



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**UNIFORMIDADE DE VAZÃO, ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA E  
PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB IRRIGAÇÃO POR  
GOTEJAMENTO**

**JOSÉ SANTINO DA SILVA JÚNIOR**

**RECIFE, PE**

**Mai de 2022**

**JOSÉ SANTINO DA SILVA JÚNIOR**

**UNIFORMIDADE DE VAZÃO, ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA E  
PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR SOB IRRIGAÇÃO POR  
GOTEJAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola.

**Orientador:** Manassés Mesquita da Silva, D.Sc.

**RECIFE, PE**

**Mai de 2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

J95u

Júnior , José Santino da Silva

UNIFORMIDADE DE VAZÃO, ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA E PRODUTIVIDADE DA CANA DE-AÇÚCAR SOB IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO / José Santino da Silva Júnior . - 2022.  
29 f. : il.

Orientador: Manasses Mesquita da Silva.  
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, 2022.

1. sensoriamento remoto. 2. eficiência da irrigação . 3. manejo da irrigação . I. Silva, Manasses Mesquita da, orient. II. Título

CDD 628

---



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE

Memorando S/N

Recife-PE, 06 de junho de 2022.

Ao

Prof. Renato Laurenti  
Coordenador do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental – UFRPE/DEAGRI.

Assunto: Encaminhamento de Trabalho de Conclusão de Curso com nota.

Prezado Senhor,

Segue anexo o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Uniformidade de vazão, índice de vegetação normalizada e produtividade da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento” desenvolvido pelo discente de Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental José Santino da Silva Júnior, sob minha orientação. Esta versão do trabalho inclui as alterações e correções sugeridas pela Banca Examinadora no momento da defesa pública do TCC ocorrida no dia 30 de maio de 2022. A nota e o conceito atribuídos ao referido Trabalho é de 9,50 (nove e meio) e APROVADO, respectivamente.

Sendo o que se apresenta para o momento, subscrevo-me.

Atenciosamente,

Prof. Manassés Mesquita da Silva  
DEAGRI/UFRPE

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que sempre me conduziu com honestidade e integridade para minhas realizações.

Aos meus pais, José Santino da Silva e Janaina Lopes de Melo Silva, que sempre estiveram ao meu lado em todas horas, com apoio e carinho. Ao meu irmão, Elvys Lopes da Silva, que é minha companhia de sempre e me orgulha muito.

À minha noiva, Agnes Ramos que é uma benção que entrou em minha vida, pela dedicação oferecida e por todos momentos de companheirismo e compreensão.

À empresa Vale Verde – Grupo Farias, em especial a Dr. Felipe Avellar, Dr. Arnaldo Costa, que confiaram em mim e me deram oportunidade de realizar meu trabalho de conclusão de curso e apoio financeiro e acadêmico para pesquisa na empresa.

À Josiane Costa, por todos conselhos, preocupações e ensinamentos que foram fundamentais para meu crescimento.

A meus amigos de empresa, José Altamir, Claudemir José, José Cleiton, Urbano José, Pedro Victor, Paulo Neto, Dynno Cavalcanti e Cícero que convivem comigo e me deram todo suporte necessário.

Aos companheiros de trabalho, Ramon Farias, Flavio Farias, Sandro, Sonildo, Wellington, Wilson José (Zezinho) que me ajudaram no decorrer da pesquisa.

À Dra. Cristiane Guiselini que me acompanhou na minha trajetória acadêmica, me orientou por quase quatro anos e me ensinou muito.

A meus colegas de classe, Emmanuel Leon, Gabriel (Nexo), Yure Romero, Girlayne Santana, João Guilherme e Danilo Barros, que me deram o apoio e auxílio quando possível e sempre que necessário.

Ao meu orientador Dr. Manassés Silva, que dedicou seu tempo para me instruir e concluirmos uma pesquisa que dará meu primeiro passo nessa nova etapa.

Ao grupo de pesquisa do GPESA, que durante anos me acolheram e me ensinaram muito.

Por fim, sou grato a todos de alguma forma, direta ou indiretamente que participaram para realização desse sonho.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>8</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL</b>	<b>8</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>8</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>9</b>
<b>3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL</b>	<b>9</b>
<b>3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA</b>	<b>10</b>
<b>3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>DADOS TÉCNICOS DO GOTEJAMENTO</b>	<b>11</b>
<b>3.3.1 DIVISÃO DE SETORES</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2 MALHA HIDRÁULICA DO PROJETO</b>	<b>12</b>
<b>3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS</b>	<b>13</b>
<b>3.4.1 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO - CUD</b>	<b>13</b>
<b>3.4.2 ANÁLISE NDVI</b>	<b>15</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>16</b>
<b>5. CONCLUSÕES</b>	<b>21</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>22</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>26</b>
<b>8. ASSINATURA DO AUTOR E DO ORIENTADOR</b>	<b>29</b>

## RESUMO

Diante da importância de irrigar culturas agrícolas, se faz necessário a determinação da uniformidade de distribuição da água para garantir a qualidade da irrigação, deve se realizar o monitoramento frequente das áreas irrigadas a fim de observar a dinâmica e condições de cultivo. Diante disto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a qualidade da irrigação da cana-de-açúcar na Usina Vale Verde – Baía Formosa. O estudo foi realizado entre fevereiro de 2021 e fevereiro de 2022, na Fazenda Pedrosa, pertencente a Usina Vale Verde e localizada no município de Bahia Formosa-RN. Se utilizou uma área total de 15 ha subdivida em cinco setores de 3 ha cada um. Ao final do ciclo da cana, para cada um dos setores, foram determinados o coeficiente de uniformidade de vazão do sistema de irrigação (CUD) e a produtividade da cultura. Além disso, em seis épocas ao longo do desenvolvimento da cultura foi realizado o mapeamento de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) da cobertura do solo, através do software QGIS, utilizando imagens do satélite Sentinel-2 disponibilizadas pela base de dados espaciais do United States Geological Survey (USGS). A determinação do NDVI foi realizada pela razão entre a diferença das reflectâncias das bandas do infravermelho próximo (banda 04) e vermelho (banda 08), sob a soma das mesmas, as imagens NDVI foram classificadas de acordo com a densidade da cobertura vegetal em fitofisionomias. Após avaliação dos dados obtidos no presente estudo foi constatado que os valores de CUD possuem correlação direta com a produtividade do local, assim como as imagens de NDVI apresentaram valores maiores nas áreas de maior CUD e produtividade, sendo assim, o CUD e NDVI variáveis importantes para fonte de informação na tomada de decisão no melhoramento da qualidade da irrigação.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; eficiência de irrigação; manejo da irrigação.

## ABSTRACT

Given the importance of irrigating agricultural crops, it is necessary to determine the uniformity of water distribution to ensure the quality of irrigation, frequent monitoring of irrigated areas must be carried out in order to observe the dynamics and conditions of cultivation. In view of this, the present work was developed with the objective of evaluating the quality of irrigation of sugarcane at Usina Vale Verde - Bahia Formosa. The study was carried out between February 2021 and February 2022, at Fazenda Pedrosa, belonging to Usina Vale Verde and located in the municipality of Bahia Formosa-RN. A total area of 15 ha was used, subdivided into five sectors of 3 ha each. At the end of the sugarcane cycle, for each of the sectors, the irrigation system flow uniformity coefficient (CUD) and crop productivity were determined. In addition, in six seasons throughout the crop development, the mapping of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the soil cover was carried out, through the QGIS software, using Sentinel-2 satellite images made available by the spatial database of the United States Geological Survey (USGS). The NDVI determination was performed by the ratio between the reflectance difference of the near infrared (band 04) and red (band 08) bands, under their sum, the NDVI images were classified according to the vegetation cover density in phytophysionomies. After evaluating the data obtained in the present study, it was found that the CUD values have a direct correlation with the productivity of the place, as well as the NDVI images showed higher values in the areas of greater CUD and productivity, thus, the CUD and NDVI are important variables as a source of information in decision making in improving irrigation quality.

Keywords: remote sensing; irrigation efficiency; irrigation management.



## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar se destaca como um potencial para produção de álcool, açúcar e energia, representando um enorme mercado brasileiro, cerca de 569 milhões de toneladas são colhidas por ano no país (CONAB, 2022). Para manter níveis satisfatórios de produção, a cultura necessita de quantidades de água para bom rendimento na produção de álcool e açúcar, e fatores como adubação, tipo de solo, variedade da cultura, idade do corte, clima e o tipo de irrigação influenciam na qualidade da matéria prima (Leite et al. 2011; Dantas Neto et al. 2006).

A irrigação é uma técnica fundamental para o desenvolvimento agrícola, complementa a disponibilidade de água provida pela chuva, proporciona teor de umidade suficiente para suprir as necessidades hídricas da cultura (Geisenhoff et al. 2015). Um dos sistemas de irrigação em constante crescimento científico é a irrigação por gotejamento, que potencialmente apresenta uma entrega eficiente de água e nutrientes para o cultivo (Souza et al., 2006).

O Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) é uma maneira de representar numericamente, o grau de uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação. Conhecendo as vazões os gotejadores, é possível calcular a uniformidade de distribuição do sistema de acordo com Denículi et al. (1980).

É importante o monitoramento de superfícies irrigadas para acompanhar a dinâmica dos cultivos, o sensoriamento remoto é uma ferramenta capaz de auxiliar a visualização e na utilização de técnicas diferenciadas de manejo, como a irrigação de precisão. (Teixeira et al., 2009; Li et al., 2013).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é utilizado para o acompanhamento do desenvolvimento vegetativo, estresse vegetativo e produção da cultura, que podem ser referentes ao estresse hídrico (Jiã et al., 2016; Teixeira et al., 2009). Através do NDVI é possível comparar e analisar perfis de atividade de vegetação (Ponzoni; Shimabukuro, 2009).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar, avaliar a uniformidade de aplicação da água em cultivo da cana-de-açúcar sob gotejo, utilizando métodos de medição direta e o sensoriamento remoto.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Objetivou-se com esse trabalho, avaliar a uniformidade de aplicação da água em cultivo da cana-de-açúcar sob gotejo, utilizando métodos de medição direta e o sensoriamento remoto.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

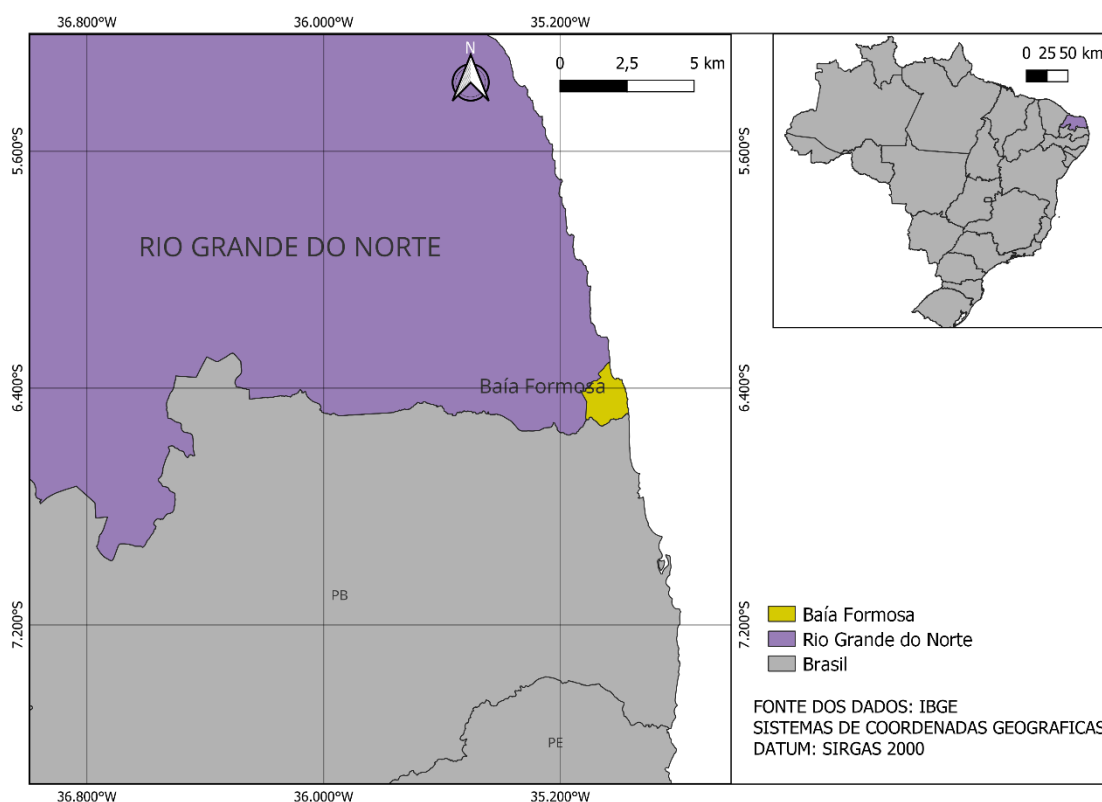
- Avaliar a uniformidade de aplicação utilizando o coeficiente de uniformidade de distribuição.
- Identificar, utilizando o sensoriamento remoto – NDVI, falhas que possam ser associadas a problemas de uniformidade de aplicação da água.
- Correlacionar os resultados obtidos via sensoriamento remoto, com os dados de CUD.
- Correlacionar a produtividade e a uniformidade de aplicação do sistema de irrigação.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida na Usina Vale Verde – Baía Formosa, do Grupo Farias, na Fazenda Pedrosa que fica localizada na cidade de Baía Formosa/RN (latitude -6,42°, longitude -35,05°, altitude média de 33m, Figura 01) de fevereiro de 2021 a fevereiro de 2022. O clima da região é do tipo tropical chuvoso, com verão seco e com estação chuvosa prolongada até os meses de julho/agosto, de acordo com a classificação de Köppen (Angelocci et al., 2002).

**Figura 01:** Localização da cidade de Baía Formosa – Rio Grande do Norte.



**Fonte:** Autor, 2022.

É possível observar abaixo na Figura 02, a área de estudo (Fazenda Pedrosa), que compreende uma área de 15 hectares com solo plano e do tipo Neossolo quartizarênico, a área é dividida em cinco setores e cada setor possui três hectares.

**Figura 2:** Área do local de estudo, Fazenda Pedrosa.



**Fonte:** Google Earth, 2022.

### **3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CULTURA**

A cultura utilizada foi a cana-de-açúcar (RB92579) irrigada através do sistema de irrigação por gotejamento. Nesta área, o espaçamento entre ruas foi de 1,15 metros, espaçamento entre plantas de 0,5 m. No momento da pesquisa a cana-de-açúcar passava pelo segundo corte.

A adubação ocorreu via fertirrigação. As dosagens dos componentes químicos foram mensais e ocorriam nos setores uma vez por mês, é possível observar na Tabela 01 a forma de aplicação e os fertilizantes utilizados, os setores por possuírem a mesma dimensão, logo recebem a mesma quantidade de fertilizantes.

**Tabela 01:** Tipos e quantidades de fertilizantes utilizados no projeto de gotejamento via fertirrigação.

Fertilizantes	Perfilhamento		Maior Crescimento					Período Chuvoso			Total
	Mar/21	Abr/21	Mai/21	Jun/21	Jul/21	Ago/21	Set/21	Out/21	Nov/21	Dez/21	
<b>Macronutrientes (Kg/Ha)</b>	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	1950
<b>Sulf. Amô / Ureia (Kg)</b>	75	43	43	54	65	65	54	43	22	22	486,0
<b>Map Purificado (Kg)</b>	16	25	25	0	0	0	0	0	0	0	66,0
<b>Kcl (Purificado) (Kg)</b>	25	40	40	58	75	85	71	40	17	17	468,0
<b>Micronutrientes (Kg/Ha)</b>	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	1950,0
<b>Sulfato De Manganês (Kg)</b>	1,3	1,8	1,8	2,2	2,7	2,7	2,2	1,8	0,9	0,9	18,3
<b>Sulfato De Zinco (Kg)</b>	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	4,3
<b>Sulfato De Cobre (Kg)</b>	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	2,2
<b>Ácido Bórico (Kg)</b>	0,4	0,6	0,6	0,9	1,2	1,3	1,1	0,6	0,3	0,3	7,3
<b>Molytrac (MI)</b>	66	88	88	110	132	132	110	88	44	44	902,0

Fonte: Usina Vale Verde

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Os dados técnicos do projeto de gotejamento foram fornecidos pelo fabricante do projeto, a empresa Agronil Agronegócios do Nordeste LTDA, e podem ser observados na Tabela 02.

**Tabela 02:** Dados técnicos do sistema de irrigação de gotejamento.

<b>DADOS TÉCNICOS DO GOTEJAMENTO</b>	
Modelo do emissor	D900
Vazão nominal do emissor (litros/horas)	1,00
Pressão de serviço do emissor (m.c.a)	10,00
Número e laterais por fileira e plantas	1,00
Espaçamento entre linhas (m)	1,15
Espaçamento entre emissores (m)	0,30
Número de emissores	434.789,0
Total de metros e tubo gotejador	130.435,0

Fonte: Agronil, 2020.

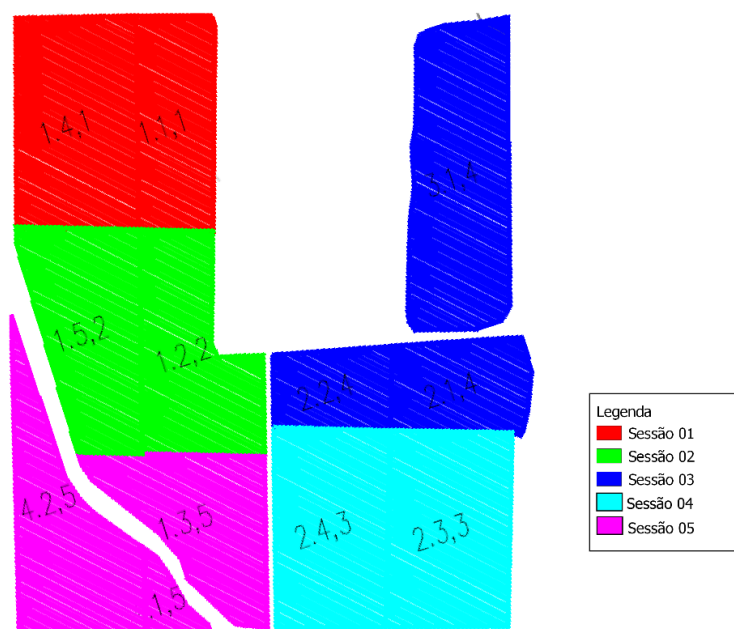
A vazão do sistema é de 86,96 m<sup>3</sup>/h, com o total de cinco válvulas, sendo uma válvula por setor, e conta também com quatro filtros, tendo a vazão por filtro de 21,74

m<sup>3</sup>/h. O funcionamento foi dividido diariamente por setores, e cada setor funcionava por 1,90 horas, totalizando 9,5 horas ao somar a quantidade de setores. A lâmina média aplicada por dia é de 5,0 mm e tendo assim o volume de água por planta de 3,16 L/dia.

### 3.3.1 DIVISÃO DE SETORES

A Figura 03, apresenta-se o esquema da divisão dos setores da irrigação no lote referente ao projeto de gotejamento, separados em cores do setor 01 ao setor 05, respectivamente.

**Figura 03:** Divisão de setores de irrigação da área de estudo.



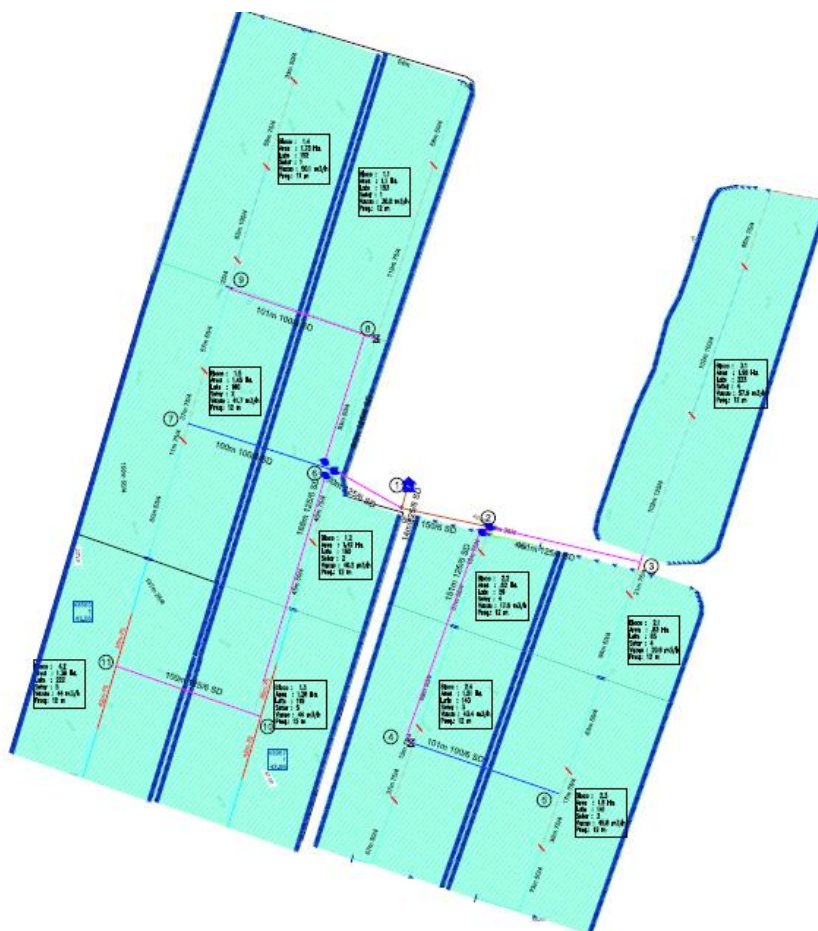
Fonte: Agronil, 2020.

Para funcionamento do sistema de irrigação é utilizada uma estação de bombeamento, com bomba KSB, modelo INI50-160 de 3600 rpm, com rendimento da bomba de 79,2 %.

### 3.3.2 MALHA HIDRÁULICA DO PROJETO

Na Figura 04 é possível observar a planta do projeto, onde contém válvulas, o sentido das linhas laterais, bem como a localização da casa de bomba e representação da tubulação.

**Figura 04:** Malha Hidráulica do projeto.



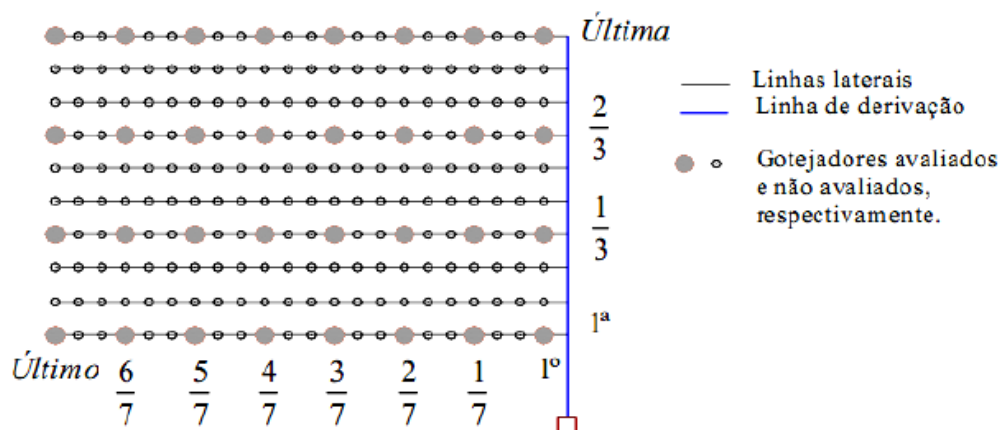
Fonte: Agronil, 2020.

### 3.4 VARIÁVEIS ANALISADAS

#### 3.4.1 COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO - CUD

As vazões dos gotejadores foram determinadas da seguinte maneira: coleta das vazões em oito emissores ao longo da linha lateral, a seguinte maneira: primeiro gotejador, o segundo situado a  $1/7$ ; o terceiro a  $2/7$ ; o quarto a  $3/7$ ; o quinto a  $4/7$ ; o sexto a  $5/7$ ; o sétimo a  $6/7$  do comprimento a linha; e o último gotejador. Conforme apresentado na Figura 05, foram escolhidas quatro linhas laterais dentro do setor, resultando assim em 32 gotejadores avaliados por setor, segundo o método de Denículi et al. (1980).

**Figura 05:** Esquema da metodologia de determinação da uniformidade em gotejamento por Denículi et al. (1980), adaptado de Silva e Silva (2005).



Fonte: Silva e Silva, 2005.

Para representação numérica da uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação, foi utilizado o Coeficiente de Uniformidade e Distribuição (CUD), que foi determinado pela razão entre a vazão do menor quartil “qm25%” e a vazão média “qm” de todos gotejadores amostrados.

$$CUD = 100 * \frac{q_{25\%}}{q_m}$$

Em que:

CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);

$q_{25\%}$  = vazão dos 25% menores valores e vazão observada ( $L h^{-1}$ );

$q_m$  = média de todas as vazões ( $L h^{-1}$ ).

As vazões dos gotejadores foram determinadas utilizando-se um recipiente para coleta d’água, com auxílio de uma balança digital para medição do peso e determinação do volume, e de um cronômetro digital para controle do tempo (cinco minutos), com três repetições efetuadas em cada emissor por planta. Os dados obtidos em (mL) foram registrados em planilhas durante a coleta e posteriormente, transformados em ( $L h^{-1}$ ). e determinados de acordo com o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição-CUD. Foram realizadas medições da pressão de operação durante o experimento para observar se deferia da pressão informada pelo fabricante.

Para classificação do CUD, foi utilizado o critério de avaliação de acordo com Mantovani (2001), conformem apresentado na Tabela 03.



**Tabela 03:** Classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição.

<b>Classificação</b>	<b>CUD (%)</b>
Excelente	>84
Bom	68-84
Razoável	52-68
Ruim	36-52
Inaceitável	<36

**Fonte:** Mantovani, 2001.

### 3.4.2 ANÁLISE NDVI

A observação do desenvolvimento da cultura foi analisada através do mapeamento de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) da cobertura do solo, através do software QGIS, utilizando imagens do satélite Sentinel-2 disponibilizadas pela base de dados espaciais do United States Geological Survey (USGS).

Para a determinação do NDVI foi realizada pela razão entre a diferença das reflectâncias das bandas do infravermelho próximo (banda 04) e vermelho (banda 08), sob a soma das mesmas, conforme a Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} = \frac{(Banda\ 08) - (Banda\ 04)}{(Banda\ 08) + (Banda\ 04)} \quad (1)$$

Onde: NIR = Banda espectral do infravermelho próximo; R = Banda espectral do vermelho.

O NDVI é um indicador com valores na faixa de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo de 1 maior a presença de vegetação, enquanto que próximo de -1 maior é a presença de solo exposto (Sousa et al., 2016). Para identificação das falhas, as imagens foram classificadas de acordo com Chagas et al. (2008), onde classificou a densidade da cobertura vegetal em fitofisionomias como pode ser observado na Tabela 04.

**Tabela 04.** Classificação da cobertura vegetal mediante os valores de NDVI.

<b>Classe</b>	<b>NDVI</b>
Água	< 0,00
Solo exposto	0,00 – 0,10
Vegetação rala	0,10 – 0,20
Vegetação esparsa	0,20 – 0,40
Vegetação de transição	0,40 – 0,60
Vegetação densa	0,60 – 1,00

**Fonte:** Chagas et al., 2008.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vazão média obtida nos gotejadores, de  $0,790 \text{ L.h}^{-1}$  é inferior à especificada na malha hidráulica fornecida pelo fabricante, de  $1,0 \text{ L.h}^{-1}$  por gotejador, isso ocorreu provavelmente devido à falta de manutenção dos tubos gotejadores, como substituição da mesma no tempo de vida útil e desobstrução dos orifícios de passagem. A pressão operacional apresentou pequena variação do que a designada de 5,64%, a quantidade de gotejadores completamente obstruídos, com vazão nula foram de 44 no total de 160 pontos coletados, representando então 27,5 % dos pontos.

A classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição, através do critério de Mantovani (2001), em sistemas de irrigação localizada, apenas um setor obteve resultado de inaceitável em sua classificação (Tabela 05).

**Tabela 05:** Classificação do CUD.

SETOR	CUD (%)	CLASSIFICAÇÃO
1	68,45	Bom
2	61,42	Razoável
3	62,02	Bom
4	59,24	Inaceitável
5	70,57	Bom

**Fonte:** Mantovani, 2001.

Nenhum setor obteve o coeficiente de uniformidade de distribuição classificado como excelente, este fato se deve a distribuição em todas as linhas, ao menos 1 gotejador estava obstruído por total em cada linha coletada.

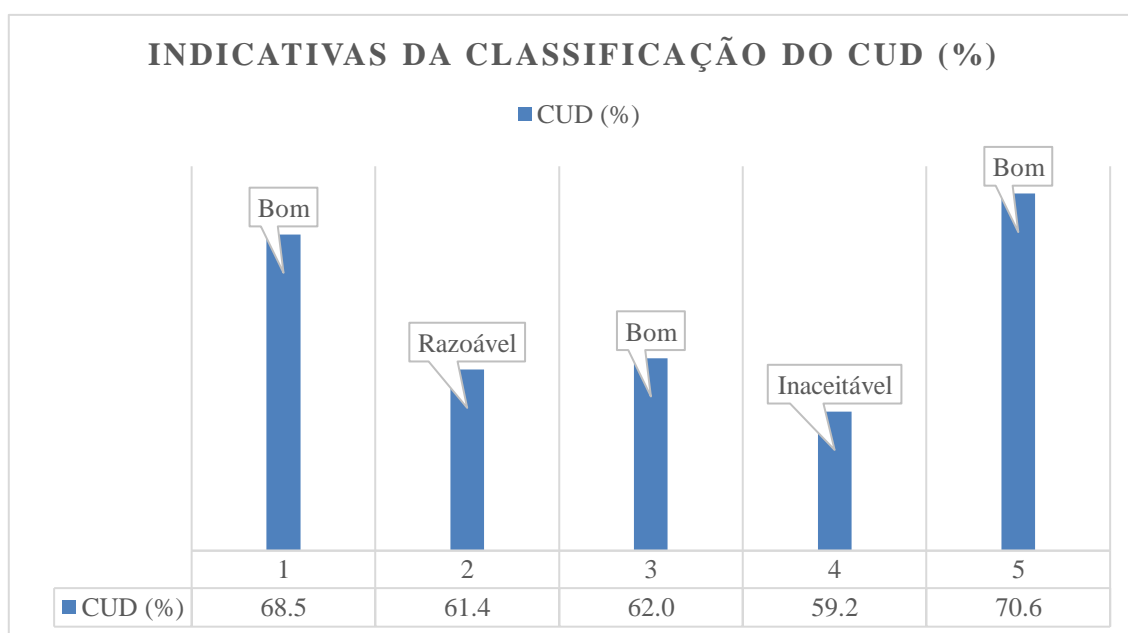
O Coeficiente de Uniformidade e Distribuição relaciona a quarta parte total da área que recebe menos água com a lâmina média aplicada. Pizzaro Cabello (1996) evidência que quanto maior valor do CUD, mais cara será a instalação de um sistema de irrigação, tendo em vista que, com menor variação da vazão na subunidade, a distribuição de pressão na rede hidráulica tem que ser mais uniforme, exigindo menores comprimentos e maiores diâmetros das linhas laterais e maior investimento em reguladores de pressão.

Segundo Rezende et al. (1998), um baixo valor de CUD indica uma excessiva perda de água por percolação, quando toda área recebe o mínimo de lâmina real necessária. E ao observar a velocidade da frente de umidade em Neossolo quartizarênico

sob irrigação por gotejamento Nascimento et al. (2013) constataram que esse solo está na classe de velocidade de infiltração denominada muito rápida.

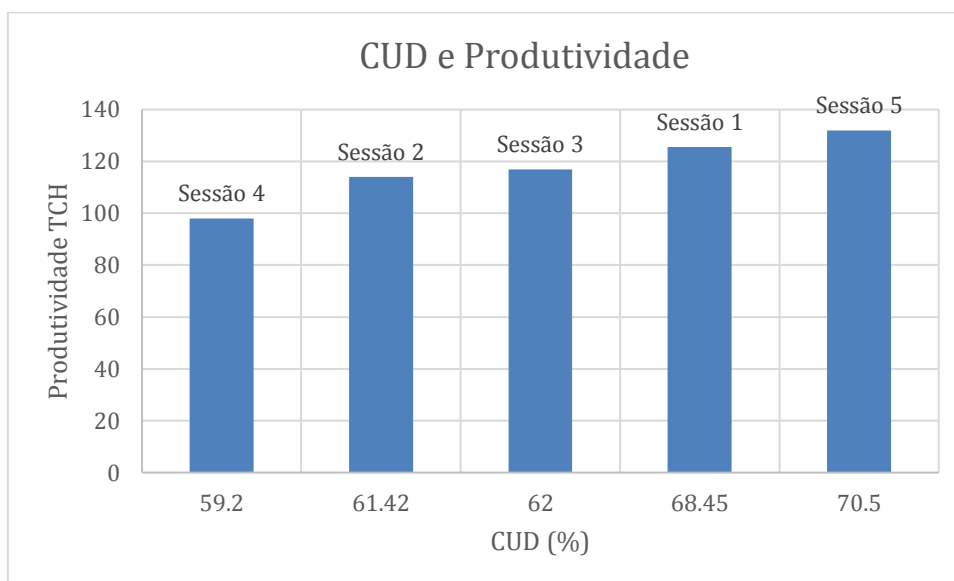
Na Figura 05, é possível observar a variação do CUD, que segundo Keller e Bliesner (1990), o CUD é um coeficiente muito importante para o dimensionamento e avaliação em campo do sistema de irrigação, pois o mesmo é sensível às variações na distribuição de água, Souza et al. (2006) confirmaram a importância da utilização desse tipo de coeficiente para avaliação do sistema de gotejamento, após estudo realizado na cafeicultura, os autores destacaram a importância do cálculo do coeficiente para um bom funcionamento da irrigação.

**Figura 05:** Indicativas da classificação do CUD (%) por setor representado graficamente.



**Fonte:** Autor, 2022.

Foi observado uma relação entre os valores de CUD, com a produtividade da área de estudo, em que é possível visualizar que quanto maior o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição mais produtiva foi o setor, os valores de produtividades correspondentes aos setores 1, 2, 3, 4 e 5, foram respectivamente 125, 114, 117, 98 e 132 ton/ha, essa relação pode ser observada na Figura 06.

**Figura 06:** Relação entre o CUD e a Produtividade.

**Fonte:** Autor, 2022.

Segundo Souza et al. (2006) que avaliou sistemas de gotejamento através do CUD, foi constatado que quando não possui reguladores de pressão no início das linhas de derivação, afeta de maneira negativa a uniformidade de distribuição da água. Silva & Silva (2005), constataram que a utilização do método de Denículi et al. (1980), é o método mais preciso para determinação do CUD, pois utiliza maior quantidade de gotejadores na forma de avaliação.

O CUD não apresentou valores na faixa de excelente para a área de estudo, porque o sistema apresentou problemas com entupimento de gotejadores, ocasionando diminuição nos valores de CUD, o somatório do menor quartil apresentou menor tendência a zero, gerando valores mais altos, embora ainda que não sejam bons valores para o coeficiente, corroborando com resultados obtidos por Vieira et al. (2003).

O setor 5 foi a que obteve o maior valor de CUD (70,5%) e produtividade (132 toneladas de cana por hectare), e a setor 4 teve menor valor de CUD (59,24%) e a menor produtividade com 98 (tch), respectivamente. Corroborando com resultados obtidos por Mantovani et al. (2011) que analisaram a estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em cristalina-go, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação e constataram maior produtividade de grãos com o maior coeficiente de uniformidade de aplicação. Geisenhoff et al. (2015) ao avaliarem a

produtividade da cultura agrícola em diferentes sistemas de irrigação e coeficientes, constataram que quanto maior o valor do CUD, maior foi a produtividade da área.

Foram realizadas análises de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) no local de estudo para tentativa de visualização das falhas presentes no projeto de gotejamento, e apesar de não ter obtidos valores excelentes para o CUD, foi possível observar na Figura 07, que o cultivo da cana-de-açúcar com irrigação localizada por gotejamento possuiu maior índice na escala NDVI, quando comparada com as outras áreas que são irrigadas através da aspersão, corroborando com os resultados obtidos por Ribeiro et al. (2017) que ao realizarem um estudo em variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens sentinel-2, concluíram que o NDVI foi eficiente na diferenciação das distintas épocas do cultivo do milho e tendo maiores valores obtidos nas datas de máximo desenvolvimento vegetativo e podendo auxiliar em questões voltadas à eficiência da irrigação.

**Figura 07:** Área do projeto de gotejamento em destaque na escala NDVI.



**Fonte:** Autor, 2022.

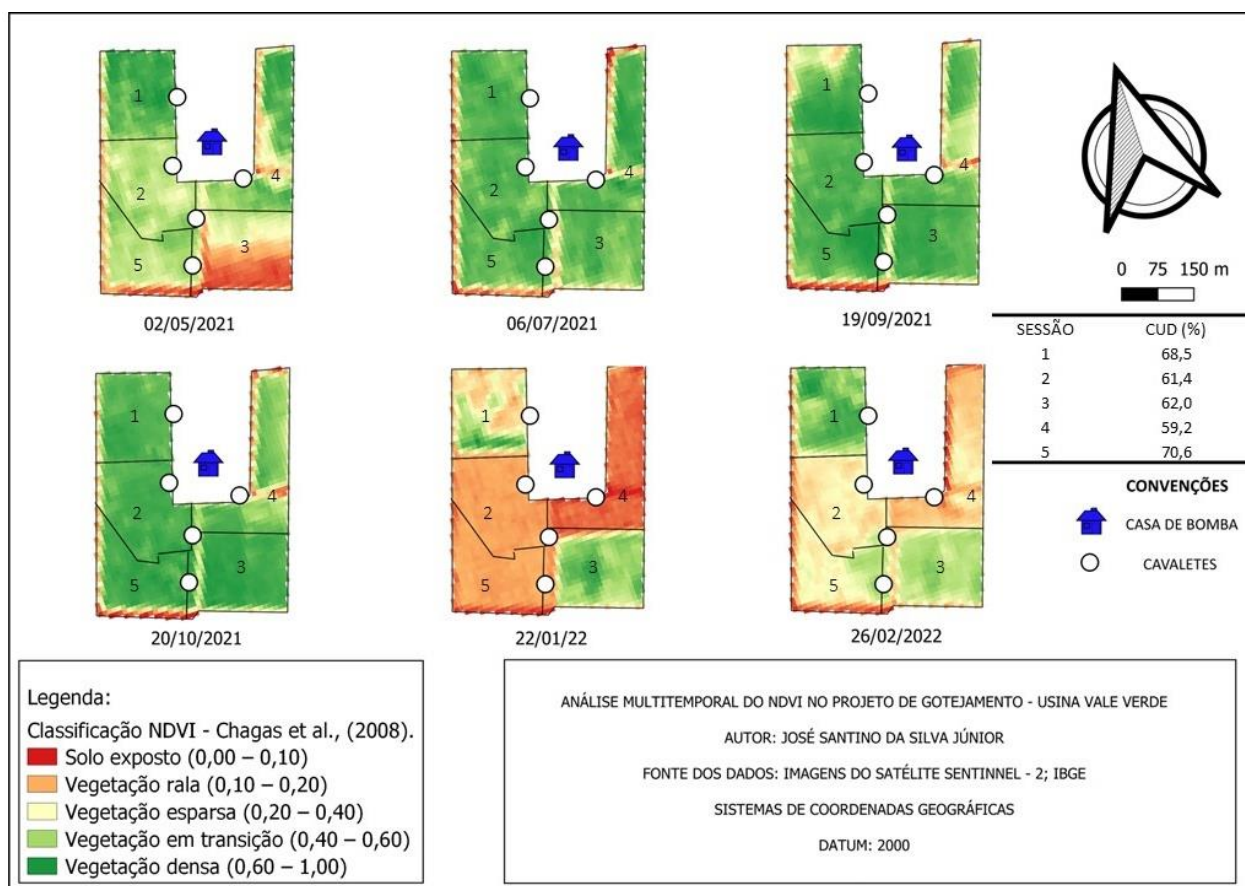
A camada em destaque corresponde a área do projeto, onde é notório que possui uma coloração mais esverdeada, que na escala NDVI, é sinal de que é uma vegetação

densa, isso quer dizer que com a utilização da irrigação por gotejamento, encontramos a cultura em uma etapa mais saudável, então mesmo não atingindo níveis satisfatórios de CUD, é um sinal de que a irrigação localizada fertirrigada possui mais efetividade na irrigação da cana-de-açúcar.

Em uma comparação realizada por Barbosa et al. (2012) da produtividade da cana-de-açúcar através da fertirrigação por gotejamento com a da irrigada por aspersão, e constataram que a adição de adubos minerais juntamente a irrigação localizada promoveu maiores valores para número de perfilhos e índice de área foliar.

A ilustração do mapa temático do índice de vegetação NDVI, apresentando a dinâmica da cobertura vegetal no período da safra, podendo visualizar as alterações no comportamento da vegetação ao longo do ano estudado (Figura 08).

**Figura 08:** Análise de NDVI para o projeto de gotejamento, no período de 2021/2022.



**Fonte:** Autor, 2022.

É possível observar no mapa temático que algumas áreas no decorrer do período de 02/05/2021 a 20/10/2021, alguns pontos possuíam cores e valores na escala NDVI de vegetação rala e esparsa. Segundo Guimarães & Landau (2015) a utilização do

geoprocessamento e do NDVI, permite quantificar e qualificar as áreas irrigadas ao longo do tempo.

As áreas que possuíram menores valores de CUD e produtividade, também apresentaram os menores valores de NDVI, conseqüentemente indicando que naquele local a cultura não estava saudável, pelas condições fitofisionômicas apresentarem na faixa de vegetação rala e vegetação esparsa.

Algumas metodologias de sensoriamento remoto para monitoramento da irrigação e saúde da cultura, foram utilizadas por alguns autores na literatura, Xiao et al. (2005) construíram um mapeamento para áreas irrigadas de arroz na China. No Brasil, Picoli et al. (2009) utilizou o NDVI para estimativa da produtividade agrícola da cana de açúcar e Aguiar et al., (2011) realizaram o monitoramento da colheita de uma usina em São Paulo através do sensoriamento remoto.

## **5. CONCLUSÕES**

Diante do exposto, é possível concluir que quanto maior o Coeficiente de Uniformidade e Distribuição do setor, maior a produtividade aferida. Os maiores valores do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), ao longo do tempo encontram-se também nos setores com maiores valores de CUD.

## 6. ANEXOS

**Figura 09:** Cavalete/Válvula de acionamento do setor 04.



**Fonte:** Autor, 2022.

**Tabela 6:** Lista das tubulações utilizadas no projeto.

TUBULAÇÃO UTILIZADA NO PROJETO
LF Ø 35 PN40
LF Ø 50 PN40
LF Ø 75 PN40
LF Ø 100 PN40
LF Ø 100 PN60
LF Ø 125 PN40
LF Ø 125 PN60
LF Ø 150 PN40
LF Ø 150 PN60

**Fonte:** Agronil, 2020.



**Figura 10:** Dados da estação de bombeamento.

<u>ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO</u>	
Q = 90 m <sup>3</sup> /h	
HTM = 4,0 bar	
BOMBA: KSB - MODELO: INI 50-160 3500 rpm	
DIAMETRO DO ROTOR: 155 mm	
RENDIMENTO DA BOMBA: 79,2%	
OPÇÃO 01:	
MOTOR ELÉTRICO:	WEG PLUS - Carcaça : 180M
POTÊNCIA:	20 cv
CICLOS/POLOS:	60 hz / 02 Polos
VOLTAGEM:	380V

**Fonte:** Agronil, 2020.

**Figura 11:** Estação de bombeamento do gotejo.



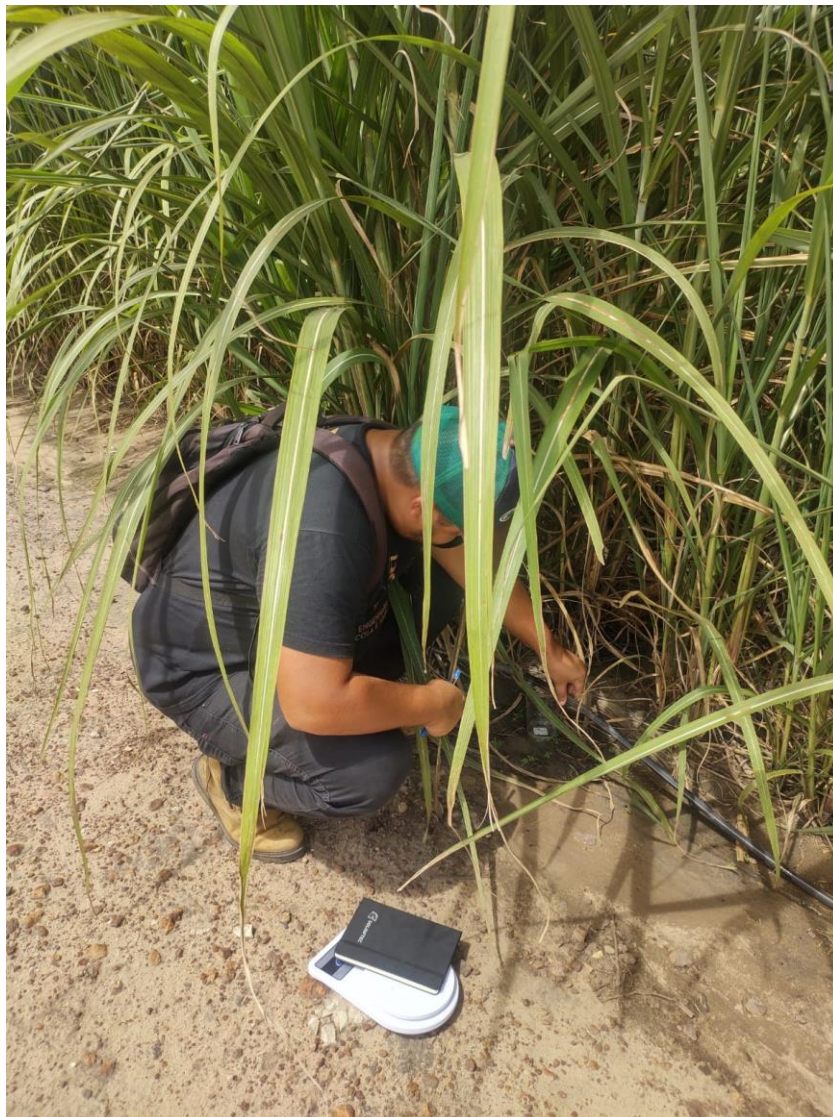
**Fonte:** Autor, 2022.

**Figura 12:** Bomba utilizada no projeto.



**Fonte:** Autor, 2022.

**Figura 13:** Coleta de vazão no tubo gotejador.



**Fonte:** Autor, 2022.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Daniel Alves et al. Imagens de sensoriamento remoto em apoio ao protocolo ambiental: Monitoramento da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil. *Sensoriamento Remoto*, v. 3, n. 12, p. 2682-2703, 2011.

ANGELOCCI, Luis Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar; PEREIRA, Antonio Roberto. *Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas*. Agropecuária, Guairá, 2002.

BARBOSA, Eduardo AA et al. Cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça e adubos minerais via irrigação por gotejamento subsuperficial: ciclo da cana-planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 9, p. 952-958, 2012.

BARRETO FILHO, Antônio de Almeida et al. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 309-314, 2000.

BERNARDO, Salassier. Manejo da irrigação na cana-de-açúcar. *Item: Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, v. 71, p. 72, 2006.

BUSATO, Cristiani Campos Martins; SOARES, Antonio Alves. Desempenho de gotejadores utilizando água de baixa qualidade química e biológica. *Biosci. j.* (Online), p. 739-746, 2010.

CARARO, D.C. et al. Análise de entupimento em emissores de gotejamento durante a irrigação de águas residuais. *Engenharia Aplicada na Agricultura*, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.

CHAGAS, M. et al. Avaliação da Dinâmica Espectral da Vegetação de Caatinga. *Revista de Geografia (Recife)*, Pernambuco, Brasil, 2009.

DENÍCULI, W. et al. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, v. 27, n. 50, p. 155-162, 1980.

GEISENHOFF, Luciano O. et al. Produtividade do brócolis-de-cabeça sob diferentes sistemas de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v. 35, p. 863-874, 2015

JIAO, Wenzhe et al. Avaliação de um índice de condição vegetal aprimorado (VCI) com base no VIUPD para monitoramento da seca nos Estados Unidos continentais. *Sensoriamento Remoto*, v. 8, n. 3, p. 224, 2016.

KELLER, Jack; BLIESNER, Ron D. *Polvilhe e escore a irrigação*. 1990.

LI, Zhouyuan et al. Recuperação dos padrões de evapotranspiração da superfície no ecossistema alpino de pastagem-pantanal aplicando modelo SEBAL na região de origem do Rio Amarelo, China. *Modelagem Ecológica*, v. 270, p. 64-75, 2013.

MANTOVANI, Everardo Chartuni et al. *Irrigação: princípios e métodos*. UFV, 2007.

MANTOVANI, E. C. *Avalia: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada*. Viçosa, MG: UFV, p. 77-80, 2001.

MANTOVANI, Everardo C. et al. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. *Engenharia Agrícola*, v. 32, n. 1, p. 110-120, 2012.

NASCIMENTO, Tarcizio et al. Velocidade da frente de umidade em neossolo quartzarênico sob irrigação intermitente por gotejamento. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 8, n. 2, p. 7, 2013.

PICOLI, Michelle Cristina Araujo et al. Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar. *Bragantia*, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.

PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia-goteo-microaspersion-exudacion*. Madrid. Mundi-Prensa, 1996.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

REZENDE, Roberto et al. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, n. 3, p. 257-261, 1998.

RIBEIRO, Moisés Santiago et al. Classificação da água de poços tubulares do norte do estado de Minas Gerais para irrigação. Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, v. 18, n. 3, p. 208-218, 2010.

RIBEIRO, Rayssa Balieiro et al. Análise Temporal das Variações de Parâmetros Biofísicos da Cana-de-Açúcar em Jaíba-MG. Nativa, v. 3, n. 3, p. 150-155, 2015.

DA SILVA, César Antônio; DA SILVA, Cícero José. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. 2005.

DE SOUZA, Luís OC et al. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 541-548, 2006.

SOUSA, Roneide Santos; VALLADARES, Gustavo Souza; DE ESPÍNDOLA, Giovana Mira. Análise do índice de vegetação (NDVI) e vulnerabilidade ambiental da planície costeira do estado do Piauí. Revista da Casa da Geografia de Sobral, v. 18, n. 2, p. 3, 2016.

DE SOUZA, Luís OC et al. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, p. 541-548, 2006.

TEIXEIRA, AH de C. et al. Revisão dos parâmetros de insumos da SEBAL para avaliação da evapotranspiração e da produtividade da água para a bacia do Rio São Francisco, Brasil: Parte A: Calibração e validação. Meteorologia agrícola e florestal, v. 149, n. 3-4, p. 462-476, 2009.

VIEIRA, Gustavo Haddad Souza et al. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. *Biosci. j.*(Online), p. 65-75, 2014.

XIAO, Xiangming et al. Mapeamento da agricultura de arroz no sul da China usando imagens MODIS multitemporais. *Sensoriamento remoto do ambiente*, v. 95, n. 4, p. 480-492, 2005.