

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

Luziele Oliveira de Oliveira

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA  
EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE  
BOMBEAMENTO DAS LAVOURAS DE  
ARROZ EM ALEGRETE,RS**

Alegrete  
2023

Luziele Oliveira de Oliveira

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA  
EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE  
BOMBAMENTO DAS LAVOURAS DE ARROZ  
EM ALEGRETE,RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola Universidade Federal do Pampa como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dra. Fátima Cibele Soares

Alegrete  
2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

d48c de Oliveira, Luziele  
CRACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DAS LAVOURAS DE ARROZ EM ALEGRETE,RS / Luziele de Oliveira.  
44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2023.

"Orientação: Fátima Cibele Soares".

1. Arroz irrigado. 2. Estações de Bombeamento. 3. Irrigação por inundação. 4. Eficientização . I. Título.

LUZIELE OLIVEIRA DE OLIVEIRA

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO DAS LAVOURAS DE ARROZ EM ALEGRETE, RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Engenharia Agrícola.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 08, fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Fátima Cibele Soares  
Orientadora  
(UNIPAMPA)

---

Prof.<sup>a</sup>. Chaiane Guerra da Conceição  
(UNIPAMPA)

---

Prof. José Wagner Maciel Kaehler  
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **CHAIANE GUERRA DA CONCEICAO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/02/2023, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **FATIMA CIBELE SOARES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/02/2023, às 14:56, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JOSE WAGNER MACIEL KAEHLER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 09/02/2023, às 17:37, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.

Dedico este trabalho ao Miguel, Manuela e Samia,  
amores da minha vida, que vivenciaram toda graduação.

## AGRADECIMENTOS

A Deus que foi o maior ouvinte de todas as minhas angustias, que nos momentos de fraqueza e dúvidas me mostrou inúmeras vezes que eu estava no caminho, me provando que os meus erros não me definiam, e que foram as minhas atitudes a partir dos meus erros.

Ao meu amor Miguel que esteve presente desde a matrícula no curso, me ajudando durante todo esse tempo, presenciando todos os momentos de crises, não largou a minha mão nenhum momento, por ser esse pai maravilhoso para nossas meninas.

A minha Filha Manuela por todos esses anos me acompanhando sem reclamar, por participar dessa trajetória, por caminhar 50 mim por dia até a universidade no mínimo 2 vezes por dia, por se comportar silenciosamente em todas as disciplinas em que cursou comigo, por participar de inúmeros minicursos, por esperar pacientemente todos os ensaios nos laboratórios, por frequentar a 104 durante anos, e por me mostrar que temos nossas dificuldades e que temos que respeitar nossos limites, e o principal sem perder o brilho no olhar e a alegria.

A minha filha Samia que me devolveu o brilho da vida, que é amor puro em tempo integral, por frequentar a 104, por fazer provas dormindo em meu ombro, pelo afeto puro e verdadeiro.

Ao meus pais José e Sara que são inspiração a escolha deste curso e profissão, meus irmãos Luciano e Luzardo, que são exemplo e trabalho e dedicação. As minhas cunhadas Suzi e Rafa que sempre que eu precisei estavam presentes me ajudando. A minha irmã Luziara que sonhou em ser engenheira eletricista e partiu antes de realiza-lo, mas foste a grande influencia para eu realizar o meu sonho de ser Engenheira Agrícola.

A minha orientadora Fátima cibebe, não apenas pela orientação ao longo desses anos mas principalmente pela amizade, confiança e repeito. Ao José Gabriel e a Eracilda pela amizade e por nanar a Samia durante as avaliações. A muitos que passaram pela minha vida durante toda graduação, meus colegas e amigos, que me ajudaram com as listas e trabalhos, sem vocês esse momento não seria possível. A Andressa que nesses últimos semestres tornou-se uma luz na minha vida, pela parceria na vida acadêmica e na academia, sinto a sinceridade nas suas palavras de apoio, conforto e brincadeiras.

A minha comadre Luciele, que em um dos momentos em que a desistência foi cogitada, quando dúvida de continuar o curso esteve presente na minha vida, me deu a mão e me ajudou a perceber que eu era capaz, por me ajudar a fazer as listas e trabalhos, por ter essa humildade intelectual, foi você que me mostrou que ajudar ao próximo nos faz muito bem, e por ser a minha Cintia da engenharia.

A Cintia por ser a minha Lu da matemática, por todos esses anos de amizade e a sua presença uni presente na minha vida, por ser exemplo de mulher guerreira, mãe solo de duas borboletas que já estão alçando grandes voos.

A minha comadre Thalita por ter esse humor tihoso que compartilhamos, mas

o maior de todos ensinamentos que tive contigo foi que nossos trabalhos são lindos e maravilhosos, por ouvir o diário de um tcc, por torcer por mim e pelas nossas gargalhadas. Ao meus compadres Saed e Placido, o carinho e respeito que tenho por vocês é enorme.

Ao Nourival que foi uma das pessoas mais generosas que conheci nos últimos anos, que admiro pessoalmente e intelectualmente, que me ensinou muito durante o estágio, sem duvidar da minha capacidade de aprendizado, e mais importante me socorreu no tcc, merece toda prosperidade e sucesso na vida.

A minha avó Maria Odila e minhas tias Luandarete e Marta, pela ajuda na logística durante anos, pelo cuidado e zelo com a Manuela por todos esses anos, sem pedir nada em troca.

A Chaiane que foi a pessoa que me deu as dicas de como funcionava o curso quando me matriculei, por me ajudar a escrever meu primeiro trabalho para eventos e por fim estar presente na banca do meu tcc.

Ao professor José Wagner por me dar muitas oportunidades de mostrar meu conhecimento inexperiente, e confiar em mim, por uma amizade improvável, respeito que demonstra por todos nós alunos pertencentes ao EIRE.

E não menos importante as minhas amigas doidinhas que sempre que precisei correram para me ajudar, Lidi e Márcia "AS JUDITES", obrigado por todos esses anos, por me dar um sacode quando precisei, e pelas aventuras boemias, por me dar oportunidade de trabalhar com vocês quando mais precisei, por me ensinarem que existe sim pessoas que torcem por nós sem pedir nada em troca, pelos jogos de handebol, Ganhemo.

A Luziele que mesmo cheia de medos e incertezas não desistiu, que por vários momentos exposta a muitas coisas, suspirou, segurou as lágrimas, sacudiu e vestiu um sorriso no rosto e foi em frente. Que topou trabalhar de qualquer coisa, que agarrou qualquer oportunidade de bolsas e trabalhou para desempenhar o que precisava ser feito, a final o dinheiro era necessário. Que por muitas vezes estava exausta e no meio de um caos de provas, trabalhos e infinitas listas, não podia parar para chorar, e chorava fazendo os trabalhos, que já chorou fazendo uma prova, saiu de outra prova e chorou no banheiro, lavou o rosto e voltou e fez o que tinha que ser feito, não foram as lágrimas que me fizeram desistir, por que era o sonho a ser realizado. E chegar ao fim dessa jornada muito orgulhosa do que me tornei, que me despi e recomecei e trilhei esse caminho baseado nos meus princípios, e não precisa do reconhecimento de ninguém, eu me reconheço estou orgulhosa e feliz.

“A vida é sua,estrague-a como quiser.”  
(Antônio Abujamra)

## RESUMO

Para uma estação de bombeamento ter uma boa eficiência depende de vários fatores tais como, um bom dimensionamento, correta instalação, manutenções nas bombas, diâmetro adequado e estado de conservação da tubulação e peças especiais. A caracterização dos sistemas de irrigação de uma mesma área, e das condições de funcionamento das Estações de Bombeamento (EB), das lavouras de arroz motiva este trabalho, buscando parâmetros para avaliar a eficiência. O objetivo deste trabalho é realizar a caracterização das estações de bombeamento de água, e avaliar a eficiência das EB, utilizadas na irrigação de arroz e identificar os possíveis fatores que afetam a eficiência. As visitas foram realizadas em 10 propriedades, na cidade de Alegrete, onde foram realizados os levantamentos de dados dos sistemas de irrigação, um total de 21 EB. Foram coletado os dados de vazão, velocidade específica do fluido, altura geométrica, comprimento e diâmetro das tubulações. Foram quantificados o número de EB que irrigavam a mesma área, realizou-se a identificação da bomba, motor, tipo de acionamento e tipo de instalação. As estações de bombeamentos estudadas em sua totalidade estavam instaladas em balsas, e a configuração de distribuição de EB par atender a mesmas área, 56% das propriedades com dois EB. Em relação a posição de instalação aproximadamente 94% na vertical "afogada", e 73,33% com acionamento com polias. O rendimento global das EB em 43,75%, esteve acima de 85%, ou seja Excelente, em relação ao desempenho das estações de bombeamento esteve acima de 90 em 50% das EB. O desempenho das EB foi muito satisfatório, pelo fato de grande parcela trabalhar com o rendimento global, se mantendo dentro da classificação: excelente, muito e bom.

**Palavras-chave:** Arroz Irrigado. Eficientização . Irrigação por Inundação.

## ABSTRACT

For a pumping station to have good efficiency, it depends on several factors such as good dimensioning, correct installation, pump maintenance, adequate diameter and condition of the piping and special parts. The characterization of irrigation systems in the same area, and the operating conditions of Pump Station (PS), of rice crops motivates this work, seeking parameters to evaluate efficiency. The goal of this work is to carry out the characterization of the water pumping stations, and to evaluate the efficiency of the PS, used in rice irrigation and to identify the possible factors that affect the efficiency. The visits were carried out in 10 properties, in the city of Alegrete, where the data collection of the irrigation systems was carried out, a total of 21 EB. The flow data, specific velocity of the fluid, geometric height, length and diameter of the pipes were collected. The number of PS irrigating the same area was quantified, the pump, motor, drive type and installation type were identified. The pumping stations studied in their entirety were installed on barges, and the PS distribution configuration to serve the same area, 56% of the properties with two PS. Regarding the installation position, approximately 94% vertically "drowned", and 73.33% with drive with pulleys. The overall performance of the PS in 43.75% was above 85%, ie Excellent, in relation to the performance of the pumping stations it was above 90 in 50% of the PS. The performance of the PS was very satisfactory, due to the fact that a large part worked with the global yield, remaining within the classification: excellent, very and good.

**Key-words:** Irrigated Rice. efficiency. Flood Irrigation.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Mapa de produtividade . . . . .  | 18 |
| Figura 2 – Taipas em nível . . . . .  | 19 |
| Figura 3 – Base para bomba e motor acoplado direto, instalada em balsa, com sucção. . . . . | 20 |
| Figura 4 – Configuração típica de uma estação de bombeamento. . . . .                       | 21 |
| Figura 5 – Acoplamento direto flexível com correia. . . . .                                 | 21 |
| Figura 6 – Acionamento por polias e correias em V. . . . .                                  | 22 |
| Figura 7 – Confecção de tubos. . . . .  | 23 |
| Figura 8 – Balsa com conjunto bomba e motor instalado na horizontal com sucção. . . . .     | 24 |
| Figura 9 – Balsa com o conjunto bomba (afogada) e motor na vertical. . . . .                | 25 |
| Figura 10 – Medidor ultrassônico Phelps. . . . .  | 26 |
| Figura 11 – .Localização das EB, área cultivada e perfil altimétrico . . . . .              | 27 |
| Figura 12 – Alicata amperímetro Minipa- ET- 3200. . . . .                                   | 27 |
| Figura 13 – Número de estações de bombeamento para irrigar uma mesma área. . . . .          | 31 |
| Figura 14 – Posição de instalação das bombas. . . . .                                       | 31 |
| Figura 15 – Acionamento por polias ou acoplamento direto. . . . .                           | 32 |
| Figura 16 – Área de cultivo e número de EB. . . . .   | 33 |
| Figura 17 – Altura geométrica e acréscimo de altura nas EB. . . . .                         | 33 |
| Figura 18 – Altura manométrica total das EB. . . . .  | 34 |
| Figura 19 – Diâmetro das tubulações. . . . .  | 35 |
| Figura 20 – Comprimento das tubulações. . . . .   | 35 |
| Figura 21 – Áreas atendidas por cada EB. . . . .  | 36 |
| Figura 22 – Vazão por unidade de área. . . . .  | 36 |
| Figura 23 – Velocidade de fluxo. . . . .  | 37 |
| Figura 24 – Rendimento Global. . . . .  | 38 |
| Figura 25 – Desempenho. . . . .   | 39 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Diâmetro dos tubos utilizados com mais frequência nos sistemas de irrigação. . . . . | 23 |
| Tabela 2 – Comprimento equivalente em número de diâmetros da tubulação. . . .                   | 29 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**CONAB** Companhia Nacional de Abastecimento

**EB** Estações de Bombeamento

**FO** Região Froteira Oeste

**IBGE** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IRGA** Instituto Rio Grandese do Arroz

**PS** Pump Station

**RS** Rio Grande do Sul

**SOSBAI** Associação Sul Brasileira de Arroz Irrigado

## **LISTA DE SIGLAS**

**CONAB** Companhia Nacional de Abastecimento

**EB** Estações de Bombeamento

**FO** Região Froteira Oeste

**IBGE** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IRGA** Instituto Rio Grandese do Arroz

**PS** Pump Station

**RS** Rio Grande do Sul

**SOSBAI** Associação Sul Brasileira de Arroz Irrigado

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| $\eta_s$         | rotação específica              |
| $\eta_{global}$  | Rendimento global               |
| $\gamma$         | Peso específico do líquido      |
| $n$              | rotação nominal                 |
| $C$              | Coeficiente de atrito           |
| $Cos\varphi$     | fator de potência da instalação |
| $cv$             | Cavalo a vapor                  |
| $D$              | Diâmetro da tubulação           |
| $D_{desempenho}$ | Desempenho da EB                |
| $H_{fr}$         | Perda de carga no recalque      |
| $H_{fs}$         | Perda de carga na sucção        |
| $H_f$            | Perda de carga                  |
| $H_{gr}$         | altura geométrica de recalque   |
| $H_{gs}$         | Altura geométrica de sucção     |
| $H_{Mt}$         | Altura manométrica total        |
| $H_m$            | Altura manométrica              |
| $ha$             | hectare                         |
| $L$              | Comprimento                     |
| $L_{eq}$         | Comprimento equivalente         |
| $P_{ativa}$      | Potência ativa                  |
| $P_{hidr}$       | Potência hidráulica             |
| $Q$              | vazão                           |
| $V$              | corrente elétrica               |

## SUMÁRIO

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | INTRODUÇÃO . . . . .   | 16 |
| 1.1   | Objetivo Geral . . . . .   | 17 |
| 1.1.1 | Objetivos Específicos . . . . .  | 17 |
| 2     | REVISÃO DE LITERATURA . . . . .  | 18 |
| 2.1   | Produção de Arroz Irrigado . . . . .                                       | 18 |
| 2.2   | Sistemas de Irrigação por inundação . . . . .                              | 19 |
| 2.3   | Estações de bombeamento . . . . .  | 20 |
| 2.3.1 | Bombas . . . . .   | 22 |
| 2.3.2 | Instalações das estações de bombeamento . . . . .                          | 24 |
| 3     | MATERIAL E MÉTODOS . . . . .   | 26 |
| 3.1   | Análise dos dados da estações de bombeamento . . . . .                     | 28 |
| 3.1.1 | Perdas de carga no sistema . . . . .                                       | 28 |
| 3.1.2 | Altura Manométrica do sistema de Bombeamento . . . . .                     | 28 |
| 3.1.3 | Potência hidráulica . . . . .  | 29 |
| 3.1.4 | Potência motriz . . . . .  | 29 |
| 3.1.5 | Rendimento Global . . . . .  | 30 |
| 3.1.6 | Desempenho das EB . . . . .  | 30 |
| 3.2   | Análise de dados para a caracterização dos sistemas de irrigação . . . . . | 30 |
| 4     | RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .  | 31 |
| 4.1   | Configuração dos sistemas de irrigação . . . . .                           | 31 |
| 4.1.1 | Caracterização das EB. . . . .   | 34 |
| 4.1.2 | Rendimento global . . . . .  | 37 |
| 5     | CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .   | 40 |
|       | REFERÊNCIAS . . . . .  | 41 |

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de arroz. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção do cereal atingiu 11,75 milhões de toneladas de arroz na safra 2020/2021 (CONAB, 2022b). O Rio grande do sul é o estado com maior produção nacional, segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é responsável por 70,2% da produção nacional (IBGE, 2021). Segundo o Irga (2022b) no Estado a área semeada na safra 2021/2022 foi de 957.185 hectares, 1,3% a mais que a safra passada, que foi uma área de 945.971 hectares (IRGA, 2022b).

A região Região Froteira Oeste (FO) do estado Rio Grande do Sul é a maior produtora do estado, conforme Instituto Rio Grandese do Arroz (IRGA) na safra 2021/2022 na região foram semeados 284.650 ha, e a área colhida de 258.055 ha, ocorreu uma perda de 26.599 ha, devido a seca. Independente das perdas a Fronteira Oeste respondeu pela maior produtividade no estado, de 8.637 quilos por hectare, destacando-se o maior volume colhido de 2,2 milhões de toneladas na área de 284,6 ha (IRGA, 2022a; IRGA, 2022b).

O Rio grande do Sul, conforme Streck et al. (2019) apresenta a mais alta e estável produtividade, e predominantemente irrigado no sistema por inundação, em ambiente de terras baixas. A irrigação por inundação contínua, consiste no estabelecimento e manutenção permanente da lâmina de água desde o estágio de quatro folhas (V4) da planta até a maturação fisiológica (R7), segundo escala proposta por (COUNCE; KEISLING; MITCHELL, 2000). O desafio para a produção nesse ambiente é a melhoria da eficiência no uso da água, que é um bem comum, em vista a escassez de água em diversas regiões produtoras do cereal (FAGUNDES et al., 2019).

O consumo elevado de energia e água na produção de arroz vem sendo bastante criticado por órgãos ambientalistas, uma vez que o sistema de irrigação por inundação é caracterizado por baixa eficiência, com isso tem-se buscado uma maior produção de grãos por unidade de volume de uso da água (KÖPP et al., 2015).

A Estação de bombeamento EB tem a finalidade de deslocar, impulsionar a água de uma fonte, tais como rios, barragens entre outros, situados a uma cota inferior para a áreas de cultivos em uma cota mais alta. As condições de funcionamento de um sistema de irrigação, não devem ser baseados apenas na expressão que determina sua potência, que consiste em que o sistema “bomba- motor” desloque a água, vencendo a diferença de nível entre onde o sistema está instalado e a área a ser irrigada, bem como as perdas de carga (NETTO; FERNÁNDEZ, 2018). Segundo Ocácia et al. (2002), levantes com altura superior a 10m, apresentam melhor desempenho, eficiência devido a utilização de bombas centrífugas, que demandam de maior potência útil, exigindo, do agricultor maior cuidado com a instalação.

As EB possuem características particulares, que pode ser modificadas de uma safra para outra, uma vez que há uma rotação de áreas, e com isso modifica as características do levante, tais como área de cultivo, altura geométrica e manométrica. E a utilização do

mesmo conjunto de bomba, motor e tubulações para irrigar áreas diferentes é uma prática bastante frequente dentro das propriedades, afetando a eficiência do sistema .

A realização de um diagnóstico do desempenho das EB, dos indicadores hidráulicos e elétricos, as condições das instalações, se a produção de água é suficiente para área a ser irrigada, é de suma importância.

## **1.1 Objetivo Geral**

Realizar a caracterização das estações de bombeamento utilizadas na irrigação da cultura do arroz, avaliar a eficiência das mesmas, bem como identificar os possíveis fatores que afetam a eficiência.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

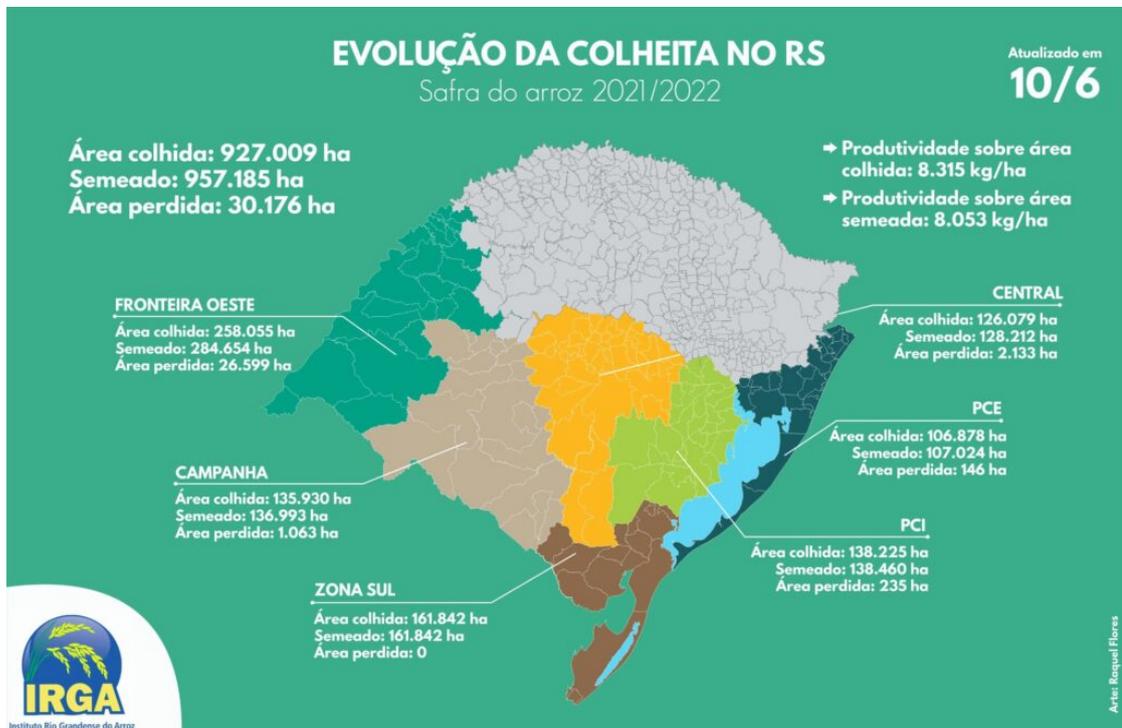
- i) Descrever as características dos sistemas de bombeamentos presentes nas propriedades rurais, quantas EB estão instaladas para irrigar uma área cultivada em comum;
- ii) Analisar a eficiência dos sistemas de bombeamento, comparando com dimensionamento teórico;
- iii) Identificar fatores que afetam a eficiência das EB.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Produção de Arroz Irrigado

A área cultivada de arroz irrigado no Brasil na safra 2021/2022 foi de 1.302 mil ha, com uma produtividade de  $7.677kg.ha^{-1}$  e uma produção de 9.995,60 mil toneladas. O Rio Grande do Sul se destaca no cenário nacional com maior área cultivada de 957,4 mil ha e uma produtividade de  $7.995kg.ha^{-1}$ , seguido por Santa Catarina 147,9 mil ha com  $7.967kg.ha^{-1}$  e Tocantins com 94,7 mil ha e produtividade de  $5.781Kg.ha^{-1}$  (CONAB, 2022a). Observa-se na Figura 1 que a FO, destaca-se por ser a região com mais área semeada e colhida do estado, e com uma produtividade acima da média do país, que foi de  $9.300Kg.ha^{-1}$ .

Figura 1 – Mapa de produtividade



Fonte: Scheifler2022

A irrigação atualmente faz parte do conjunto de tecnologias que contribuem para aumentar a produtividade agrícola em escala, passando por vários processos de desenvolvimento e adaptação a diferentes ambientes (RODRIGUES; DOMINGUES; CHRISTOFIDIS, 2017). Estudos visando a redução do uso de água na lavoura de arroz (ADOLPHO et al., 2010), utilizando técnicas de irrigação como redução da altura da lâmina de água, inundação intermitente ou manutenção do solo saturado, através do controle da lâmina de água, por gerenciamento automático do sistema de bombeamento.

E a viabilidade de irrigação por aspersão de água ou pivô, podem ser umas das alternativas em algumas regiões e a FO, está dentro dessas regiões por alguns aspectos,

pelo seu relevo levemente ondulado, onde alguns anos a escassez de água em anos de estiagem, alguns estudos demonstraram que a produtividade se assemelhou a do sistema por inundação (SCIVITTARO; PARFITT, 2017).

## 2.2 Sistemas de Irrigação por inundação

No Rio Grande do Sul (RS) o cultivo de arroz de grandes áreas, exigem várias técnicas, o manejo da água está relacionado ao sistema de cultivo, ou seja, o planejamento do sistema de irrigação é feito a partir da estruturação e da sistematização da lavoura como mostra a Figura 2 . Nas áreas de arroz da FO o sistema de cultivo que predomina é o cultivo com taipas em nível, estas taipas são construídas com diferença de nível de 5 a 10 cm, e a irrigação se dá dos pontos mais altos das áreas distribuindo a água por gravidade (SOSBAI, 2018).

Figura 2 – Taipas em nível



Fonte: Autor, 2022

O sucesso da irrigação de uma lavoura de arroz depende de vários fatores, não só do dimensionamento do sistema de bombeamento. De acordo com (SOSBAI, 2018), o volume de água necessário para suprir a necessidade do arroz irrigado por inundação, é o somatório da água necessária para saturar o solo, formar a lâmina de água, suprir a evapotranspiração e repor as perdas por percolação e fluxo lateral. E ainda deve-se incluir nessa estimativa de água necessária as perdas nos canais de irrigação, das dimensões e revestimento dos mesmos, e fluxo lateral, as características físicas do solo, do ciclo da cultivar.

O dimensionamento dos sistemas de irrigação (EB), tem como base na vazão unitária requerida, que depende da lâmina adotada, horas de funcionamento diário da EB,

da topografia da área e atributos físicos do solo (KÖPP et al., 2015). Segundo Associação Sul Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI), solos arenoso e com maior declividade, e em anos com temperaturas elevadas e umidade relativa do ar baixa, e ou baixa precipitação, a demanda hídrica é maior. Estima-se que atualmente venha sendo utilizado uma vazão de 0,70 a 1,75 L/s.ha, ou seja um volume médio de 6 a 12 mil  $m^3ha^{-1}$ , para um período médio de 80 a 100 dias de irrigação (SOSBAI, 2018).

### 2.3 Estações de bombeamento

No Rio Grande do Sul as estações de bombeamento, são conhecidas como levantes de irrigação de arroz, e tem finalidade de impulsionar a água fornecida de uma fonte (rio ou barragens, etc), situado em uma cota inferior para uma cota suficiente alta. As EB no sistema convencional como mostra na Figura 4, são compostas por: uma bomba hidráulica, um motor de acionamento (elétrico ou diesel), sistema de transmissão mecânica (polias ou acoplamento direto), tubulações de sucção e de recalque, peças especiais e uma base para bomba e motor como mostra Figura 3.

Figura 3 – Base para bomba e motor acoplado direto, instalada em balsa, com sucção.

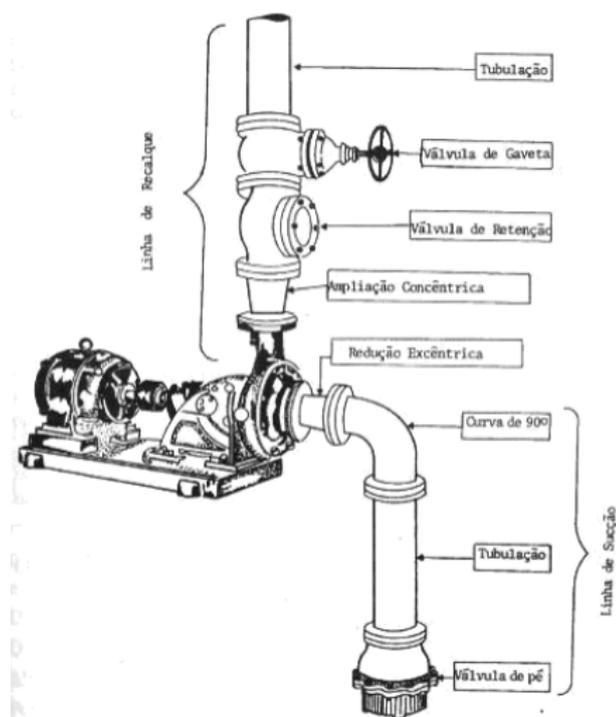


Fonte: Autor, 2022

Existem duas formas de transmissão de energia do motor para a bomba: por acoplamento direto, onde a bomba irá trabalhar na mesma rotação do motor, e o acoplamento elástico ou flexível é formado por dois flanges metálicos que são unidos por borracha e presos através de parafusos como mostra a Figura 5, uma de suas vantagens que esse tipo de acoplamento é o fato que o mesmo tolera que os eixos do motor e da bomba tenham um certo desalinhamento, diferente dos acoplamentos rígidos.

A segunda forma de transmissão de energia entre motor e a bomba é o acionamento com polias e correias como mostra a Figura 6. Uma desvantagem desse sistema são as perdas energéticas, e uma das vantagens é ter como recurso o ajuste da rotação de

Figura 4 – Configuração típica de uma estação de bombeamento.



Fonte: Tolentino (2021)

Figura 5 – Acoplamento direto flexível com correia.



Fonte: Autor, 2022

trabalho da bomba, isso se dá de duas formas na troca do tamanho da relação das polias e alteradores de rotação. Segundo Köpp et al. (2015), as bombas que são utilizadas para irrigação, trabalham em baixas rotações ( $< 1800$ ) rpm, em alguns casos ( $< 500$ ) rpm, e a alteração da rotação se dá por polias e correias ou pela utilização de inversor de frequência, afim de ajustar variações, permitindo uma larga variação de velocidade do grupo motobomba, ajustando a demanda Altura (H) X Vazão (Q).

Figura 6 – Acionamento por polias e correias em V.



Fonte: Autor,2022

As tubulações utilizadas nas lavouras de arroz são confeccionadas de chapas de aço calandrada e soldada como mostra Figura 7 (B), posteriormente os tubos são montados em tramos com 6m como mostra Figura 7 (A), este processo de conformação para fabricação de diâmetros específicos conforme a necessidade do levante.

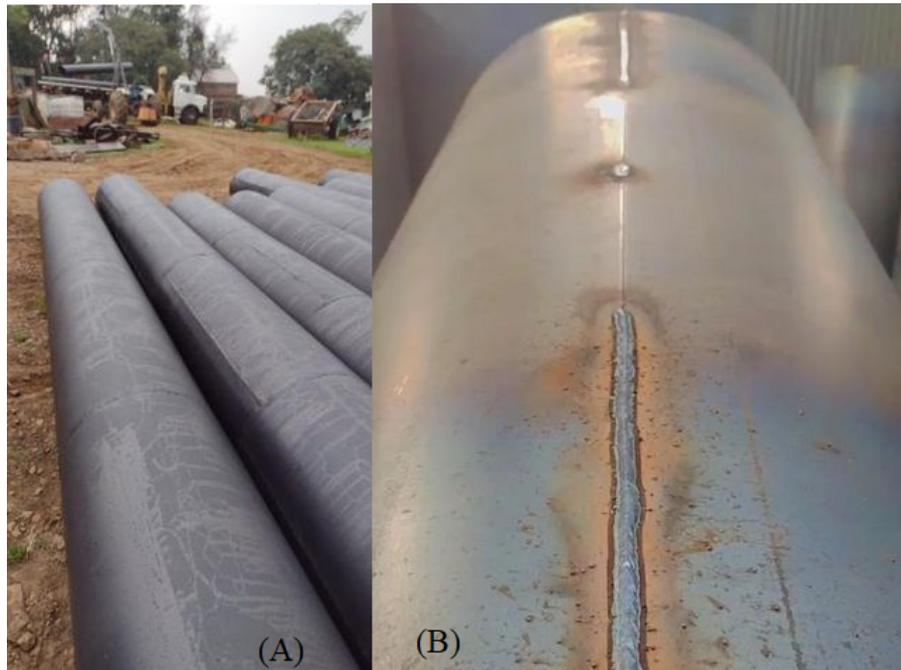
Outro fator determinante para os tubos serem fabricados é que a indústria não fornece canos dos diâmetros mais usados nos sistemas de irrigação, os diâmetros que são utilizados mais usados como mostra a Tabela 1, e a espessura de chapa 12 (2,65mm), chapa 11 (3,00mm) e chapa 10 (3,35mm).

### 2.3.1 Bombas

As bombas utilizadas nas lavouras de arroz na FO do RS, são do tipo centrífugas, por apresentarem um rendimento maior em alturas manométricas superiores a 10m, bastante comum na região (OLIVEIRA; CONCEIÇÃO; PARIZI, 2016).

A classificação das máquinas, mesmo que geometricamente semelhantes, e com a mesma rotação nominal ( $n$ ), é em função da velocidade específica. As bombas se classificam, segundo o tipos de rotação específica em ( $\eta_s$ ): em radial centrífuga lenta  $\eta_s < 90$ , radial centrífuga normal  $\eta_s$  de 90 a 130, radial centrífuga rápida  $\eta_s$  de 130 a 220,

Figura 7 – Confeção de tubos.



Fonte: Autor,2022.

Tabela 1 – Diâmetro dos tubos utilizados com mais frequência nos sistemas de irrigação.

| Diâmetro(mm) | Perímetro (mm) | espessura(mm) |
|--------------|----------------|---------------|
| 320          | 1000           | 2,65          |
| 400          | 1250           | 2,65          |
| 480          | 1500           | 2,65- 3,00    |
| 510          | 1600           | 2,65 - 3,00   |
| 550          | 1730           | 3,00          |
| 580          | 1882           | 3,00          |
| 600          | 1884           | 3,00          |
| 640          | 2001           | 3,00 - 3,35   |
| 800          | 2510           | 3,00 - 3,35   |

Fonte:Autor,2022.

mista  $\eta_s$  de 220 a 440, semi axial  $\eta_s$  de 440 a 500 e axial  $\eta_s > 500$  (PORTO, 2004). A velocidade específica ( $\eta_s$ ), é determinada pela Equação 1.

Segundo COSTA e VISANDO (2013) a determinação da velocidade específica no ponto de rendimento máximo das bombas, permite estudar e classificar as máquinas dinamicamente semelhantes em classes ou famílias com a mesma rotação específica.

$$\eta_s = 3,65 * \frac{n * \sqrt{Q}}{ATM^{\frac{3}{4}}} \quad (1)$$

Onde :

$\eta_s$ : Velocidade específica, rpm;

n: Rotação da bomba, rpm;

Q: Vazão,  $m^3s^{-1}$ ;

ATM: Altura manométrica total, m.

### 2.3.2 Instalações das estações de bombeamento

Nas lavouras de arroz é bastante comum a utilização de balsas, com a finalidade de acompanhar as alterações do nível da água, em rios ou barragens. Com alteração dos níveis de água dos reservatório, a utilização de balsa permite deslocá-la em busca de maior profundidade de água, com adição de tubulações de recalque, assim variando altura manométrica e as perdas de carga correspondentes ao recalque. Segundo Netto e Fernández (2018) o conjunto bomba e motor, podem ser instalados de duas formas na horizontal e vertical, na horizontal com sucção, continuando a necessidade da bomba ser escorvada, dessa forma o comprimento dos canos de sucção são relativamente curtos com no máximo 6m como mostra a Figura 8. Na vertical (Afogada), com a voluta da bomba submersa na água como se observa na Figura 9 (A), desta forma eliminando altura geométrica de sucção, dispensando as peças especiais de sucção, sendo instalada um ralo com uma tela.

Na instalação vertical, não há necessidade de realizar-se a escorva, pelo fato do rotor estar submerso na água como mostra a Figura 9(B).

Ramão, Alberto e Tonetto (2017), observaram que 50% dos sistemas de irrigação estão instalados em balsa, e 85% trabalhando na vertical, ou seja afogada.

Figura 8 – Balsa com conjunto bomba e motor instalado na horizontal com sucção.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 9 – Balsa com o conjunto bomba (afogada) e motor na vertical.



Fonte: Autor,2022.

As estações de bombeamento que são instaladas fixas próximo a fonte de água, barranco de rios ou no barramento (taipa) da barragem, necessitam ser escorvadas, e o comprimento dos tubos de sucção costumam ter a partir 5 m de comprimento, podendo chegar a 25m. Uma das desvantagens dessas instalações é a necessidade de movimentar e incrementar comprimento de tubos, conforme a redução do nível da fonte de água, ou se o nível dos rios se elevar. Corre-se o risco de submersão do sistema, acarretando a suspensão do funcionamento. Sendo neste caso, necessário a remoção das estações de bombeamento para áreas não alagadas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Á área de estudo situa-se na cidade de Alegrete, na região Fronteira Oeste Estado do Rio Grande do Sul. As visitas foram realizadas em 10 propriedades, totalizando 21 EB, onde foram feitos os levantamento dos dados dos sistemas de irrigação das lavouras de arroz, no sistema por inundação.

As propriedades possuíam características distintas, e foram selecionadas para o estudo pelo perfil amplo, ou seja, área de cultivo desde as menores (28ha) até grandes (350 ha) áreas, fontes de água rios, barragens e córregos, para abranger vários perfis tamanho de bombas, das pequenas (150/200) às maiores (350/450), para ter uma variabilidade nas medições.

As áreas estudadas possuem seus sistemas de irrigação em diversas configurações para suprir a sua demanda de irrigação para uma área em comum. Para realização da caracterização dessas configurações, foram quantificados o número de Estações de bombeamento que supriam a mesmas área, e realizada a identificação da bomba e potência do motor, tipo de acionamento com polias ou acoplamento direto, tipo de instalação afogadas ou com sucção.

Em cada EB, foram obtidos os dados de: Vazão, velocidade de deslocamento do fluido, altura geométrica, comprimento e diâmetro das tubulações, a existência de peças especiais. Para medir as informações de vazão e velocidade do fluido foi utilizado o medidor ultrassônico Phelps modelo TUF-2000M-TL-1 DN300-6000mm, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Medidor ultrassônico Phelps.

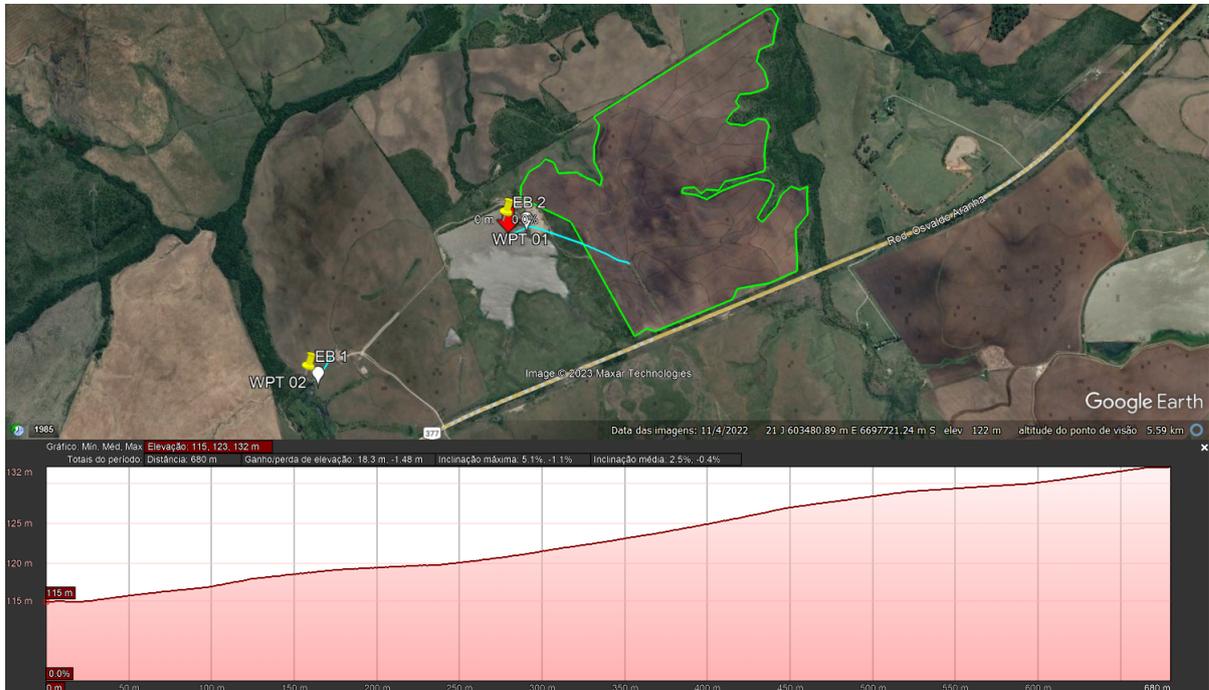


Fonte: Autor, 2023.

Para o levantamento altimétrico, conferencia dos comprimentos das tubulações, áreas de cultivo e localização da área cultivada, utilizou-se a ferramenta Google Earth.

Para localização das estações de bombeamento utilizou-se aplicativo GPS Way-points, posteriormente as coordenadas geométricas foram passadas para o Google Earth, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – .Localização das EB, área cultivada e perfil altimétrico



Fonte: Autor, 2023.

Para medir o consumo energético foi utilizado o Alicate Amperímetro Digital Minipa- ET- 3200, como mostra a Figura 12. O diâmetro das tubulações foi utilizada

Figura 12 – Alicate amperímetro Minipa- ET- 3200.



Fonte: Autor, 2023.

trena flexível Açoforte 30M-13mm. As peças especiais, foram identificadas e contabilizadas manualmente.

### 3.1 Análise dos dados da estações de bombeamento

#### 3.1.1 Perdas de carga no sistema

A determinação da perda de carga total do sistema se dá a partir da soma da perda de carga distribuída e das perdas de carga localizadas. A perda de carga distribuída ocorre devido ao atrito entre as camadas do escoamento e ao atrito entre o fluido e as paredes da tubulação. As perdas localizadas ocorrem pela utilização de peças especiais como registros, válvulas, curvas entre outros que geram turbulência adicional e maior dissipação de energia. Sendo assim, para determinar as perdas de cargas foi utilizada a Equação 2, de Hazzen-Williams para tubulações com diâmetro maior que 50 mm.

$$hf = 10.643 * \frac{L + Leq}{D^{4,87}} * \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852}} \quad (2)$$

Onde:

$Hf$ : Perda de carga (m);

$Q$ : Vazão,  $m^3s^{-1}$ ;

$C$ : Coeficiente de atrito;

$L$ : Comprimento da tubulação, m;

$Leq$ : Comprimento equivalente;

$D$ : Diâmetro da tubulação, m.

Para determinar as perdas de carga localizadas foi utilizado o método do comprimento equivalente, que vem a ser a substituição de cada peça especial por um comprimento retilíneo de mesmo diâmetro da tubulação. Para isso utilizou-se a Tabela 2, segundo (CARVALHO, 2017).

#### 3.1.2 Altura Manométrica do sistema de Bombeamento

A energia cedida ao líquido é denominada altura manométrica, ou seja, é a energia que a bomba deve transmitir para o fluido, afim de transportar uma vazão até o ponto final do encanamento. A altura manométrica é dada pela soma das perdas de carga, perdas distribuídas e localizadas e alturas geométricas de sucção e recalque, se for o caso da configuração EB. Para isso utilizou-se a Equação 3.

$$Hm = Hfs + Hfr + Hgs + Hgr \quad (3)$$

Onde:

$Hm$ : Altura manométrica, mca;

$Hfs$ : Perda de carga na sucção;

Tabela 2 – Comprimento equivalente em número de diâmetros da tubulação.

| Peças                        | Diâmetro |
|------------------------------|----------|
| Curva de 90°                 | 30 * D   |
| Redução Gradual              | 6 * D    |
| Registro Gaveta              | 8 * D    |
| Saída de Canalização         | 35 * D   |
| Válvula de pé e crivo        | 250 * D  |
| Válvula de Retenção          | 100 * D  |
| Curva de aço 30° 2 segmentos | 7 * D    |
| Curva de aço 45° 3 segmentos | 10 * D   |
| Curva de aço 60° 3 segmentos | 15 * D   |
| Curva de aço 90° 3 segmentos | 25 * D   |
| Curva de aço 90° 4 segmentos | 15 * D   |

Fonte: CARVALHO (2017)

$H_{fr}$ : Perda de carga no recalque;

$H_{gs}$ : Altura geométrica de sucção, m;

$H_{gr}$ : Altura geométrica do recalque, m.

### 3.1.3 Potência hidráulica

É a energia entregue ao fluido pela bomba para realizar o trabalho de elevar a altura manométrica (H), ou seja a potência efetivamente utilizada pelo líquido para seu escoamento, esse elemento foi obtido pela equação Equação 4.

$$P_{hid} = \frac{\gamma * Q * H_{Mt}}{1000} \quad (4)$$

Onde :

$P_{hid}$ : Potência hidráulica, KW;

$\gamma$ : Peso específico do líquido,  $N.m^{-3}$ ;

$Q$ : Vazão,  $m^3/s$ ;

$H_{Mt}$ : Altura manométrica total, m.

### 3.1.4 Potência motriz

A potência motriz fornece através do eixo do motor para a bomba a potência necessária para o o escoamento do líquido. A potência ativa é determinada a partir da média das medidas de tensão, medido com medidor de grandezas elétricas, corrente e do fator de potência, é determinada pela Equação 5.

$$P_m = \frac{\sqrt{3} * V * I * \cos\varphi}{1000} \quad (5)$$

Onde:  $P_m$ : Potência motriz, KW;

V: Tensão, V;  
 I: Corrente elétrica, A;  
 $\text{Cos}\varphi$ : Fator de potência da instalação;

### 3.1.5 Rendimento Global

O rendimento da instalação pela relação entre a potência hidráulica e a potência ativa, descrita

$$\eta_{global} = \frac{P_{hid}}{P_m} * 100 \quad (6)$$

Onde:

$\eta_{global}$ : rendimento do conjunto do sistema de bombeamento.

### 3.1.6 Desempenho das EB

O desempenho da EB é a relação entre o Rendimento global da EB e o rendimento que deveria ser atingido conforme a curva da bomba, para a vazão e altura manométrica da EB, descrita na Equação 7.

$$D_{empenho} = \frac{\eta_{global} EB}{\eta_{global} curva} \quad (7)$$

Onde:

$D_{empenho}$ : desempenho da EB, %.

## 3.2 Análise de dados para a caracterização dos sistemas de irrigação

Para a caracterização dos sistemas de irrigação, foram analisadas: a configuração dos sistemas de irrigação para uma área, em um ou mais levantes, potência dos motores instalados, maneira de instalação, e peças especiais utilizadas nas instalações.

Os dados do levantamento foram separados e comparados aos pares conforme itens a seguir.

- a) Altura geométrica X altura Manométrica;
- b) Área X número de levantes;
- c) Afogada X com sucção;
- d) Diâmetro de cano X Diâmetro calculado ;
- e) Acoplamento direto X polias.

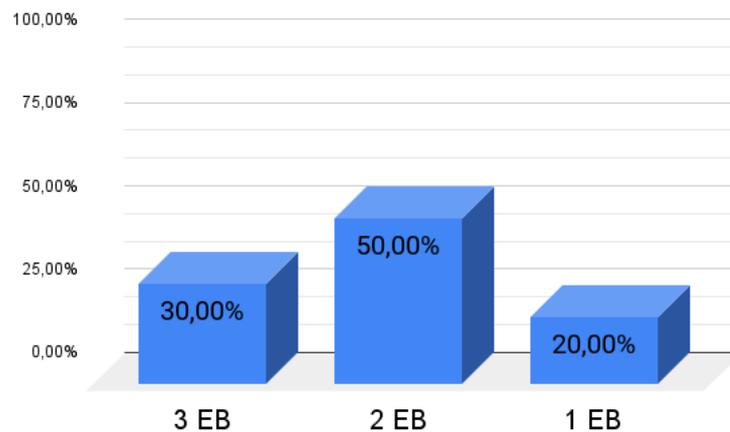
Posteriormente os dados foram armazenados e comparados com auxílio do Microsoft Excel ®.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Configuração dos sistemas de irrigação

Observou-se que em aproximadamente 50% das propriedades estudadas, eram usadas duas EB, a fim de suprir a demanda do cultivo. Aproximadamente 33% das propriedades eram usadas três EB e 20% com uma EB, a fim de suprir a demanda de cultivo, como mostra a Figura 13.

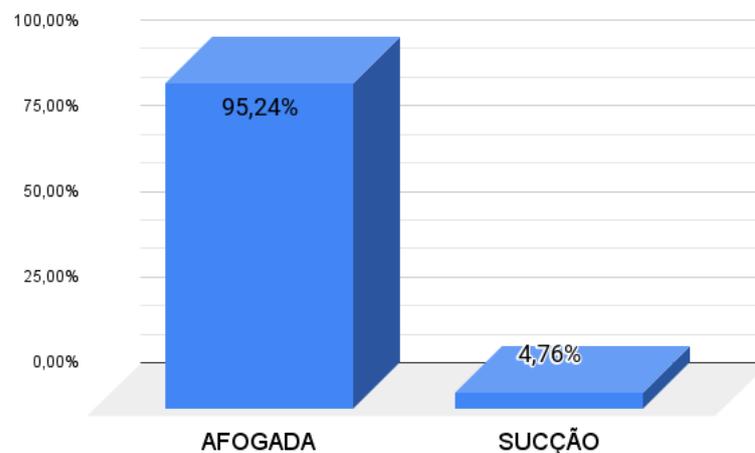
Figura 13 – Número de estações de bombeamento para irrigar uma mesma área.



Fonte: Autor,2022.

Na Figura 14, são apresentados os resultados de como as moto bombas são instaladas. Nota-se que aproximadamente 95% das bombas são instaladas na vertical (afogada), e com a moto bomba instalada na horizontal 4% das estações de bombeamento.

Figura 14 – Posição de instalação das bombas.

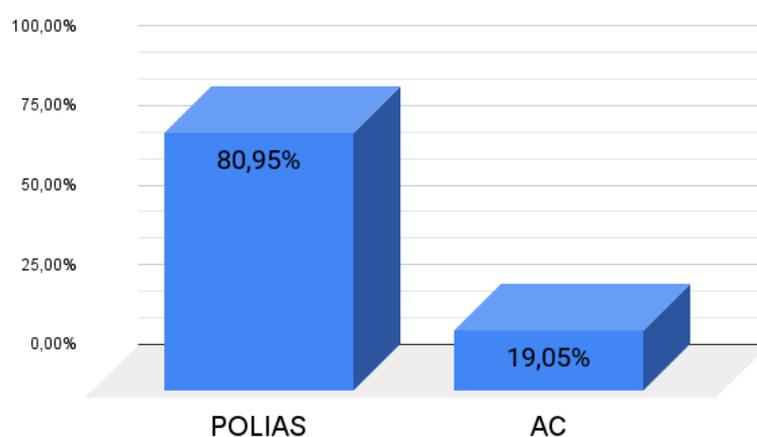


Fonte: Autor,2022.

As instalações dos sistemas de irrigação nas propriedades são compostas de balsas flutuantes, a fim de acompanhar a variação o nível da água dos rios, barragens e canais, nas propriedades estudadas na totalidade, instaladas em balsa. Estudos na Fronteira Oeste-RS, constatou-se que aproximadamente 66% das EB são instaladas em Balsas, estudos realizados na cidade de Itaqui- RS, 50% das EB estavam instaladas em balsas (KÖPP et al., 2015; RAMÃO; ALBERTO; TONETTO, 2017).

Em relação ao tipo de acionamento 80,95% das máquinas hidráulicas eram acionadas com polias e 19,05% com acoplamento direto. Essa preferencia por parte dos produtores pelo uso de polias, deve-se ao fato de que a mesma facilita o ajuste das rotações da estação de bombeamento, como mostra a Figura 15.

Figura 15 – Acionamento por polias ou acoplamento direto.



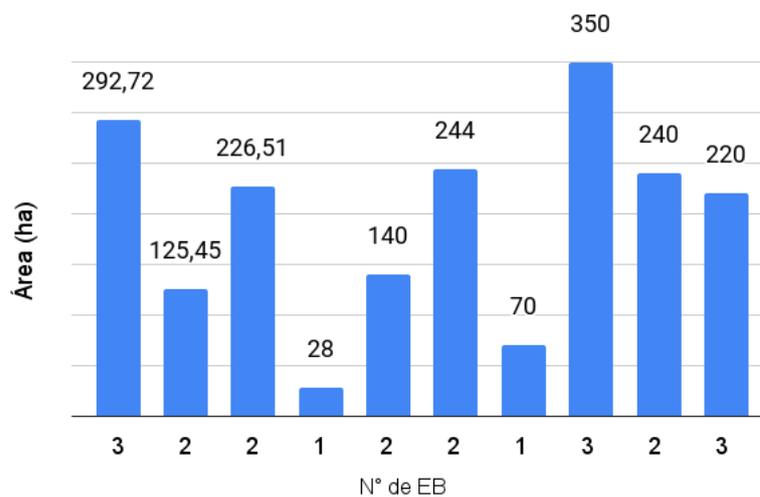
Fonte: Autor, 2022.

As propriedades estudadas somam um total de 1936,68 hectares, e as áreas cultivadas por propriedade variam de 28 ha a 350 ha, sendo 20% das propriedade com áreas até 100 ha, 60% com áreas até 250 ha, 10% até 300 ha e 350 ha, respectivamente. Observou-se que quanto maior a área cultivada o número de estações de bombeamento aumenta como mostra Figura 16.

A altura geométrica das propriedades variou de 4 m a 18,50 m, com média de 10,18 m, com as perdas de cargas houve um acréscimo de altura em média de 5,47 m, resultando uma média de 15,65 m de altura manométrica, como mostra a Figura 17, sendo 57% com alturas geométricas de 5 a 10 metros, 23,81% com altura de 11 a 15 metros e 19,05% com altura de 15 a 20 metros. Já Ramão, Alberto e Tonetto (2017), observaram em 33% dos levantamentos estão operando com altura geométrica de 5 a 10 metros e 33% entre 10 e 15 m, das propriedades estudadas na cidade de Itaqui. Para Köpp et al. (2015) em estudos na Fronteira Oeste, a altura Geométrica variou de 2 a 25,62 m justificado pela topografia da região.

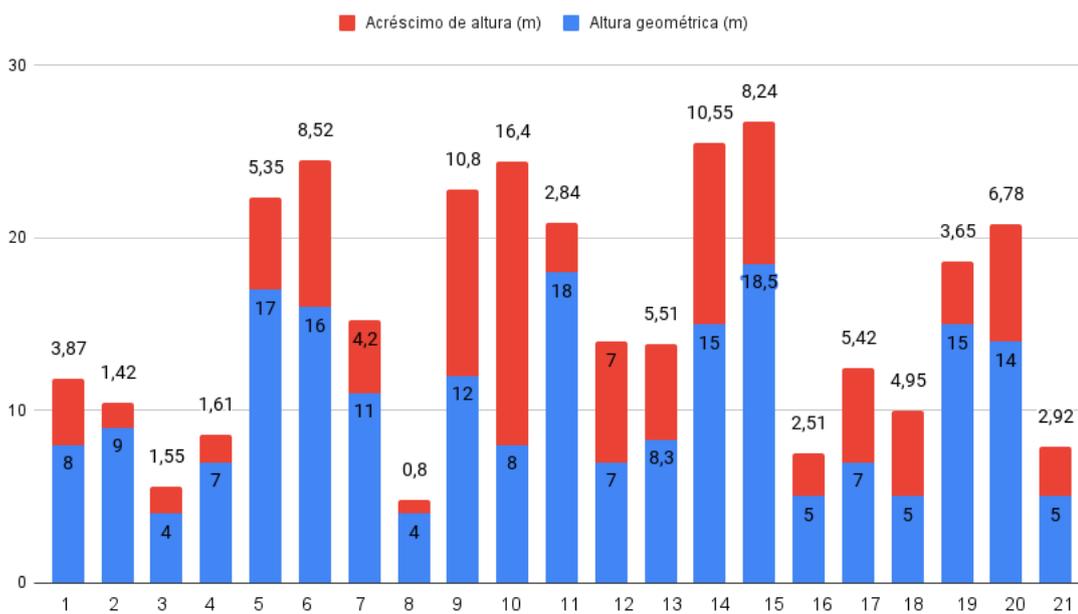
A altura manométrica é resultante da soma de todas as perdas de carga do sistema,

Figura 16 – Área de cultivo e número de EB.



Fonte: Autor,2022.

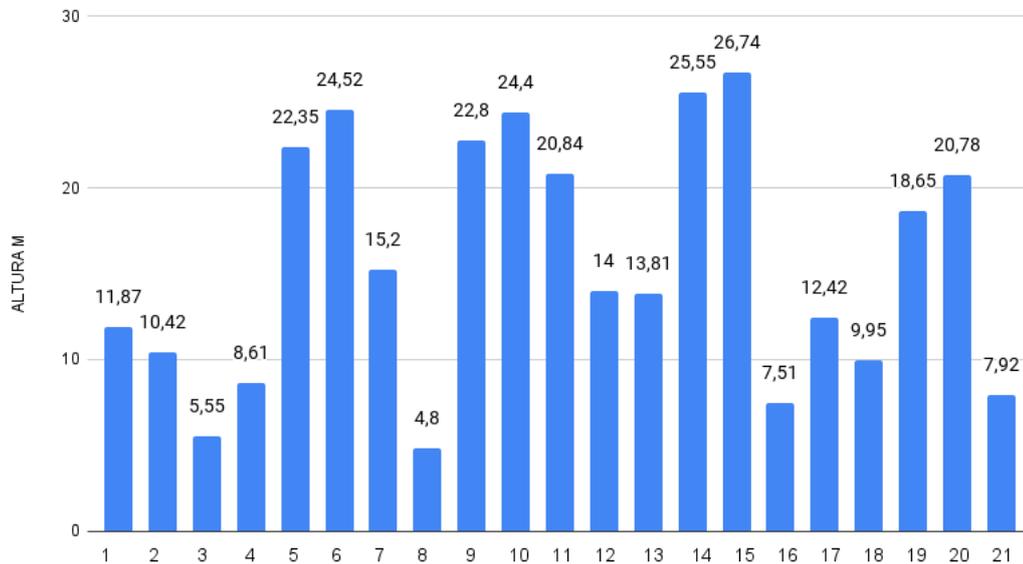
Figura 17 – Altura geométrica e acréscimo de altura nas EB.



Fonte: Autor,2022.

a Figura 18. Ainda Köpp et al. (2015) encontrou 3,1% das bombas trabalhando com altura manométrica menores 5m, e 65% trabalhando com alturas entre 5 e 15m.

Figura 18 – Altura manométrica total das EB.



Fonte: Autor, 2022.

São apresentados na Figura 19 os resultados dos diferentes diâmetros usados pelos produtores, nas estações estudadas. O diâmetros das tubulações variam de 320 a 640mm, o diâmetros de 480mm foi o mais empregado com 42,86%, posteriormente o de 400 e 600 mm com 14,29%, e o diâmetro de 320mm em apenas 4,76% das áreas irrigadas. A frequência dos diâmetros das tubulações corrobora com estudos na mesma região, com 26% diâmetro de 480mm e 31,88% 640mm (KÖPP et al., 2015).

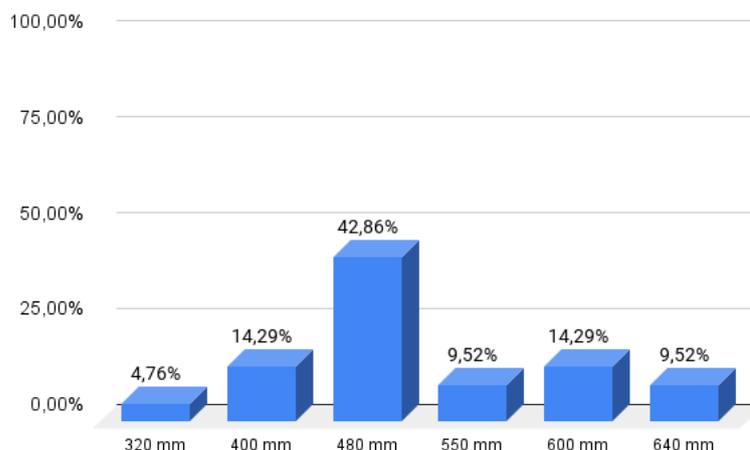
O comprimento das tubulações variou de 50m a 700m, com uma média aproximadamente de 280m. Observou-se que aproximadamente 34% das propriedades o uso de comprimento de 201 à 400 m, seguido de 28,57% comprimentos de até 100 m, como mostra a Figura 20.

Estudos na cidade de Itaqui observaram 43,75% das tubulações com menos de 300m de comprimento, inferior a valores observados na Fronteira Oeste que 87% das tubulações com menos de 300m comprimento (RAMÃO; ALBERTO; TONETTO, 2017; KÖPP et al., 2015). Todas as tubulações confeccionadas com chapas de aço de espessura 3mm, estavam em bom estado de conservação.

#### 4.1.1 Caracterização das EB.

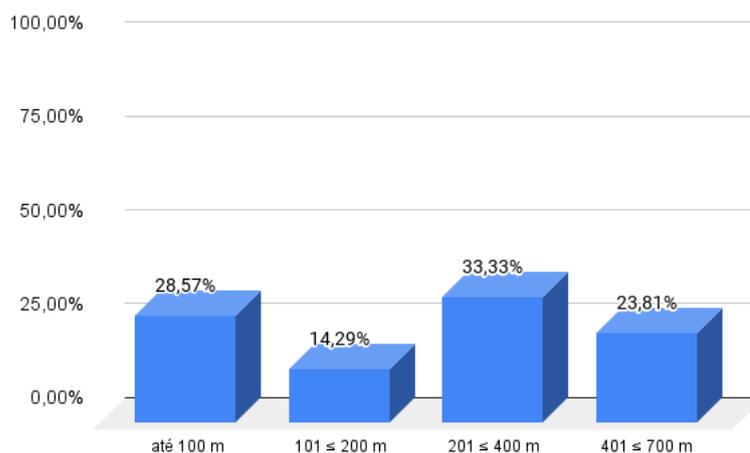
O valor da vazão variou de  $97,8 L.s^{-1}$  á  $702 L.s^{-1}$ , com média de  $325,05 L.s^{-1}$ . Observa-se na Figura 21, que as vazões entre  $50$  à  $150 L.s^{-1}$  atendem áreas com até 65 ha,

Figura 19 – Diâmetro das tubulações.



Fonte: Autor,2022.

Figura 20 – Comprimento das tubulações.



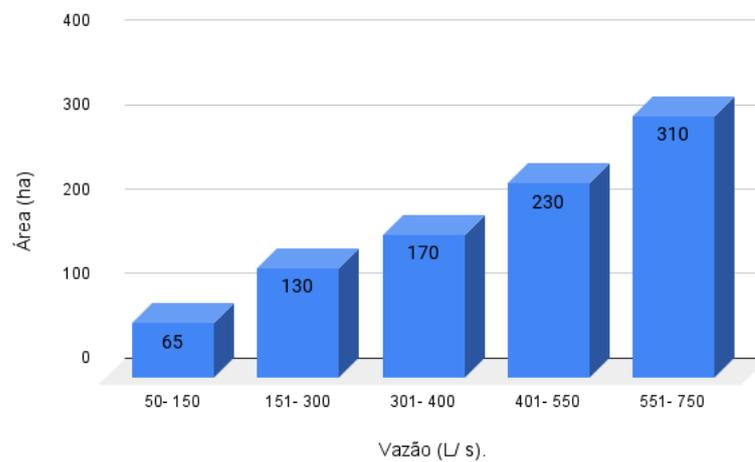
Fonte: Autor,2022.

as vazões entre 301- 400  $L.s^{-1}$  atendem áreas máximas de 170 ha, e com áreas maiores a vazão tende a aumentar.

A vazão unitária, que é a vazão por unidade de área variou de 0,49  $L.s^{-1}.ha^{-1}$  à 3,75  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ , e vazão média de 1,63  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ , essa grande variabilidade pode ser justificada pelo fato de que para uma área existem mais de uma EB, essas vazões se somam para suprir a vazão requerida pela área de cultivo. Em 57,14%, 19,05% das EB notou-se valores de vazão unitária de 1,01 à 1,50  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ , de 1,51 à 2,50  $L.s^{-1}.ha^{-1}$  e menor representatividade de até 1,00  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ , como mostra a Figura 22.

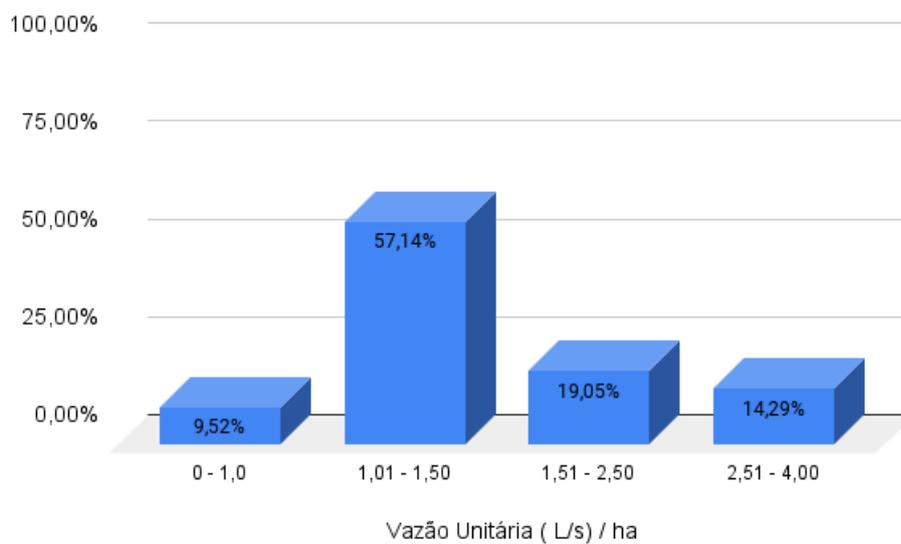
Estudo corroboram os valores encontrados, Köpp et al. (2015), encontrou vazões entre 67 e 1890  $L.s^{-1}$ , com média de 345,3  $L.s^{-1}$ , e maior concentração entre 200 e 600  $L.s^{-1}$ , e vazão unitária entre 0,9 e 2,7  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ . Em 56% das propriedades a vazão

Figura 21 – Áreas atendidas por cada EB.



Fonte: Autor,2022.

Figura 22 – Vazão por unidade de área.



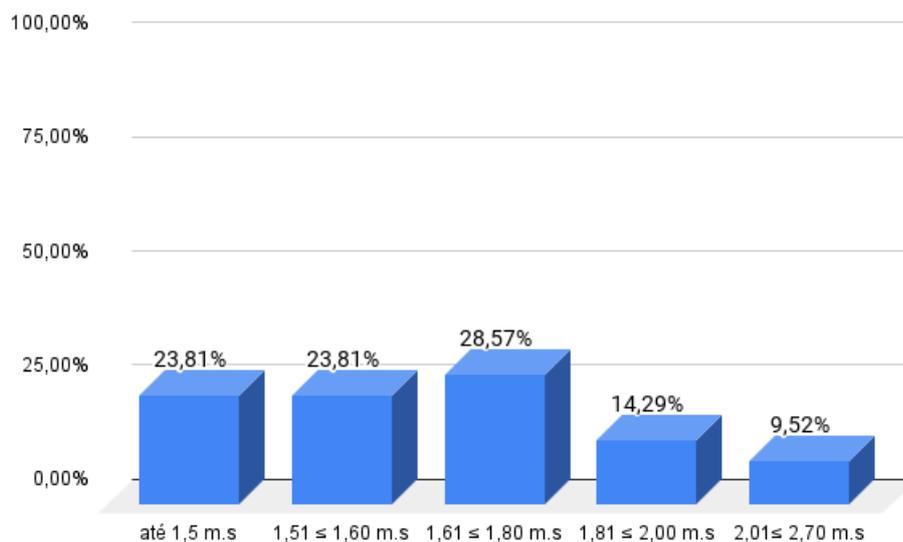
Fonte: Autor,2022.

unitária encontrava-se entre 1,5 e 2,0  $L.s^{-1}.ha^{-1}$  com média de 1,9  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ .

Os valores de volume de água desse estudo foi de 3.704,4 a 14.595,4 mil  $m^3ha^{-1}$ , e média 8.918,00  $m^3ha^{-1}$ . As estimativas para suprir a necessidade do arroz é de 0,70 a 1,75  $L.s^{-1}.ha^{-1}$  para um período de rega de 80 a 100 dias, com um volume de água médio de 6 a 12 mil  $m^3ha^{-1}$  (SOSBAI, 2017). Volumes encontrados por Amaral et al. (2005) no sistema convencional foram próximos de 6.770  $m^3ha^{-1}$  para uma vazão aproximada 1,75  $L.s^{-1}.ha^{-1}$ . Já Eichkoff et al. (2021) avaliou EB em Uruguaiana e encontrou vazões unitárias de 3 a 5  $L.s^{-1}.ha^{-1}$  no início do ciclo de irrigação, e 1,5 a 2  $L.s^{-1}.ha^{-1}$  no período de manutenção da lâmina de água na lavouras em diversas propriedades, com volume de água em torno de 8.000 á 14.000  $m^3ha^{-1}$ , devido ao período de estiagem e com temperaturas muito elevadas.

A velocidade de fluxo variou de 1,44  $m.s$  à 2,66  $m.s$ , e média de 1,67  $m.s$ , como mostra a Figura 23, que 23,81% das EB apresentou velocidade de até 1,5  $m.s$ , e velocidade de 1,61 à 1,80  $m.s$  em 28,57%, e 1,51 à 1,60  $m.s$  em 23,81% das EB.

Figura 23 – Velocidade de fluxo.



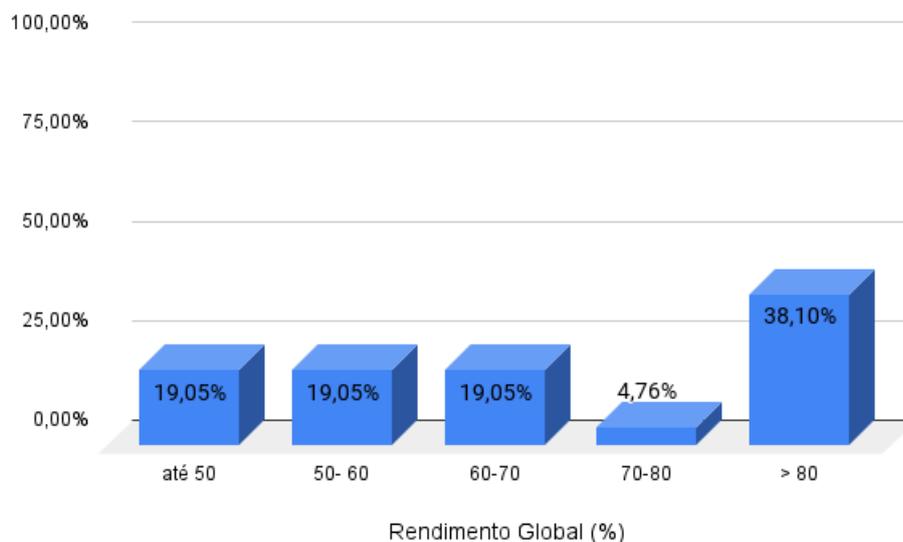
Fonte: Autor, 2022.

#### 4.1.2 Rendimento global

O rendimento global esteve acima de 85 em 38,10% das EB, em 19,05% das EB com rendimento ente 50-60 e 60-70% respectivamente, como mostra a Figura 24.

O rendimento abaixo de 50%, foi observado em EB com acionamento por acoplamento direto, ou seja, as bombas funcionam na mesma rotação do motor, e nesse caso como o rotor da bomba passaram por um processo de usinagem recebendo um desgaste nas aletas, e com isso, a produção de água é menor, para que não ultrapasse a capacidade

Figura 24 – Rendimento Global.



Fonte: Autor, 2022.

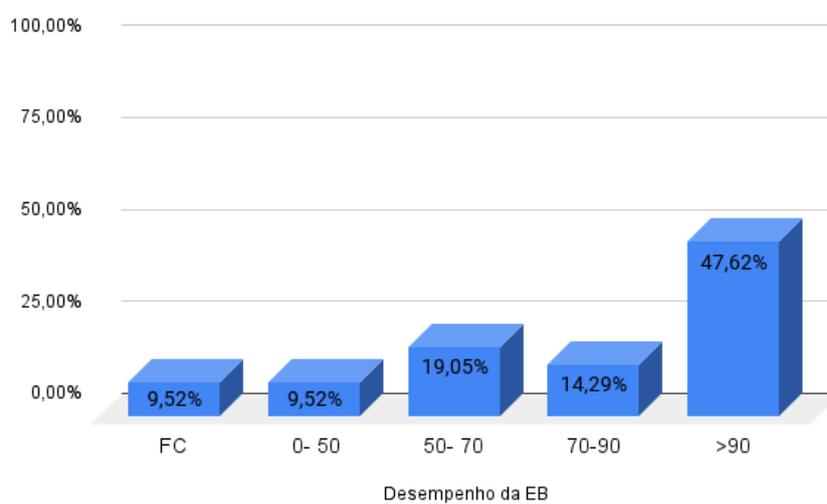
do motor (cv), e essas EB em outra safra são instaladas em outro local no qual a sua produção de água (Vazão) é suficiente, e deveria ter recebido um ajuste de dimensionamento para o valor do rendimento global aumentar.

O estudo de caso de Silveira (2021) encontrou rendimento global de 35,17%, ao passo que a bomba estava fora da curva, e um rendimento da segunda EB, com 77%. Köpp et al. (2015), encontrou em seu estudo que 55% das EB um rendimento global  $\eta_g$  estava abaixo de 60%, e apenas 24,4% superior a 70%  $\eta_g$ , com a classificação proposta do rendimento global das EB são: Excelente  $\eta_{global}$  superior a 70%; Muito bom  $\eta_{global}$  entre 65 e 70 %; Bom  $\eta_{global}$  entre 50 e 60%; Ruim  $\eta_{global}$  entre 40 e 50% e Muito Ruim  $\eta_{global}$  inferior a 40%.

O desempenho das estações de bombeamento em 47,62% esteve acima de 90% , em 14,29% entre 70-90% como mostra a Figura 25, em 12,50% com desempenho entre 50-70 %, ou seja 19,05% das estações de bombeamento tiveram desempenho não satisfatório. Outro fator que afetou algumas EB foi estar trabalhando fora da curva corroborando o mal desempenho.

Em todas as EB o diâmetro das tubulações foi compatível com o diâmetro mínimo calculado, ou seja, descartando a possibilidade de ser um dos fatores que afetaram o desempenho das EB. As EB que mantiveram níveis de desempenho satisfatório todas operam com acionamento por polias, e foram ajustadas para o local em que estão operando atualmente.

Figura 25 – Desempenho.



Fonte: Autor,2022.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a relevância da lavoura de arroz irrigado no âmbito nacional, visando uma maior produtividade, buscando um melhor manejo no uso da água na irrigação, com uma maior eficiência. O desempenho das estações de bombeamento foi muito satisfatório devido aos seguintes fatores, grande parcela trabalha dentro do rendimento esperado, em boas condições de manutenção e ajustes, boas instalações e tubulações com diâmetro compatíveis para a velocidade econômica. O rendimento global das estações de bombeamento estudadas se mantiveram dentro da classificação: excelente, muito bom e bom.

Vale salientar que as estações de bombeamento tiveram o rendimento global e desempenho não satisfatório, pois não eram próprias para os locais onde estavam instaladas, além de que encontravam-se fora da curva de abrangência para a vazão e altura manométrica, isso se dá pela mudança de talhão dentro da propriedade, e assim a necessidade da instalação em diversos pontos de captação de água, e com isso devem receber ajustes de dimensionamento.

A caracterização dos sistemas de irrigação mostra que para irrigar uma área de cultivo, uma grande parcela das propriedades utilizam duas estações de bombeamento para suprir a demanda da área em comum. Em todas as estações de bombeamento estão instaladas em balsas, em sua maioria, afogadas, com acionamento por polias.

Contudo observou-se que na cidade de Alegrete, RS as instalações deixaram de ser improvisadas, e sim bem planejadas e montadas em estruturas de qualidade.

Considerando os resultados apresentados ressaltamos a importância da realização de mais estudos nas estações de bombeamento, a fim de verificar os índices de desempenho das EB:

1. Realizar um monitoramento das vazões, velocidade do fluido;
2. Realizar uma investigação das perdas elétricas, nos rendimentos dos motores, verificando o carregamento dos motores;
3. Medir as vazões nos canais, a fim de investigar as perdas por percolação, para sim chegar a valores de volumes utilizados dentro de todo ciclo de cultivo do arroz, não só na região fronteira oeste e sim em outras regiões do estado do Rio Grande do Sul.

## REFERÊNCIAS

- ADOLPHO, D. D. O. et al. Gerenciamento automático de sistemas de bombeamento para irrigação de lavouras de arroz a partir do controle da lâmina d' água. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 2, n. 1, 2010. Citado na página 18.
- AMARAL, L. G. H. do et al. Vazão retirada e consumo efetivo de água em diferentes sistemas de irrigação do arroz. 2005. Citado na página 37.
- CARVALHO, J. d. **Captação, elevação e condução de água**. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/12526>>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- CONAB. **11º Levantamento - Safra 2021/22**. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Citado na página 18.
- CONAB. **Safra 2021/22 cresce 4% em relação ao ciclo anterior e está estimada em 265,7 milhões de toneladas**. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4536-safra-2021-22-cresce-4-em-relacao-ao-ciclo-anterior-e-esta-estimada-em-265-7-milhoes-de-toneladas-2>>. Citado na página 16.
- COSTA, M. J. F.; VISANDO, A. **Aplicação de equações não lineares visando determinar o ponto de operação de sistemas de bombeamento para dois tanques em níveis diferentes**. 2013. Citado na página 23.
- COUNCE, P. A.; KEISLING, T. C.; MITCHELL, A. J. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. **Crop Science**, Wiley Online Library, v. 40, n. 2, p. 436–443, 2000. Citado na página 16.
- EICHKOFF, H. S. et al. **Metodologia para identificação de perdas não técnicas em unidades consumidoras localizadas em áreas rurais com cultivo de arroz irrigado**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Maria, 2021. Citado na página 37.
- FAGUNDES, P. R. R. et al. Resposta agrônômica e industrial de genótipos de arroz submetidos a irrigação por inundação intermitente. In: IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11., 2019, BALNEÁRIO CAMBORIÚ . . . **Embrapa Clima Temperado-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. [S.l.], 2019. Citado na página 16.
- IBGE. **Em maio, IBGE prevê safra de 262,8 milhões de toneladas para 2021**. 2021. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/30916-em-maio-ibge-preve-safra-de-262-8-milhoes-de-toneladas-para-2021>>. Citado na página 16.
- IRGA. **Irga apresenta resultados finais da Safra do arroz 2021/2022**. 2022. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/noticias/irga-apresenta-resultados-finais-da-safra-do-arroz-20212022>>. Citado na página 16.
- IRGA. **Área semeada na safra de arroz 2021/2022 é de 957 mil hectares no RS**. 2022. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/>>

area-semeada-na-safra-de-arroz-2021-2022-e-de-957-mil-hectares-no-rs>. Citado na página 16.

KÖPP, L. M. et al. **Índices de desempenho para estações de bombeamento em lavouras de arroz irrigado**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2015. Citado 7 vezes nas páginas 16, 20, 22, 32, 34, 35 e 38.

NETTO, A.; FERNÁNDEZ, M. F. y. **Manual de hidráulica**. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 24.

OCÁCIA, G. C. et al. Uso racional de energia em estações de bombeamento de água para irrigação de arroz. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, SciELO Brasil, 2002. Citado na página 16.

OLIVEIRA, L. de; CONCEIÇÃO, C. G. da; PARIZI, A. R. A importância da manutenção preventiva em bombas de irrigação. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 8, n. 2, 2016. Citado na página 22.

PORTO, R. d. M. **Hidráulica básica**. 2004. Citado na página 23.

RAMÃO, C. J.; ALBERTO, C. M.; TONETTO, F. Caracterização das estações de bombeamento em lavouras de arroz no município de itaqui – rs. **Salão de Iniciação Científica e Desenvolvimento Tecnológico do IRGA (SICDT/ IRGA)**, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 34.

RAMÃO, C. J.; ALBERTO, C. M.; TONETTO, F. Caracterização das estações de bombeamento em lavouras de arroz no município de itaqui – rs. **Salão de Iniciação Científica e Desenvolvimento Tecnológico do IRGA (SICDT/ IRGA)**, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 32.

RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, F.; CHRISTOFIDIS, D. Agricultura irrigada e produção sustentável de alimento. **Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. 1ed. Fortaleza: INOVAGRI, v. 1, p. 21–108, 2017. Citado na página 18.

SCIVITTARO, W.; PARFITT, J. Arroz irrigado por aspersão no rio grande do sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017., 2017. Citado na página 19.

SILVEIRA, B. d. A. Avaliação da eficiência de sistemas de bombeamento em lavouras de arroz irrigado na fronteira oeste do rio grande do sul. Universidade Federal do Pampa, 2021. Citado na página 38.

SOSBAI. **ARROZ IRRIGADO: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. 2017. Disponível em: <[https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisa-para-o-sul-do-brasil\\_906.pdf](https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisa-para-o-sul-do-brasil_906.pdf)>. Citado na página 37.

SOSBAI. **ARROZ IRRIGADO: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. 2018. Disponível em: <[https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisa-para-o-sul-do-brasil\\_906.pdf](https://www.sosbai.com.br/uploads/documentos/recomendacoes-tecnicas-da-pesquisa-para-o-sul-do-brasil_906.pdf)>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

STRECK, E. A. et al. Desempenho agronômico de cultivares de arroz sob sistema de irrigação por aspersão e inundação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 3, p. 1–7, 2019. Citado na página 16.

TOLENTINO, J. B. J. **Hidráulica Agrícola**. [S.l.]: Editora América/UEG, 2021. Citado na página 21.