sim 2 \text{ dias}$$

TR: turno de rega, dias;

AFD: água facilmente disponível, mm;

ET_{cmax} : evapotranspiração máxima da cultura, mm/dia.

$$Q = \frac{LB \cdot A}{Ti \cdot 360 \cdot TR}$$

$$Q = \frac{11,5 \cdot 30}{16 \cdot 360 \cdot 2}$$

$$\rightarrow Q = 0,030 \text{ m}^3/\text{s}$$

Q: vazão de projeto, m³/s;

LB: lâmina bruta, mm;

A: área, ha;

Ti: tempo de irrigação;

TR: turno de rega, dias.

Intensidade de Aplicação do Aspersor (Ia)

Critério: $Ia \leq VIB$

$$Ia = \frac{q_a \cdot 1000}{\text{espaçamento}}$$

$$Ia = \frac{0,680 \cdot 1000}{12 \times 12}$$

$$Ia = 4,7 \text{ mm/h} \{ Ia = 4,7 < 5 = \text{VIB} \}$$

Ia: intensidade de aplicação, mm/h;

qa: vazão do aspersor, m³/h;

Espaçamento dos aspersores, m x m.

Escolha do Aspersor

- Aspersor 5022SD (Fabricante: NaanDanJain)
- Vazão (qa) = 0,680 m³/h = 0,000189 m³/s
- Pressão de Serviço = 3,5 bar = 35,7 mca
- Espaçamento: 12 x 12 m

Tempo de Irrigação (T)

$$T = \frac{LB}{Ia}$$

$$T = \frac{11,5}{4,7}$$

$$T = 2,45 \text{ horas}$$

T: tempo de irrigação, h;

LB: lâmina bruta, mm;

Ia: intensidade de aplicação, mm/h.

Número de Setores (Ns)

$$Ns = \frac{J}{T_i}$$

$$Ns = \frac{16}{2,45}$$

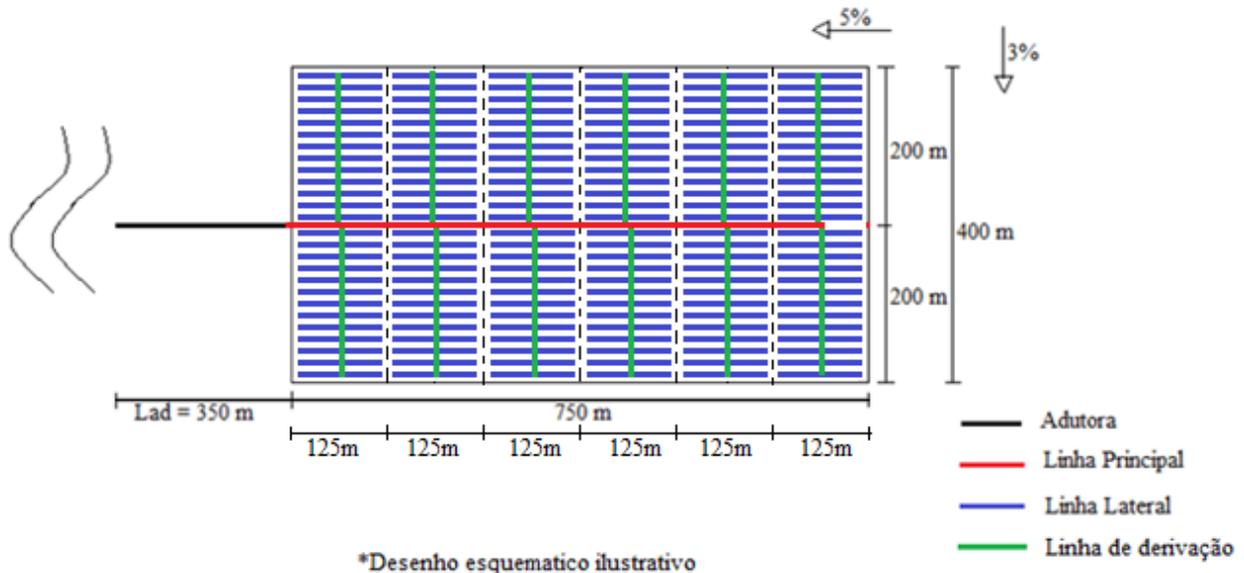
$$Ns = 13,06 \sim 12 \text{ setores}$$

Ns: número de setores;

J: jornada de trabalho, h/dia;

Ti: tempo de irrigação, h.

Layout da Área



$$L_{LL} = 54\text{m} \quad Q_{LL} = 5 \cdot 0,000189 = 0,000945\text{m}^3/\text{s}$$

$$L_D = 198\text{m} \quad Q_D = 34 \cdot 0,000945 = 0,03213\text{m}^3/\text{s}$$

$$L_{LP} = 687,5\text{m} \quad Q_{LP} = 0,03213\text{m}^3/\text{s}$$

$$L_{ad} = 350\text{m} \quad Q_{ad} = 0,03213\text{m}^3/\text{s}$$

- Qtd linhas laterais: $200\text{m}/12\text{m} = 17$ linhas laterais para cada lado; 34 linhas laterais para cada setor; 408 linhas laterais totais. (esp. 12 m)
- Qtd de aspersores/linha lateral: $62,5/12 = 5$ aspersores em cada linha lateral; 170 aspersores por setor; 2040 aspersores totais. (esp. 12 m)
- Setorização:
 - 12 setores com 34 linhas laterais e 170 aspersores
- 12 linhas de derivação
- 1 linha principal
- 1 adutora

Dimensionamento da Linha Lateral – Diâmetro

$$\Delta H_{\max} \leq 20\% \text{ PS}$$

$$\Delta H_{\max} = 7,14 \text{ m}$$

ΔH_{\max} : perda de carga máxima, m;

PS: pressão de serviço do aspersor, mca.

$$D_{LL} = \left(\frac{10,64 \cdot L_{LL} \cdot Q_{LL}^{1,852} \cdot F}{\Delta H_{m\acute{a}x} \cdot C^{1,852}} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$$D_{LL} = \left(\frac{10,64 \cdot 54 \cdot 0,000945^{1,852} \cdot 0,457}{7,14 \cdot 140^{1,852}} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$D_{LL} = 0,023\text{m} \rightarrow \text{PVC PN 60 } \{\varnothing_{\text{nominal}}: 32\text{mm}; \varnothing_{\text{interno}}: 29,5\text{mm} = 0,0295\text{m}\}$

D_{LL} : diâmetro da linha lateral, m;

L_{LL} : comprimento da linha lateral, m;

Q_{LL} : vazão da linha lateral, m³/s;

$\Delta H_{m\acute{a}x}$: perda de carga máxima, m;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Tabela 4. Fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga.

Nº DE SAÍDAS	F						
1	1	9	0,408	17	0,375	30	0,362
2	0,639	10	0,398	18	0,373	35	0,359
3	0,534	11	0,396	19	0,372	40	0,357
4	0,485	12	0,393	20	0,37	50	0,355
5	0,457	13	0,39	22	0,368	51 a 100	0,35
6	0,438	14	0,387	24	0,366	101 a 250	0,348
7	0,425	15	0,385	26	0,364	251 a 500	0,345
8	0,416	16	0,382	28	0,362		

Perda de Carga na Linha Lateral

$$\Delta H_{LL} = 10,64 \cdot \frac{L_{LL}}{D_{LL}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{LL}}{C} \right)^{1,852} \cdot F$$

$$\Delta H_{LL} = 10,64 \cdot \frac{54}{0,0295^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,000945}{140} \right)^{1,852} \cdot 0,457$$

$\Delta H_{LL} = 1,97\text{ m}$

ΔH_{LL} : perda de carga na linha lateral, m;

L_{LL} : comprimento da linha lateral, m;

D_{LL} : diâmetro da linha lateral, m;

Q_{LL} : vazão da linha lateral, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Pressão no Início da Linha Lateral (P_{iLL})

$$P_{iLL} = PS + 0,75 \cdot \Delta H_{LL} \pm \text{ desnível} \cdot L_{LL}$$

$$P_{iLL} = 35,7 + 0,75 \cdot 1,97 \pm 0,05 \cdot 54$$

$$P_{iLL} = 40,878 \text{ m}$$

P_{iLL} : pressão no início da linha lateral, mca;

PS: pressão de serviço do aspersor, mca;

ΔH_{LL} : perda de carga na linha lateral, m;

desnível: desnível do terreno ao longo da linha lateral, decimal

L_{LL} : comprimento da linha lateral, m.

Dimensionamento da Linha de Derivação – Diâmetro

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{LD}}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03213}{\pi \cdot 2}}$$

$$D_{LD} = 0,143 \text{ m} \quad \rightarrow \text{PVC PN 60 } \{\text{Ønominal: 150mm; Øinterno: 162,2mm} = 0,1622\text{m}\}$$

D_{LD} : diâmetro da linha de derivação, m;

Q_{LD} : vazão da linha de derivação, m³/s;

v: velocidade média do escoamento, m/s.

Recomendação: $v_{\text{máx}} = 1,5 - 2,0$ m/s. {valor adotado = 2,0 m/s}

Perda de Carga na Linha de Derivação

$$\Delta H_{LD} = 10,64 \cdot \frac{L_{LD}}{D_{LD}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{LD}}{C}\right)^{1,852} \cdot F$$

$$\Delta H_{LD} = 10,64 \cdot \frac{198}{0,1622^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,03213}{140}\right)^{1,852} \cdot 0,359$$

$$\Delta H_{LD} = 0,97 \text{ m}$$

ΔH_{LD} : perda de carga na linha de derivação, m;

L_{LD} : comprimento da linha de derivação, m;

D_{LD} : diâmetro da linha de derivação, m;

Q_{LD} : vazão da linha de derivação, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Pressão no Início da Linha de Derivação (P_{ILD})

$$P_{ILD} = P_{iLL} + \Delta H_{LD} \pm \text{ desnível} \cdot L_{LD}$$

$$P_{ILD} = 40,878 + 0,97 \pm 0,03 \cdot 198$$

$$P_{ILD} = 47,788 \text{ m}$$

P_{ILD} : pressão no início da linha de derivação, mca;

P_{iLL} : pressão no início da linha lateral, mca;

ΔH_{LD} : perda de carga na linha de derivação, m;

desnível: desnível do terreno ao longo da linha lateral, decimal

L_{LD} : comprimento da linha de derivação, m.

Dimensionamento da Linha Principal – Diâmetro

$$D_{LP} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{LP}}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03213}{\pi \cdot 2}}$$

$$D_{LP} = 0,143 \text{ m} \quad \rightarrow \text{PVC PN 125 } \{\phi_{\text{nominal}}: 170\text{mm}; \phi_{\text{interno}}: 156,4\text{mm} = 0,1564\text{m}\}$$

D_{LP} : diâmetro da linha principal, m;

Q_{LP} : vazão da linha principal, m³/s;

v: velocidade média do escoamento, m/s.

Recomendação: $v_{\text{máx}} = 1,5 - 2,0 \text{ m/s}$. {valor adotado = 2,0 m/s}

Perda de Carga na Linha Principal

$$\Delta H_{LP} = 10,64 \cdot \frac{L_{LP}}{D_{LP}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{LP}}{C}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{LP} = 10,64 \cdot \frac{687,5}{0,1564^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,03213}{140}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{LD} = 11,18 \text{ m}$$

ΔH_{LP} : perda de carga na linha principal, m;

L_{LP} : comprimento da linha principal, m;

D_{LP} : diâmetro da linha principal, m;

Q_{LP} : vazão da linha principal, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

F: fator de múltiplas saídas para correção da perda de carga em linhas laterais.

Dimensionamento da Adutora – Diâmetro

$$D_{ad} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ad}}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{LD} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,03213}{\pi \cdot 2}}$$

$D_{ad} = 0,143 \text{ m}$ → PVC PN 125 { \varnothing nominal: 170mm; \varnothing interno: 156,4mm = 0,1564m}

D_{ad} : diâmetro da adutora, m;

Q_{ad} : vazão da adutora, m³/s;

v: velocidade média do escoamento, m/s.

Recomendação: $v_{\text{máx}} = 1,5 - 2,0 \text{ m/s}$. {valor adotado = 2,0 m/s}

Perda de Carga na Adutora

$$\Delta H_{ad} = 10,64 \cdot \frac{L_{ad}}{D_{as}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{ad}}{C}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{LP} = 10,64 \cdot \frac{350}{0,1564^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,03213}{140}\right)^{1,852}$$

$\Delta H_{ad} = 5,69 \text{ m}$

ΔH_{ad} : perda de carga na adutora, m;

L_{ad} : comprimento da adutora, m;

D_{ad} : diâmetro da adutora, m;

Q_{ad} : vazão da adutora, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140);

Dimensionamento da Sucção – Diâmetro

Aço zincado { \varnothing nominal: 175mm; \varnothing interno: 173,8mm = 0,1738m}

Perda de Carga na Sucção

$$\Delta H_s = 10,64 \cdot \frac{L_s}{D_s^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_s}{C}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_s = 10,64 \cdot \frac{4}{0,1738^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,03213}{125}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_s = 0,048 \text{ m}$$

ΔH_s : perda de carga na sucção, m;

L_s : comprimento da sucção, m;

D_s : diâmetro da sucção, m;

Q_s : vazão da sucção, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (aço zincado: C = 125).

Perda de Carga Localizada (Δh_{loc})

$$\Delta H = \Delta H_{LL} + \Delta H_{LD} + \Delta H_{LP} + \Delta H_{ad} + \Delta H_s$$

$$\Delta H = 1,97 + 0,97 + 11,18 + 5,69 + 0,048 \rightarrow \Delta H = 19,858 \text{ m}$$

ΔH : perda de carga total, m;

ΔH_{LL} : perda de carga na linha lateral, m;

ΔH_{LD} : perda de carga na linha de derivação, m;

ΔH_{LP} : perda de carga na linha principal, m;

ΔH_{ad} : perda de carga na adutora, m;

ΔH_s : perda de carga da sucção, m.

$$\Delta h_{loc} = 0,1 \cdot \Delta H \rightarrow \Delta h_{loc} = 0,1 \cdot 19,858 \rightarrow \Delta h_{loc} = 1,9858 \text{ m}$$

Δh_{loc} : perda de carga localizada, m;

ΔH : perda de carga total, m.

Altura Manométrica da Bomba (Hm)

$$H_m = P_{iLL} + \Delta H_{LD} \pm \text{Desnível}_{LD} \cdot L_{LD} + \Delta H_{LP} \pm \text{Desnível}_{LP} \cdot L_{LP} + \Delta H_{ad} \pm \text{Desnível}_{ad} \cdot L_{ad} + \Delta H_s + L_s + \Delta h_{loc}$$

$$H_m = 40,878 + 0,97 \pm 0,03 \cdot 198 + 11,18 \pm 0,05 \cdot 687,5 + 5,69 \pm 0,05 \cdot 350 + 0,048 + 4 + 1,9858$$

$$H_m = 122 \text{ mca}$$

Escolha da Bomba

- $H_o = 10,33 - (\text{Altitude}/700) \rightarrow H_o = 10,33 - (380/700) \rightarrow H_o = 8,93 \text{ m}$
- $\text{NPSHd} = 8,93 - 0,239 - 4 - 0,048 \rightarrow \text{NPSHd} = 4,643 \text{ m}$

Tabela 5. Tensão de vapor da água em função da sua temperatura.

TEMP °C	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
TENSÃO DE VAPOR	0,062	0,083	0,125	0,239	0,433	0,753	1,258	2,033	4,831	10,33

- $Q = 0,03213 \text{ m}^3/\text{s} = 115,668 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H_m = 122 \text{ mca}$
- $\text{NPSHd} = 4,643 \text{ m}$

→ Bomba escolhida: Bomba modelo BEW 100/4
 η (rendimento) = 73,1%

Potência da Bomba

$$P_{\text{bomba}} = \frac{Q \cdot H_m \cdot 1000}{75 \cdot \eta}$$

$$P_{\text{bomba}} = \frac{0,03213 \cdot 122 \cdot 1000}{75 \cdot 73,1\%}$$

$$P_{\text{bomba}} = 71,48 \text{ cv}$$

P: potência da bomba, cv;

Q: vazão na bomba, m³/s;

H_m: altura manométrica, m;

η : rendimento da bomba, decimal

Potência do Motor

$$P_{\text{motor}} = \text{Margem de segurança recomendada (1,10)} \cdot P_{\text{bomba}}$$

$$P_{\text{motor}} = 1,10 \cdot 71,48$$

$$P_{\text{motor}} = 78,63 \text{ cv} \sim 80 \text{ cv}$$

Tabela 6. Margem de segurança recomendada imposta na potência da bomba.

Potência exigida pela Bomba (Pot)	Margem de segurança recomendada (%)
Até 2 cv	50%
De 2 a 5 cv	30%
De 5 a 10 cv	20%
De 10 a 20 cv	15%
Acima de 20 cv	10%

Catálogo do Microaspersor

Tabela de Performance 5022SD - Bocal único, SD Azul Longo

Precipitação (mm/h) e uniformidade (CU) a vários espaçamentos

Bocal cor (mm)	P (bar)	Q (m ³ /h)	D (m)	Espaçamento (m)				
				10x10	10x12	12x12	12x14	14x14
3.0 Vermelho	2.5	0.570	21.0	5.7	4.8	4.0	3.4	2.9
	3.0	0.630	22.0	6.3	5.3	4.4	3.8	3.2
	3.5	0.680	23.0	6.8	5.7	4.7	4.1	3.5
	4.0	0.720	23.0	7.2	6.0	5.0	4.3	3.7
3.2 Verde	2.5	0.640	21.2	6.4	5.3	4.4	3.8	3.3
	3.0	0.700	22.2	7.0	5.8	4.9	4.2	3.6
	3.5	0.760	23.0	7.6	6.3	5.3	4.5	3.9
	4.0	0.810	23.0	8.1	6.8	5.6	4.8	4.1
3.5 Azul	2.5	0.740	23.0	7.4	6.2	5.1	4.4	3.8
	3.0	0.810	23.0	8.1	6.8	5.6	4.8	4.1
	3.5	0.870	24.0	8.7	7.3	6.0	5.2	4.4
	4.0	0.930	25.0	9.3	7.8	6.5	5.5	4.7
4.0 Preto	2.5	0.950	23.2	9.5	7.9	6.6	5.7	4.8
	3.0	1.030	24.2	10.3	8.6	7.2	6.1	5.3
	3.5	1.110	25.0	11.1	9.3	7.7	6.6	5.7
	4.0	1.180	26.0	11.8	9.8	8.2	7.0	6.0

Importante: Para aspersores de bocal único e de dois bocais assegurar de que está sendo utilizada a unidade SD recomendada (especificada na tabela de performance). 1 bar = 10,2 mca

DIMENSIONAMENTO DO PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

Dados:

- Cultura: alho;
- Eficiência de irrigação: 85%
- Solo: Textura = argiloso;
- Velocidade de infiltração básica (VIB): 5 mm/h;
- Capacidade de Água Disponível (CAD): 34,5 mm;
- Jornada de Trabalho: 16 h
- Localização: Cristalina-GO
 - Altitude: 980 m
- Dados da Área: Raio do pivô: 309 m; Declive: 5 e 3 %
- Distância até o ponto de captação: 350 m

Evapotranspiração de referência (ET_o)

Tabela 1. Evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Cristalina-GO (2008 – 2021)

MÊS	ET _o (mm dia ⁻¹)
Janeiro	4,19
Fevereiro	4,10
Março	3,68
Abril	3,40
Mai	3,03
Junho	2,92
Julho	3,34
Agosto	4,23
Setembro	5,04
Outubro	4,74
Novembro	3,85
Dezembro	4,06

Coefficiente da Cultura (K_c)

Tabela 2. Coeficiente da cultura (K_c) do alho.

Fase do Desenvolvimento da cultura	K _c
K _c estágio vegetativo	0,80 – 0,85
K _c estágio de crescimento do bulbo	1,00 – 1,05
K _c estágio de maturação	0,70 – 0,75

Fonte: EMBRAPA

Lâmina de Projeto (LB)

- CAD = 34,5 mm

CAD: capacidade de água no solo disponível para a cultura, mm.

- $AFD = CAD \cdot f$ {f = 0,3
 $AFD = 34,5 \cdot 0,3$ {f = 0,3
 $AFD = 10,35$ mm
 OBS.: $AFD = LL$

AFD: água facilmente disponível no solo para a cultura, mm;

CAD: capacidade de água no solo disponível para a cultura, mm;

f: fator de disponibilidade hídrica, adimensional.

Fator de disponibilidade de água no Solo (f) de acordo com grupos de culturas e Evapotranspiração da cultura (ETc)

Tabela 3. Fator de disponibilidade de água no Solo (f)

Grupo	Culturas
1	Cebola, alho, pimenta, batata
2	Banana, repolho, uva, ervilha, tomate
3	Alfafa, feijão, cítricos, amendoim, abacaxi, girassol, melancia, trigo
4	Algodão, milho, azeitonas, açafrão, sorgo, soja, beterraba, cana-de-açúcar, fumo

Grupo da Cultura	ETc (mm/dia)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,50	0,42	0,35	0,30	0,25	0,22	0,20	0,20	0,18
2	0,68	0,58	0,48	0,40	0,35	0,33	0,28	0,25	0,22
3	0,80	0,70	0,60	0,50	0,45	0,42	0,38	0,25	0,30
4	0,88	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,42	0,40

Fonte: Bernardo (2019)

$$LB = \frac{LL}{EA}$$

$$LB = \frac{10,35}{0,85}$$

$$\rightarrow LB = 12,18 \text{ mm}$$

LL: lâmina líquida, mm;

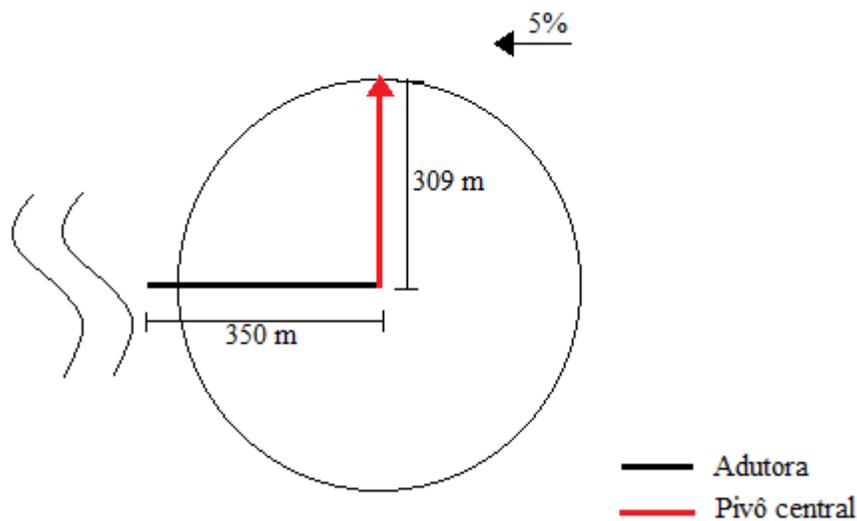
LB: lâmina bruta, mm;

EA: eficiência de aplicação, decimal.

(EA aspersão convencional = 85%)

Composição da Parte Aérea

→ Layout da área



→ Lances da Torre

A declividade do terreno é igual a 5%, logo o arranjo dos lances da torre ficaram da seguinte maneira:

- 4 lances longos = 4 x 54,86 m
 - 1 lance médio = 1 x 48,00 m
 - 1 lance pequeno = 1 x 41,21 m
- Total = 308,65 m**

Tabela 4. Informações dos lances da torre.

Lance	Diâmetro	Comprimento (m)	Declividade do terreno (%)
Pequeno	10"	41,21	15 – 20
Pequeno	8.5/8"	41,21	15 – 20
Médio	8.5/8"	48,00	10 – 15
Longo	8.5/8"	54,86	5 – 10

Pequeno	6.5/8"	41,21	15 – 20
Médio	6.5/8"	48,00	10 – 15
Longo	6.5/8"	54,86	5 – 10
Muito Longo	6.5/8"	61,72	< 5
Balanço	6.5/8"	7 – 28	-

Pressão no final da tubulação: 13; 20 ou 34 mca.

→ Área do Pivô (R)

$$A = \frac{\pi \cdot R^2}{10000}$$

$$A = 29,93 \text{ ha}$$

R: raio do pivô, m;

A: área, ha.

(1 ha = 10.000 m²)

→ Altura dos aspersores

Tabela 5. Altura dos aspersores de acordo com a altura do pivô.

Tipo de torre	Altura da torre (m)	Altura dos aspersores (m)
Standard	2,74	3,54
Alto	3,75	4,55
Extra alta	4,60	5,40
Super alta	5,50	6,30

○ Altura da Torre = 2,74 m → Altura dos aspersores = 3,54

Vazão do Projeto (Q)

- $ET_{cmax} = ET_{omax} \cdot K_{cmax}$
 $ET_{cmax} = 5,04 \cdot 1,05$
 $ET_{cmax} = 5,292 \text{ mm/dia}$

ET_{cmax} : evapotranspiração máxima da cultura, mm/dia;

ET_{omax} : evapotranspiração potencial máxima da cultura de referência, mm/dia;

kc: coeficiente máximo da cultura, adimensional.

- $TR = \frac{AFD}{ET_{cmax}}$
 $TR = \frac{10,35}{5,292}$

$$TR = 1,95 \sim 2 \text{ dias}$$

TR: turno de rega, dias;

AFD: água facilmente disponível, mm;

ET_{c máx}: evapotranspiração máxima da cultura, mm/dia.

$$Q = \frac{LB \cdot A}{Ti \cdot 360 \cdot TR}$$

$$Q = \frac{12,18 \cdot 29,93}{16 \cdot 360 \cdot 2}$$

$$\rightarrow Q = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$$

Q: vazão de projeto, m³/s;

LB: lâmina bruta, mm;

A: área, ha;

Ti: tempo de irrigação;

TR: turno de rega, dias.

Escolha do Aspersor e Catalogação

Aspersor WOBBLER I-WOB2 (Fabricante: Senninger)

- A catalogação dos aspersores foi realizada pela empresa fabricante.

Pressão no final da tubulação: > 21 mca. Logo seguindo as informações da Tabela 4, a única pressão no final da tubulação maior que 21 mca é 34 mca.

Perda de Carga da Parte Aérea (Diâmetro = 6,5/8")

$$\Delta H_{pa} = (7,2 \cdot Q_{pa})^{1,85} \cdot 0,1108 \cdot L_{pa}$$

$$\Delta H_{pa} = (7,2 \cdot 0,032)^{1,85} \cdot 0,1108 \cdot 308,65$$

$$\Delta H_{pa} = 2,26 \text{ m}$$

ΔH_{pa} : perda de carga da parte aérea, m;

Q_{pa} : vazão da parte aérea, m³/s;

L_{pa} : comprimento da parte aérea (raio do pivô), m.

Dimensionamento da Adutora – Diâmetro

$$D_{ad} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{ad}}{\pi \cdot v}}$$

$$D_{ad} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,032}{\pi \cdot 2}}$$

$D_{ad} = 0,143 \text{ m} \rightarrow \text{PVC PN 125 } \{\varnothing_{\text{nominal}}: 150\text{mm}; \varnothing_{\text{interno}}: 156,4\text{mm} = 0,1564\text{m}\}$

D_{ad} : diâmetro da adutora, m;

Q_{ad} : vazão da adutora, m³/s;

v: velocidade média do escoamento, m/s.

Recomendação: $v_{\text{máx}} = 1,5 - 2,0 \text{ m/s}$. {Valor adotado: 2,0 m/s}

Perda de Carga na Adutora

$$\Delta H_{ad} = 10,64 \cdot \frac{L_{ad}}{D_{ad}^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_{ad}}{C}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_{ad} = 10,64 \cdot \frac{350}{0,1564^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,032}{140}\right)^{1,852}$$

$\Delta H_{ad} = 5,65 \text{ m}$

ΔH_{ad} : perda de carga da adutora, m;

L_{ad} : comprimento da adutora, m;

D_{ad} : diâmetro da adutora, m;

Q_{ad} : vazão da adutora, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (PVC: C = 140).

Dimensionamento da Sucção – Diâmetro

Aço zincado $\{\varnothing_{\text{nominal}}: 175\text{mm}; \varnothing_{\text{interno}}: 173,8\text{mm} = 0,1738\text{m}\}$

Perda de Carga na Sucção

$$\Delta H_s = 10,64 \cdot \frac{L_s}{D_s^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q_s}{C}\right)^{1,852}$$

$$\Delta H_s = 10,64 \cdot \frac{4}{0,1738^{4,87}} \cdot \left(\frac{0,032}{125}\right)^{1,852}$$

$\Delta H_s = 0,048 \text{ m}$

ΔH_s : perda de carga da sucção, m;

L_s : comprimento da sucção, m;

D_s : diâmetro da sucção, m;

Q_s : vazão da sucção, m³/s;

C: coeficiente de Hazen-Williams (aço zincado: $C = 125$).

Perda de Carga Localizada (Δh_{loc})

$$\Delta H = \Delta H_{pa} + \Delta H_{ad} + \Delta H_s$$

$$\Delta H = 2,26 + 5,65 + 0,048$$

$$\Delta H = 7,958 \text{ m}$$

ΔH : perda de carga total, m;

ΔH_{pa} : perda de carga da parte aérea, m;

ΔH_{ad} : perda de carga da adutora, m;

ΔH_s : perda de carga da sucção, m.

$$\Delta h_{loc} = 0,1 \cdot \Delta H \rightarrow \Delta h_{loc} = 0,1 \cdot 7,958 \rightarrow \Delta h_{loc} = 0,7958$$

Δh_{loc} : perda de carga localizada, m;

ΔH : perda de carga total, m.

Altura Manométrica da Bomba (Hm)

$$Hm = \text{pressão final parte aérea} + \Delta H_{pa} + L_{pa} \cdot \text{Desnível}_{pa} + \text{altura dos aspersores} \\ + \Delta H_{ad} + L_{ad} \cdot \text{Desnível}_{ad} + \Delta H_s + L_s + \Delta h_{loc}$$

$$Hm = 34 + 2,26 + 308,64 \cdot 0,05 + 3,54 + 5,65 + 350 \cdot 0,05 + 0,048 + 4 + 0,7958$$

$$Hm = 83 \text{ mca}$$

Escolha da Bomba

- $H_o = 10,33 - (\text{Altitude}/700) \rightarrow H_o = 10,33 - (380/700) \rightarrow H_o = 8,93 \text{ m}$
- $\text{NPSHd} = H_o - H_v - L_s - \Delta H_s \rightarrow \text{NPSHd} = 8,93 - 0,239 - 4 - 0,048 \rightarrow \text{NPSHd} = 4,643 \text{ m}$

Tabela 6. Tensão de vapor da água em função da sua temperatura.

TEMP °C	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
TENSÃO DE VAPOR	0,062	0,083	0,125	0,239	0,433	0,753	1,258	2,033	4,831	10,33

- $Q = 0,032 \text{ m}^3/\text{s} = 115,2 \text{ m}^3/\text{h}$
- $Hm = 83 \text{ mca}$
- $\text{NPSHd} = 4,643 \text{ m}$

→ Bomba escolhida: Bomba modelo ITAP 100-500/2

$$\eta \text{ (rendimento)} = 69,1\%$$

Potência da Bomba

$$P_{\text{bomba}} = \frac{Q \cdot Hm \cdot 1000}{75 \cdot \eta}$$

$$P_{\text{bomba}} = \frac{0,032 \cdot 83 \cdot 1000}{75 \cdot 69,1\%}$$

$$P_{\text{bomba}} = 51,24 \text{ cv}$$

Potência do Motor

$$P_{\text{motor}} = \text{Margem de segurança recomendada (1,10)} \cdot P_{\text{bomba}}$$

$$P_{\text{motor}} = 1,10 \cdot 51,24$$

$$P_{\text{motor}} = 56,4 \text{ cv} \sim 60 \text{ cv}$$

Tabela 6. Margem de segurança recomendada imposta na potência da bomba.

Potência exigida pela Bomba (Pot)	Margem de segurança recomendada (%)
Até 2 cv	50%
De 2 a 5 cv	30%
De 5 a 10 cv	20%
De 10 a 20 cv	15%
Acima de 20 cv	10%

Catálogo do Aspersor do Pivô Central

				
I-WOB2 CRITÉRIOS DO PROJETO	Ângulo padrão 6 ranhuras - cinza Gotas pequenas	Ângulo padrão 9 ranhuras - preto Gotas médias	Ângulo baixo 9 ranhuras - azul Gotas médias	Ângulo baixo 6 ranhuras - branco Gotas grandes
Tamanhos dos bocais				
at 0,41 bar (6 psi)**	#12 - 26 4,76 - 10,32 mm (3/8 - 3/4")	#12 - 26 4,76 - 10,32 mm (3/8 - 3/4")	#12 - 26 4,76 - 10,32 mm (3/8 - 3/4")	#12 - 26 4,76 - 10,32 mm (3/8 - 3/4")
at 0,69 - 1,03 bar (10 - 15 psi)	#10 - 26 3,97 - 10,32 mm (5/8 - 3/4")	#6 - 26 2,38 - 10,32 mm (3/4 - 3/4")	#6 - 26 2,38 - 10,32 mm (3/4 - 3/4")	#12 - 26 4,76 - 10,32 mm (3/8 - 3/4")
Vazão				
at 0,41 bar (6 psi)**	570 - 4168 L/hr (2,51 - 18,35 gpm)	570 - 4168 L/hr (2,51 - 18,35 gpm)	570 - 4168 L/hr (2,51 - 18,35 gpm)	570 - 4168 L/hr (2,51 - 18,35 gpm)
at 0,69 - 1,03 bar (10 - 15 psi)	509 - 4168 L/hr (2,24 - 18,35 gpm)	182 - 4168 L/hr (0,8 - 18,35 gpm)	182 - 4168 L/hr (0,8 - 18,35 gpm)	736 - 4168 L/hr (3,24 - 18,35 gpm)
Diâmetros				
0,91 m (3 pés) altura at 0,41 bar (6 psi)**	8,0 - 9,1 m (26 - 30 pés)	9,1 - 10,4 m (30 - 34 pés)	8,5 - 9,1 m (28 - 30 pés)	8,5 - 9,8 m (28 - 32 pés)
0,91 m (3 pés) altura at 0,69 - 1,03 bar (10 - 15 psi)	11,0 - 14,0 m (36 - 46 pés)	9,5 - 16,2 m (31 - 53 pés)	9,5 - 14,3 m (31 - 47 pés)	12,2 - 14,9 m (40 - 49 pés)
1,83 m (6 pés) altura at 0,41 bar (6 psi)**	9,1 - 10,4 m (30 - 34 pés)	11,0 - 12,8 m (36 - 42 pés)	9,8 - 10,7 m (32 - 35 pés)	9,8 - 11,9 m (32 - 39 pés)
1,83 m (6 pés) altura at 0,69 - 1,03 bar (10 - 15 psi)	10,7 - 15,2 m (35 - 50 pés)	10,4 - 17,4 m (34 - 57 pés)	10,7 - 15,2 m (35 - 50 pés)	13,4 - 16,2 m (44 - 53 pés)
2,74 m (9 pés) altura at 0,41 bar (6 psi)**	10,4 - 11,0 m (34 - 36 pés)	12,2 - 14,0 m (40 - 46 pés)	11,0 - 12,8 m (36 - 42 pés)	10,4 - 13,4 m (34 - 44 pés)
2,74 m (9 pés) altura at 0,69 - 1,03 bar (10 - 15 psi)	11,0 - 15,8 m (36 - 52 pés)	11,6 - 18,0 m (38 - 59 pés)	11,9 - 16,8 m (39 - 55 pés)	14,0 - 17,4 m (49 - 57 pés)
Espaçamento máximo***				
at 0,41 bar (6 psi)**	3,0 m (10 pés)	3,0 m (10 pés)	3,0 m (10 pés)	3,0 m (10 pés)
at 0,69 - 1,03 bar (10 - 15 psi)	5,5 m (18 pés)	6,1 m (20 pés)	5,5 m (18 pés)	4,6 m (15 pés)
Pressão no bocal				
Mínimo	0,41 bar (6 psi)	0,41 bar (6 psi)	0,41 bar (6 psi)	0,69 bar (6 psi)
Máximo	1,03 bar (15 psi)	1,03 bar (15 psi)	1,03 bar (15 psi)	1,03 bar (15 psi)

* Recomenda-se que bocais maiores sejam usados apenas em solos que tenham com taxas de infiltração mais altas.

** A Senninger recomenda 10 psi (0,69 bar) para um desempenho ideal. 6 psi (0,41 bar) pode ser usado para bocais # 12 e maiores.

*** Para um desempenho ideal, a Senninger recomenda o uso de espaçamento máximo para 1-2 vãos apenas.

Observação: Sempre monte o i-Wob2 em uma mangueira flexível reforçada de, no mínimo, 2 pés (0,6 m). A mangueira deve estar na extremidade de qualquer tubo de descida semi-rígido ou rígido. Mantenha i-Wob2s acima do dossel da cultura quando o espaçamento de saída exceder 10 pés (3,0 m). Isso é especialmente importante em culturas de alto porte.

8.2 ORÇAMENTO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Relação dos materiais utilizado no projeto de Aspersão convencional 1:

Aspersores

Qtd.	Descrição	Preço unitário	Valor Total
880	Aspersor IS-30 (Agropolo)	R\$ 27,00	R\$ 23.760,00

Tubos e conexões

Qtd.	Descrição	Preço unitário	Valor Total
168	Tubo DEFOFO 170mm PN125	R\$ 920,00	R\$ 154.560,00
252	Tubo Sold. 150mm PN60	R\$ 580,00	R\$ 146.160,00
2376	Tubo Sold. 50mm PN 60	R\$ 66,00	R\$ 156.816,00
8	TEE DEFOFO 170mm	R\$ 2.085,00	R\$ 16.680,00
8	Adaptador PVC PBS 160x150mm	R\$ 100,00	R\$ 800,00
8	Registro 100mm	R\$ 431,00	R\$ 3.448,00
16	Adaptador 150x100mm	R\$ 101,00	R\$ 1.616,00
176	TEE 150x75mm	R\$ 225,00	R\$ 39.600,00
176	Luva 75x50mm	R\$ 12,00	R\$ 2.112,00
880	TEE 50x32mm	R\$ 10,00	R\$ 8.800,00

Unidade de Bombeamento

Qtd.	Descrição	Preço unitário	Valor Total
1	Motobomba	R\$ 42.500,00	R\$ 42.500,00
1	Quadro elétrico	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00

Condições Comerciais

Valor da montagem completa = R\$ 65.000,00

VALOR TOTAL = R\$ 675.852,00

Relação dos materiais utilizado no projeto de Aspersão convencional 2:

Aspersores

Qtd.	Descrição	Preço unitário	Valor Total
2040	Aspersor 5022SD	R\$ 30,00	R\$ 61.200,00

Tubos e conexões

Qtd.	Descrição	Preço unitário	Valor Total
173	Tubo DEFOFO 170mm PN125	R\$ 920,00	R\$ 159.160,00
396	Tubo Sold. 150mm PN60	R\$ 580,00	R\$ 229.680,00
3672	Tubo Sold. 32mm PN 60	R\$ 35,00	R\$ 128.520,00
12	TEE DEFOFO 170mm	R\$ 2.085,00	R\$ 25.020,00
12	Adaptador PVC PBS 160x150mm	R\$ 100,00	R\$ 1.200,00
12	Registro 100mm	R\$ 431,00	R\$ 5.172,00
24	Adaptador 150x100mm	R\$ 100,00	R\$ 2.400,00
204	TEE 150x75mm	R\$ 155,00	R\$ 31.620,00
204	TEE 75mm	R\$ 42,00	R\$ 8.568,00
408	Adaptador 75x32mm	R\$ 20,00	R\$ 8.160,00
2040	TEE 32mm	R\$ 8,00	R\$ 16.320,00

Unidade de Bombeamento

Qtd.	Descrição	Preço unitário	Valor Total
1	Motobomba	R\$ 35.700,00	R\$ 35.700,00
1	Quadro elétrico	R\$ 14.000,00	R\$ 14.000,00

Condições Comerciais

Valor da montagem completa = R\$ 65.000,00

VALOR TOTAL = R\$ 791.720,00

Relação dos materiais utilizado no projeto de Pivô Central:

Pivô central; 6 lances (diâmetro 6.5/8"); alcance total 308,65 m; área circular irrigada 29,93 ha; altura da torre: Standard – 2,74 m.

Aspersores e Lances

Qtd.	Descrição	Preço	Valor Total
10 cx	Aspersores Spray IWobbler	R\$ 15.940,00	R\$ 15.940,00
6	Lance Pivô	R\$ 236.400,00	R\$ 236.400,00

Tubos, conexões e unidade de bombeamento

Qtd.	Descrição	Preço	Valor Total
---	Tubos	R\$ 136.000,00	R\$ 136.000,00
---	Conexões	R\$ 65.000,00	R\$ 65.000,00
1	Motobomba	R\$ 43.000,00	R\$ 43.000,00
2	Quadro elétrico	R\$ 70.350,00	R\$ 70.350,00

Condições Comerciais

Valor da montagem completa = R\$ 65.085,00

VALOR TOTAL = R\$ 632.075,00