

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO, CAMPUS URUTAÍ – GO**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PROJETO DE IRRIGAÇÃO VIA ASPERSÃO CONVENCIONAL COM AUXÍLIO DE**  
**AEROFOTOGRAMETRIA PARA CULTURA DO MILHO**

**MARCELO AUGUSTO GOMES ARAÚJO**

**URUTAÍ - GO**

**2024**

# MARCELO AUGUSTO GOMES ARAÚJO

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

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

**Coorientador:** Prof. Dr. Victor Tomaz

**URUTAÍ - GO**

**2024**

# FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

**AAR663** Araújo, Marcelo Augusto Gomes  
Projeto de Irrigação Via Aspersão Convencional comp  
Auxílio de Aerofotogrametria Para Cultura do Milho /  
Marcelo Augusto Gomes Araújo; orientador Leandro  
Caixeta Salomão ; co-orientador Victor Tomaz Oliveira . --  
Urutaí, 2024.  
32 p.

Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em em Engenharia  
Agrícola ) -- Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2024.

1. Aerofotogrametria. 2. Aspersão Convencional .  
3. Planejamento. I. Salomão , Leandro Caixeta, orient. II. Oliveira ,  
Victor Tomaz, co-orient. III. Título.

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

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

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

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

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Marcelo Augusto Gomes Araújo

Matrícula:

2019101200640147

Título do trabalho:

Projeto de Irrigação via Aspersão Convencional com Auxílio de Aerofotogrametria para Cultura do Milho

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

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

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

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

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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

Urutaí - GO

Local

11 / 03 / 2024

Data

Marcelo Augusto Gomes Araújo

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO

**Documentos 6/2024 - CCEG-UR/GEG-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO**

BANCHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA/COORDENAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

**PROJETO DE IRRIGAÇÃO VIA ASPERSÃO CONVENCIONAL COM AUXÍLIO DE AEROFOTOGRAMETRIA  
PARA CULTURA DO MILHO**

MARCELO AUGUSTO GOMES ARAÚJO

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

Defendido e aprovado pela Comissão Examinadora em: 23 /02/2024.

---

**Prof. Dr. Leandro Caixeta Salomão**

**Orientador**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Raiane Ferreira de Miranda**

**Examinador**

---

**Prof<sup>a</sup>. Me<sup>a</sup>. Maria Rosa Alferes**

**Examinador**

---

**Prof. Dr. Victor Tomaz de Oliveira**

Co-Orientador/Participante

Documento assinado eletronicamente por:

- Raiane Ferreira de Miranda, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2024 12:44:51.
- Victor Tomaz de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/02/2024 11:42:09.
- Maria Rosa Alferes da Silva, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 27/02/2024 11:36:55.
- Leandro Caixeta Salomao, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/02/2024 11:21:50.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 576909

Código de Autenticação: 66424200d0



**INSTITUTO FEDERAL GOIANO**

**Campus Urutaí**

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

**(64) 3465-1900**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro, a Deus, pelo dom da vida, por ter sido meu refúgio em meio as dificuldades enfrentadas e por ter me concedido, através de sua graça, a inteligência, a resiliência, a fé e a perseverança para concluir este curso.

Aos meus pais, Marcelo Araújo Pereira e Letícia Gomes da Silva, e ao meu irmão, Filipi Gomes Araújo, por todo esforço, dedicação e paciência que tiveram comigo ao longo do curso, por me proporcionarem, através de seus suores, todas as condições necessárias para que eu pudesse concluir esta etapa da minha vida.

A minha namorada, Vanessa Xavier Rocha, por todo carinho e apoio dado em todos os momentos de dificuldades e angústias, por ter sido meu alicerce ao longo de todos esses anos acadêmicos.

A todos meus familiares que me ajudaram e me apoiaram de maneira direta e indireta na conclusão dessa jornada.

Aos meus orientadores, Leandro Caixeta Salomão e Victor Tomaz, pelos conselhos, ensinamentos, direcionamentos e pela paciência durante toda a elaboração deste trabalho.

A todos professores e funcionários da instituição que contribuíram de todas as formas para que eu pudesse crescer e me fortalecer como aluno e como ser humano.

A todos meus amigos que fiz e com quem convivi, durante o curso, mais tempo do que com minha família, pelo companheirismo, os ensinamentos, pelas risadas e por todo apoio dado.

Ao Uesley Quirino, por me abrir as portas da empresa Central Irrigação, lugar onde tive minha primeira experiência profissional e também onde tive o privilégio de trabalhar ao lado dos melhores profissionais do âmbito da irrigação, fator determinante para aprofundar meus conhecimentos nessa área que abrange o tema deste trabalho.

E, por fim, ao Instituto Federal Goiano, pela oportunidade de vivenciar e realizar o sonho da graduação em um ambiente privilegiado que dispõe de uma das melhores estruturas de ensino do país.

## EPÍGRAFE

“Quando te custa muito estudar, oferece a Jesus esse esforço. Diz-Lhe que continuas debruçado sobre os livros para que a tua ciência seja a arma com que possas combater os seus inimigos e ganhes muitas almas para Ele... Então podes ter a certeza que o teu estudo está a caminho de se transformar em oração.”

São Josemaria Escrivá, Sulco Nº 619



## PROJETO DE IRRIGAÇÃO VIA ASPERSÃO CONVENCIONAL COM AUXÍLIO DE AEROFOTOGRAMETRIA PARA CULTURA DO MILHO

**RESUMO:** A irrigação é uma prática agrícola que permite alcançar a necessidade hídrica ideal das culturas durante o ciclo produtivo, quando as precipitações naturais não forem suficientes. A utilização deste método permite melhorar a eficiência de aplicação de água no solo, viabilizando maior desenvolvimento radicular da planta. Ao associar práticas agrícolas com tecnologias, a agricultura torna-se precisa, de modo a modernizar, automatizar, elevar a produtividade e viabilizar maior eficiência no uso dos recursos naturais. Diante disso, o objetivo desse trabalho é elaborar um projeto de irrigação via aspersão convencional para a cultura do milho, com auxílio de aerofotogrametria no levantamento de dados. Para alcançar esse objetivo realizamos um aerolevante com drone, gerando um ortomosaico de imagens aéreas e um Modelo Digital de Terreno a partir do processamento pelo software *WebODM*. Além disso, um levantamento bibliográfico foi realizado para obtenção de um apanhado técnico relacionado a cultura do milho, do solo e do clima da região, com a finalidade de realizar o dimensionamento hidráulico e operacional do projeto. Dessa forma foi possível dimensionar a perda de carga, o diâmetro das tubulações, a potência demandada do conjunto motobomba além dos custos relacionados aos gastos energéticos e os componentes do sistema de irrigação. A partir dos métodos empregados e dos resultados obtidos pudemos concluir que o uso de dados aerofotogramétricos pode gerar economia de tempo e de recursos humanos sem que a precisão e a qualidade do produto final sejam comprometidas.

**Palavras-chave:** aerofotogrametria; aspersão convencional; planejamento.

**ABSTRACT:** Irrigation is an agricultural practice that allows achieving the ideal water requirements of crops during the production cycle when natural precipitation is insufficient. The use of this method improves the efficiency of water application in the soil, enabling greater root development of the plant. By combining agricultural practices with technologies, agriculture becomes precise, modernizing, automating, increasing productivity, and enabling greater efficiency in the use of natural resources. Therefore, the objective of this work is to develop a conventional sprinkler irrigation project for corn cultivation, with the aid of aerial photogrammetry in data collection. To achieve this goal, we conducted an aerial survey with a drone, generating an orthomosaic of aerial images and a Digital Terrain Model through processing with the *WebODM* software. Additionally, a literature review was conducted to obtain technical information related to corn cultivation, soil, and the climate of the region, aiming to dimension the hydraulic and operational aspects of the project. This allowed us to size the head loss, pipe diameters, power demand of the pump unit, as well as costs related to energy expenses and components of the irrigation system. Based on the methods employed and the results obtained, we could conclude that the use of aerial photogrammetric data can save time and human resources without compromising the precision and quality of the final product.

**Keywords:** aero photogrammetry; conventional sprinkler; planning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases do mapeamento aerofotogramétrico .....	6
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudos - Ortofoto.....	9
Figura 3 - Modelo do Drone DJI Pro.....	10
Figura 4 - Planejamento de voo parte 1, Aplicativo DroneDeploy .....	11
Figura 5 - Planejamento de voo parte 2, Aplicativo DroneDeploy .....	11
Figura 6 - Catálogo de aspersores Agropolo NY 30.....	13
Figura 7 - Curva da bomba.....	24
Figura 8 - Croqui da Área dimensionada .....	28
Figura 9 – Modelo Digital de Terreno .....	29

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 IRRIGAÇÃO: CONCEITOS E APLICAÇÕES. ....	3
2.2 A COLETA DE DADOS COM USO AEROFOTOGRAMÉTRICO. ....	5
2.3 SOBRE O PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL. ....	7
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>9</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>14</b>
4.1 MEMORIAL DESCRITIVO: .....	14
4.2 DIMENSIONAMENTO AGRONÔMICO .....	15
4.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO .....	16
4.4 LISTA DE MATERIAIS.....	25
4.5 CROQUI DO PROJETO .....	28
4.6 MDT – MODELO DIGITAL DE TERRENO .....	29
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>30</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O uso da irrigação proporciona diversos benefícios relacionados a produtividade e a economia. Além de que, cumpre um papel social importante com a geração de empregos e melhorias na qualidade de vida na zona rural. De acordo com Bernardo *et al.* (2006), a agricultura irrigada, em regiões semiáridas, produz cerca de 0,8 a 1,2 emprego direto, enquanto a produção sequeira gera 0,22 emprego por hectare, ademais, a agricultura irrigada viabiliza o aumento produtivo de 2,5 a 3,0 e o lucro bruto obtido chega até cinco vezes o valor gerado em áreas não irrigadas, devido a minimização dos custos de produção.

Conforme o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografias e Estatísticas) no Censo Agropecuário de 2006, os sistemas de irrigação eram utilizados por cerca de 6,3% dos estabelecimentos do País. Neste estudo, a área irrigada foi de 7,4% da área total das lavouras, cerca de 4,45 milhões de hectares.

Entretanto, Coelho *et al.* (2005), salientam que os sistemas de irrigação existentes no mundo possuem baixa eficiência de aplicação média, cerca de 37%, os autores responsabilizam a esse valor os sistemas mal dimensionados e aos manejos inadequados. Neste sentido, destacam a importância de aperfeiçoar os métodos de irrigação, desenvolver tecnologias e capacitar tecnicamente os irrigantes, com intuito de otimizar o uso da água e energia elétrica nesse setor. Para os autores, a necessidade da outorga para uso da água e a tarifação do consumo da mesma, são políticas imprescindíveis para viabilizar o uso sustentável e ecológico da irrigação.

Mantovani *et al.* (2006), afirmam que mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos na agricultura irrigada, entretanto, em função do contínuo crescimento da população mundial, a agricultura tem exigido maior competitividade e tecnologia para a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade no menor intervalo de tempo.

A agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. Sendo assim, não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada com a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem

prejuízo para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Um manejo sustentável implica em algo mais além da manutenção dos índices de produtividade (MANTOVANI *et al.*, 1998)

CAMPO (2000), define a agricultura de precisão como um conjunto de métodos e técnicas que possibilita identificar geograficamente, compreender e demarcar diferentes áreas de produtividade, por meio da informática, softwares específicos, sensores, controladores de máquina e sistemas de navegação por satélite.

Isto posto, este trabalho tem por objetivo expor a elaboração de um projeto de irrigação via aspersão convencional para a cultura do milho, com auxílio de aerofotogrametria no levantamento de dados. Visando, desta forma, otimizar o tempo e os custos para levantamento dos dados necessários para realização do projeto, por meio do aerolevanteamento na produção do material cartográfico, além da maximização da produtividade da cultura, com a maior eficiência de aplicação e uso dos recursos naturais por meio da irrigação, e economia no consumo energético com o dimensionamento criterioso do conjunto motobomba.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Irrigação: conceitos e aplicações

Gomes (1999) define a irrigação como uma prática agrícola que deve ser aplicada para ampliar a distribuição de água para as culturas no campo, quando as precipitações naturais não suprirem a demanda hídrica das plantas.

Mantovani *et al.* (2009) complementa descrevendo a irrigação como uma prática agrícola utilizada para otimizar a produtividade e qualidade dos alimentos cultivados. Os autores destacam que, além dos benefícios de produção, a irrigação traz consigo os benefícios econômicos e sociais, proporcionando o desenvolvimento de dada região, além da melhoria na qualidade de vida e manutenção do trabalhador rural. Os autores salientam que 17% das áreas irrigadas mundialmente são responsáveis por 40% da produção, e que, no Brasil, 5% das áreas são irrigadas, representando 16% da produção e 35% do valor econômico.

Para além disso, a utilização de técnicas de irrigação para suprir a demanda hídrica das plantas reduz o risco de perdas na safra, proporcionando maior garantia de produtividade (TESTEZLAF, 2002). O autor afirma ainda que, no setor agrícola, ter a possibilidade de reduzir as perdas na produção torna-se imprescindível para grandes investimentos nas áreas produtivas. Desta forma, a irrigação pode ser vista como uma ferramenta capaz de ampliar os horizontes de produtividade, além de facilitar a capitalização no setor agropecuário.

A ANA (2015) (Agência Nacional de Águas), afirma que a irrigação assume um papel fundamental no desenvolvimento dos arranjos produtivos. Apesar de elevar o consumo de água, há um aumento da produtividade e do valor da produção, devido os investimentos realizados no setor, resultando em menor pressão na necessidade de utilizar novas áreas para produção.

Pires *et al.* (2008), reiteram que a agricultura irrigada é responsável por consumir 69% da água doce disponível no mundo, devido a necessidade hídrica das plantas para desenvolver-se. No entanto, os autores relatam que 90% dessa água consumida retorna ao ciclo hidrológico através da evapotranspiração das plantas, além disso, destacam a importância de investir em pesquisas tecnológicas que possibilitam desenvolver o método de irrigação de forma sustentável e eficiente.

Por outro lado, há que se destacar a necessidade dos instrumentos de controle na prática da irrigação. Queiros *et al.* (2008), dissertam sobre a necessidade, por exemplo, de outorga e tarifação para o uso e consumo da água na agricultura irrigada, visando a preservação deste recurso, e cita os países mais desenvolvidos como exemplo na concepção desses meios de

preservação. Os autores ainda relatam o grande desafio proposto na Engenharia Agrícola em aperfeiçoar os sistemas de irrigação existentes, buscando minimizar cada vez mais as perdas no processo, especialmente as decorrentes do uso da água e da energia.

Todos as técnicas de irrigação dispõem de desvantagens e vantagens no seu uso. Geralmente, os métodos de irrigação via superfície são de baixo custo e, comumente, não consomem eletricidade, no entanto, apresentam baixa eficiência de condução, aplicação e distribuição de água e seu uso é limitado pela topografia apresentada pelo terreno, pois a água deve escoar naturalmente pela ação da gravidade. Em contrapartida, os métodos de irrigação pressurizados, apesar de ter custos relativamente altos e demanda de energia para funcionamento do sistema, apresentam maior eficiência na condução, aplicação e distribuição de água (BERNARDO *et al.* 2006; MANTOVANI *et al.* 2009).

Para Frizzone (2017), a irrigação pode ser dividida em quatro métodos, nomeadamente: i - o subterrâneo, em que é criado ou controlado um lençol freático na profundidade desejada; ii - o método via superfície, em que a água é conduzida pela superfície como no sistema de sulcos; iii - o método da irrigação localizada, composta pelos sistemas de gotejamento e microaspersão e, por fim, iv - o método via aspersão, em que a água é aspergida sobre o solo simulando uma chuva.

A escolha do método de irrigação a ser utilizado em uma determinada área é definida por meio de estudos, em que comparando-se os benefícios e malefícios de cada metodologia, de acordo com a cultura e as condições locais da área a ser cultivada, como topografia, clima, tipo de solo, disponibilidade e qualidade da água, mão de obra e fonte de energias existentes (PIRES *et al.* 2008).

Mantovani *et al.* (2006), classifica a irrigação por aspersão como método em que a água é aspergida sobre a superfície do solo, simulando uma precipitação, devido o fracionamento do jato de água em gotas e sua passagem sob pressão através de pequenos orifícios ou bocais. Para esta finalidade, torna-se necessário o uso de equipamentos como motobombas, tubulações e aspersores das mais diversas capacidades e características de fabricação para conduzir a água. Além disso, ressaltam que quando a fonte de água estiver em um plano muito mais elevado do que a área a ser irrigada, não haverá necessidade da motobomba.

A primeira etapa no dimensionamento de um projeto de irrigação por aspersão consiste no levantamento de campo, incluindo o mapa planialtimétrico com as fronteiras do projeto e possíveis obstáculos. Todos esses dados devem ser levantados com bastante critério, uma vez que são a base para o bom desempenho do projeto (MANTOVANI *et al.*, 2006).

## 2.2 A coleta de dados com uso aerofotogramétrico.

Neste sentido, a tecnologia de sensoriamento remoto apresenta um grande potencial para ser utilizada na agricultura. Através desta técnica, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, avaliar alterações no uso e cobertura da terra, além de fornecer subsídios para o manejo agrícola em nível de país, estado, município ou ainda em nível de microbacia hidrográfica ou fazenda (RUDORFF e MOREIRA, 2002).

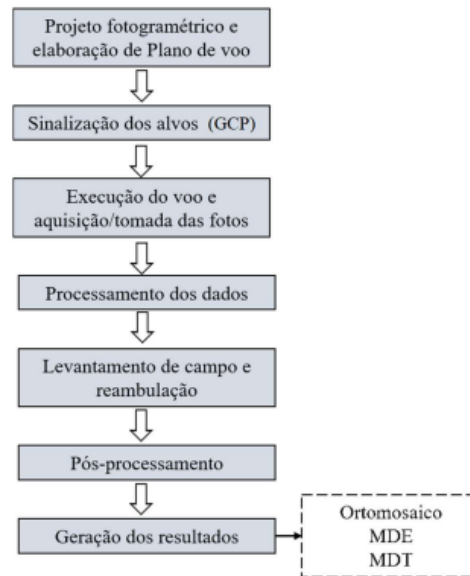
De acordo com a *ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing)*, a Fotogrametria é uma ferramenta que associa arte, ciência e tecnologia na obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente com a utilização de processos de registro, medições e interpretações de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética, além de outros acontecimentos, (ASP, 1980; Tommaselli, 2009; Jensen, 2009).

Segundo Jensen (2009), compreende-se por Aerofotogrametria ou Fotogrametria Aérea, a aplicação de fotografias aéreas utilizadas para fins de mapeamento e levantamento de dados, realizadas a bordo de qualquer veículo aéreo tripulável ou não, podendo ser desde aviões, balões, dirigíveis e helicópteros, especialmente as RPAs (Aeronaves Remotamente Pilotadas).

Para Sampaio *et al.* (2020), em breve comparação entre produtos satelitais e tecnologia de Aerofotogrametria dos drones, nota-se a necessidade de calibração nos dados obtidos pelo drone, entretanto, suas imagens não apresentam interferências, como por exemplo, sombreamento por nuvens, causando um impacto negativo nas imagens de satélite.

O mapeamento aerofotogramétrico é realizado a partir de etapas, elaboradas após análise e estudos detalhados da área a ser executado com todas as especificações, conforme a figura 1 abaixo (SILVA, 2018).





**Figura 1.** Fases do mapeamento aerofotogramétrico. SILVA, 2018.

O processamento dos dados pode ser realizado a partir de alguma ferramenta computacional, podendo ser softwares proprietários, gratuitos e até mesmo livres. Aqui podemos destacar o OpenDroneMap que, Segundo Baldivieso (2020), possui características open-source, ou seja, proporciona melhorias e contribuições da comunidade, devido sua característica de código livre. Além disso, conta com o aplicativo e *API (Application Program Interface)* WebODM, que proporciona um ambiente gráfico mais simplificado e recursos mais limitados que os demais softwares, como edição da nuvem de pontos ou do ortomosaico, porém apresenta resultados aceitáveis do modelo tridimensional final. O autor ainda relata que seu processamento tem poucas opções de modificações, e é realizado em uma única etapa, tendo como resultado a nuvem de pontos densa, objeto texturizado e o ortomosaico (quando existem dados de localização nas imagens).

Tem como vantagem o processamento utilizando qualquer CPU, requerendo maior quantidade de memória RAM, dependendo da quantidade de imagens do projeto e faz uso do sistema Linux (BALDIVIESO, 2020).

Dentre os resultados que podem ser obtidos, destaca-se o ortomosaico. Este pode ser obtido a partir de aerolevantamentos com RPAs, assim como o MDS (Modelo Digital de Superfície) (TORRADO; JIMÈNEZ; DIAZ, 2016). Destaca-se que o MDS permite relacionar a altitude da superfície modelada em cada pixel da imagem deste (SOPCHAKI *et al.*, 2017).

### 2.3 Sobre o projeto de irrigação por aspersão convencional

Saretta *et al.* (2018), afirma que o projeto de um sistema de irrigação por aspersão convencional baseia-se no dimensionamento dos itens que compõe o sistema e devem ser divididos em duas fases, o dimensionamento agrônomico e operacional e, posteriormente, o dimensionamento hidráulico. O projeto deve ser formulado considerando a evapotranspiração máxima que a cultura será capaz de apresentar no ciclo vegetativo e a maior altura manométrica que deverá ser excedida para efetuar a irrigação.

No projeto agrônomico e operacional, dimensiona-se apenas o aspersor. Esta etapa é de suma importância para que esse componente seja definido conforme a necessidade hídrica da cultura e limitações físicas do solo, e também, para a etapa de dimensionamento hidráulico do projeto, tendo em vista que, esta determina as vazões das linhas do sistema, conforme, o turno de rega, o período de irrigação e a jornada de trabalho diária do sistema que foram definidas em projeto (SALOMÃO *et al.*, 2014).

Para Biscaro (2009), na elaboração do projeto de irrigação via aspersão convencional, a motobomba deve ser dimensionado a fim de atender as condições demandadas do projeto. Em sistemas de vazão constante, verifica o ponto de trabalho da bomba utilizando a maior altura manométrica, resultado das somas das alturas geométricas e das perdas de carga dos tipos contínuas e localizadas das linhas de distribuição de água, adicionada a pressão de entrada de uma linha lateral.

O dimensionamento de um conduto forçado, ou seja, sob pressão, é um problema indeterminado que aceita várias soluções, sendo necessário impor uma restrição hidráulica ao problema para contornar essa situação, entre as alternativas existentes, há a possibilidade de limitar o valor da perda de carga, trabalhar com uma velocidade recomendada ou utilizar um diâmetro padronizado. No entanto, do ponto de vista técnico e econômico, a melhor forma de dimensionamento, consiste em determinar o valor do diâmetro ótimo ou econômico, para o qual, o resultado da soma dos custos de implantação e operação do sistema, resulte no menor custo total possível. (Gomes, 1999; Andrade & Carvalho, 2001; Robaina *et al.*, 2004; Bernardo *et al.*, 2011).

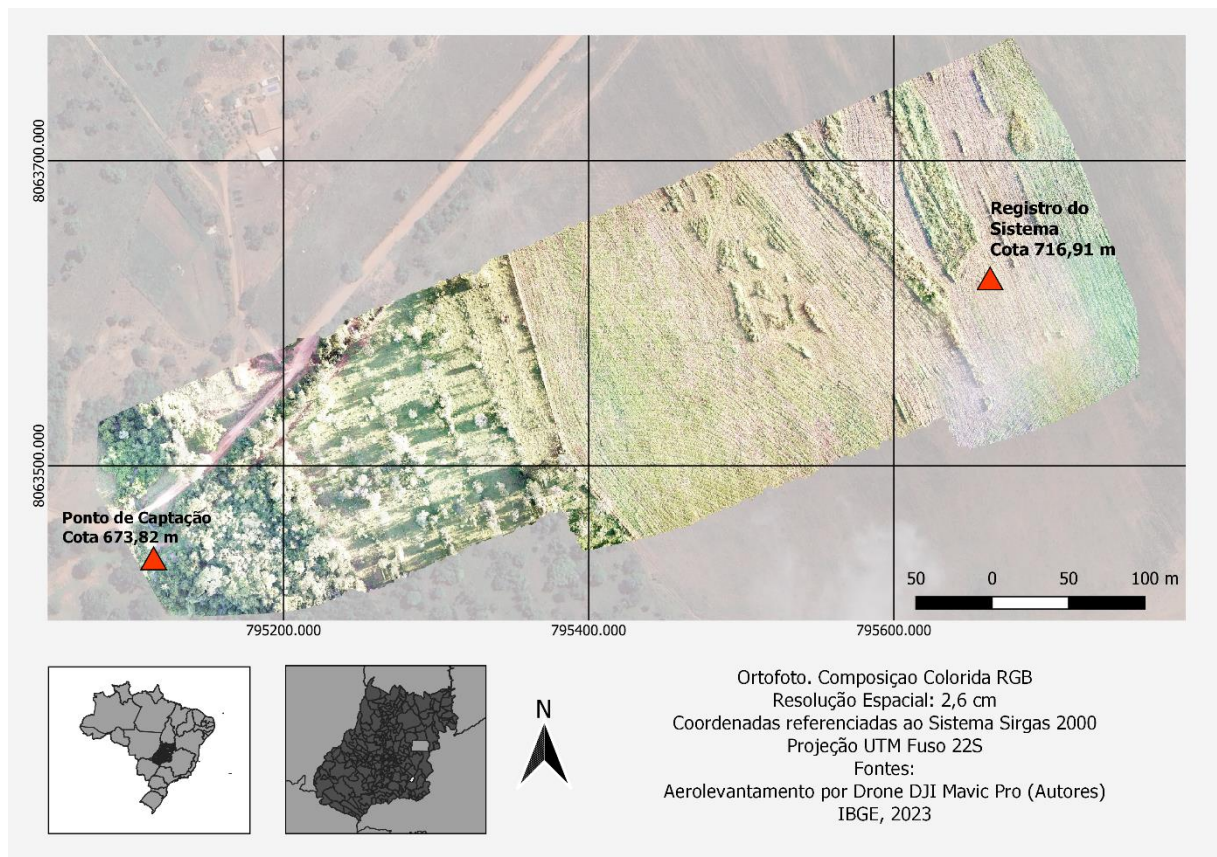
Carvalho & Oliveira (2008) destacam que através de estudos de alguns pesquisadores visando dimensionar adutoras de maneira econômica, obteve-se uma faixa ideal para escoamento da água na tubulação de 0,6 a 2,6 m/s. O autor afirma que o método foi utilizado nas tentativas para obter economia no dimensionamento e que os custos dos tubos da adutora,

da motobomba, das manutenções e da energia elétrica em baixa e alta tensão foram considerados para o dimensionamento.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Conforme a metodologia apresentada pela 8ª Edição do Manual de Irrigação, para realizar o dimensionamento agrônomico e hidráulico de um projeto de irrigação via aspersão convencional, é necessário realizar, inicialmente, o levantamento de dados da área utilizada para projeção.

A área de estudos do presente trabalho fica localizada no Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, no município de Urutaí-GO, cuja coordenada central do local são: Latitude 17°29'39.01"S e Longitude 48°12'58.44"O, referenciadas ao Datum Sirgas 2000.



**Figura 2.** Mapa de localização da área de estudos – Ortofoto. Autor, 2024.

Para obtenção dos dados topográficos, especificamente o desnível entre o ponto de captação e o registro do sistema, realizou-se o levantamento aerofotogramétrico do local, a partir da utilização do drone *DJI Mavic Pro* (Figura 3), que detém um controle de até 7000 metros de distância da base e conta com uma bateria de 3830 mAh, que permite uma autonomia de voo de até 15 minutos com segurança.



**Figura 3.** Modelo do drone DJI Pro. Autor, 2024.

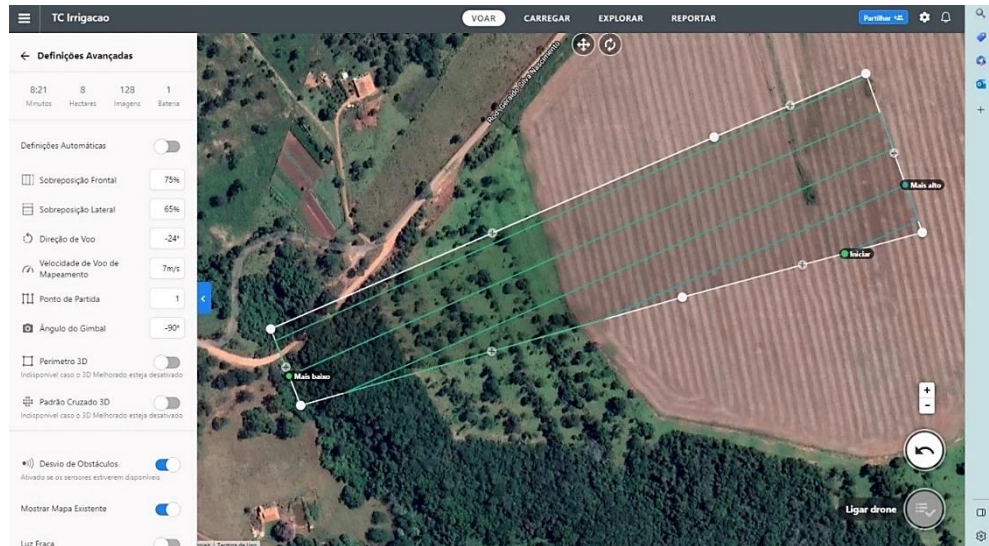
Além de troca de informações com smartphones e tablets, essa aeronave detém comando de suas posições e direções de voo determinadas por dados via GPS (Sistema de Posicionamento Global); a câmera do aparelho tem 12 MP e possui, para resolução 4K, taxas de atualização de 30 FPS, 96 FPS para 1080p de funcionamento, e em HD as taxas de atualização são de 120FPS. As imagens geradas possuem são armazenadas em Micro SD, e são obtidas a partir da estabilização de 3 eixos da Gimbal, e são gravadas em formato de imagem JPEG/DNG. Além disso, o modelo dispõe de um sensor que detecta obstáculos frontais e inferiores, possibilitando menores chances de incidentes.

Com aeronave definida, estabeleceu-se o planejamento de voo a partir do software *DroneDeploy*, um aplicativo que pode ser utilizado gratuitamente, apesar de ter restrições para utilização de ferramentas mais complexas, e dispõe de diversos métodos para automação de voos.

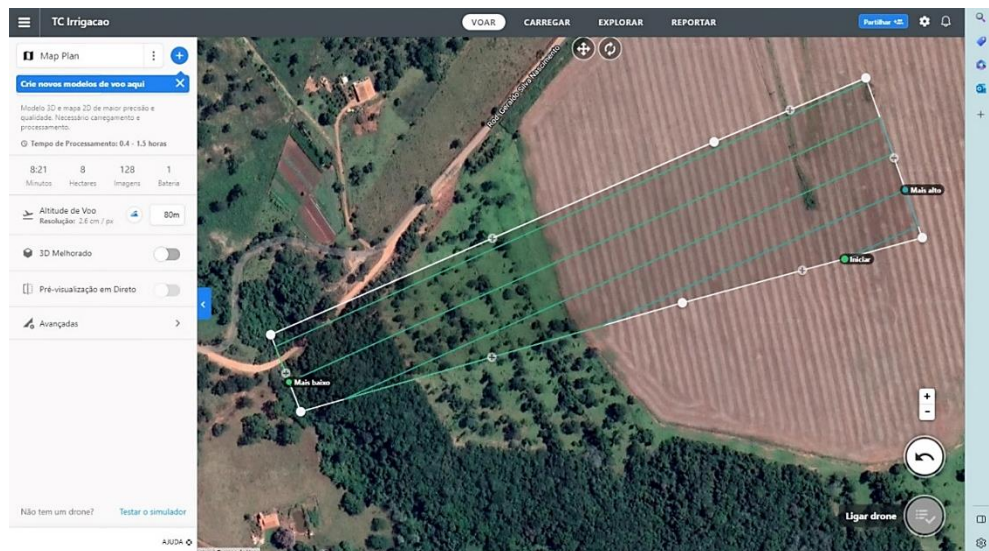
O aplicativo encontra-se disponível para download tanto para sistemas operacionais Android quanto para iOS, além de estar disponível para ser utilizado através do site da *DroneDeploy*. Além disso, é válido ressaltar que a ferramenta possui a tecnologia *Live Map*, que viabiliza o uso de mapas offline sem que haja necessidade de processamento.



No software, após demarcar a área a ser sobrevoada (linha verde na malha), determinou-se os parâmetros necessários para alçar voo, tais como, a sobreposição lateral e frontal de imagens (65% e 75%), a direção do voo ( $-24^\circ$ ), a velocidade do voo (7 m/s) e a altitude (80 metros com resolução de 2.6 cm/px, conforme mostra as imagens abaixo).



**Figura 4.** Planejamento de voo parte 1, Aplicativo DroneDeploy. Autor, 2024.



**Figura 5.** - Planejamento de voo parte 2, Aplicativo DroneDeploy. Autor, 2024.

O voo foi realizado em 8 minutos e 21 segundos, com total de 128 imagens captadas numa área de aproximadamente 8 hectares.

Por fim, utilizando-se do software OpenDroneMap, realizou-se o processamento das imagens e, posteriormente, o ortomosaico da área - a união de todas as imagens captadas pelo voo com os modelos de elevações do perfil do solo e curvas de nível do terreno, obtendo, desta

forma, os dados topográficos necessários para dar início ao dimensionamento agrônômico e, conseqüentemente, o dimensionamento hidráulico do projeto.

Finalizado o levantamento topográfico, com intuito de obter informações próximas as reais para um bom dimensionamento, realizou-se um apanhado através de bibliografias da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) sobre as características do clima predominante - deferido como sendo tropical - e dos coeficientes relacionados ao solo Argilo-arenoso presentes na região, além de parâmetros relacionados a cultura do milho, como por exemplo, a profundidade do sistema radicular da planta - que pode chegar até os 50 cm de profundidade, o fator de disponibilidade da cultura e a duração de cada estágio fenológico da planta para obtenção do coeficiente máximo e etc. Com todos os dados estabelecidos, as etapas posteriores consistiram-se em iniciar os cálculos seguindo a metodologia já mencionada.

Inicialmente, para dimensionamento agrônômico, determinou-se a irrigação necessária com base nos parâmetros do solo, calculou-se a disponibilidade total e real de água no solo, a capacidade de água armazenada em suas raízes, a irrigação real e, por fim, a irrigação total necessária, visando determinar a lâmina demandada pela cultura.

Após determinar a lâmina bruta requerida pela cultura com base nos índices do solo, determinou-se o número de dias necessários para completar o ciclo de irrigação e o intervalo entre duas irrigações, ambos representados pelo valor do turno de rega. E, por fim, determinou-se a vazão do sistema, para dar início ao dimensionamento hidráulico do mesmo.

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

### Características Operacionais do Aspersor Agropolo NY 30

NY 30 ER - Eixo em Nylon

NY 30 ERL - Eixo em Latão

BOCAIS DIÂMETRO NOMINAL	CÓDIGO	PRESSÃO (mca)	DIÂMETRO ALCANCE (m)	ALTURA MÁXIMA DO JATO (m)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /h)	ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES (m)					
						6X12	12X12	12X18	18X18	18X24	
0 X 4,60 		30	21,20	2,20	1,25	17,36					
	3027 - ER	35	21,20	2,30	1,35	18,75					
	4491 - ERL	40	21,20	2,40	1,44	20,00					
		45	21,00	2,40	1,53	21,25					
<b>Tampão Preto</b>											
4,00 x 4,60 		20	26,80	3,50	1,79	12,43					
	4488 - ER	25	27,00	3,70	2,00	13,89					
	4503 - ERL	30	27,20	3,90	2,19	15,21					
		35	27,60	4,10	2,34	16,25					
<b>Curto Vermelho</b>		40	28,00	4,30	2,53	17,57					
		45	28,00	4,40	2,68	18,61					
	5,00 x 4,60 		20	29,40	3,50	2,17	15,07	10,05			
		2822 - ER	25	31,00	3,70	2,43	16,88	11,25	7,50		
2851 - ERL		30	31,80	4,00	2,66	18,47	12,31	8,21			
		35	32,40	4,10	2,87	19,93	13,29	8,86			
<b>Longo Verde</b>		40	32,40	4,30	3,07	21,32	14,21	9,48			
		45	32,40	4,40	3,26	22,64	15,09	10,06			
	6,20 x 4,60 		20	30,40	3,50	2,88	20,00	13,33	8,89		
		2835 - ER	25	31,60	3,80	3,22	22,36	14,91	9,94		
2864 - ERL		30	33,40	4,00	3,53	24,51	16,34	10,90			
		35	35,20	4,20	3,81	26,46	17,64	11,76	8,82		
<b>Longo Vermelho</b>		40	36,00	4,50	4,07	28,84	18,56	9,42			
		45	36,80	4,60	4,32	30,00	19,00	9,00			
	7,10 x 4,60 		20	31,00	3,50	3,27	22,71	15,14	9,00		
		2848 - ER	25	32,00	3,80	3,66	25,42	16,94	11,30		
2877 - ERL		30	34,00	4,10	4,01	28,56	18,36	12,38			
		35	36,00	4,30	4,33	30,05	19,36	13,02			
<b>Longo Azul</b>		40	37,20	4,60	4,63	32,44	20,44	14,29	10,72		
		45	38,40	4,60	4,91	34,73	21,73	15,15	11,37		

**Figura 6.** - Catálogo de aspersores Agropolo NY 30. Casa da Irrigação, 2024.

Após a escolha do aspersor, foi realizada a divisão do número de linhas laterais, de emissores por linha e de posições irrigadas por dia, com base na vazão do sistema e do aspersor selecionado, visando obter um sistema mais homogêneo possível.

Em seguida, calculou-se os diâmetros e as perdas de cargas das tubulações para definir, posteriormente, a altura manométrica total e a potência demandada do conjunto motobomba para atender a vazão total e a pressão total do projeto.

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



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Memorial Descritivo:

#### **Dados do Projeto:**

Jornada de trabalho: 10 horas por dia

Eficiência de aplicação do sistema: 80%

Número de Aspersores: 32 Aspersores

Altura do aspersor: 2,7 metros

#### **Dados da Área e do Solo:**

Área: 6 Hectares (Ha)

Altura geométrica de sucção: 2 metros

Comprimento da sucção: 10 metros

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

Capacidade de campo (CC): 35%

Ponto de murcha permanente (PMP): 18%

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

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

Período de Máxima Demanda: Evapotranspiração de referência (ET0) = 6 mm/dia

Sem considerar precipitação efetiva

#### **Dados da Cultura:**

Cultura: Milho (*Zea Mays* L.)

Ciclo de inverno: 110 dias

Profundidade do sistema radicular (Z): 50 cm

Coefficiente máximo da cultura (Kc) = 1,2 (Fase 3)

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

#### **Aerofotogrametria**

Quantidade de voos: 1

Área sobrevoada: 8 Hectares

Tempo de voo: 8:21 minutos

Quantidade de imagens: 128 imagens

Tempo de processamento: Aproximadamente 1h e 30 minutos

Plataforma utilizada: DroneDeploy e OpenDroneMap

Máquina fotográfica: 12 MP, resolução 4k com taxas de atualização de 30 FPS

Altura do voo: 80 metros

Velocidade de voo: 7m/s

Desnível encontrado entre o ponto de captação e o registro: **43,09m**

#### 4.2 Dimensionamento Agronômico

##### **Irrigação Necessária**

$$DTA = \left( \frac{CC - PMP}{10} \right) \times Da$$

$$DTA = \left( \frac{35 - 18}{10} \right) \times 1,1$$

$$DTA = 1,87 \text{ mm/cm}$$

$$DRA = DTA \times f$$

$$DRA = 1,87 \times 0,5$$

$$DRA = 0,93 \text{ mm/cm}$$

$$CRA = DRA \times Z$$

$$CRA = 0,935 \times 50$$

$$CRA = 46,75 \text{ mm}$$

$$IRN = CRA$$

$$IRN = 46,75 \text{ mm (Lâmina Líquida)}$$

$$ITN = \frac{IRN}{Ea}$$

$$ITN = \frac{46,75}{0,80}$$

$$ITN = 58,43 \text{ mm (Lâmina Bruta)}$$

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

$$TR = \frac{CRA}{ETP_C}$$

$$ETP_C = ET_0 \times K_C$$

$$ETP_C = 6 \times 1,2 = 7,2 \text{ mm/d}$$

$$TR = \frac{46,75}{7,2}$$

$$TR = 6,49 \text{ (6 DIAS)}$$

Como o período de pico de evapotranspiração do milho é pequeno, não será deixado nenhuma folga entre duas irrigações consecutivas. Desta forma, o período de irrigação também será de 6 dias.

### Vazão do Sistema

$$Q_s = 2,78 \times \frac{A \times (ITN)}{E_C \times PI \times JT}$$

$$Q_s = 2,78 \times \frac{6 \times 58,43}{0,99 \times 6 \times 5}$$

$$Q_s = 32,81 \frac{L}{s}$$

### 4.3 Dimensionamento hidráulico

#### Intensidade de Aplicação

Para alcançarmos as 11 horas de operação diária, as linhas laterais devem irrigar quatro posições (PLD) de 5h cada, com duas linhas laterais trabalhando simultaneamente. Desta forma, serão admitidos cinco horas de funcionamento efetivo com mais trinta minutos para mudança da linha lateral para uma nova posição, totalizando as 11h de jornada de trabalho. Logo:

$$I_a = \frac{ITN}{TI}$$

$$I_a = \frac{58,43}{5}$$

$$I_a = 11,7 \text{ mm/h} < VIB = 12 \text{ mm/h}$$

#### Escolha do Aspersor

Marca: AGROPOLO

Modelo: **NY 30**

Vazão: **3,81 m<sup>3</sup>/h**

Pressão de Serviço: **3,5 bar (35 mca)**

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

Diâmetro de Alcance = **35,20m**

Espaçamento: **18 x 18 m**

Precipitação: **11,76 mm/h**

$$q_a = \frac{I_a \times S_1 \times S_2}{3600}$$

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

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

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

### Número de Aspersores e Linhas Laterais

$$NASP = \frac{Q_s}{Q_A}$$

$$NASP = \frac{32,81}{1,053}$$

**NASP = 32 unidades**

$$NAPL = \frac{L}{S_1}$$

$$NAPL = \frac{144}{18}$$

**NAPL = 8 aspersores/lateral**

$$NLL = \frac{NASP}{NAPL}$$

$$NLL = \frac{32}{8}$$

**NLL = 4 Linhas laterais**

### Número de posições irrigadas na área total e posições irrigadas por dia

$$NPIAT = \frac{LP \text{ MAXIMA } (M)}{L (M)}$$

$$NPIAT = \frac{210}{18}$$

$$NPIAT = \mathbf{12 \text{ Posições (24 Posições em toda a área)}}$$

$$NPID = \frac{NPT}{TR}$$

$$NPID = \frac{24}{6}$$

$$NPID = \mathbf{4 \text{ Posições por lateral por dia}}$$

### Número de linhas laterais simultâneas

$$NLL_{simult\tilde{a}neas} = \frac{NPID}{PLD}$$

$$NLL_{simult\tilde{a}neas} = \frac{4}{2}$$

$$NLL_{simult\tilde{a}neas} = \mathbf{2 \text{ Linhas laterais simult\tilde{a}neas}}$$

Desta forma, o sistema será composto por uma linha principal e quatro linhas laterais com oito aspersores em cada uma, totalizando 32 aspersores. Além disso, o sistema conta com 2 linhas laterais simultâneas que irrigam 4 posições diariamente, totalizando as 24 posições na área total em função do turno de rega de 6 dias.

### Diâmetro das Linhas Laterais

$$H_F = J' \times L = 10,641 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times \frac{L}{D^{4,87}}$$

Dados:

$$Q = NAPL \ q_a = 8 \times 1,053 \frac{l}{s} = 0,008 \frac{m^3}{s}$$

$$L = 144 \text{ m (288m/2)}$$

$$C = 140 \text{ (PVC)}$$

$$F = \frac{1}{EV+1} + \frac{1}{2 \times N} + \frac{\sqrt{EV-1}}{6 \times N^2} = \frac{1}{1,85+1} + \frac{1}{2 \times 8} + \frac{\sqrt{1,85-1}}{6 \times 8^2} = 0,415$$

$$DN = 0 \text{ m (Desnível nas Linhas Laterais)}$$

$$H_f = 0,20 \pm P_{ac} - DN = 0,2 \times 34,7 - 0 = 6,94 \text{ mca}$$

$$H'_f = \frac{6,94}{0,415} = 16,7 \text{ mca}$$

$$D = \left( 10,641 \times \left( \frac{0,008}{140} \right)^{1,85} \times \frac{144}{16,7} \right)^{0,205} = 0,062 \text{ m}$$

***∴ Utilizando o diâmetro comercial de 50mm, Tem – se:***

$$H_F = 10,641 \times \left( \frac{0,008}{140} \right)^{1,85} \times \left( \frac{144}{0,050^{4,87}} \right) \times 0,415 = 19,5 \text{ mca (56\%)}$$

Portanto, a perda de carga na tubulação está fora do limite máximo de variação, até 23,5% da pressão do aspersor. Desta forma, será necessário utilizar dois trechos, um de 50 mm e outro de 75mm. Efetuando a telescopia através do método das tentativas, tem-se:

$$L = \left[ \frac{\left( \frac{D_1}{D} \right)^{4,87} - 1}{\left( \frac{D_1}{D_2} \right)^{4,87} - 1} \right]^{\frac{1}{1,85+1}} \times L$$

$$L = \left[ \frac{\left( \frac{75}{62} \right)^{4,87} - 1}{\left( \frac{75}{50} \right)^{4,87} - 1} \right]^{\frac{1}{1,85+1}} \times 144 = 88 \text{ m} = 90 \text{ m}$$

Para calcular a perda de carga, deve-se lembrar que a equação de Hazen-Williams é utilizada apenas para linhas finais, quando a vazão é igual a zero. Portanto, utilizou-se do método das tentativas para fins de cálculos.

**a).**  $L = 144 \text{ m}, D = 75 \text{ mm}$

$$F = \frac{1}{1,85+1} + \frac{1}{2 \times 8} + \frac{\sqrt{1,85-1}}{6 \times 8^2} = 0,415$$

$$H_F = 10,641 \times \left(\frac{0,008}{140}\right)^{1,85} \times \left(\frac{144}{0,075^{4,87}}\right) \times 0,415 = \mathbf{2,70\ mca}$$

**b).**  $L = 18\ m, D = 75\text{mm}$

$$F = \frac{1}{1,85 + 1} + \frac{1}{2 \times 1} + \frac{\sqrt{1,85 - 1}}{6 \times 1^2} = 1,004$$

$$H_F = 10,641 \times \left(\frac{0,008}{140}\right)^{1,85} \times \left(\frac{18}{0,075^{4,87}}\right) \times 1,004 = \mathbf{0,81\ mca}$$

**c).**  $L = 18\ m, D = 50\text{mm}$

$$F = \frac{1}{1,85 + 1} + \frac{1}{2 \times 1} + \frac{\sqrt{1,85 - 1}}{6 \times 1^2} = 1,004$$

$$H_F = 10,641 \times \left(\frac{0,008}{140}\right)^{1,85} \times \left(\frac{18}{0,05^{4,87}}\right) \times 1,004 = \mathbf{5,89\ mca}$$

**d).**  $H_f = Hf_1 - Hf_2 + Hf_3$

$$H_f = 2,70 - 0,81 + 5,89 = \mathbf{7,78\ mca\ (22,5\%)}$$

Dessa forma, tem-se o primeiro trecho com diâmetro de 75mm e 125m de comprimento, e o segundo trecho, com diâmetro de 50mm e comprimento de 18m nas linhas laterais.

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

$$PIN = P_S + 0,63H_{Fd} + 0,5DN + H_A$$

$$PIN = \mathbf{34,7 + 0,63 \times 7,78 + 0,5 \times 0 + 2,7 = 42,3\ mca}$$

Como a linha lateral trabalhará em nível, a pressão mínima de operação ocorrerá no último aspersor, ou seja,  $X = L$ , conforme equação a seguir:

$$H_{min} = P_{in} - h_{f_{total}} + h_{f_{xl}} + X \times DN - H_a$$

$$H_{min} = \mathbf{42,3 - 7,78 + 0 + 0 + 2,7 = 37,2\ mca}$$

### **Dimensionamento da Linha Principal**

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$$

Trecho	Vazão (m³/s)	Diâm. (mm)	Veloc. (m/s)	Comprim. (m)
<b>MB – A</b>	<b>0,0337</b>	<b>150</b>	<b>1,92</b>	<b>470</b>
<b>A – B</b>	<b>0,0337</b>	<b>150</b>	<b>1,92</b>	<b>135</b>
<b>B - C</b>	<b>0,0168</b>	<b>125</b>	<b>1,40</b>	<b>75</b>

$$(MB - A) = D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0337}{\pi \times 1,92}} = 0,149 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$

$$(A - B) = D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0337}{\pi \times 1,92}} = 0,149 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$

$$(B - C) = D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0168}{\pi \times 1,40}} = 0,123 \text{ m} = 125 \text{ mm}$$

### **Perda de Carga na Tubulação**

Utilizando a fórmula de Hazen Williams e coeficiente  $C = 140$ , tem-se as seguintes perdas de cargas nos trechos:

Trecho	Diâmetro (mm)	Perda de Carga (mca)
<b>MB – A (RECALQUE)</b>	<b>150</b>	<b>10,40</b>
<b>A – B</b>	<b>150</b>	<b>2,99</b>
<b>B – C</b>	<b>125</b>	<b>1,11</b>
<b>TOTAL</b>		<b>14,5 mca</b>



$$H_F = 10,641 \times \left(\frac{0,0337}{140}\right)^{1,85} \times \frac{470}{0,150^{4,87}} = 10,40 \text{ mca (MB - A)}$$

$$H_F = 10,641 \times \left(\frac{0,0337}{140}\right)^{1,85} \times \frac{135}{0,150^{4,87}} = 2,99 \text{ mca (A - B)}$$

$$H_F = 10,641 \times \left(\frac{0,0168}{140}\right)^{1,85} \times \frac{75}{0,125^{4,87}} = 1,11 \text{ mca (B - C)}$$

### Diâmetro da Tubulação de Sucção

Dados:

Comprimento de sucção= 10 m

Altura Geométrica de sucção= 2 m

C= 140

Diâmetro da sucção  $\geq$  Diâmetro de recalque

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,0337}{\pi \times 1,1}} = 0,197\text{m} = 200\text{mm}$$

$$H_F = 10,641 \times \left(\frac{0,0337}{140}\right)^{1,85} \times \left(\frac{10}{0,200^{4,87}}\right) = 0,05 \text{ mca}$$

### Altura Manométrica Total

Dados:

PIN: Pressão no início da linha lateral, mca;

Hflp: Perda de carga na linha principal, mca;

DNp: Diferença de nível ao longo da linha principal, m;

Hfr: Perda de carga na tubulação de recalque, mca;

DNr: Diferença de nível de recalque, m;

Hfs: Perda de carga na tubulação de sucção, mca;

DNs: Altura de sucção, m;

Hfl: Perda de carga localizada, mca;

$$Hm_{TOTAL} = PIN + HF_{LP} + DN_P + HF_R + DN_R + HF_S + DN_S + HF_L$$

$$HF_L = 0,05 \times (21,9) = 1,095 \text{ mca} = 2,5 \text{ mca (Folga de 1,5 mca)}$$

$$Hm_{TOTAL} = 42,3 + 4,1 + 0 + 10,40 + 43,09 + 0,05 + 2 + 2,5$$

$$Hm_{TOTAL} = 104,44 \text{ mca} = 104,5 \text{ mca}$$

### **Conjunto Motobomba**

Com a vazão e a altura manométrica do sistema definidos, 121,5 m<sup>3</sup>/h e 104,5 mca, respectivamente, definiu a bomba a ser utilizada.

Devido a elevada altura manométrica, o bombeamento a ser utilizado será associado em série. Através do programa “Pumpsel Projetista” da KSB Bombas, que utiliza da altura manométrica e da vazão, o conjunto motobomba definido foi:

Marca: KSB

Modelo: ETA 100-40

Diâmetro do rotor: 347 mm

Potência no eixo: 33,6 cv

Potência do motor elétrico: 40 cv

Rendimento da bomba: 70%

Diâmetro excêntrico: 125 mm

Diâmetro concêntrico: 100 mm

Número de estágios: 1

Fator de serviço: 7%

Cálculo da potência no eixo:

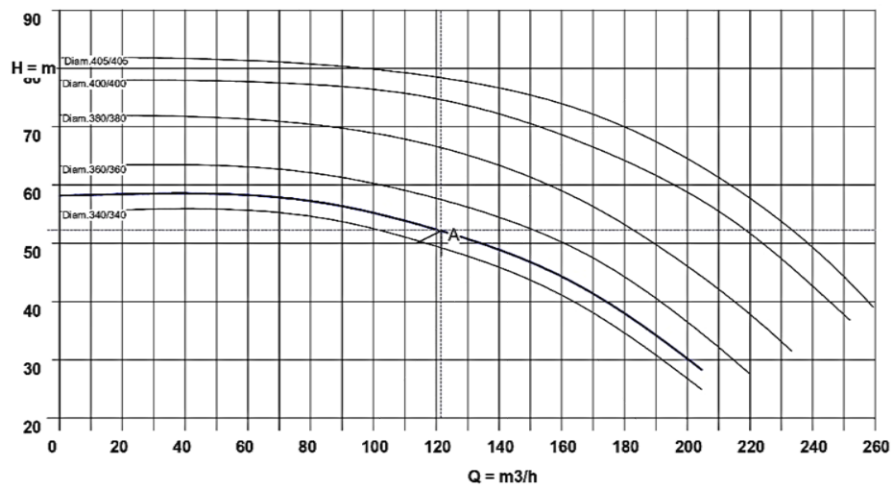
$$Pot = \frac{1000 \times Q \left(\frac{m^3}{s}\right) \times Hm_{TOTAL}}{75 \times \text{Rendimento (decimal)}}$$

$$Pot = \frac{1000 \times 0,0337 \times 52,3}{75 \times 0,7} = 33,6 \text{ cv}$$

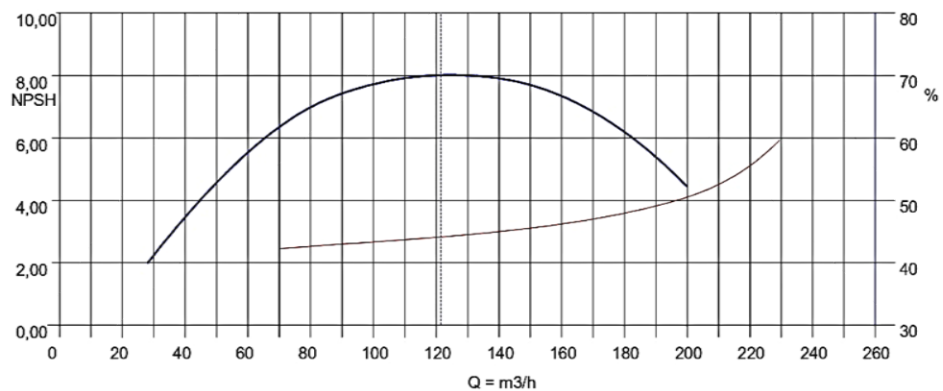
Portanto, o motor comercial com potência imediatamente superior é o de 40cv. Desta forma, tem-se um sistema de bombeamento associado em série com duas bombas ETA 100-40 e dois motores elétricos de 40cv cada.



N/Ref.:	PROJETISTA	Revisão:	0
Item num.:	1	Tag num.:	
BOMBA:	ETA 100-40	Projeto:	
Vazão:	121,5 m <sup>3</sup> /h	NPSHR:	2,82
Altura:	52,30 m	Rotação:	1750 rpm
		Diam.Rotor Projeto:	347mm
		Visc.:	1 cSt



A = Ponto de operação



— Rendimento %  
— NPSHr

Figura 7. Curva da bomba. KSB Pumpsel Projetista, 2024.

### Consumo Médio de Energia

Fonte de energia: Trifásica

Unidade Quilowatt-hora = 0,90

Jornada de Trabalho = 11 horas/dia

$$C = 11 \times 0,90$$

$$C = 9,9 \text{ KW/h}$$

Ao consultar os dados na distribuidora de energia da região, constatou-se que das 21h às 6h o KW/h sai a R\$ 0,107 e das 6h às 17h R\$ 0,536, devido ao desconto na tarifa para produtor rural irrigante. Além disso, constatou-se que, durante o horário de ponta, das 17h às 21h, não é permitido irrigar, sob pena de multa e/ou custos elevados de consumo-hora. Desta forma, o consumo médio foi:

$$C = 9,9 \times 0,536 \times 11 \text{ (Horário de funcionamento das 6h às 17h)}$$

$$C = R\$59$$

Considerando o Turno de rega, em um mês de 30 dias, o sistema ficará em funcionamento em média de 12 a 18 dias, portanto:

$$\text{CONSUMO}_{TOTAL MENSAL} = 59 \times 18 = R\$1062,00$$

#### 4.4 Lista de materiais

**Tabela 1. Lista de materiais e Orçamento para o Projeto de Irrigação Via Aspersão Convencional com Auxílio de Aerofotogrametria para Cultura do Milho.**

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	VALOR R\$
Válvula de pé c/ crivo 8"	1	2986,00
Tubo AZ – 8" (2m)	2	3176,00
Curva AZ 90° - 8"	1	2376,00
Tubo AZ – 8" (3m)	2	3958,00
Red. Exc. AZ 8" - 5"	1	794,00
Red. Exc. AZ 6" – 5"	1	611,00
Manômetro c/ escorva	2	906,00

Peça aum. AZ 4" – 6"	2	981,00
Registro Gaveta AZ – 6"	1	2720,00
Curva Saída AZ 90° - 6"	2	1770,00
Tubo AZ 6" (2m)	2	2664,00
Tubo AZ - 6" (3m)	1	1715,00
Tubo az – 6" (1m)	1	945,00
Kit Ancoragem 6"	1	402,00
Curva AZ 60° - 6"	4	3452,00
Válvula de retenção – 6"	1	3175,00
Extremidade Bolsa-Flange 6"	3	1647,00
Registro Gaveta PVC 6"	1	588,00
Tubo PVC 6" Rosca (6m)	106	13780,00
Tubo PVC 5" Rosca (6m)	7	490,00
Tubo PVC 3" Rosca (6m)	88	3432,00
Tubo PVC 2" Rosca (6m)	16	2832,00
Redução PVC 150/125mm	1	74,00
Redução PVC 125/75mm	4	236,00
Redução PVC 75/50 mm	4	29,00
Aspersor Agropolo NY 30	32	800,00
Tubo PVC Branco (2m) 1"	32	480,00
Tê de 3" PVC c/ saída p/ asp.	28	182,00
Tê de 2" PVC c/ saída p/ asp.	4	20,00
Tampão PVC 2"	4	120,00
Tampão PVC 5"	8	192,00
Tampão PVC 6"	16	522,00
Tê PVC 100/75mm	28	952,00
Tê PVC 75/50mm	4	124,00
Válvula regul. De pressão	32	1920,00
Ponta fêmea sold. /eng. 4"	8	168,00
Ponta fêmea sold. /eng. 6"	16	1200,00
Cola PVC (1L)	20	1180,00
Fita Veda Rosca	5	45,00

Lixa D'Água	50	600,00
Bomba KSB ETA 100-40	2	12000,00
Motor 40cv	2	60000,00
Data de precificação: 06/03/2024		
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 134644,00</b>

4.5 Croqui do projeto

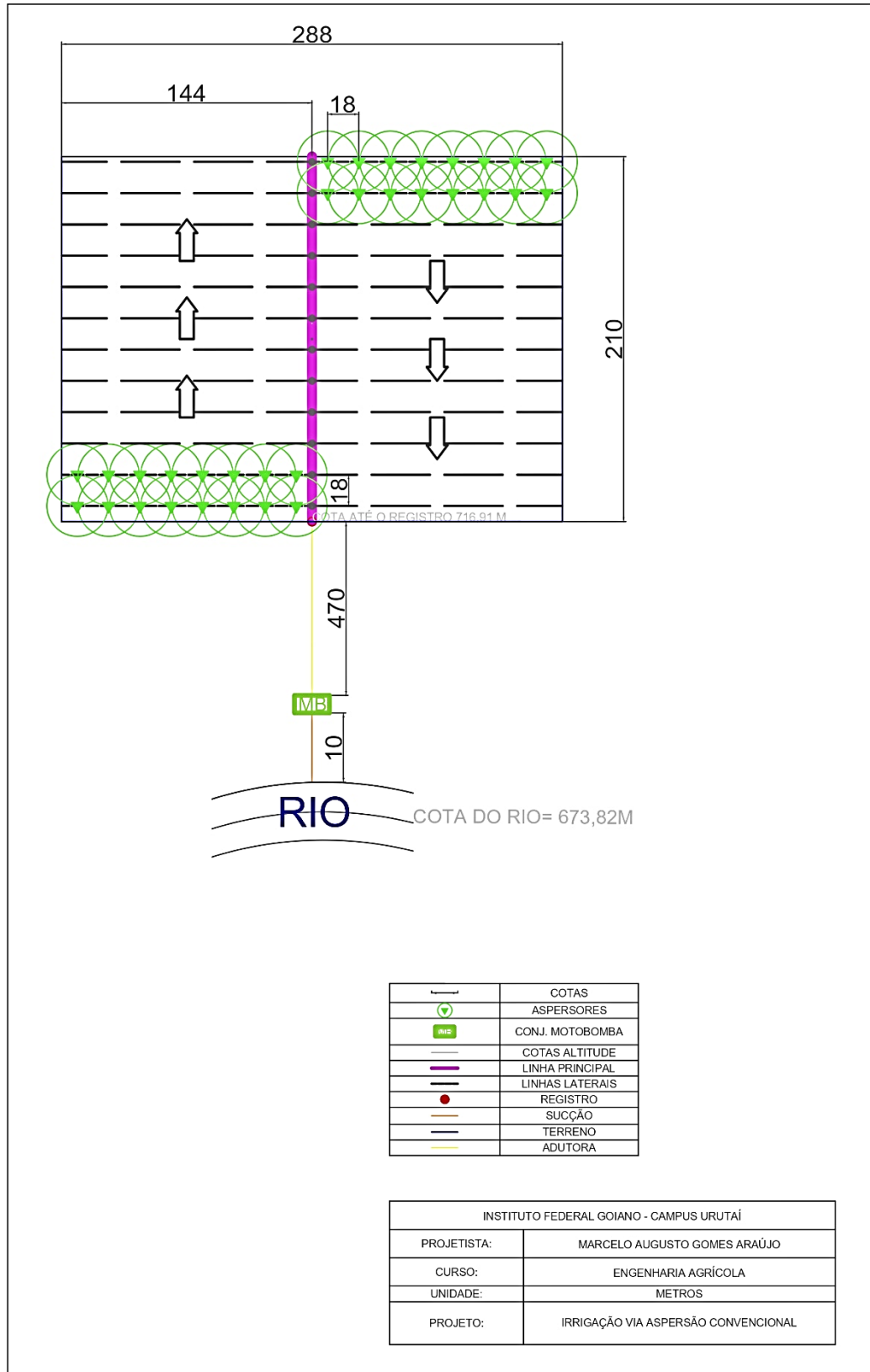
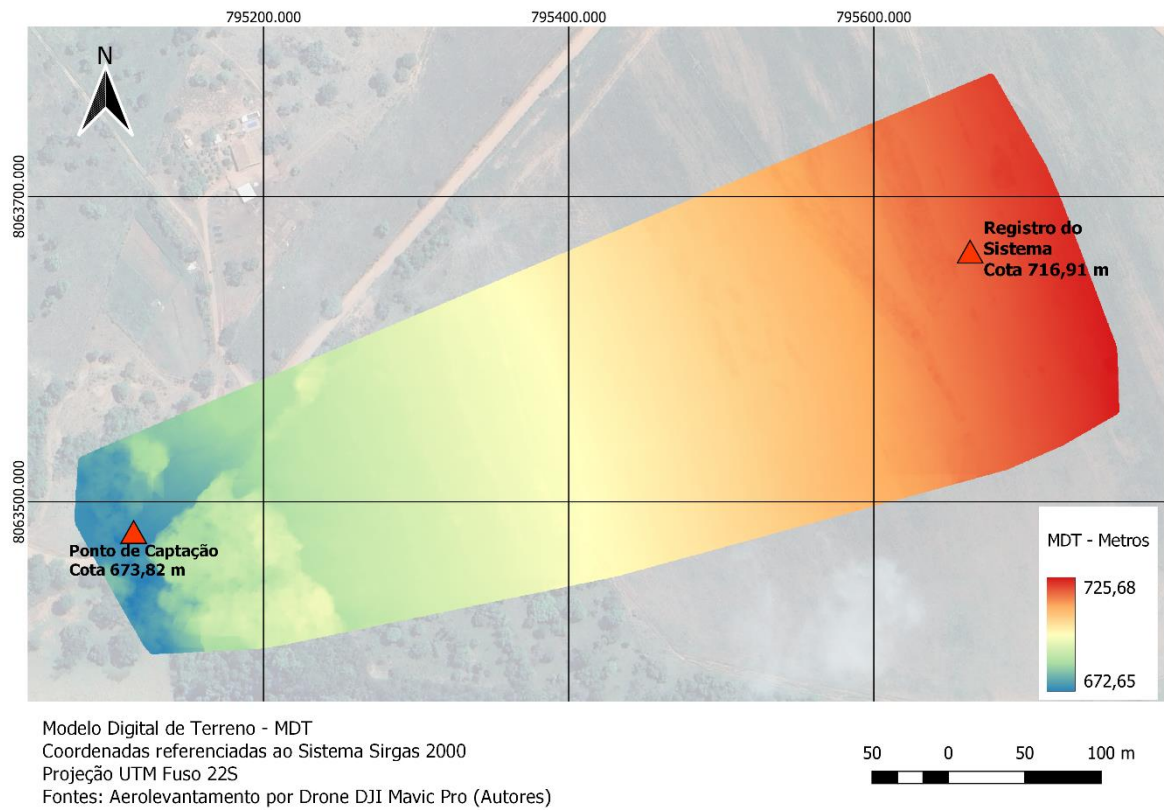


Figura 8. Croqui da Área dimensionada. Autor, 2024.

## 4.6 MDT – Modelo Digital de Terreno



**Figura 9.** Modelo Digital de Terreno. Autor, 2024.



## 5. CONCLUSÕES

Perante o que foi exposto neste trabalho, conclui-se que a utilização de aerolevanteamento na captação de dados topográficos para a elaboração de projetos de irrigação otimiza o tempo e o número de pessoas envolvidas nesta atividade, viabilizando, desta forma, maior agilidade na execução desta etapa do projeto, sem que a precisão e a qualidade do produto final sejam comprometidas. Em contrapartida, há a necessidade de instrumentos e expertises específicas relacionadas ao manuseio do drone e processamento dos dados obtidos no aerolevanteamento.

Além disso, diante o atual cenário da agricultura brasileira que demanda por maiores índices produtivos em áreas já exploradas e mantendo um manejo consciente dos recursos naturais, faz-se mister obter dados precisos para elaboração de projetos de irrigação que viabilizem o dimensionamento correto do sistema, otimizando, desta forma, a eficiência de aplicação de água na cultura e o consumo de energia elétrica para o funcionamento do mesmo, resultando assim, em maiores índices de produção com menor degradação ambiental e custos do sistema.

Portanto, associar práticas agrícolas com uso de tecnologia, é uma alternativa viável de investimento para atender a demanda de produtividade requerida pela geração atual sem comprometer os recursos naturais que garantem vida às gerações futuras, obtendo, desta forma, uma agricultura precisa e sustentável.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. ANA divulga relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Informe 2014. 20 de março de 2015.
- ANDRADE, L.; CARVALHO, J. A. Desenvolvimento de Software para Dimensionamento de Sistemas de Recalque. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, 1 (1): 22-29, 2001b.
- ASP (1980). Manual of Photogrammetry. ASP, Virgínia, United States of America, 1143p.
- BALDIVIESO, T. J. M. **Um Estudo do Uso de VANTS para a Reconstrução de Cenas 3D**. Rio de Janeiro, 2020- 129p.: il.
- BISCARO, G. A. **Sistema de irrigação por aspersão**. Dourados: Ed. UFGD, 2009. 134p
- CAMPO, P. do. Agricultura de precisão. **Inovações do campo**. Piracicaba. 2000a.06 mai. 2000(a).
- CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C. **Instalações de bombeamento para irrigação hidráulica e consumo de energia**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 354p.
- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e uso da água. **Bahia Agrícola**, p. 57 – 60, 2005.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e Fenologia. Produção de Milho. Guaíba: Agropecuária, **Portal EMBRAPA**. p. 21 – 54, 2000.
- FRIZZONE, J. A.; **Os Métodos de Irrigação**. ESALQ/USP. Piracicaba – SP, 2017.
- GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados Aspersão e Gotejamento**. 3º Ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999, 412p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Censo Agropecuário de 2006. Rio de Janeiro - RJ. 2006. p. 1-777.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Parêntese Editora, São José dos Campos – SP, p. 598, 2009.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e Métodos**. Viçosa: 3 Ed. UFV, 2009. 355p.
- MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da. (Coord.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p.109-157.
- PERRONI, B. L. T.; CARVALHO, J. A.; FARIA L. C. Velocidade Econômica de Escoamento e Custos de Energia de Bombeamento. **Eng. Agrícola** v.31, n.3, p. 487-496. 2011.
- PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; CAVALHEIROS, R. O.; BRUNINI, O. Agricultura Irrigada. **Revista Tecnológica & Inovação Agropecuária**. São Paulo, 2008.

QUEIROS, T. M.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Eng. Agríc. Jaboticabal**: v.28, n.1, p. 44-54. 2008.

ROBAINA, A. D.; CALGARO, M. PEITER, M. X. Tubulações em Sistemas de Recalque. **Ciência Rural**, 34 (4): 1065 – 1068, 2004.

RUDORFF, B. F. T.; MOREIRA, M.A. Curso de Uso de Sensoriamento Semoto no Estudo do Meio Ambiente: Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura. 6º Ed. 2002. São José dos Campos, **INPE**.

SALASSIER, B.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: 8 Ed. UFV, 2006. 625p.

SALOMÃO, L. C.; CANTUÁRIO, F. S.; PEREIRA, A. I. A.; SCHWERZ, T.; DOURADO, W. S. Influência do turno de rega na eficiência do uso da água de Irrigação e na produtividade de plantas de alface cultivadas em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia – GO, v.10, n.18; p. 2029-2039, 2014.

SAMPAIO, H. S.; BOURSCHEIDT, V.; SARRACINI, L. H.; JORGE, L. A. C.; BETTIOL, G. M.; BERNARDI A. C. C. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (vant) e satélite. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 2, p. 111 – 124, 2020.

SARETTA, E.; CAMARGO, A. P.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A.; KOECH, R.; MOLLE, B. Test methods for characterizing the water distribution from irrigation sprinklers: Design, evaluation and uncertainty analysis of an automated system. **Biosystems Engineering**, vol. 169, p. 41-56, 2018.

SILVA, L. S. (2018). **Fotogrametria com imagens adquiridas com Drones – do Plano de Voo ao modelo 3d**. ebook. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília, p. 1-72. 2022.

SOPCHAKI, C. H. et al. Geografia eleitoral: Uma revisão e possíveis caminhos. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 39, p. 43–56, 1 abr. 2017.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.E.; CARDOSO, J.L. **Importância da Irrigação no Desenvolvimento da Agronegócio**: Campinas – SP, ABIMAQ – Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos, p. 1-45, julho de 2002.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica** - Introdução. p.1-14. 2009.

TORRADO, J. O. E.; JIMÉNEZ, J. J. C.; DÍAZ, H. P. **Ortomosaico y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas**. UAV. v. 20, p. 119–140, 2016.